



DEPARTEMENT DE LA RÉUNION
Commune de Saint-Benoît

PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS
PRÉVISIBLES

« *Inondations et mouvements de terrain* »

NOTE DE PRÉSENTATION

Septembre 2017

Approbation



Avertissement général sur les limites d'étude du document PPR

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

Le terme de « risques naturels » communément employé dans des contextes très variés, est largement popularisé par les médias. Ce terme est pourtant souvent utilisé de manière impropre, et cela peut constituer une source de confusion. Il convient donc de préciser tout d'abord que le risque résulte de la conjonction de l'aléa (phénomène de mouvements de terrain, inondations, ou autre) et de la vulnérabilité (présence d'enjeux).

Le présent Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles prend en compte le risque « mouvements de terrain » et le risque « inondations » pour lesquels l'état des connaissances était suffisant pour pouvoir formuler des prescriptions réglementaires détaillées.

Ce document a été établi dans une logique de prévention (et non d'exposition) en appliquant le principe de précaution et en s'appuyant sur les connaissances disponibles. Ainsi, le PPR a été dressé au regard des risques recensés dans les études antérieures à son établissement. Le classement réglementaire rouge/bleu ne tient pas compte dans sa cartographie des travaux de protection à venir.

À partir des données existantes sur le plan cartographique, des zonages réglementaires avec les interdictions et les prescriptions correspondantes ont été établis afin de constituer la servitude d'utilité publique.

Le présent PPR a vocation dans l'avenir à évoluer en fonction notamment de la connaissance des phénomènes naturels et des travaux de protection réalisés dans les secteurs exposés. Il constitue une première étape répondant à des enjeux de prévention.

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
1.1. Organisation de la gestion des risques.....	7
1.2. Prévention des risques naturels	8
1.3. Plan de prévention des risques (PPR) naturels	9
1.4. Catastrophes naturelles MAJEURES à la Réunion.....	9
2. PRÉSENTATION DU PPR	10
2.1. Contexte réglementaire du PPR	10
2.2. Procédure réglementaire	11
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	11
2.2.2. État des démarches menées.....	11
2.3. Assurances et infractions au PPR	14
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur.....	14
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions	17
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	17
2.5. Responsabilités	17
2.5.1. Établissement du PPR.....	17
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol.....	18
3. PRÉSENTATION DE LA COMMUNE	19
3.1. Contexte de la zone d'étude	19
3.1.1. Situation géographique.....	19
3.1.2. Contexte géomorphologique	20
3.1.3. Contexte climatique	21
3.1.4. Réseau hydrographique	25
3.1.5. Contexte géologique.....	28
3.2. Enjeux et vulnérabilité	34
4. HISTORICITÉ ET CARACTÉRISATION DES PHÉNOMÈNES NATURELS.....	37
4.1. Phénomènes historiques	37
4.2. Arrêtés de catastrophes naturels.....	39
4.3. Caractérisation des phénomènes mouvements de terrain	40
4.3.1. Chutes de pierres, de blocs et éboulements (P)	41
4.3.2. Glissements de terrain et coulées de boue associées (G).....	43
4.3.3. Érosion et ravinement (E).....	46

4.4.	Caractérisation des phénomènes d'inondation	48
5.	CARACTÉRISATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS	50
5.1.	Définitions et notions générales.....	50
5.1.1.	Notion d'intensité et de probabilité d'occurrence.....	50
5.1.2.	Remarques relatives aux règles de zonage	51
5.2.	Aléa inondation	52
5.2.1.	Méthode d'évaluation de révision de l'aléa	52
5.2.2.	Caractérisation de l'aléa inondation	53
5.3.	Aléa mouvements de terrain.....	56
5.3.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	56
5.3.2.	Règles générales de qualification de l'aléa MVT	57
5.3.3.	Qualification de l'aléa mouvements de terrain	60
5.4.	Principes de traduction réglementaire	62
5.5.	Exemples de cartographie au droit de secteurs À enjeux	63
6.	LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES.....	81
7.	PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS	84
7.1.	Législation - Réglementation	84
7.2.	Principales circulaires.....	84
7.3.	Publication de guides	84
8.	ANNEXE : BILAN DE LA CONCERTATION ÉTABLI POUR LE LANCEMENT DE L'ENQUÊTE PUBLIQUE EN FÉVRIER 2017	85

Liste des figures

Figure 1 :	Délimitation du territoire communal de Saint-Benoît (Fond ©IGN scan100®-2010)-----	20
Figure 2 :	Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)-----	22
Figure 3 :	Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)-----	22
Figure 4 :	Localisation des stations météo au sein et à proximité de Saint-Benoît (©IGN Scan25® – 2010) -----	23
Figure 5 :	Réseau hydrographique de Saint-Benoît (source : BDtopo2014®, fond ©IGN scan25® - 2010)-----	26
Figure 6 :	Extrait de la carte géologique au 1/100 000 de la commune de Saint-Benoît (source : ©BRGM, fond ©IGN scan25® - 2006)-----	29
Figure 7 :	Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991) -----	30
Figure 8 :	Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000 (source : ©CIRAD (Raunet, 1991), fond ©IGN scan100® - 2010) -----	33
Figure 9 :	Chute d'un bloc isolé-----	42
Figure 10 :	Eboulement -----	42
Figure 11 :	Eboulement en rive droite de la Rivière des Marsouins vu depuis le Chemin Danclas (source : rapport BRGM/RP-65693-FR) -----	43
Figure 12 :	Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, www.bdmvt.net)-----	44

Figure 13 : Représentation schématique du glissement-coulée	45
Figure 14 : Embacle et retenue d'eau observées en juillet 2009 suite à un éboulement dans le lit de la Rivière de l'Est (source : http://www.georisques.gouv.fr/)	46
Figure 15 : Phénomène d'érosion de berges au niveau de la Rivière des Roches sur la commune de Bras Panon (source : http://www.georisques.gouv.fr/)	47
Figure 16 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRI ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)	49
Figure 17 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa	52
Figure 18 : Exemple de création d'une enveloppe externe	56
Figure 19 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de l'Olympe et de l'Abondance	65
Figure 20 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de la Ravine Sèche.	67
Figure 21 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bras-Fusil.	70
Figure 22 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du centre-ville à l'exutoire de la Rivière des Marsouins.	73
Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du Chemin Jean Robert.	76
Figure 24 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du lotissement l'Église à Sainte-Anne	79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Événements historiques majeurs survenus à la Réunion	10
Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du GEDC, 1992 (en mm)	23
Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jour entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2013 – Météo France). * : station installée en 2003 : information non disponible pour la période	24
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 2001 à 2012 observés sur la station de Takamaka.	24
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données hydrographiques (source : PPRI de la commune de Saint Benoît, mai 2014, ©ARTELIA)	27
Tableau 6 : Valeur de débit spécifique en fonction de la surface des bassins versant sur le territoire communal de Saint-Benoît (source : PPRI de la commune de Saint Benoît, mai 2014, ©ARTELIA)	27
Tableau 7 : Evolution de la population de Saint-Benoît (source : ©I.N.S.E.E.)	34
Tableau 8 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Saint-Benoît (source : www.prim.net - Portail de la Prévention des Risques majeurs du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. - mise à jour 30/06/2014)	39
Tableau 9 : Liste des cyclones notables selon Météo-France	40
Tableau 10 : Type de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain	41
Tableau 11 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau	53
Tableau 12 : Scénarios de défaillance étudiée dans le cadre de l'étude de dangers des endiguements de la Rivière des Marsouins (source : Artélia, 2014)	55
Tableau 13 : Echelle qualitative de probabilité d'occurrence (LCPC, guide technique sur les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, 2004)	59
Tableau 14 : Principe de grille de qualification des aléas	60
Tableau 15 : Définition du niveau d'aléa MVT résultant en fonction des différents aléas caractérisés	61
Tableau 16 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Benoît	63
Tableau 17 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR	63

Préambule

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

Ce dossier comporte plusieurs documents informatifs et réglementaires :

✓ les documents informatifs :

- des cartes de localisation des phénomènes naturels historiques (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle 1/30 000 ;
- une cartographie des aléas naturels (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle du 1/30 000, 1/10 000 dans les hauts de la commune et du 1/5 000 dans les zones à enjeux (11 planches) ;
- une cartographie des équipements sensibles (enjeux) de la commune à l'échelle 1/30 000.

✓ les documents réglementaires :

- la note de présentation, décrivant succinctement le territoire de Saint-Benoît et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
- une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/30 000, 1 /10 000 dans les hauts de la commune et du 1/5 000 dans les zones à enjeux ;
- le règlement associé au zonage réglementaire.

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

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

Art 1^{er} – 1-3^e alinéa

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

1. Introduction

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

Saint-Benoît, commune peuplée de 36 433 habitants (population recensée par l'INSEE en 2013) et soumise à un climat tropical influencé par les alizés (100 jours de pluie et 90 jours de vent par an) est affectée par des phénomènes de mouvements de terrain et/ou d'inondations, comme en témoigne la carte des phénomènes historiques, impactant plus ou moins durement les activités humaines.

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

1.1. ORGANISATION DE LA GESTION DES RISQUES

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

- l'information sur les risques est un droit pour les populations menacées. Cette information est organisée par le préfet et les maires dans les conditions fixées par le décret du 11 octobre 1990 et par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003. Cette dernière loi prévoit notamment que dans les communes où un plan de prévention des risques naturels a été approuvé, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'État 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'État 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'État 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. PRÉVENTION 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. Tableau 1).

La commune de Saint-Benoît 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'État compétents, à partir des éléments portés à la connaissance du maire par le représentant de l'État 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'État compétents, procède à l'inventaire des repères de crues existant sur le territoire communal et établit les repères correspondant aux crues historiques, aux nouvelles crues exceptionnelles ou aux submersions marines. La commune ou le groupement de collectivités territoriales compétent matérialisent, entretiennent et protègent ces repères ».

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

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

compatible avec les plans d'organisation des secours arrêtés en application des dispositions des articles L.741-1 à L.741-5.

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

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

1.3. PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES (PPR) NATURELS

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

La commune de Saint-Benoît est dotée d'un Plan de Prévention des Risques inondations approuvé par l'arrêté préfectoral n°4172 du 15 décembre 2004.

L'arrêté préfectoral n°2016-1949/SG/DRCTCV en date du 26 septembre 2016 prescrit l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondations et de mouvements de terrain.

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

1.4. CATASTROPHES NATURELLES MAJEURES À LA RÉUNION

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

Janvier 1989 cyclone Firinga : 4 morts ; dégâts très importants
Janvier 1993 cyclone Colina : 2 morts ; dégâts importants

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à la Réunion

2. Présentation du PPR

2.1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE DU PPR

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

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

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

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

La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le Préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

Les mesures de prévention prévues aux 3° et 4° ci-dessus, concernant les terrains boisés, lorsqu'elles imposent des règles de gestion et d'exploitation forestière ou la réalisation de travaux de prévention concernant les espaces boisés mis à la charge des propriétaires et exploitants forestiers, publics ou privés, sont prises conformément aux dispositions du titre II et livre III et du livre IV du Code Forestier.

Les travaux de prévention imposés en application du 4° à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du Code de l'Urbanisme avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités. »

Objectif général de l'outil PPR

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

L'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. Il est annexé au Plan Local d'Urbanisme, conformément à l'article L.151-43 et L153-60 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. PROCÉDURE RÉGLEMENTAIRE

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.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l'étude concerne l'ensemble du territoire de la commune de Saint-Benoît, 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. État des démarches menées

Le projet de Plan de Prévention des Risques est élaboré par les services de l'État, 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 :

- **15 décembre 2004 : Approbation du PPRi (arrêté préfectoral n°4172) ;**
- 2004 à 2010 : phase technique d'élaboration des cartes d'aléas mouvements de terrain (BRGM) ;
- 7 juillet 2010 : porter à connaissance (PAC) de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Saint-Benoît ;

- 22 juillet 2010 : arrêté préfectoral n°1688/SG/DRCTCV prescrivant l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) sur la commune de Saint-Benoît (abrogé par l'arrêté 2016-1949 SG/DRCTCV du 26 septembre 2016) ;
- 2010 à 2014 : phase technique de révision des cartes d'aléas inondation et de précision des cartes d'aléas mouvements de terrain ;
- 4 décembre 2014 : présentation aux services de la mairie de Saint-Benoît des cartes d'aléas inondations et mouvements de terrain mises en cohérence, avec présentation de la méthodologie d'élaboration des cartes d'aléas MVT et transmission en séance des cartes d'aléas ;
- Avril à juillet 2015 : analyse des demandes de précision de la commune sur les cartes d'aléas et précision des zonages d'aléas au droit des 21 secteurs à enjeux de la commune (rapport BRGM/RP-64914-FR) ;
- 7 octobre 2015 : porter à connaissance (PAC) de la cartographie actualisée des aléas inondations et mouvements de terrains sur la commune Saint-Benoît ;
- **Octobre 2015 à mars 2016** : Concertation entre la DEAL et les services municipaux, avec un travail de précision des aléas et du projet de carte réglementaire ;
- **Avril à octobre 2016 : finalisation du projet PPR** pour le lancement de la phase de consultation officielle : pièces écrites (présente note, règlement), documents cartographiques (zonage des aléas et réglementaire) et annexes ;
- **26 septembre 2016 : arrêté préfectoral n°2016-1949 SG/DRCTCV prescrivant l'élaboration d'un Plan de prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) sur la commune de Saint-Benoît.**

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

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

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

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

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

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

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

- **du 14 novembre 2016 au 14 janvier 2017** : consultations officielles des partenaires associés (conseil municipal, Cirest, ONF, Chambre d'agriculture et DAAF).

Conformément à l'article 5 de l'arrêté préfectoral de prescription, un dossier contenant les documents utiles à la phase de concertation avec le public a été transmis aux services de la commune à la fin septembre 2016 et tenu à la disposition des administrés par ces derniers.

Le bilan de la concertation établi pour le lancement de l'enquête publique est joint en annexe 5

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

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

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

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

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

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

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

Art. R. 562-9 A l'issue des consultations prévues aux articles R. 562-7 et R.5 62-8, le plan, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral. Cet arrêté fait l'objet d'une mention au recueil des actes administratifs de l'État dans le département ainsi que dans un journal diffusé dans le département. Une copie de l'arrêté est affichée pendant un mois au moins dans chaque mairie et au siège de chaque établissement public de coopération intercommunale compétent pour l'élaboration des documents d'urbanisme sur le territoire desquels le plan est applicable.

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

L'arrêté préfectoral n°2017-101/SG/DRCTCV/BU du 20 janvier 2017 a prescrit l'ouverture d'une enquête publique au titre du Code de l'Environnement, sur le territoire de la commune de Saint-Benoît concernant le projet d'élaboration du plan de prévention des risques (PPR) naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondation et de mouvements de terrain.

Préalablement au lancement de l'enquête publique, trois réunions publiques d'informations et d'échanges, organisées par l'État, maître d'ouvrage du projet de PPR, se sont tenues les 13, 15 et 16 février 2017, respectivement à Case de l'Abondance, à la Salle d'échange de la médiathèque et à la Mairie annexe de Sainte-Anne, en présence du maître d'ouvrage représenté par le DEAL, ainsi que du BRGM. Y ont été conviés les représentants de la mairie et les commissaires-enquêteurs titulaire et suppléant.

L'enquête publique s'est déroulée du 20 février au 23 mars 2017 (32 jours consécutifs), sous la supervision de M^{me} Renée AUPETIT, commissaire-enquêteur titulaire, supplée le cas échéant par Mme Béatrice VITTOZ, commissaire-enquêteur suppléant. Les pièces du dossier de PPR ainsi que des registres d'enquêtes ont été mis à la disposition du public à l'hôtel de ville, à la Mairie annexe de Sainte-Anne et à la Case de l'Abondance pendant la durée de l'enquête. Le commissaire-enquêteur a pu recueillir 70 requêtes représentant 67 demandes distinctes, consignées dans les registres mis à leur disposition au cours des 15 permanences tenues.

Le commissaire enquêteur a donné un avis favorable au projet de PPR « inondation et mouvements de terrain » de la commune de Saint-Benoit dans son rapport rendu le 24 avril 2017.

Toutes les requêtes formulées ont fait l'objet d'une analyse individualisée par le BRGM, partenaire de la DEAL sur ce projet. Des visites de terrain complémentaires ont eu lieu les 11, 17 et 19 mai 2017 pour préciser les zonages au droit et aux abords des 43 parcelles concernées, en présence des particuliers ayant déposé une requête.

La synthèse des réponses formulées pour chacune des requêtes (proposition de classement réglementaire et éléments de justification) est présentée en annexe 6 du PPR approuvé (rapport BRGM n°RP-67150-FR de Aout 2017).

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

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

Sur ces bases, des adaptations au projet de PPR ont été apportées tels que des amendements aux mesures de protection et de sauvegarde, ne remettant cependant pas en cause le fonds des règles présentes dans le projet.

Des observations et demandes de précisions sur le PPR ont également été transmises à la DEAL après la fin de l'enquête publique. Ces demandes ont fait l'objet d'une analyse par la DEAL et son partenaire technique le BRGM.

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'État, 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'État, peuvent bénéficier de cette garantie, que les praticiens appellent « garantie Cat.Nat. »

Champ d'application de la garantie

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

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

Risques couverts

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

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

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

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

Avant le 1^{er} janvier 2001, les risques cycloniques liés aux effets du vent étaient couverts par la garantie T.O.C. (Tempête – Ouragans – Cyclones) prévue automatiquement au sein des contrats d'assurance relatifs à la couverture incendie et risques divers aux biens. Avec la loi d'orientation pour l'Outre-mer (n° 2000-1207 du 13 décembre 2000), les effets d'un cyclone pour lequel « les vents maximaux de surface enregistrés ou estimés sur la zone sinistrée ont atteint ou dépassé 145 km/h en moyenne sur 10 mn ou 215 km/h en rafales » seront couverts par le régime catastrophe naturelle. Concrètement, ce régime permettra l'intervention du fonds de garantie des catastrophes naturelles, alimenté par l'État, 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. Évidemment, les assureurs pourront également refuser leur garantie à l'égard des biens et des activités installés postérieurement à la publication d'un PPR sur des terrains classés inconstructibles par ce plan. Le Bureau Central de Tarification (B.C.T.) est saisi des contentieux éventuels.

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

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

État de catastrophe naturelle

L'état de catastrophe naturelle est constaté par un arrêté interministériel (Ministère de l'Intérieur et Ministère de l'Économie 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. RESPONSABILITÉS

2.5.1. Établissement 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'État 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'ÉTUDE

3.1.1. Situation géographique

Située à l'est de l'île de La Réunion, Saint-Benoît, seconde plus grande commune du département par sa superficie (22 961 ha soit 229,61 km²) s'étend du flanc oriental du Piton des Neiges (à l'ouest) jusqu'à la façade littorale (à l'est) en passant par la vallée de Takamaka. Le littoral de la commune s'étend de la Rivière des Roches au Nord-Ouest, à la Rivière de l'Est au Sud-Est.

La commune de Saint-Benoît est bordée à l'est par l'océan Indien, au nord par les communes de Bras-Panon et de Salazie, à l'ouest par les communes de Cilaos et de l'Entre-Deux, au sud par les communes du Tampon, de La Plaine des Palmistes et de Sainte-Rose.

La commune de Saint-Benoît est traversée d'ouest en est par la Rivière des Marsouins, dont le bassin versant Nord-Est est couvert par la forêt de Villeneuve et la forêt du Piton Papangue. Au sud de la rivière se trouve la forêt du Cratère. Ces domaines forestiers font parties intégrantes du Parc National de La Réunion qui occupe une superficie significative sur le territoire communal (137,9 km²).

Avec 36 433 habitants (population recensée par l'INSEE en 2013) et une densité de 158,7 habitants par km², la ville de Saint-Benoît a observé une forte augmentation de sa population de l'ordre de 8,9 % entre 2006 et 2013.

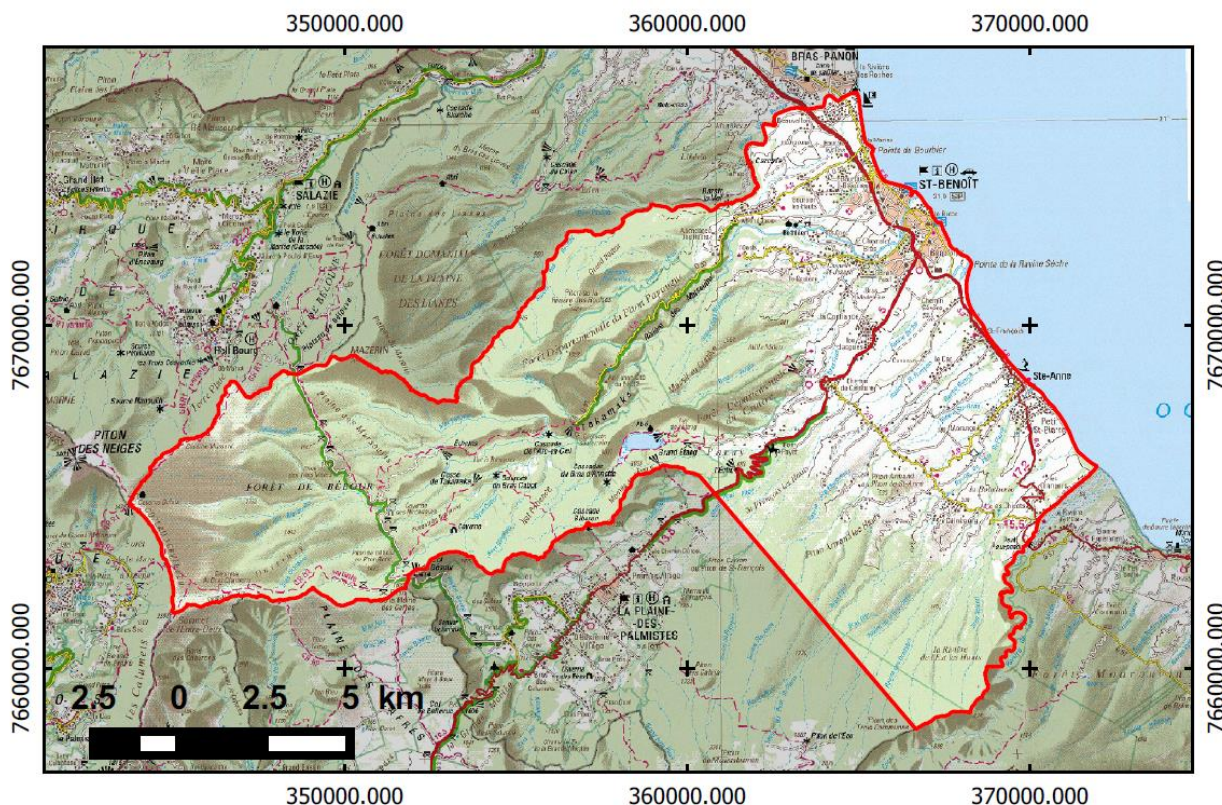


Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Saint-Benoît (Fond ©IGN scan100®-2010)

3.1.2. Contexte géomorphologique

La commune de Saint-Benoît présente la particularité d'être située sur les flancs du volcan du Piton de la Fournaise à l'est et du volcan du Piton des Neiges à l'ouest. Quatre entités géomorphologiques principales peuvent être distinguées, d'est en ouest :

- Une planèze sur laquelle on observe une grande partie des activités humaines de la commune, forme héritée des activités du Piton de la Fournaise. Les pentes restent relativement faibles et régulières, hormis aux abords de pitons (piton Armand) ou des ravines.
- la zone de Takamaka avec un relief et des pentes (souvent supérieures à 50°) très marquées. Cette forte incision correspond à l'érosion de coulées anciennes provenant du Piton des Neiges.
- une plaine alluviale, située de Sainte-Anne à la Rivière de l'Est. Elle correspond au dépôt d'alluvions de la Rivière de l'Est.
- Une plaine alluviale à l'ouest de la commune, correspondant aux dépôts d'alluvions de la Rivière des Marsouins et de la Rivière des Roches.

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 des Roches
- la Rivière des Marsouins
- la Ravine Sèche
- la Ravine Saint-François
- la Ravine Marguerite
- la Rivière Sainte-Anne
- la Ravine du Petit Saint-Pierre

- la Ravine des Orangers
- La Rivière de l'Est

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

3.1.3. Contexte climatique

Vent

À La Réunion, les vents dominants proviennent du secteur Est-Sud-Est (alizés), avec toutefois des variations saisonnières et localisées selon les facteurs orographiques et thermiques. La commune de Saint-Benoît, située à l'est de l'île, est directement exposée et se retrouve « au vent » de l'alizé.

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. À 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).

Située sur la côte « au vent », la commune de Saint-Benoît affiche des valeurs de pluviométrie importantes. Les précipitations moyennes annuelles dans le secteur de Saint-Benoît peuvent dépasser les 7 000 mm par endroits (Takamaka) (Atlas climatique de la Réunion, Météo France 2000, cf. Figure 2).

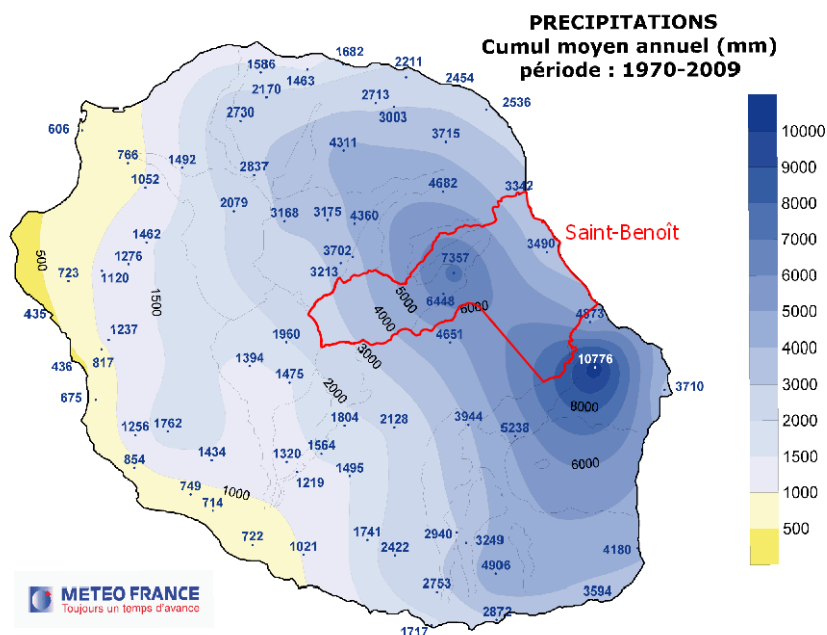


Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (cf. Figure 3), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Saint-Benoît est principalement concernée par les régions 4, 5 et 7 :

- La région 4 correspond à la zone qui s’étend du Piton des Neiges au Piton de la Fournaise, intégrant la Plaine-des-Cafres, la Plaine-des-Palmistes et le plateau de Bébour / Belouve. C’est l’une des parties les plus arrosées de l’île.
- La région 5 qui regroupe les parties Nord et Est de l’île, de Sainte-Suzanne à Saint-Benoît, est très humide tout le long de l’année mais plus particulièrement lors de la saison des pluies, de novembre à avril.
- La partie 7, située dans l’Est de l’île, est la côte « au vent », elle s’étend de Saint-Benoît à Saint-Philippe. C’est la partie la plus arrosée de l’île.

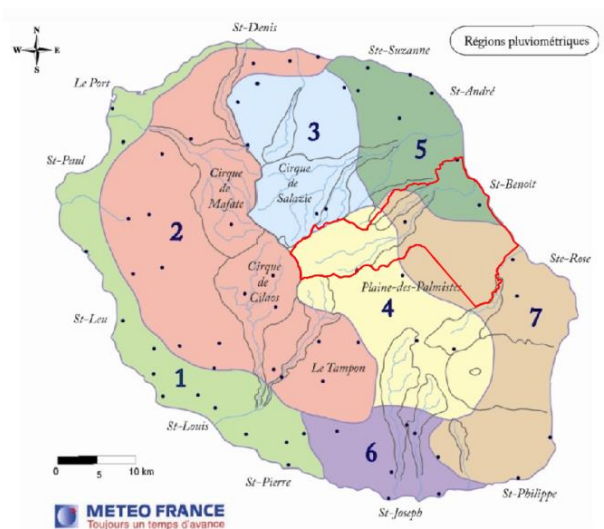


Figure 3 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, quatre stations sont ou ont été installées et suivies sur le territoire de Saint-Benoît. Toutefois, aucune n'étant située au-dessus de 1000 m, nous intégrons la station de Bélouve située sur la commune de Salazie pour pallier ce manque. La station de la Rivière de l'Est est aussi intégrée pour combler le vide de données pour la partie Est de la commune.

Ainsi, les données pluviométriques, suivies par Météo France, permettent de caractériser la pluviométrie sur le territoire communal (figure 4). Il s'agit notamment des stations météorologiques suivantes :

- Bélouve (commune de Salazie, altitude : 1500 m, installée en 1955) ;
- Takamaka (commune de Saint-Benoît, altitude : 660 m, installée en 1971) ;
- Beauvallon (commune de Saint-Benoît, altitude : 16 m installée en 1952) ;
- Saint-Benoît (commune de Saint-Benoît, altitude : 43 m, installée en 1952) ;
- Chemin-Ceinture (commune de Saint-Benoît, altitude : 255 m, installée en 2003) ;
- Rivière de l'Est CIRAD (commune de Sainte-Rose, altitude : 144 m, installée en 1953).

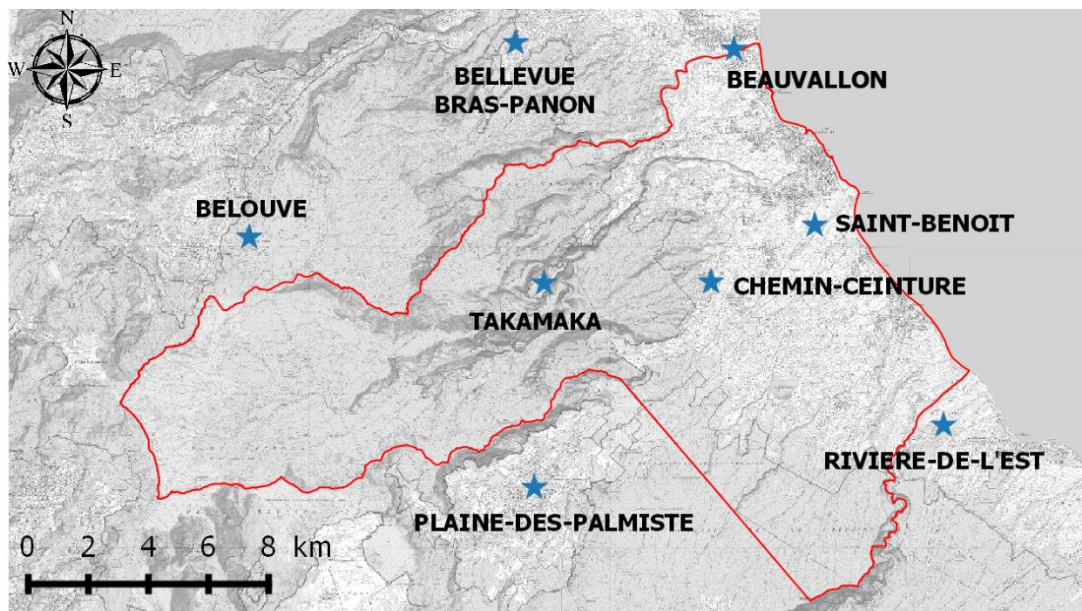


Figure 4 : Localisation des stations météo au sein et à proximité de Saint-Benoît (©IGN Scan25® – 2010)

Le GEDC (Guide d'Estimation des Débits de Crues de la Réunion de 1992), propose, à partir d'une analyse statistique, des valeurs de pluies journalières décennales et centennales pour les stations suivies avec respectivement plus de 10 et 25 ans de mesures au début des années 1990.

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

Nom station	Altitude	Pluie Journalière Décennale (PJ ₁₀ en mm)	Pluie Journalière Centennale (PJ ₁₀₀ en mm = 1.6* PJ ₁₀)
Bélouve	1500	835	1336
Takamaka	660	831	1329
Beauvallon	16	308	492
Saint-Benoît	43	335	536
Chemin-Ceinture	255	Station installée en 2003	Station installée en 2003
Rivière-de-l'Est	144	419	670

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

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

Station	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
Bélouve	175.2	60.2	14.3	7.4	1688.2	28/02/1964
Takamaka	239.3	128.2	38.3	15.5	1173	04/02/1998
Beauvallon	192.2	78.2	14.6	4.6	730	14/02/1993
Saint-Benoît	195.8	83.3	15.7	4.6	894.4	14/02/1993
Chemin-Ceinture*	-	-	-	-	391.6	30/01/2011
Rivière-de-l'Est	218.2	108.9	23.5	8	589.8	26/04/1978

Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jour entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2013 – Météo France). * : station installée en 2003 : information non disponible pour la période

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

Année	Précipitations journalières maximales en mm	Précipitations annuelles cumulées en mm	Nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières dépassent 50 mm	Évènement climatique
2001	330	5519.5	28	Cyclone tropical (ANDO)
2002	552.8	8536.8	44	Cyclone tropical intense (DINA)
2003	350	7812.5	43	Cyclone tropical intense (HAPE)
2004	641.5	5190.8	38	Fort épisode pluvieux de décembre
2005	424.1	6846.5	28	Cyclone tropical très intense (ALVIN)
2006	1058.1	7309	25	Forte tempête tropicale (DIWA)
2007	473.9	7255	32	Cyclone tropical (GAMEDE)
2008	485.6	8247.3	38	Cyclone tropical très intense (HONDO)
2009	281.4	6177.3	37	Fort épisode pluvieux d'avril (JADE)
2010	507.9	7047.3	36	Fort épisode pluvieux de janvier
2011	569.1	6722.7	36	Fort épisode pluvieux de janvier
2012	398.6	7481.7	36	Fort épisode pluvieux de mars

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 2001 à 2012 observés sur la station de Takamaka.

Les précipitations journalières maximales représentent en moyenne 4 à 14 % du cumul annuel, ce qui montre l'impact significatif des événements climatiques lors de saisons « sèches » et l'impact modéré lors de saison « humides » dans un secteur où les précipitations sont régulières (240 jours par an avec une précipitation journalière d'au moins 1 mm).

Au-delà d'un seuil de l'ordre de 50 mm de précipitations journalières il peut être estimé que le sol a atteint sa capacité limite d'infiltration, provoquant ainsi le phénomène de ruissellement. De 2001 à 2012, les précipitations enregistrées à la station de Takamaka ont ainsi provoqué des ruissellements en moyenne 35 jours dans l'année. Ces ordres de grandeurs sont toutefois à prendre avec précaution selon la nature du sol qui peut influencer significativement les conditions de ruissellement (imperméabilisation anthropique, nature des formations en place).

Pour conclure sur le contexte climatique, l'analyse des données de pluies confirme la variation spatiale et temporelle des pluies notamment entre les hauts du territoire de Saint-Benoît et le littoral (rapport de 2 approximativement sur le cumul annuel), mais montre également une forte pluviométrie à l'échelle de tout le territoire communal avec des pluies fréquentes tout au long de l'année (près de 200 jours de pluie par an à la station de Saint-Benoît située dans le centre-ville (43 m d'altitude) par exemple).

Les précipitations peuvent également être très localisées, avec des cumuls journaliers pouvant atteindre des valeurs extrêmement très fortes (plus de 1000 mm par jour), notamment lors du passage d'événements cycloniques qui conditionnent, ces années-là, les cumuls annuels.

Les précipitations intenses ont des conséquences sur les possibilités d'occurrence des phénomènes, non seulement d'inondations, mais également de mouvements de terrain, qui se produisent principalement durant les mois de janvier à mars, correspondant à la période des pluies (période cyclonique). Les phénomènes climatiques extrêmes (cyclones majeurs à temps de retour décennal), au cours desquels les équilibres naturels sont poussés à leur limite, sont par ailleurs à l'origine du déclenchement de nombreux mouvements de terrain (statistiquement – sur une centaine d'années – l'île de la Réunion est concernée par un cyclone tous les deux ans).

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

3.1.4. Réseau hydrographique

Sur la commune de Saint-Benoît, le réseau hydrographique est très développé avec quatre rivières principales, dont deux qui délimitent le territoire communal (la Rivière des Roches et la Rivière de l'Est) et deux autres traversant le territoire communal (la Rivière des Marsouins et la Ravine Sèche). Les autres ravines sont des cours d'eau temporaires et de moindre envergure en terme de débit de crue, qui n'entrent en fonctionnement qu'en cas de fortes pluies. Elles prennent leurs sources principalement dans les hauts de la commune (sur le plateau de Bébou/Bélouve et vers la Plaine-des-Palmistes) et s'écoulent vers l'océan en traversant Saint-Benoît, Sainte-Anne et Petit Saint-Pierre.

On note la présence de pentes quasi nulles au niveau de la frange littorale avec des encaissements de ravines peu marqués et inversement de forts encaissements dans les hauts, notamment dans le massif du Piton des Neiges (secteur de Takamaka).

Les bassins versants sont de formes allongées sur toute la zone d'étude. Ceci génère des ruissellements rapides et conséquents en cas de fortes pluies, et tend à rendre les phénomènes de crues encore plus intenses.

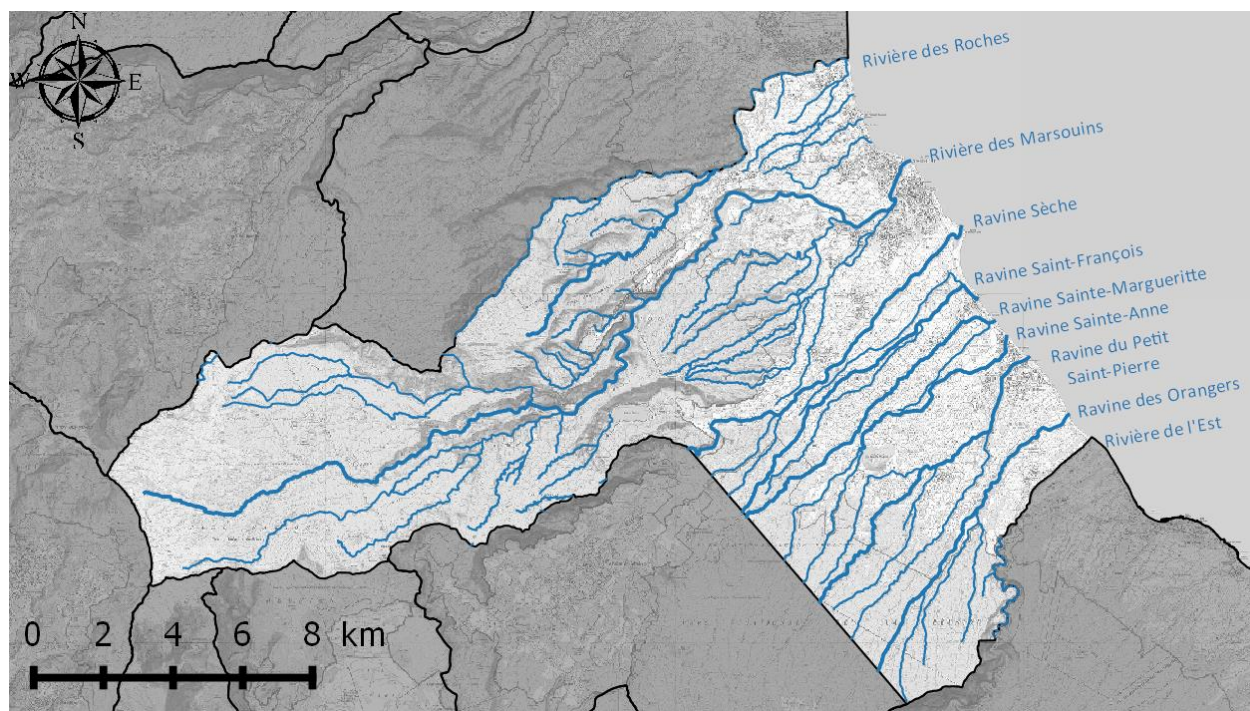


Figure 5 : Réseau hydrographique de Saint-Benoît (source : BDtopo2014®, fond ©IGN scan25® - 2010)

Dans le cadre de l'élaboration de la cartographie de l'aléa inondation sur la commune de Saint-Benoît, la DEAL a sollicité le bureau d'études ARTELIA qui a notamment établi un état des lieux des données disponibles ainsi qu'une analyse hydrologique afin d'évaluer les débits de crue des différents cours d'eau (cf. rapports d'ARTELIA fournis en annexe 4 du dossier PPR).

Les débits de référence pour des occurrences décennale et centennale pour les principaux cours d'eau traversant Saint-Benoît sont les suivants (estimations BRGM et/ou ARTELIA) :

- la **Rivière des Roches**, matérialisant la limite communale avec Bras-Panon et présentant 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 des Marsouins** et ses affluents drainent un bassin versant de 110 km². Elle détient le débit de crue centennale le plus fort de la commune avec 1109 m³/s à l'exutoire en crue décennale et de **2472 m³/s** en crue centennale ;
- la **Ravine Sèche** est très encaissée tout au long de son parcours. Son débit caractéristique de crue centennale atteint à l'exutoire **2055 m³/s**. Elle draine un bassin versant de 63,1 km² ;
- la **Ravine Saint-François** draine un bassin versant de 16,6 km². Son débit pour une crue d'occurrence centennale est de **406 m³/s** ;
- la **Ravine Sainte-Marguerite** présente un débit pour une crue d'occurrence centennale à l'exutoire de **199 m³/s** ;
- la **Ravine Sainte-Anne** ainsi que ses affluents drainent un bassin versant de 20,3 km² et affectent le bourg de Sainte-Anne. Le débit de crue pour une occurrence centennale, à l'exutoire, a été estimé à environ **500 m³/s**. Son bassin versant est de 12,5 km² ;

- la **Ravine du Petit Saint-Pierre** est l'une des plus importantes de la commune de par la taille de son bassin versant (30,1 km²) et son débit de crue pour une occurrence centennale (**711 m³/s**) ;
- la **Ravine des Orangers** présente un débit pour une crue d'occurrence centennale à l'exutoire de **389 m³/s**.

Nom du cours d'eau	Surface du bassin versant (km ²)	Débit pour la crue décennale (m ³ /s)	Débit pour la crue centennale (m ³ /s)
Rivière des Roches	61.7	930	2000
Rivière des Marsouins	110	1109	2472
Ravine Sèche	63.12	954	2055
Ravine Saint-François	16.65	187	406
Ravine Sainte-Marguerite	8.31	96	199
Ravine Sainte-Anne	20.35	232	499
Ravine du Petit Saint-Pierre	30.12	323	711
Ravine des Orangers	30.22	171	389

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données hydrographiques (source : PPRI de la commune de Saint Benoît, mai 2014, ©ARTELIA)

L'analyse des débits de crue estimés par ARTELIA pour les principales ravines et cours d'eau du territoire de Saint-Benoît a permis de définir les valeurs de débit spécifique en fonction des gammes de surfaces de bassin versant. Cette approche permet ensuite de rapidement définir un ordre de grandeur du débit d'un bassin versant à partir uniquement de sa surface.

Surface de bassin versant	Débit spécifique décennal (m ³ /s/km ²)	Débit spécifique centennal (m ³ /s/km ²)
S > 2000 ha	15	30
200 ha > S > 2000	20	40
50 ha > S > 200	25	50
15 ha > S > 50	30	60
S < 15 ha	35	70

Tableau 6 : Valeur de débit spécifique en fonction de la surface des bassins versant sur le territoire communal de Saint-Benoît (source : PPRI de la commune de Saint Benoît, mai 2014, ©ARTELIA)

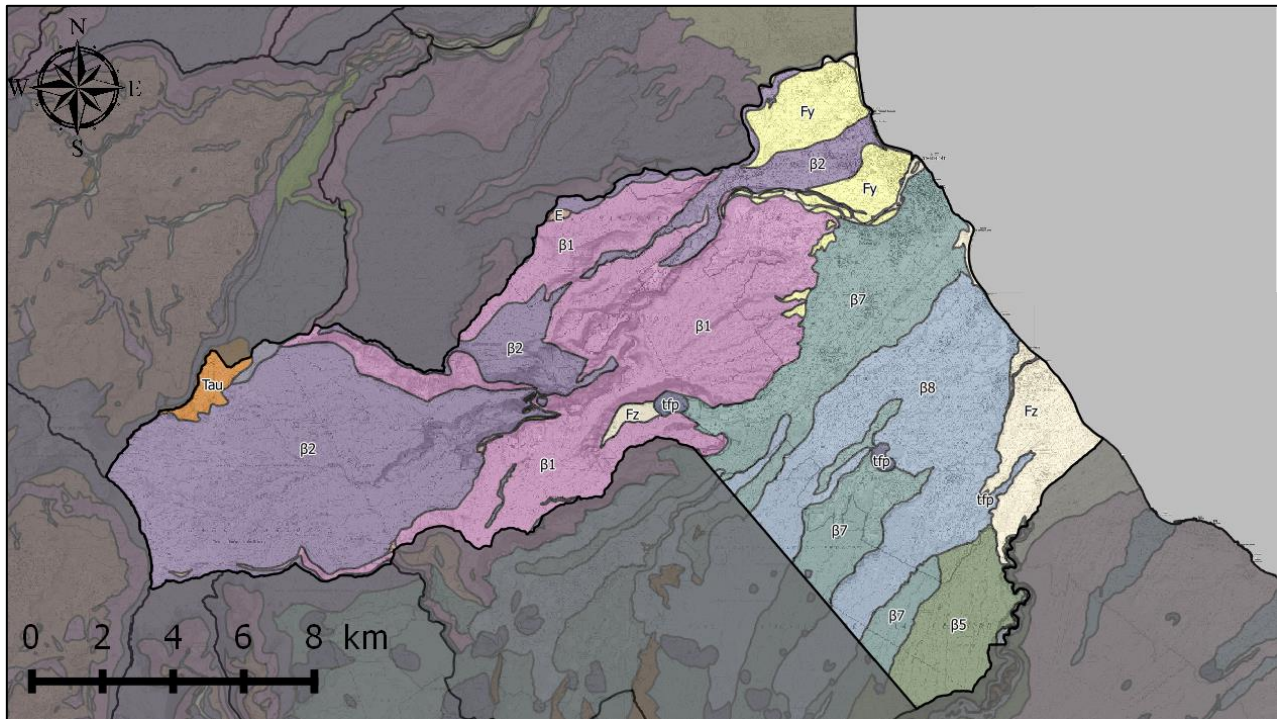
La dynamique de ces cours d'eau est caractérisée par un transport solide important par charriage qui dans certains cas peut accentuer les risques d'inondation.

3.1.5. Contexte géologique

Le territoire communal de Saint-Benoît se situe à la jonction des massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise au niveau de la façade est de La Réunion. Le Piton des Neiges a été caractérisé 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 (projections volcaniques émises lors d'une activité explosive du volcan) ont été soumises à l'érosion.

Des vallées se sont formées, des reliefs se sont individualisés. Des dépôts alluvionnaires et des brèches de pente, de remaniement, ont comblé les dépressions. Lors de la reprise de l'activité volcanique, des coulées de lave se sont épanchées sur les flancs du massif volcanique en empruntant d'abord les vallées. C'est ce qui explique la formation du plateau de Bébour/Bélouve. Ces activités sont représentées sur l'extrait cartographique ci-dessous par les phases Béta 1 et 2.

Le Piton de la Fournaise a quant à lui commencé son édification il y a environ 450 000 ans. Les laves du volcan sont essentiellement composées par des basaltes riches à olivine. Le volcan de la Fournaise se construit en permanence grâce à ses laves effusives qui se répandent sur les flancs du volcan de manière conique. Néanmoins, depuis son édification, sa morphologie évolue avec une érosion permanente, mais aussi suite à des événements brutaux allant du simple écroulement de falaise (Mahavel 1965, Rivière de l'Est en juillet 2009) jusqu'au glissement d'une partie de l'édifice volcanique vers la mer. Au droit du territoire communal de Saint-Benoît, les formations volcaniques issues du massif du Piton de la Fournaise sont pour la plupart récentes (< 5000 ans, < 65 000 ans), notamment suite aux éruptions du Piton Armand ou d'autres pitons adventifs situés plus en amont.



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)

Massif du Piton de la Fournaise

- Coulée basaltiques (Béta4)
- Coulées basaltiques (Béta5)
- Coulées basaltiques (Béta7)
- Coulées basaltiques (Béta 8)
- Pitons et projections (tfp)

Formations Superficielles

Dépôts alluviaux

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

Figure 6 : Extrait de la carte géologique au 1/100 000 de la commune de Saint-Benoît
(source : ©BRGM, fond ©IGN scan25® - 2006)

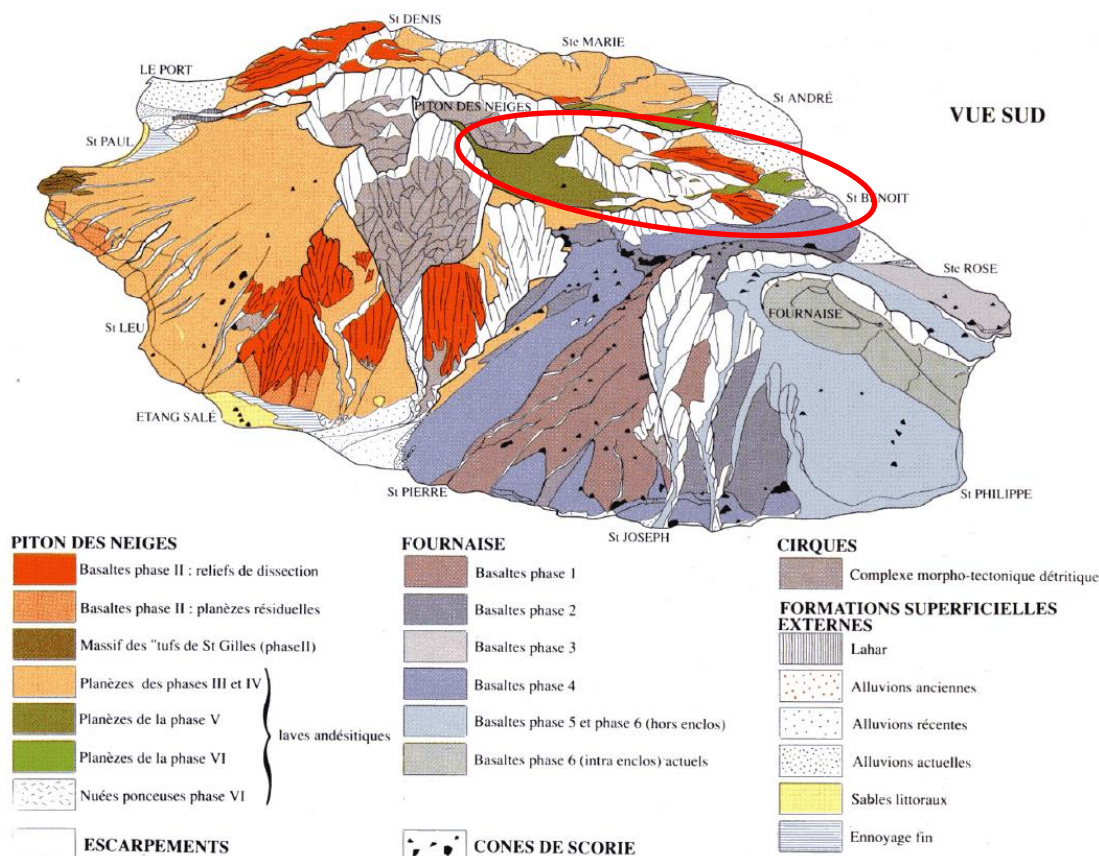


Figure 7 : Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991)

Les formations volcaniques

Les séries anciennes : Coulées basaltiques à olivine (Bêta1)

En se référant à la carte géologique à l'échelle du 1/50 000 (Billard, 1975), au niveau de l'encaissement de la rivière des Marsouins affleurent des terrains relativement anciens plus ou moins altérés (altération climatique et hydrothermale), issus de la phase II d'activité du Piton des Neiges (entre 2,1 et 0,43 millions d'années). Ces coulées basaltiques à olivine constituent la série des océanites du Piton des Neiges. L'altération hydrothermale s'est traduite par l'apparition de minéraux secondaires (zéolites, en particulier). La transformation poussée des laves liées à cette altération (argilisation) leur confèrent une perméabilité faible.

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

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

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

Les séries récentes : Coulées basaltiques à feldspath et andésiques (Bêta2)

Les formations les plus récentes sont issues de la phase III et IV (entre 350 000 et 70 000 ans) de l'activité du massif du Piton des Neiges. La phase III est caractérisée par des coulées de lave à phénocristaux de feldspath et leurs produits d'altération et de remaniement. Ces coulées sont des leuco-basaltes et des andésites alcalines (hawaïtes, mugéarites). Elles se présentent généralement sous forme d'empilement de bancs compacts de laves d'épaisseur métrique à décimétrique et de bancs de scories d'épaisseur métrique. Ce faciès est également connu à la Réunion sous le nom de roche pintade. Des coulées basaltiques et andésitiques (hawaïtes, mugéarites), constituées par des éléments rocheux divers (ponce noire, lave aphyriques ou à phénocristaux de feldspath et d'olivine) plus ou moins abondants de taille millimétrique à centimétrique, parfois décimétrique, fortement cimentés par des produits cendreaux. Elles résultent de la phase IV de l'activité du Piton des Neiges.

Lors de son activité explosive des coulées trachytique d'épaisseur décimétriques se sont déposées, notamment au niveau du plateau de Bélouve (Tau), au sommet du Cap Anglais et témoignent de cette activité sur la commune de Saint-Benoît (datées de 70 000 à 100 000 ans d'après Kluska, 1997). Lorsque les dépôts de cendres sont épais et mis en place à haute température, ils sont souvent très indurés et prennent le nom d'ignimbrites. Ce sont les coulées ignimbritiques (Pc) visibles en amont de la rivière des Marsouins (rive gauche du Bras Cabot).

- **Les séries récentes : Coulées basaltiques du massif du Piton de la Fournaise (Béta 4 à Béta 8)**

La classification des coulées basaltiques Béta 4 à Béta 8 de la carte géologique (cf. Figure 6) marquent différentes phases d'activité du volcan séparées par des périodes de « calme » où l'érosion et l'altération sont prédominantes :

- Les coulées basaltiques de la série du bouclier ancien du Piton de La Fournaise (Béta4, 450 000 à 150 000 ans)
- Les coulées basaltiques de la série des Remparts du Piton de La Fournaise (Béta5, 150 000 à 65 000 ans)
- Les coulées basaltiques de la série de la Plaine des Cafres du Piton de La Fournaise (Béta7, 65 000 à 5000 ans)
- Les coulées basaltiques de la série subactuelle du Piton de La Fournaise (Béta8, < 5000 ans)

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

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

Les formations tardives

- **Tufs en épandage (tf)**

Au Sud-Ouest de la commune, dans la continuité des coulées trachytiques observées au sommet du Cap Anglais, affleurent des formations pyroclastiques d'une épaisseur importante (plusieurs décimètres parfois). Ces tufs pyroclastiques sont issus de la phase IV (entre 230 000 et 70 000 ans) de l'activité du massif du Piton des Neiges. Ces formations sont constituées par des éléments rocheux divers (ponce noire souvent dominante, basaltes à olivine, laves aphyriques ou à

phénocristaux de feldspath, trachyte, roche grenue) plus ou moins abondants, de taille millimétrique à centimétrique, parfois décimétrique, fortement cimentés par des produits cendreux. Des bombes de lave vitreuse sombre se rencontrent parfois au sein de ces terrains.

Pitons et projections (tfp)

Les deux principaux pitons présent sur le territoire communal sont le Piton-Armand (ou de Sainte-Anne) et le Piton de l'Étang. À proximité des pitons, on retrouve souvent des projections pyroclastiques telles que des cônes de scories basaltiques et des cendres (lapilli).

Les formations superficielles

Sur le territoire de la commune de Saint-Benoît, des formations superficielles sont également présentes. Mais la majorité des terrains rencontrés est en place et correspond à des formations altérées du substratum volcanique. On distingue parmi les différentes formations superficielles :

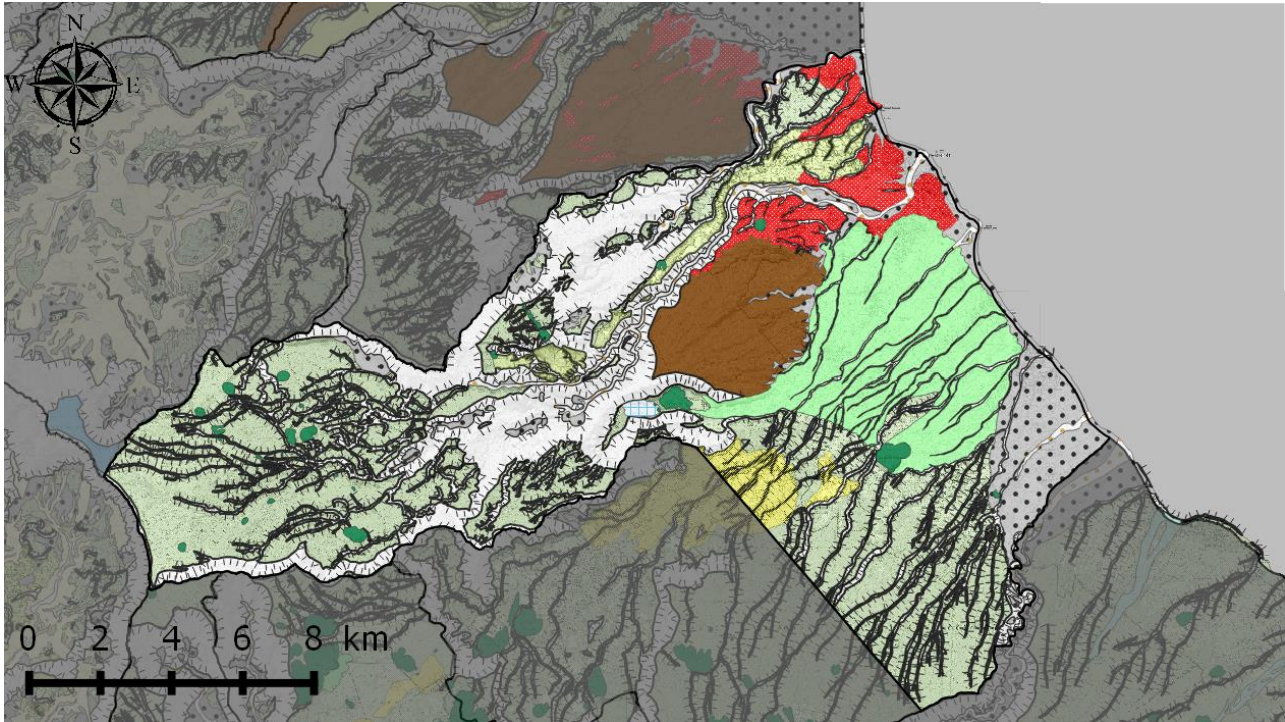
- des alluvions récentes (Fz). On les trouve à l'exutoire des principales rivières débouchant sur le littoral, notamment de la Rivière des Roches, la Rivière de l'Est ou encore de la Rivière des Marsouins. Il s'agit d'un mélange hétérogène de sables fins à grossiers, de graviers, de galets et de blocs basaltiques et andésitiques pouvant atteindre le m³. Sur la frange littorale, on distingue les alluvions marines, caractérisées par un remaniement (forme arrondie) important ;
- des alluvions anciennes (Fy). Elles présentent une grande extension au débouché des principales rivières (Rivière de l'Est principalement). L'épaisseur de ces terrains peut varier de quelques mètres à plus de 100 mètres. On les trouve sous forme de terrasses perchées ou de remplissage d'anciens chenaux ou alors sous forme de couches d'épaisseur métrique à décamétrique interstratifiées dans les formations volcaniques ;
- des dépôts de glissement en masse, coulées de débris, éboulis (E). On les rencontre dans toute l'île, sur les pentes ou à la base des escarpements. Ils sont généralement constitués par un mélange hétérogène d'éléments fins et d'éléments grossiers de taille décimétrique à métrique.

Les sols

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

D'après la Figure 8, quatre grands ensembles se distinguent sur le territoire communal de Saint Benoît :

- des sols bruns ferrugineux caillouteux et des sols bruns peu épais associés à des affleurements blocailleux entre 100 et 400 m d'altitude, et épais sur cendres associés à quelques ressauts rocheux entre 500 et 700 m ;
- des cônes volcaniques ou pitons détaillés précédemment ;
- des andosols désaturés ou vitriques, généralement très caillouteux, dont l'épaisseur est relativement faible, entre 700 et 2 500 m d'altitude ;
- des pavages de blocaille sur couche litée de cendres et de lapilli, à des altitudes supérieures à 2 500m et des cônes volcaniques de la phase IV du Piton des Neiges.

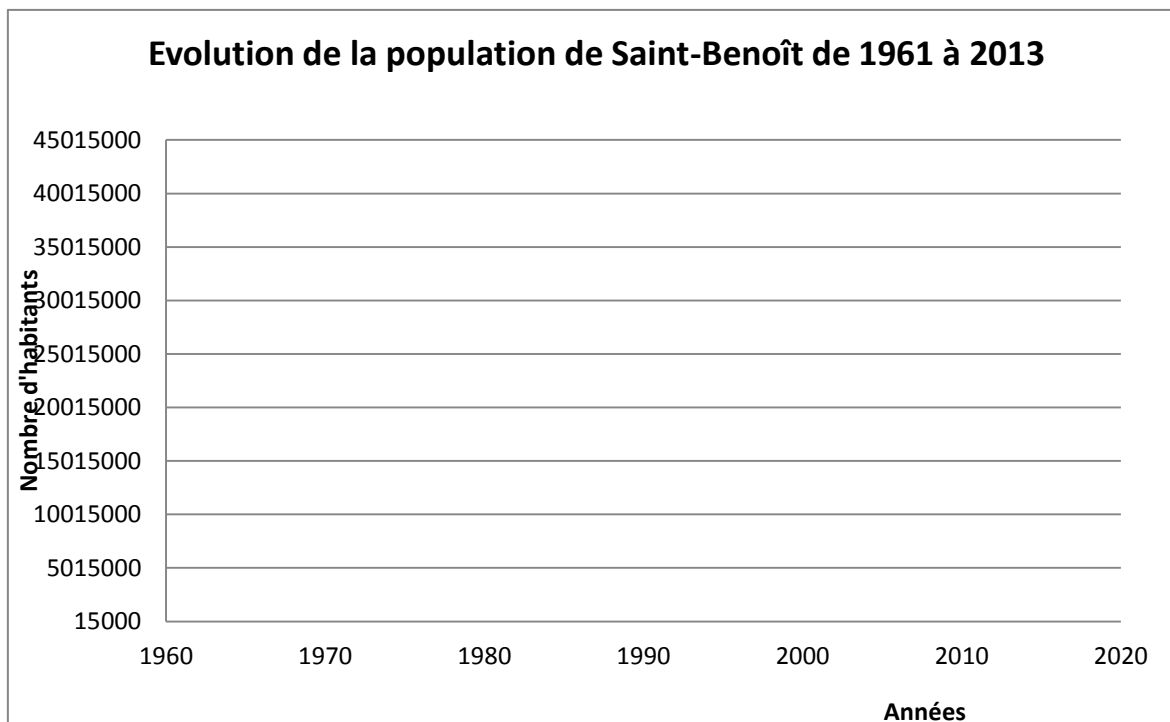


-  ESCARPEMENTS
-  SABLE
-  SOLS FERRALITIQUES
-  SOLS PEU EPAIS OU PEU EVOLUES
-  SOLS HYDROMORPHES
-  SOLS HETEROGENES
-  ANDOSOLS
-  SOLS BRUNS
-  CONES VOLCANIQUES
-  GRATONS
-  DALLE

Figure 8 : Carte morpho-pedologique à l'échelle du 1/50 000
(source : ©CIRAD (Raunet, 1991), fond ©IGN scan100® - 2010)

3.2. ENJEUX ET VULNÉRABILITÉ

Évaluée à 16 783 personnes en 1961, la population de Saint-Benoît a connu depuis une régulière et franche augmentation, s'établissant selon l'estimation de l'I.N.S.E.E. à environ 36 433 en 2013 (soit un accroissement démographique de près de 117 % en près de 50 ans (Tableau 7).



Année	1961	1967	1974	1982	1990	1999	2006	2011	2012	2013
Population	16783	19492	21658	23541	26187	31560	33187	35733	36025	36433
Densité moyenne (hab./km ²)	73.1	84.9	94.3	102.5	114	137.4	144.5	155.6	156.9	158.7

Tableau 7 : Evolution de la population de Saint-Benoît (source : ©I.N.S.E.E.)

La densité démographique lors du recensement de 2013 était de 158.7 hab./km² (contre 332 hab./km² sur l'ensemble de l'île de La Réunion).

La commune de Saint-Benoît se divise en plusieurs secteurs qui semblent s'organiser de façon rectiligne le long des axes routiers majeurs :

- le principal secteur urbain se développe en bordure de la RN2, le long du littoral et comprend le centre-ville de Saint-Benoît, les quartiers de Beaufonds, de Bourbier et de Beauvallon ainsi que la zone urbanisée de l'Est, de Saint-François, de Sainte-Anne et du Petit Saint-Pierre.
- les écarts habités, plus ou moins urbanisés le long des différents axes de communications majeurs, avec notamment :

- les secteurs de l'Abondance et de Bourbier les Hauts (RD53) en direction de Takamaka ;
- les secteurs de Bras-Fusil, de Bras-Canot et Bras-Madeleine (RD54) en direction du lieu-dit le Cratère ;
- les secteurs de la Confiance, des Jacques et de Chemin-Ceinture (N3) en direction de la Plaine-des-Palmistes ;
- les secteurs de Chemin-Morange et de Morange le long de la RD56 en direction de la RD3 ;
- les secteurs de Cambourg et des Chicots le long de la RD3.

Le parc de logement s'établissait en 2012 à 12 381 unités (constitué à 90,9 % de résidences principales), contre seulement 6 435 à la fin des années 1990, illustrant un développement de l'urbanisation significatif et une pression foncière existante sur la commune de Saint-Benoît.

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

- les services de sécurité et de secours (gendarmerie, caserne de pompiers, cliniques et hôpitaux) ;
- les espaces communaux, les Z.A.C., les zones d'insalubrité (R.H.I.) ;
- les voies de circulation (RN2, RN3, RN2002, RD3, RD53, RD54, RD56) ;
- le réseau d'adduction d'eau potable (captages, stations de traitement) ;
- les établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées) ;
- les bâtiments administratifs (mairie principale et mairies annexes) ;
- les autres établissements recevant du public (crèche, bibliothèque, équipements sportifs) ;
- les zones agricoles et naturelles.

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

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

4. Historicité et caractérisation des phénomènes naturels

4.1. PHÉNOMÈNES HISTORIQUES

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

1858

En janvier 1858, le Pont Lacroix a été détruit par une crue.

Procès-Verbal

1875

En décembre 1875, lors d'un cyclone, le débordement de la rivière des Marsouins entraîne destruction du Pont de la Marine du Bourbier.

Rapport de la Gendarmerie

1878

En janvier 1878, lors d'un cyclone, 10 habitations sont emportées dans l'îlet Bethléem par la rivière des Marsouins, faisant plusieurs morts et beaucoup de dégâts.

Rapport de la Gendarmerie

1904

En mars 1904, à la suite d'un cyclone, plus de 200 familles voient leurs habitations détruites.

Lettre du maire de Saint-Benoît au gouverneur

1962

Le village dit des « galets » de la ravine Saint-François a complètement disparu. Les inondations ont provoquées la mort de huit personnes.

Le JIR

1980

Le passage du cyclone Hyacinthe provoque des inondations impactant chaussées et bâtiments. Plusieurs radiers sont impactés.

Le Quotidien

1987

L'îlet coco est isolé. Le tablier en acier ainsi que la passerelle en acier du pont de la rivière des Marsouins ont été emportés.

Le JIR

1993

Suite aux inondations, une route est emportée à Sainte-Anne, 350 personnes sont évacuées et le pont de la rivière des Roches menace de s'effondrer.

Le Quotidien

1998

Suite aux fortes pluies, les radiers d'îlet à Coco sont submergés. De plus la rivière des Marsouins est sortie de son lit au niveau de la maternité. Des populations sont évacuées.

Le JIR

2003

- Chute de blocs de 80 m³ au niveau de la RD3 au PR40+545 ;
- Plusieurs chutes de blocs impactant la RD53, dont un éboulement de 10 m³ au niveau du PR14.

BDMVT (<http://www.georisques.gouv.fr/>)

2004

- Éboulement de 18 m³ suite à de fortes pluies au niveau de la RD53, PR11+160 ;
- Glissement de plusieurs m³ suite à de fortes pluies au niveau de la RD53, PR13+950 ;
- Plusieurs radiers sont submergés du fait des inondations.

BDMVT (<http://www.georisques.gouv.fr/>)

2005

- Glissement de 2 m³ suite à de fortes pluies au niveau de la RD53, PR7+600 ;
- Des habitations sont inondées à Sainte-Anne et Petit-Saint-Pierre.

BDMVT (<http://www.georisques.gouv.fr/>), le JIR

2006

- Érosion des berges de la Rivière-des-Marsouins. Plusieurs habitations sont menacées. « En quinze ans, plus de 6000 m³ de terres ont ainsi été emportés par les crues » ;
- Éboulis à Takamaka au niveau du douzième kilomètre du RD53 ; La route a été complètement coupée à la circulation ;
- Inondation de l'école primaire de Beaulieu.

Le Quotidien, Le JIR

2009

- Éboulement de 150 000 m³ au niveau de la rivière de l'Est à l'aval de la prise des Orgues (commune de Sainte-Rose) créant un embâcle, impactant la rivière en aval. Fermeture temporaire des accès aux rives par crainte de rupture du barrage formé par l'éboulis ;
- Chutes de blocs de 2 m³ d'une falaise au bord de la RN2, PR 55+250.

BDMVT (<http://www.georisques.gouv.fr/>), JIR

2015

Un volume global éboulé de l'ordre de 20 à 30 m³ suite à de fortes pluies le 31 décembre 2015 au niveau du chemin de l'îlet Danclas.

BRGM/RP-65693-FR

2016

- Éboulement en masse de 2 000 m³ environ, survenu au cours de l'année 2016 (date précise non connue) en rive droite de la Rivière de l'Est (commune de Sainte-Rose) en aval immédiat du pont suspendu.

Observations BRGM

- Éboulement en masse survenu de plusieurs milliers de m³ en août 2016 au niveau de la Cascade de Bras Cabot.

Observations BRGM

4.2. ARRÊTÉS DE CATASTROPHES NATURELS

Depuis 1993, 10 arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune. Le tableau ci-après en présente la liste :

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	18/01/1993	20/01/1993	18/05/1993	12/06/1993
Inondations et coulées de boue	12/02/1993	14/01/1993	14/06/1994	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	14/06/1993	27/06/1993
Inondations et coulées de boue	10/02/1994	12/02/1994	12/04/1994	23/04/1994
Inondations et coulées de boue	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	23/03/2002	08/04/2002	18/04/2002
Inondations et coulées de boue	16/02/2005	18/05/2005	02/08/2005	10/08/2005
Inondations et Chocs mécaniques liés à l'action des vagues	24/02/2007	28/02/2007	23/03/2007	10/03/2007

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

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

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

Tableau 9 : Liste des cyclones notables selon Météo-France

4.3. CARACTÉRISATION DES PHÉNOMÈNES 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 phénomène sont ceux retenus dans le guide méthodologique d'élaboration des PPR mouvements de terrain (M.A.T.E. et M.E.T.L., 1999).

Les types de mouvements de terrain recensés sur le territoire de la commune du Saint-Benoit sont :

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

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

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

Tableau 10 : Type de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain

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

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

- **les chutes de pierres** (volume inférieur à 1 dm³) **ou de blocs** : le volume mobilisé lors d'un épisode donné est limité à quelques dizaines de m³ ;
- **les éboulements en masse** : le volume total en jeu atteint jusqu'à 10 000 m³ ;
- **les écroulements ou éboulements en grande masse** : le volume total mobilisé est supérieur à 10 000 m³ et peut atteindre plusieurs dizaines de millions de m³. La terminologie « avalanche de débris », également utilisée, désigne la propagation d'une masse non cohérente de fragments rocheux, de volume global généralement relativement important.

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

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

- **individualisation de blocs** au sein d'une formation massive fracturée ou d'une formation hétérogène présentant une matrice à grain fin (cas typique au sein des altérites avec altération en « boules ») ;
- **présence de facteurs naturels** favorables à la mobilisation des blocs :
 - action mécanique de l'eau (pression hydrostatique dues à l'infiltration des eaux météoritiques dans les interstices ou les fissures du matériel rocheux) ;
 - présence éventuelle d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable, induisant des contrastes de compétence (intercalation de niveaux de gratons, alternance de niveaux basaltiques massifs et de produits pyroclastiques – scories,

endres – 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.

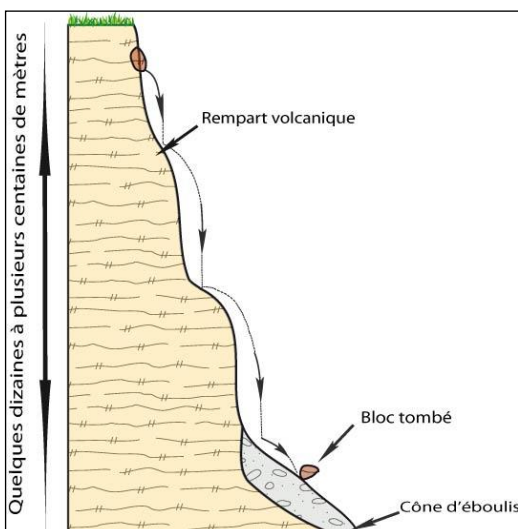


Figure 9 : Chute d'un bloc isolé

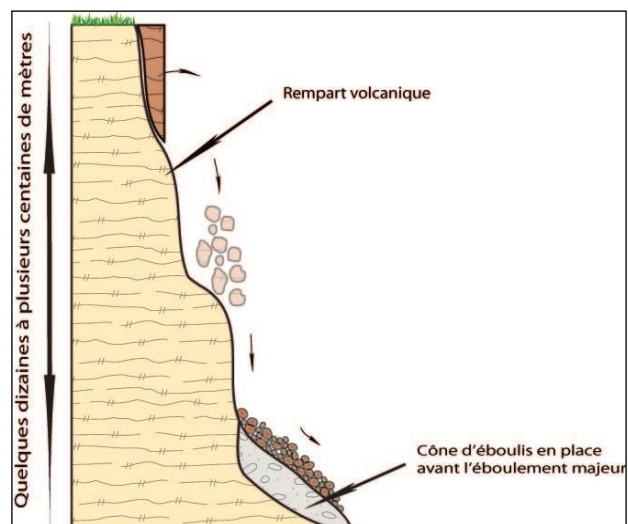


Figure 10 : Eboulement

Exemples de manifestations rencontrées :

- **Versants de ravines encaissées**

En décembre 2015, le chemin de l'ilet Danclas (route d'accès à l'ilet Coco), a subi un éboulement de 20 à 30 m³ (voir figure 11). L'instabilité a pris naissance au niveau de la crête du rempart, laissant apparaître une niche d'arrachement en surplomb et emportant quelques mètres en recul de la crête. L'éboulement a généré un cône d'éboulis constitué de blocs hétérométriques mélangés à des végétaux.



Figure 11 : Eboulement en rive droite de la Rivière des Marsouins vu depuis le Chemin Danclas (source : rapport BRGM/RP-65693-FR)

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

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

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

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

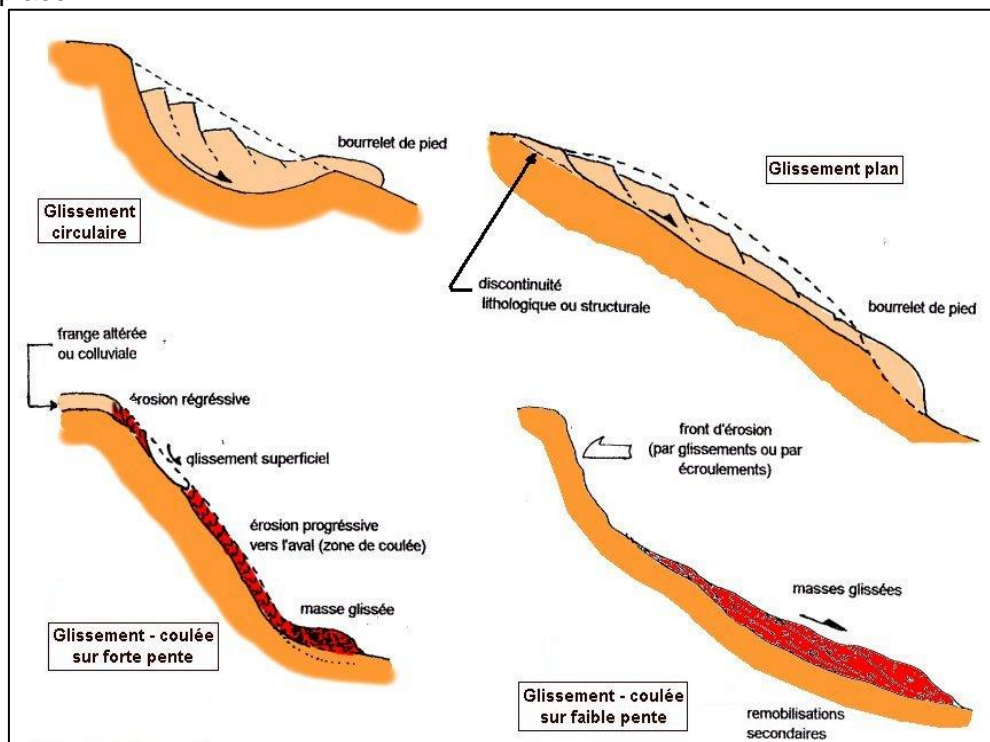


Figure 12 : Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, www.bdmvt.net)

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

Les principaux paramètres intervenant dans le mécanisme de glissement sont :

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

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

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

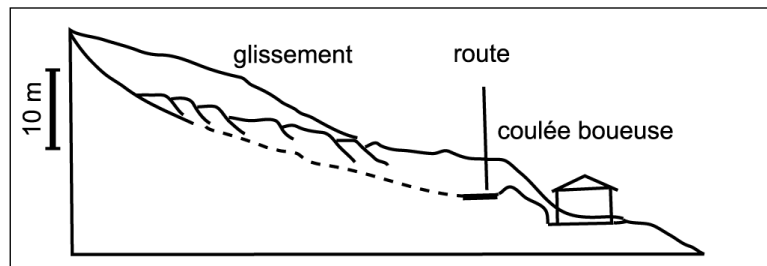


Figure 13 : Représentation schématique du glissement-coulée

Exemples de manifestations rencontrées :

Glissements au droit des versants de ravines

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

Le glissement de terrain (18 m³) qui s'est produit sur la RD53, sur la route de Takamaka au PR11+160, suite aux fortes pluies d'octobre 2004 illustre ce phénomène.

Phénomènes d'embâcle/débâcle

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

de crue, avec ou sans transport solide ou à une lave torrentielle dévastatrice : on parle alors de *débâcle*.

Ces phénomènes sont susceptibles d'entraîner la formation de **laves torrentielles**, dont le comportement est intermédiaire entre celui des glissements de terrain et des crues. La terminologie est à l'image des phénomènes, variée et complexe. Étant donné le caractère soudain et énergétique du phénomène, les effets des laves torrentielles sont potentiellement très destructeurs et meurtriers.

Sur le territoire de la commune de Saint-Benoît, les conditions pour que de tels phénomènes surviennent (précipitations abondantes, pentes généralement fortes, terrains meubles, éboulis stockés sur les pentes) peuvent être réunies. Au mois de juillet 2009, un éboulement de grande ampleur a eu lieu en amont de la Rivière de l'Est sur la commune de Sainte-Rose. Les 150 000 m³ de débris ont obstrué le lit de la rivière, empêchant l'écoulement et formant un barrage naturel et une retenue d'eau (voir figure 14). La débâcle associée menaçait la partie aval du lit.



Figure 14 : Embâcle et retenue d'eau observées en juillet 2009 suite à un éboulement dans le lit de la Rivière de l'Est (source : <http://www.georisques.gouv.fr/>).

4.3.3. Érosion et ravinement (E)

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

Les érosions de berge

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

- la force érosive de l'écoulement des eaux sapant le pied des rives et conduisant au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée qui assurait l'équilibre.
- l'incision du cours d'eau au fil du temps conduisant également à l'éboulement de la berge (par décompression gravitaire par exemple).

Les phénomènes d'érosion des berges sont présents dans la majorité des ravines de la commune. La vulnérabilité des berges à ce type de phénomène est principalement fonction :

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

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

L'exemple le plus marquant sur la commune de Saint Benoît est l'érosion des berges de la Rivière des Marsouins. En effet depuis plusieurs dizaines d'années, les riverains ont perdu plusieurs milliers de mètres carrés de terrain (cf. revue de presse en annexe 1 du dossier PPR). Pour illustrer ce phénomène, nous avons pris en exemple le recul de berge survenu soudainement le 22 janvier 2002 en rive gauche de la Rivière des Roches (voir figure 15).



Figure 15 : Phénomène d'érosion de berges au niveau de la Rivière des Roches sur la commune de Bras Panon (source : <http://www.georisques.gouv.fr/>).

Le ravinement

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

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

- la topographie ;
- l'intensité des précipitations ;
- la géologie (érodabilité des terrains en place) ;
- l'occupation du sol (notamment présence et densité du couvert végétal) ;

- la sensibilité à la battance. Elle est provoquée par les eaux de pluie qui, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en emportant des particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux excédentaires apparaît lorsque l'intensité des pluies est supérieure au pouvoir d'absorption du sol.

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

4.4. CARACTÉRISATION DES PHÉNOMÈNES D'INONDATION

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

Deux types de risque (pouvant se cumuler sur certaines zones) doivent être distingués sur le territoire de Saint Benoît :

- risque d'inondation lié au débordement des cours d'eau hors de leur lit ordinaire (lit mineur). Ces inondations, rapides, peuvent être accompagnées de phénomènes d'érosion et d'accumulation massive de matières solides. Suite à des pluies violentes ou durables, l'augmentation du débit des cours d'eau peut être telle que ceux-ci peuvent gonfler au point de déborder de leur lit mineur, pour envahir entièrement leur lit majeur. Les dégâts peuvent être très importants, et surtout, le risque de noyade existe (en particulier lors du franchissement de gués au moment de l'arrivée de l'onde de crue) ;
- risque d'inondation résultant du ruissellement des eaux pluviales sur les voies de communication et dans les terres agricoles, eaux issues de bassins naturels plus ou moins importants sans thalweg marqué. Il est à noter que, comme nous l'avons précisé en amont, le phénomène de ruissellement des eaux pluviales (communément appelé ruissellement urbain) n'est pas pris en compte dans la cartographie de l'aléa inondation, et que l'érosion des sols est intégrée directement à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain.

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

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

- la propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

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

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

Trois principaux critères permettent de caractériser un phénomène d'inondation :

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

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

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

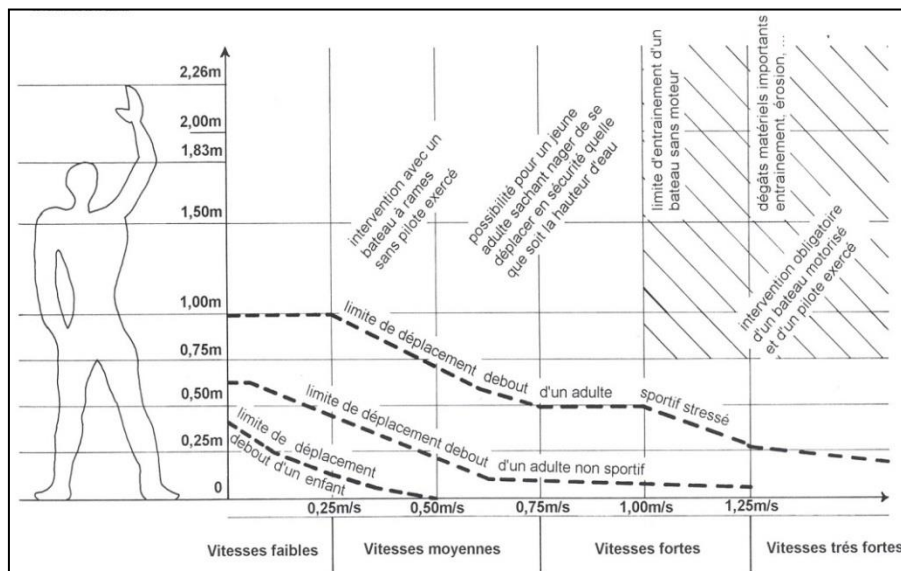


Figure 16 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)

5. Caractérisation et cartographie des aléas

5.1. DÉFINITIONS ET NOTIONS GÉNÉRALES

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

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

Une définition récente (Fell et al., 2008¹), spécifique à l'aléa mouvements de terrain mérite également d'être citée au regard notamment de la notion de dommage intégrée à la définition de l'aléa :

« Condition (ou circonstance) susceptible de provoquer des dommages. La description (ou caractérisation) de l'aléa mouvement de pente doit inclure la localisation, le volume (ou la surface), la classification, la vitesse du mouvement potentiel et sa probabilité d'occurrence dans une période de temps donnée. »

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'aléa ne peut être qu'estimé et son estimation est très complexe. Son évaluation fait appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude, aux connaissances sur le contexte géologique, aux caractéristiques des précipitations, etc., et à l'appréciation du chargé d'études. Pour limiter l'aspect subjectif, des critères de caractérisation des différents aléas ont été définis et sont explicités dans les paragraphes suivants.

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 Saint-Benoit, 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.

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

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**).

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

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

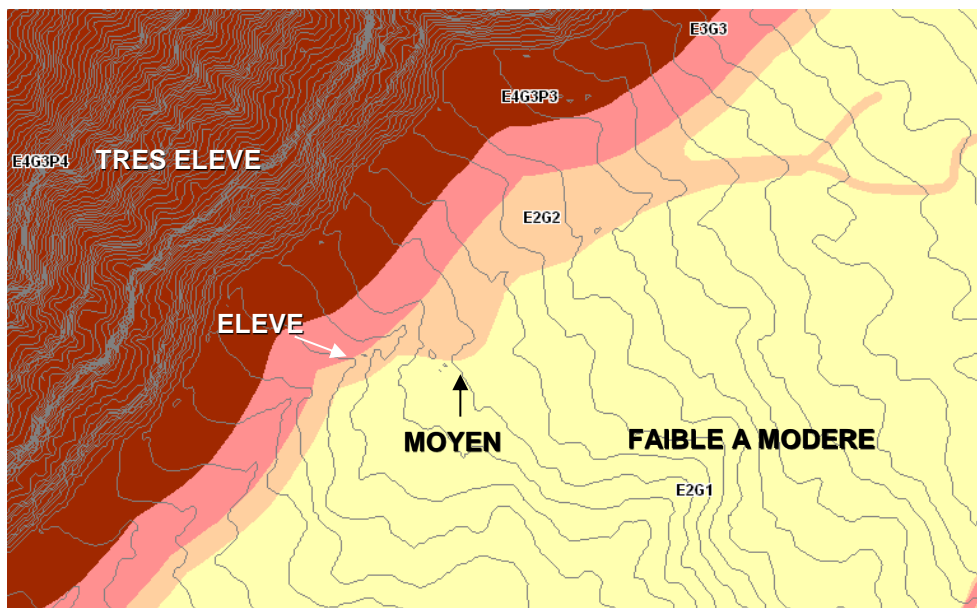


Figure 17 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa

5.2. ALÉA INONDATION

5.2.1. Méthode d'évaluation de révision de l'aléa

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

La cartographie de l'aléa inondation s'appuie sur le zonage du PPRi approuvé par l'arrêté préfectoral n°4172 du 15 décembre 2004.

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

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

- les outils topographiques précis : **Litto3D®** et **MNTR®** (2012), qui permettent d'apprécier finement les différents thalwegs et ravines du territoire communal. Le produit Litto3D®, développé par l'IGN© et SHOM©, est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol sur la frange littorale du territoire réunionnais. La base de données de Litto3D® ne s'étend qu'à 2 km à l'intérieur des terres. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®). La précision

altimétrique est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm ;

- **la connaissance nouvelle** sur les inondations sur le territoire, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, avec notamment :
 - o la prise en compte des résultats de l'étude de dangers des travaux d'endiguement de la Rivière des Marsouins (SAFEGE², 2011), avec notamment l'intégration des résultats des modélisations des scénarios de défaillance des ouvrages construits pour le débit de référence (la crue d'occurrence cinquantennale avec un fond fixe a été considéré comme étant la plus défavorable dans ce secteur et donc comme la crue de référence) ;
 - o les aménagements récents (depuis le PPRi de 2004) comme par exemple l'intercepteur réalisé à l'amont de la ZAC Madeleine dans le secteur de Bras Fusil ;
- 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 (BDTopo2016® et les orthophotographies de 2011) font également partie des données fréquemment utilisées dans la démarche de précision de la cartographie.

La cartographie « inondation » est présentée sur fonds topographiques :

- à l'échelle 1/30 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 9) ;
- à l'échelle 1/10 000 sur les Hauts de Saint-Benoît (planche 10-11).

5.2.2. Caractérisation de l'aléa inondation

Aléa de débordement de la crue centennale

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

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

Tableau 11 : 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 ;

² Mission de maîtrise d'œuvre relative à la protection contre les crues de la Rivière des Marsouins – Étude de dangers – Système d'endiguement de la rivière des Marsouins – Version V2, Juillet 2011, réf. HER06101B

- 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 inférieures 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, quelle que soit la hauteur d'eau, où il a été considéré que de telles hauteurs d'eau s'apparentaient à une problématique de gestion des eaux pluviales courante.

Aléa résiduel – Dignes de la Rivière des Marsouins

L'étude de dangers réalisée par SAFEGE (2011), pour les digues de la Rivière des Marsouins à l'exutoire du cours d'eau, au niveau du centre-ville, a permis de préciser un niveau d'aléa inondation résiduel en cas de défaillance de ces ouvrages.

L'aléa résiduel concerne des terrains pour lesquels un dispositif de protection contre les crues centennales existe mais ne permet pas d'écarter tout risque d'inondation, en particulier en cas de défaillance du dispositif (possibilité de rupture de digues, dépassement du dimensionnement de l'ouvrage, défaut d'entretien, non mise en place d'ouvrages de type batardeaux, etc.).

Trois niveaux d'aléa inondation résiduel, faible, moyen et fort, ont été distingués, en fonction des caractéristiques du champ d'inondation résultant de ces possibles défaillances. Pour les endiguements de la Rivière des Marsouins, le fonctionnement actuel a d'abord été modélisé par 2 simulations :

- Simulation 1 - « Q50 fond fixe » : correspondant à une simulation des écoulements pour une crue de fréquence de retour 50 ans avec la configuration actuelle du fond du lit mineur ;
- Simulation 2 - « Q100 fond érodé » : correspondant à une simulation des écoulements pour une crue de fréquence de retour 100 ans avec un abaissement du lit mineur suite à un dépavage du fond du lit.

C'est le scénario « Q50 fond fixe » qui est le plus défavorable en termes d'inondation et qui est donc retenu comme crue de référence dans ce secteur afin de caractériser les aléas inondation.

13 scénarios de défaillances distincts ont ensuite été modélisés par SAFEGE dans le cadre de l'étude de dangers des endiguements de la Rivière des Marsouins :

Simulation n°	Etat	Débit/fond	Défaillance
3	aménagé	Q50 fond fixe	surverse
4	aménagé	Q50	dépôt solide depuis le méandre amont RN2 à la mer
5	aménagé	Q50	Embâcles pont Pompidou
6	aménagé	Q50	embâcles au droit du pont RN2
7	aménagé	Q50	embâcles ouvrage de décharge du pont Pompidou
8	aménagé	Q1000	Dépassement de la crue de projet
9	aménagé	Q1000	Brèche digue RG aval pont Pompidou face IRTS
10	aménagé	Q50	Brèche digue RG aval pont Pompidou face marché couvert
11	aménagé	Q50	Brèche digue RD aval pont Pompidou face salle des fêtes
12	aménagé	Q1000	Brèche digue RG amont pont Pompidou face hôpital
13	aménagé	Q50	Brèche digue RD amont jardin Ferréol
14	aménagé	Q1000	Brèche digue de protection méandre amont pont RN2
15	aménagé	Q50	Blocage clapet anti-retour du réseau EP

Tableau 12 : Scénarios de défaillance étudiée dans le cadre de l'étude de dangers des endiguements de la Rivière des Marsouins (source : Artélia, 2014)

Seuls deux scénarios, considérés comme les plus pertinents en termes d'inondabilité et de probabilité d'occurrence dans le cadre de la démarche PPR, ont été retenus dans l'élaboration de la carte d'aléa inondation du PPR de la commune de Saint-Benoît :

- sur la rive gauche, il a été décidé de retenir le zonage issu de la simulation 10 de l'EDD qui définit un zonage résiduel fort, moyen et faible le long des ouvrages d'endiguement ;
- sur la rive droite, compte tenu du fait que les endiguements prévus en aval du pont de la RN2002 n'ont pas réalisés à la date de l'approbation du présent dossier de PPR, il a été décidé de retenir le zonage issu de la simulation 13 de l'EDD, entre le pont de la RN2 et le pont de la RN2002.

Le zonage de l'aléa inondation résiduel cartographié selon les critères suivants intègre le champ d'inondation cumulant les résultats de chaque scénario de défaillance. Il s'agit d'une compilation des résultats de chaque scénario où on considère en tout point du modèle, l'aléa résiduel le plus défavorable.

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

Tableau 12 : Caractérisation de l'aléa inondation pour les scénarii de défaillances correspondant aux crues inférieures ou égales à la crue centennale

- **Aléa résiduel fort**
 - vitesses d'écoulement supérieures à 1 m/s en continuité derrière les digues (aléa principalement lié aux risques de rupture ou de surverse) ;
- **Aléa résiduel moyen**
 - hauteurs d'eau supérieures à 1 m et vitesses d'écoulement inférieures à 1 m/s ;
- **Aléa résiduel faible**
 - hauteurs d'eau comprises entre 0,2 m et 1 m et des vitesses d'écoulement inférieures à 1 m/s.

Les résultats sont issus de modélisations hydrauliques précises. Suite à l'attribution des aléas, une enveloppe externe est créée (« lissage » des contours) en prenant les extrémités de chaque maille du modèle. Les mailles trop isolées ou enclavées dans un aléa plus fort ont été supprimées afin d'apporter plus de cohérence au résultat cartographique (cf. Figure 18).

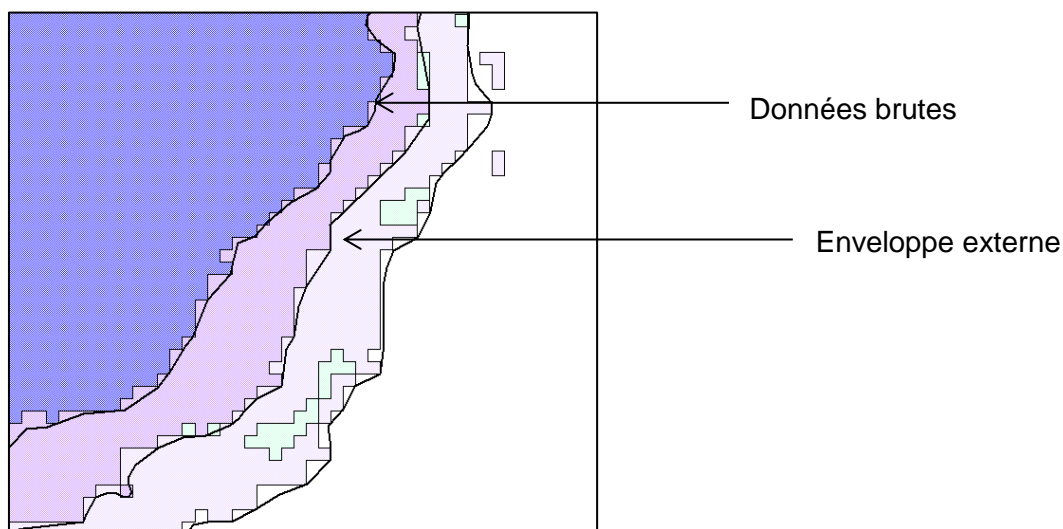


Figure 18 : Exemple de création d'une enveloppe externe

5.3. ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

5.3.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

L'élaboration de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain a débuté en 2010. Cette cartographie s'appuie sur une méthodologie robuste, qui s'inscrit dans le respect des règles édictées dans les guides nationaux (PPR mouvements de terrain – Guide national méthodologique, 1999, actuellement en cours de révision) et mise en œuvre sur tout le territoire réunionnais depuis plusieurs années.

L'aléa mouvements de terrain a fait l'objet d'un « porter à connaissance » le 7 juillet 2010, préalablement à l'arrêté de prescription d'un projet de Plan de Prévention des Risques (PPR) multi-aléas (mouvements de terrain et inondation) sur la commune de Saint-Benoît (arrêté préfectoral n°1688/SG/DRCTCV en date du 22 juillet 2010). Une seconde phase de travail et de précision des cartes d'aléas mouvements de terrain a ensuite été entreprise en parallèle aux travaux de révision de la carte d'aléa inondation. Ces travaux ont abouti à un second « porter à connaissance » le 7 octobre 2015.

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 2010 et 2016 ;
- 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 2015 et en 2016. Ces analyses ont fait l'objet de rapport du BRGM fourni en annexe 4 du dossier PPR ;
- la prise en compte de nouveaux outils topographiques précis : **Litto3D®** et **MNTR®** (2012). Le produit Litto3D®, développé par l'IGN© et SHOM©, est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol sur la frange littorale du territoire réunionnais. La base de données de Litto3D® ne s'étend qu'à 2 km à l'intérieur des terres. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®). La précision altimétrique est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm ;
- la **mise en cohérence avec l'aléa inondation** (pour l'aléa érosion de berges notamment).

Les récentes données de l'IGN (Bd Topo 2014 et les orthophotos de 2011) 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 2016³ ont été considérées dans le cadre de la révision du PPR de la commune de Saint-Benoit, notamment lors de la phase d'analyse des requêtes de l'enquête publique.

La cartographie mouvements de terrain est présentée sur fonds topographiques :

- à l'échelle 1/30 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 9) ;
- à l'échelle 1/10 000 sur les Hauts de Saint-Benoît (planche 10-11).

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.

³ **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.

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.

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. Les aléas MVT ainsi cartographiés sont :

- **les chutes de pierres ou 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).**

Probabilité d'occurrence

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

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

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

- **facteurs de prédisposition (= permanents)**

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

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

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

Le Tableau 13 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 13 : 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 :

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

Aléa croissant

Tableau 14 : 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.

5.3.3. Qualification de l'aléa mouvements de terrain

Étant 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 ».

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	Domage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée
si au moins un aléa élevé	Élevé	P3, E3, G3 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Domage 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 15 : 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 réglementaire

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

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

- Toute zone concernée par un aléa fort inondation ou élevé et très élevé mouvements de terrain est classée en R1 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité ;
- L'aléa moyen mouvements de terrain est traduit (en dehors de zones d'aléa fort inondation) suivant deux zones réglementaires (R2 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité et B2u zone « bleue » dotée d'un principe de constructibilité avec prescriptions). La distinction réglementaire des terrains classés en aléa moyen mouvements de terrain est définie en fonction du caractère « sécurisable » dans le cadre d'un projet d'aménagement dans des zones à enjeux, où des travaux de sécurisation sont jugés réalisables. La délimitation des zones à enjeux s'appuie sur les limites des espaces forestiers gérés par l'ONF et les limites du cœur du Parc 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 moyen inondation conditionnent la traduction réglementaire avec la définition des zones B2 (aléa moyen inondation) et B3 (aléa faible inondation), zones « bleues » dotées d'un principe de constructibilité avec prescriptions ;
- Les niveaux d'aléas résiduels (faible, moyen, fort) sont considérés de la même manière que les aléas inondations par débordement de cours d'eau.

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 16 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Benoît

5.5. EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE AU DROIT DE SECTEURS À ENJEUX

Afin d’illustrer les zonages inondation et mouvements de terrain élaborés, ainsi que leur traduction réglementaire retenue au projet de PPR, quelques exemples de secteurs à enjeux de la commune sont présentés ci-dessous :

- Secteur de la Ravine Sèche (Beaufonds) ;
- Secteur du Bourbier ;
- Secteur de Bras-Fusil ;
- Secteur de la Rivière des Marsouins.

La légende associée aux extraits cartographiques présentés est la suivante :















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

Tableau 17 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR

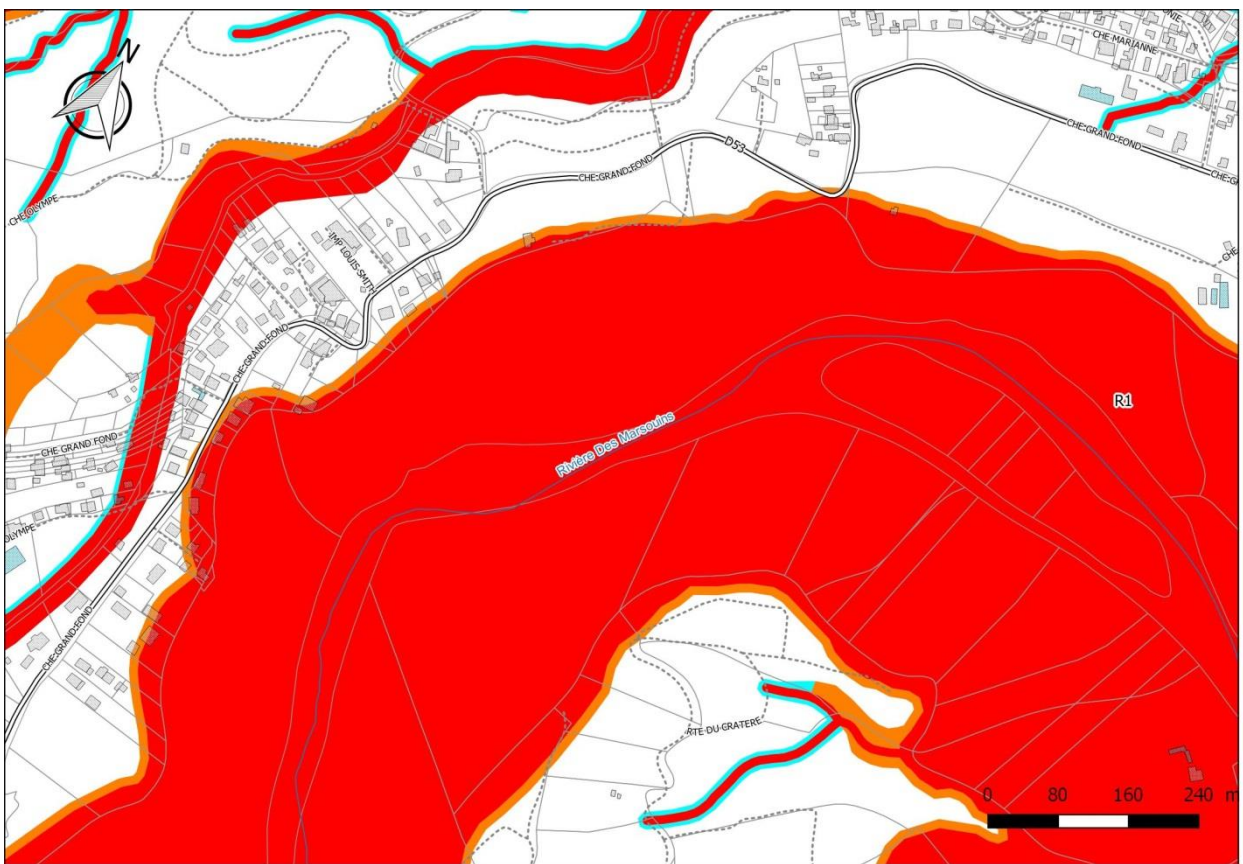
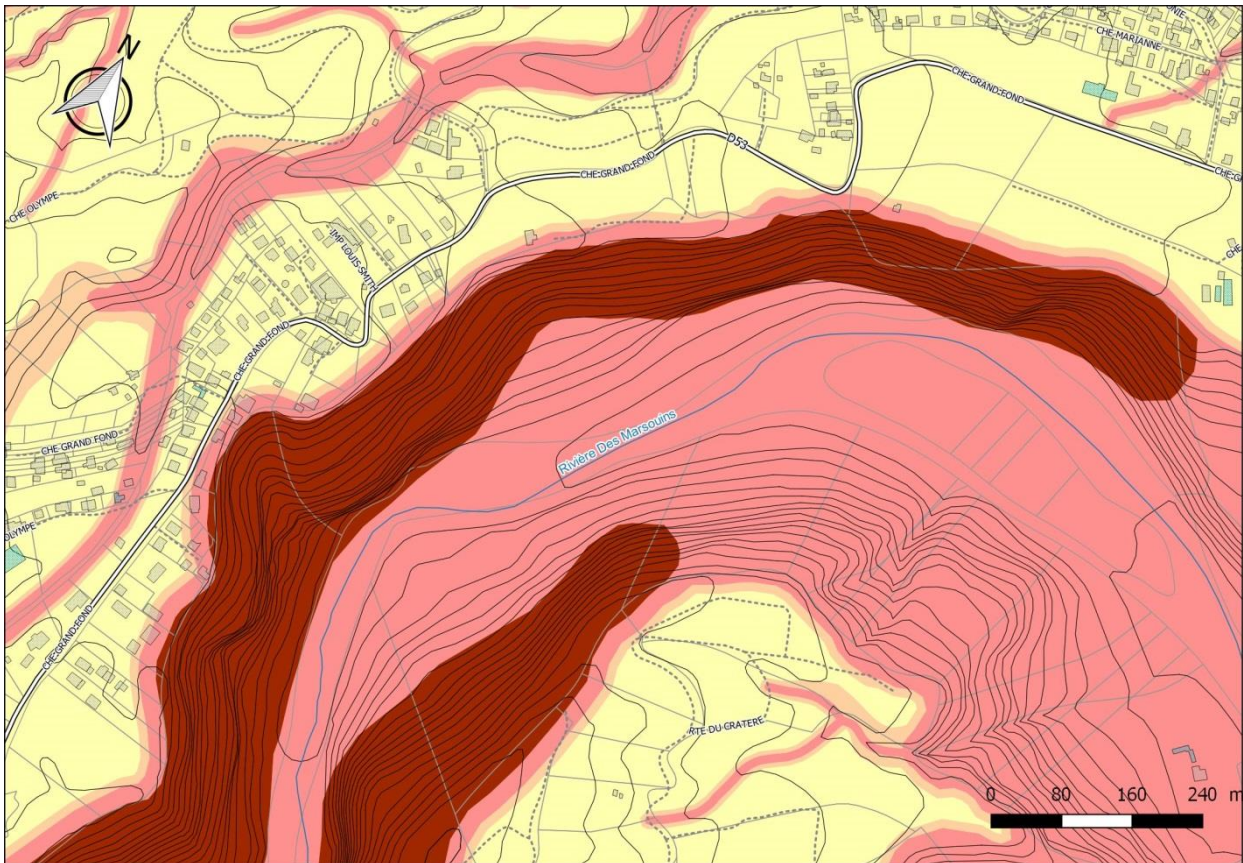
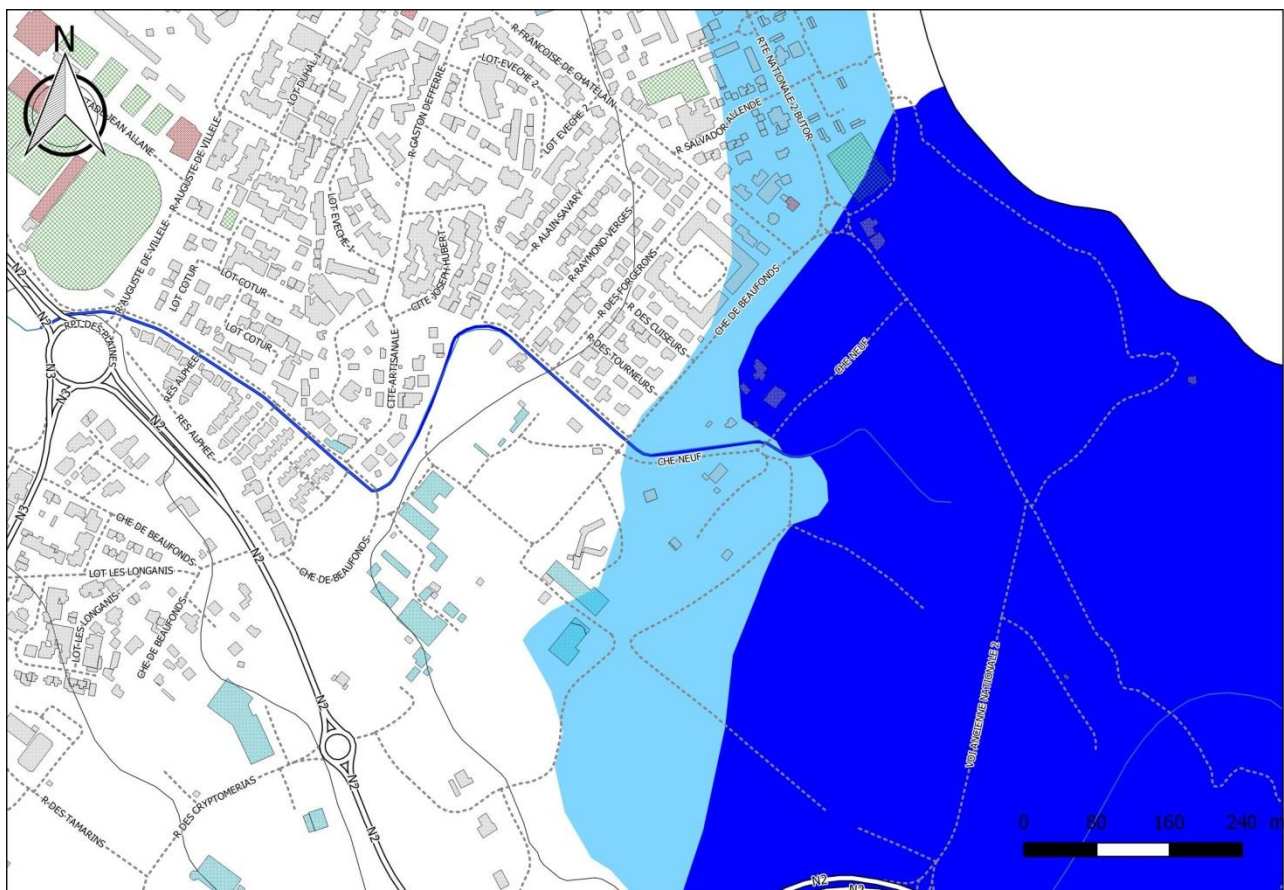


Figure 19 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de l'Olympe et de l'Abondance

Secteur de la Ravine Sèche (Beaufonds)

Ce secteur, en partie occupé par la zone résidentielle et industrielle de Beaufonds, est situé en rive gauche de l'embouchure de la Ravine Sèche. Les débordements en crue centennale (débit évalué à plus de 2000 m³/s) se produisent en amont et en aval de la RN2. À cet endroit, le lit n'est pas incisé à l'exutoire ce qui engendre une inondation des terrains sur les deux rives, venant impacter les zones bâties de la rive gauche. Le zonage d'aléa inondation est précisé dans ce secteur en fonction des vitesses d'écoulement et des hauteurs (aléas inondation fort et moyen).

L'aléa inondation conditionne le zonage réglementaire du secteur, avec une traduction en R1 des zones inondables en aléa fort (principe d'inconstructibilité), une zone en B2 pour les terrains cartographiés en aléa moyen inondation et faible mouvements de terrain (principe de constructibilité sous conditions, notamment le respect d'une cote plancher du premier niveau au-dessus de la cote de référence de la crue centennale, à défaut 1 m). Étant donné les faibles vitesses d'écoulement attendues, l'aléa élevé mouvements de terrain (érosion) est conservé uniquement au niveau du lit mineur et des zones d'écoulements préférentielles avec un aléa moyen mouvements de terrain cartographié jusqu'en limite de zone d'expansion de crue où des vitesses peuvent encore être observées.



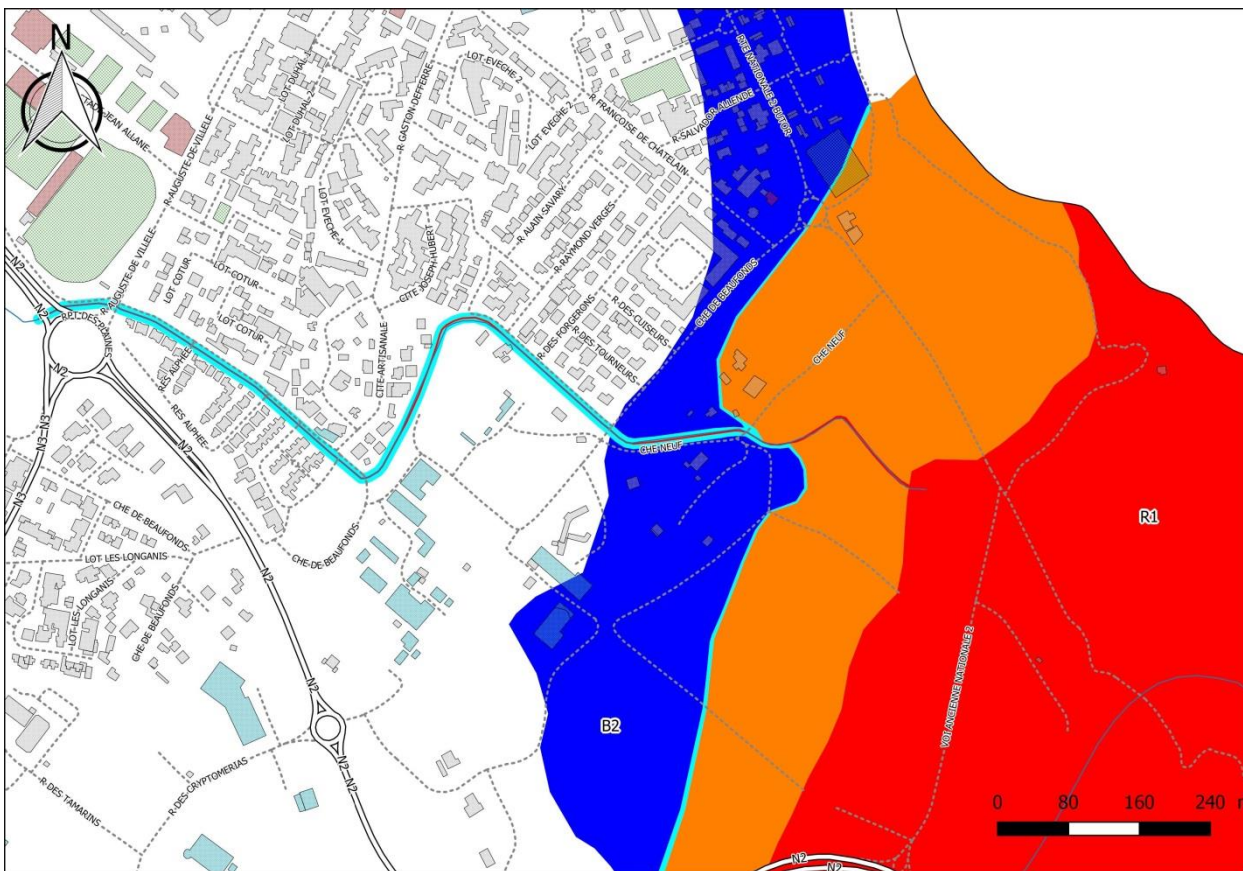
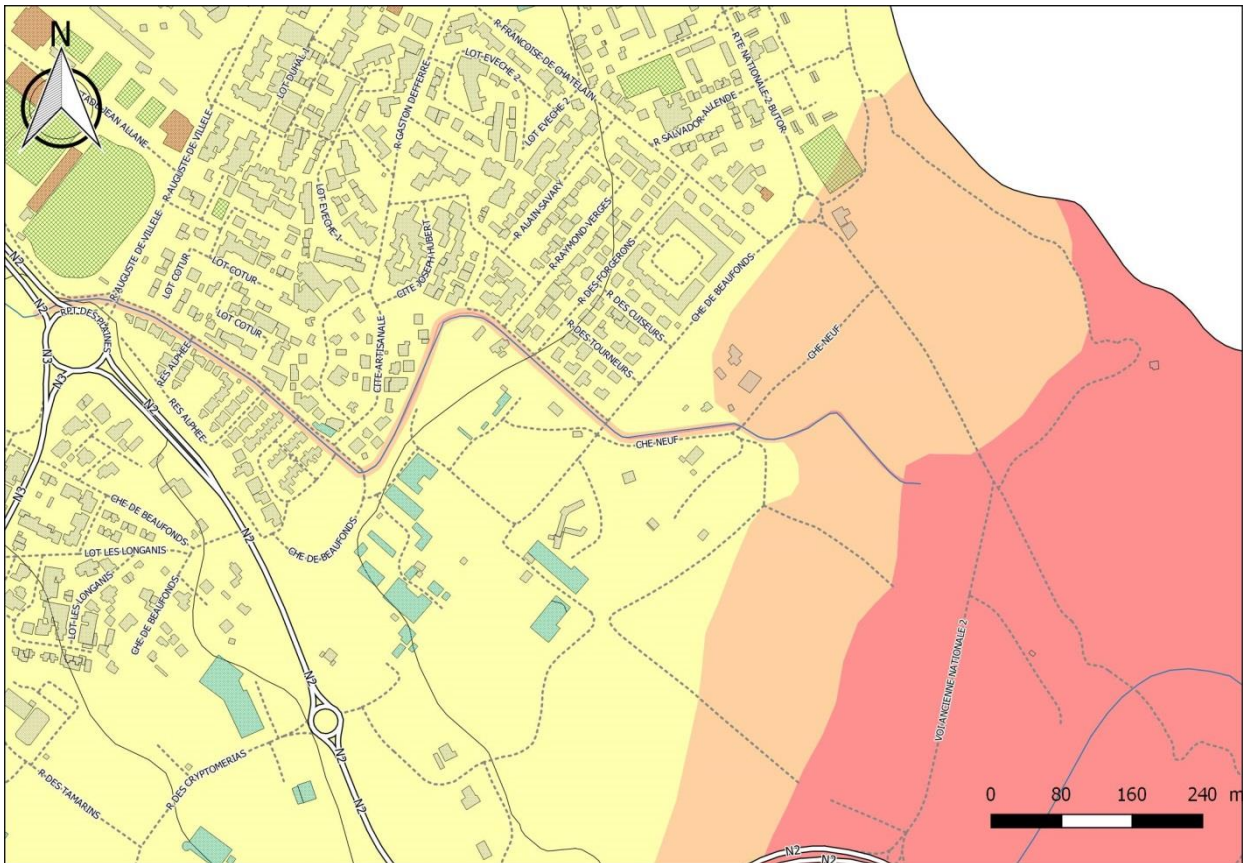


Figure 20 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de la Ravine Sèche.

Secteur de Bras-Fusil

Le secteur de Bras-Fusil est situé au sud du centre-ville de Saint-Benoît, le long de la RN3 en direction de la Confiance. Les terrains situés en bordure de la ravine Bras-Canot ($Q_{100} = 276 \text{ m}^3/\text{s}$) et ceux situés en rive droite de l'exutoire de l'intercepteur de déviation des eaux provenant de la Confiance étaient initialement concernés par des risques de débordement des cours d'eaux à différentes intensités (fort, moyen), en cas de crues centennales. En effet, une analyse hydraulique menée par SOGREAH en 2003 avait démontré le bon fonctionnement de l'intercepteur réalisé mais une fragilité sur les 210 derniers mètres pouvant générer un risque de débordement en cas de crue d'occurrence centennale (= zone en aléa moyen inondation).

Des travaux de renforcement de l'intercepteur ont été achevés fin 2016 sous maîtrise d'œuvre de bureau d'études FEDT. Les travaux ont notamment consistés au comblement des surcreusements du lit par une substitution en enrochements libres (200/300kg) jusqu'au substratum rocheux et des sous-cavages par gros béton et au pavage du fond de l'intercepteur par des enrochements libres 600/800 kg.

Les lacunes d'enrochements au niveau des berges ont été comblées et bétonnées.

Les butées de pied de la carapace des berges ont été renforcées par des massifs bétonnés.

L'ouvrage réhabilité semble visuellement respecter les préconisations de confortement formulées dans le rapport d'Artélia, à l'exception du gabarit, ponctuellement non respecté. En effet, le rapport d'expertise du canal de dérivation amont de la ZAC Madeleine comprenant le plan de récolement des ouvrages exécutés (rapport Artélia n°4701970 V2 de février 2016) transmis par la Semac montre que l'ouvrage réhabilité ne respecte pas en tout point la section hydraulique minimum fixée par l'étude hydraulique d'Artélia (cote d'arase de l'ouvrage localement inférieure aux prescriptions). Aussi, un risque de franchissement ne peut être exclu lors d'une crue centennale.

Il est néanmoins considéré que le volume d'eau susceptible de franchir l'ouvrage en cas de crue d'occurrence centennale restera marginal et n'entraînera pas d'inondation significative des terrains en arrière de la digue (hauteur estimée de la lame d'eau potentielle inférieure à 20 cm).

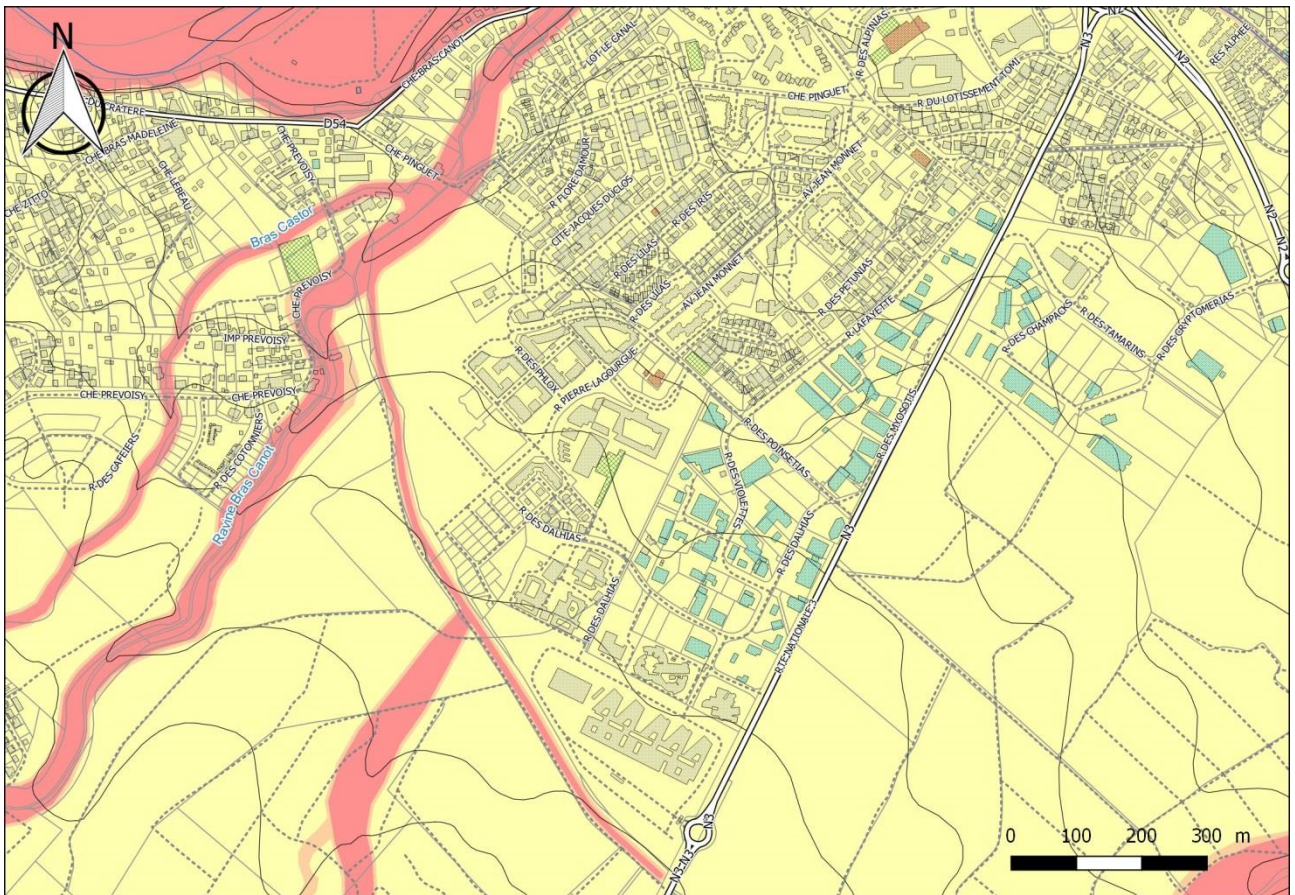
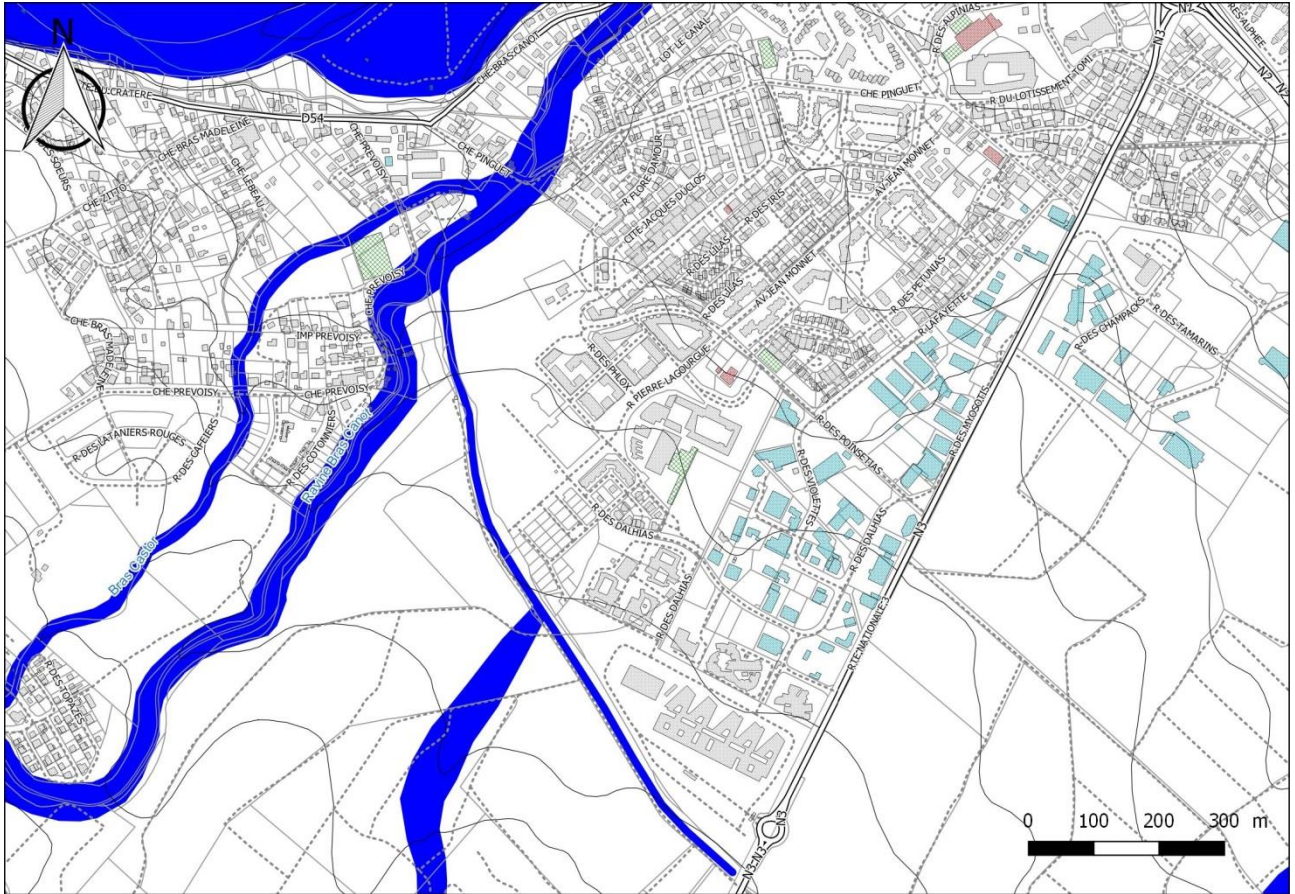
Au regard des travaux effectués au niveau du canal, un déclassement de la zone d'aléa moyen inondation impactant la parcelle BD756 est retenu.

En raison des travaux de renforcement effectués, l'aléa moyen MVT considéré en recul des berges de l'intercepteur en lien avec les processus d'érosion répétés sur la période de référence (siècle à venir) est réduit à une largeur de 5 m au lieu de 10 m.

Enfin, la limite de l'aléa fort inondation en rive droite de la ravine Bras Canot, au droit de la parcelle BD756 sera décalée d'une dizaine de mètres vers le lit du cours d'eau, du fait d'un risque de débordement du cours d'eau préférentiellement en rive gauche.

L'aléa élevé MVT sera mis en cohérence de l'aléa inondation. En recul de l'aléa fort inondation, un aléa Moyen MVT est considéré sur une largeur de 5 m en recul de la berge traduit les risques d'érosion associés aux crues répétées sur la période de référence du PPR (siècle à venir).

D'un point de vue réglementaire, l'aléa moyen mouvements de terrain (risque d'érosion de berges et de ravinement) qui est jugé sécurisable, est traduit en zone B2u (principe de constructibilité sous réserve notamment d'étudier et d'intégrer les aléas dans le cadre du projet (via une étude technique)). L'aléa fort inondation, combiné à l'aléa fort mouvements de terrain est quant à lui traduit en zone R1 (principe d'inconstructibilité).



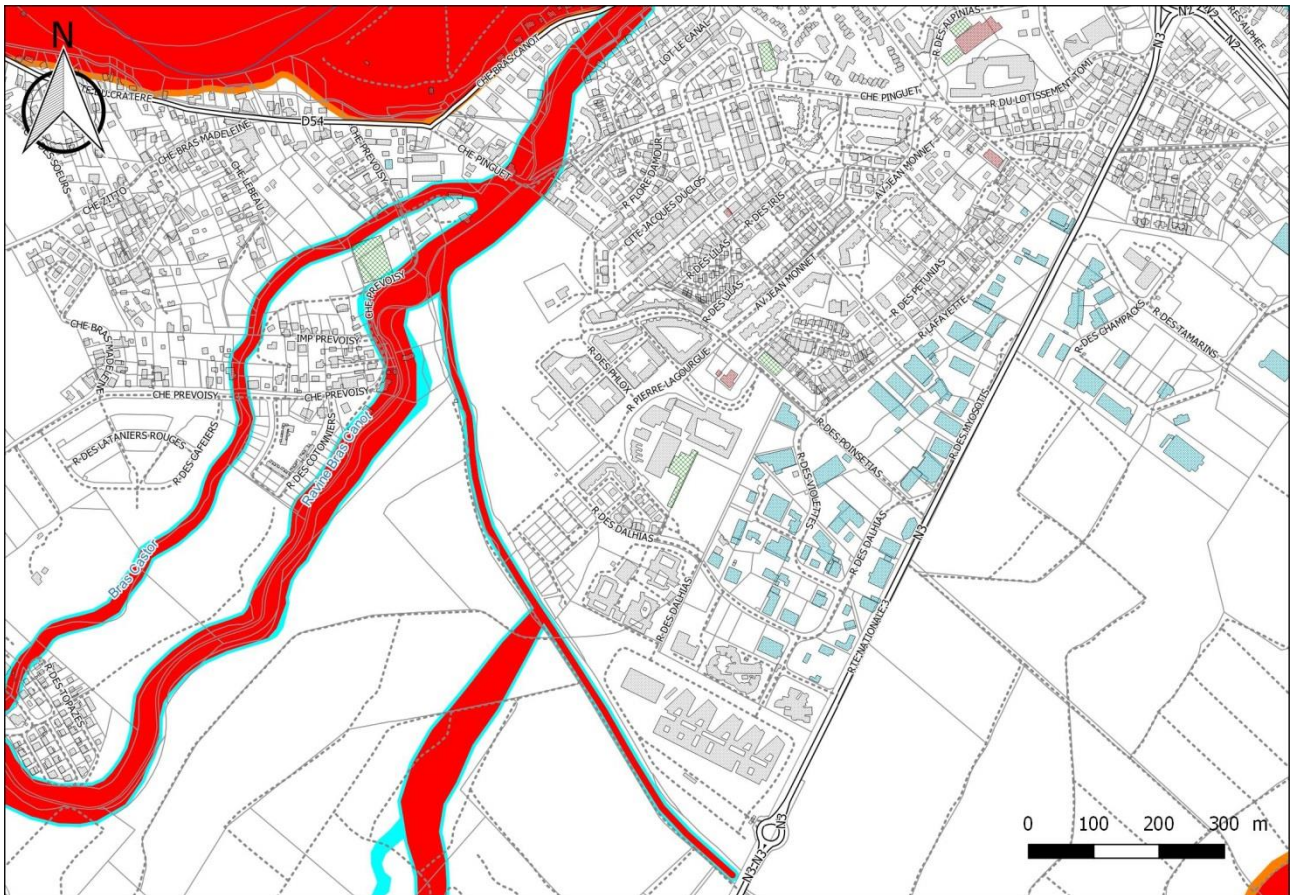


Figure 21 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bras-Fusil.

Secteur de la Rivière des Marsouins

La Rivière des Marsouins (2472 m³/s à l'exutoire pour une crue d'occurrence centennale) a fait l'objet de travaux d'endiguement en 2013 au niveau de son embouchure (centre-ville de Saint-Benoît). Conformément à la réglementation en vigueur concernant les ouvrages classés de type digues, une étude de dangers a été menée au préalable (SAFEGE⁴, 2011) afin de vérifier l'impact en terme d'inondation sur les terrains situés à l'arrière des ouvrages dans le cadre de scénarios de défaillance des ouvrages.

Cette étude intègre diverses simulations des écoulements. Il a été considéré pour l'exutoire de la Rivière des Marsouins, que la crue d'occurrence cinquantennale (Q50) avec un fond du lit fixe, était le scénario le plus défavorable et a été retenu comme le scénario de référence. Plusieurs scénarios de défaillance ont été simulés et intégrés au zonage de l'aléa inondation (brèche de la digue en rive gauche à l'aval du pont Pompidou et brèche de la digue en rive droite à l'amont du jardin Ferréol, pour une crue d'occurrence cinquantennale sont les scénarios intégrés).

En fonction du couple hauteur d'eau et vitesse d'écoulement, l'aléa « résiduel » inondation est cartographié à l'aval de ces points de débordements. Dans le lit mineur, en dehors de tout risque de défaillance des ouvrages d'endiguement, l'écoulement pour une crue d'occurrence cinquantennale avec un fond fixe est considéré comme étant en aléa fort inondation du fait des hauteurs d'eau et de la vitesse des écoulements.

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain est mise en cohérence avec le zonage de l'aléa inondation avec un aléa élevé mouvements de terrain dans le lit mineur et les zones d'écoulement préférentielles et un aléa moyen mouvements de terrain considéré au niveau des points de défaillance et à l'aval étant donné le caractère urbanisé de ces zones d'écoulement liées uniquement à des défauts des ouvrages.

L'aléa inondation conditionne le zonage réglementaire du secteur avec une traduction en R1 des zones inondables en aléa fort et fort résiduel (principe d'inconstructibilité), une zone en B2 pour les terrains cartographiés en aléa moyen et résiduel moyen inondation (principe de constructibilité sous conditions, notamment le respect d'une cote plancher du premier niveau au-dessus de la cote de référence de la crue centennale, à défaut 1 m), et en zone B3 pour les secteurs cartographiés en aléa faible et résiduel faible inondation (principe de constructibilité sous conditions, notamment le respect d'une cote plancher du premier niveau au-dessus de la cote de référence de la crue centennale, à défaut 0,5 m).

D'un point de vue réglementaire, l'aléa moyen mouvement de terrain (risque d'érosion de berges et de ravinement), jugé sécurisable du fait de la présence des ouvrages d'endiguement est traduit en zone B2u (principe de constructibilité sous réserve notamment d'étudier et d'intégrer les aléas dans le cadre du projet (via une étude technique)). Dans le cas contraire, il est retranscrit en zone R2 (principe d'inconstructibilité, hormis une extension ponctuelle du bâti existant, limité à 20 m² de superficie). Les aléas inondation et les aléas résiduels sont considérés suivant la même intensité dans le zonage réglementaire (aléa résiduel fort et aléa fort = zone R1 par exemple).

⁴ Mission de maîtrise d'œuvre relative à la protection contre les crues de la Rivière des Marsouins – Étude de dangers – Système d'endiguement de la rivière des Marsouins – Version V2, Juillet 2011, réf. HER06101B

Secteur Chemin Jean Robert

Le Chemin Jean Robert descend dans un versant haut de 15 à 25 m avec des pentes moyennes comprises entre 25 et 35°. La hauteur et les pentes du versant s'accroissent vers le nord-est.

Lors de l'enquête publique, 18 requêtes concernant 23 parcelles distinctes ont été formulées pour ré-analyser le zonage de ce secteur. Une visite de terrain y a été réalisée le 17 mai 2017.

De manière générale, le versant est recouvert d'une végétation moyennement dense. Il y a été observé de nombreux blocs dans la pente ayant pour origine le démantèlement du substratum rocheux peu profond.

Il n'a pas été constaté d'indice d'activité de chutes de blocs, la base nationale des mouvements de terrain ne recense aucun événement sur ce secteur. L'aléa prédominant considéré sur ce versant est la remobilisation de blocs dans la pente. Localement des terrasses en déblais/remblais ont été observées. Ces matériaux remaniés peuvent dans certaines configurations être déstabilisés et générer des glissements de terrain superficiels.

Au vu du contexte de pente, des volumes unitaires des éléments rocheux susceptibles d'être remobilisés et de l'intensité des glissements de terrain potentiels, l'aléa MVT moyen cartographié initialement est justifié. Seuls des précisions des limites amont et aval ont été retenues à la suite de la visite de terrain.

À l'instar des aménagements réalisés au sud-ouest du secteur (Chemin Manes), il a été jugé que la sécurisation des terrains vis-à-vis des aléas identifiés était engageable, sous réserve de la réalisation de travaux de terrassement adaptés et notamment d'épierrage des pentes dominantes les implantations des projets ou de la réalisation d'ouvrage d'interception des instabilités dominantes. Dans tous les cas, les travaux de sécurisation devront être appuyés par la réalisation d'une étude géotechnique préalable.

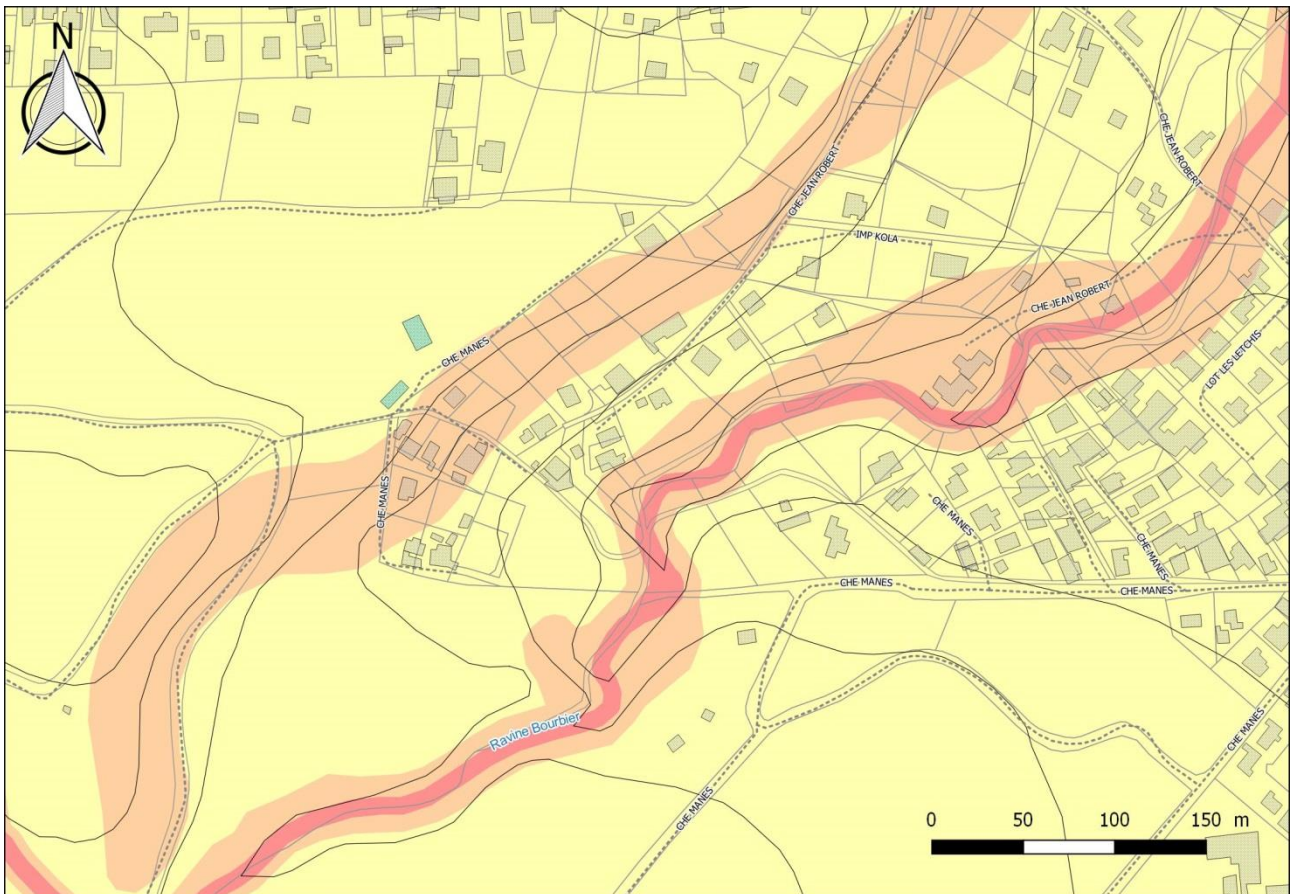
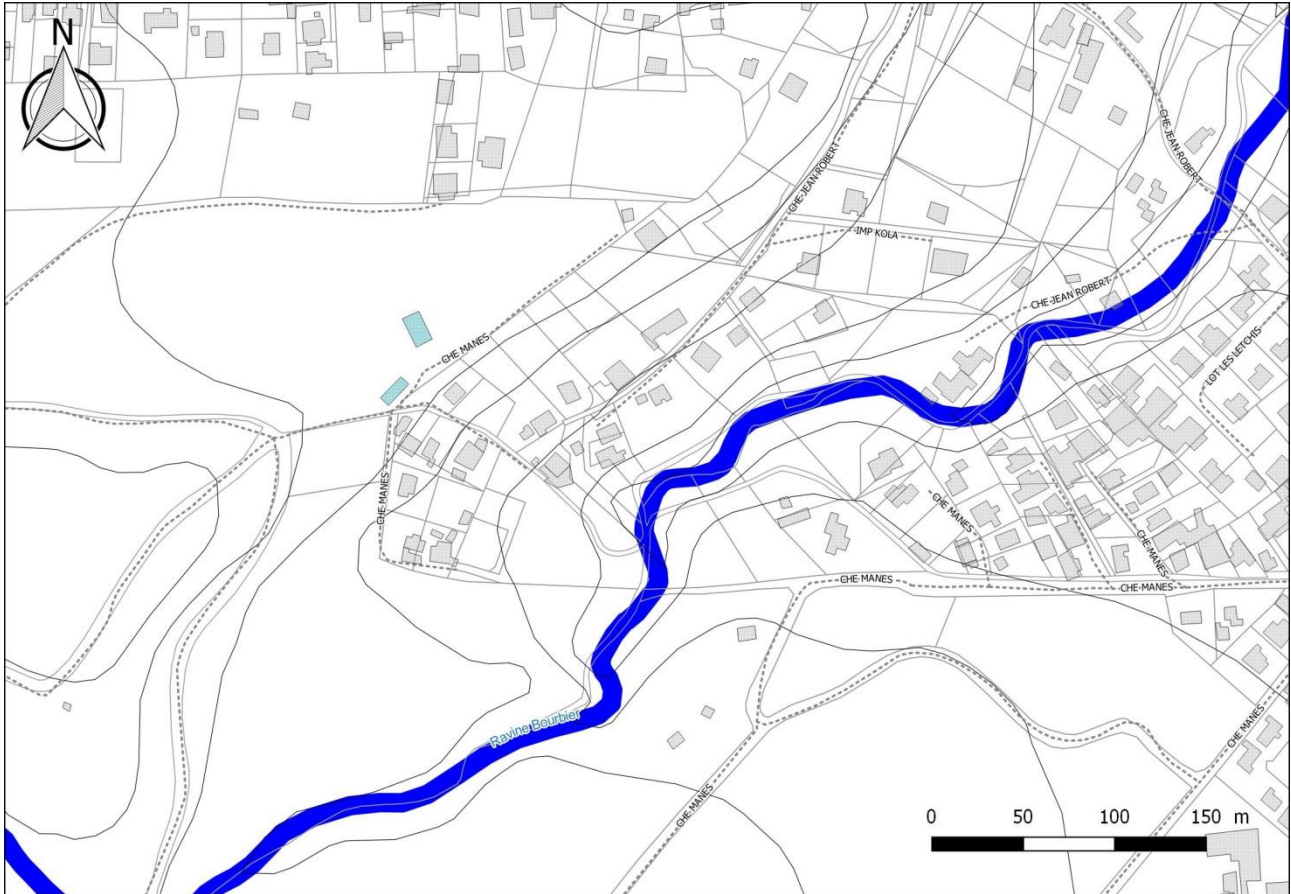
Pour cela une traduction réglementaire de l'aléa MVT moyen en B2u a été retenue sur la quasi-intégralité du versant dominant le Chemin Jean Robert, à l'exception des parcelles

Au nord de la parcelle AH1069 située en aval du Chemin Robert, la hauteur croissante du versant (supérieure à 20 m) et les pentes dépassant 35° imposent une traduction réglementaire de l'aléa MVT moyen en R2.

La zone B2u est dotée d'un principe de constructibilité sous réserve notamment d'étudier et d'intégrer les aléas dans le cadre du projet (via une étude technique). Tandis que la zone R2 est soumise au principe d'inconstructibilité, hormis une extension ponctuelle du bâti existant, limitée à 20 m² de superficie.

Pour les parcelles situées au sommet de la rive gauche de la Ravine Bourbier, l'aléa MVT moyen et sa traduction réglementaire en R2 ont été confirmés suite à la visite de terrain, seules des précisions de la limite amont de cet aléa ont été effectuées.

Les comptes rendus des visites effectuées sur ce secteur sont fournies en annexe 5 du dossier de PPR version approbation.



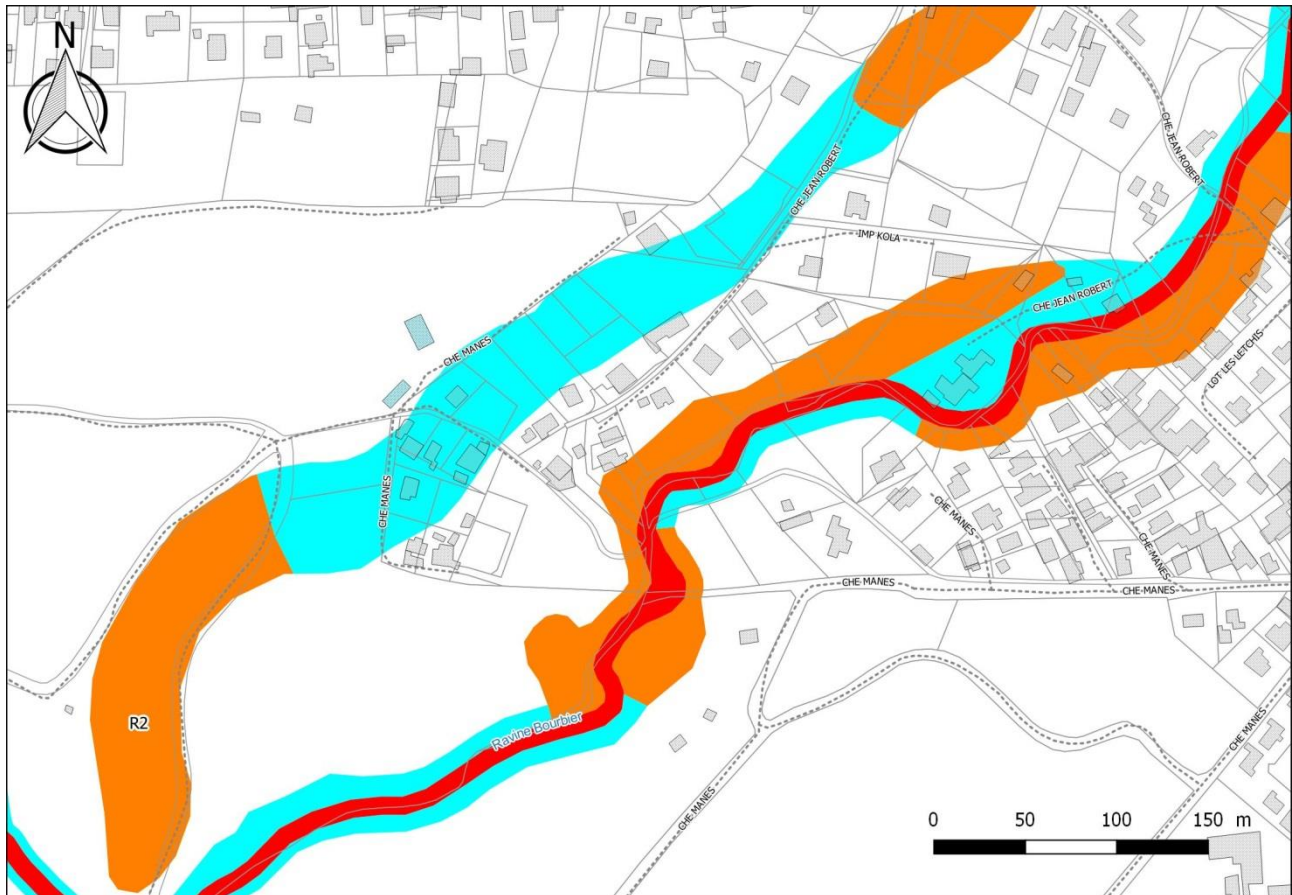


Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du Chemin Jean Robert.

Lotissement l'Église

Le lotissement l'Église est bordé à l'est par la Rivière Sainte-Anne qui dans sa partie aval présente un débit de crue centennal estimé à 499 m³/s.

Au droit de ce quartier, le gabarit du cours d'eau permet l'évacuation du débit de crue centennal. En revanche, un point de débordement de la rivière a été identifié une centaine de mètres en amont du Lotissement L'Église 2 au niveau d'un rétrécissement de son lit.

La visite de terrain du 11 mai 2017 a permis de préciser les conditions d'écoulement au sein de cette zone d'expansion de crue, en rive gauche de la Rivière Sainte-Anne urbanisée.

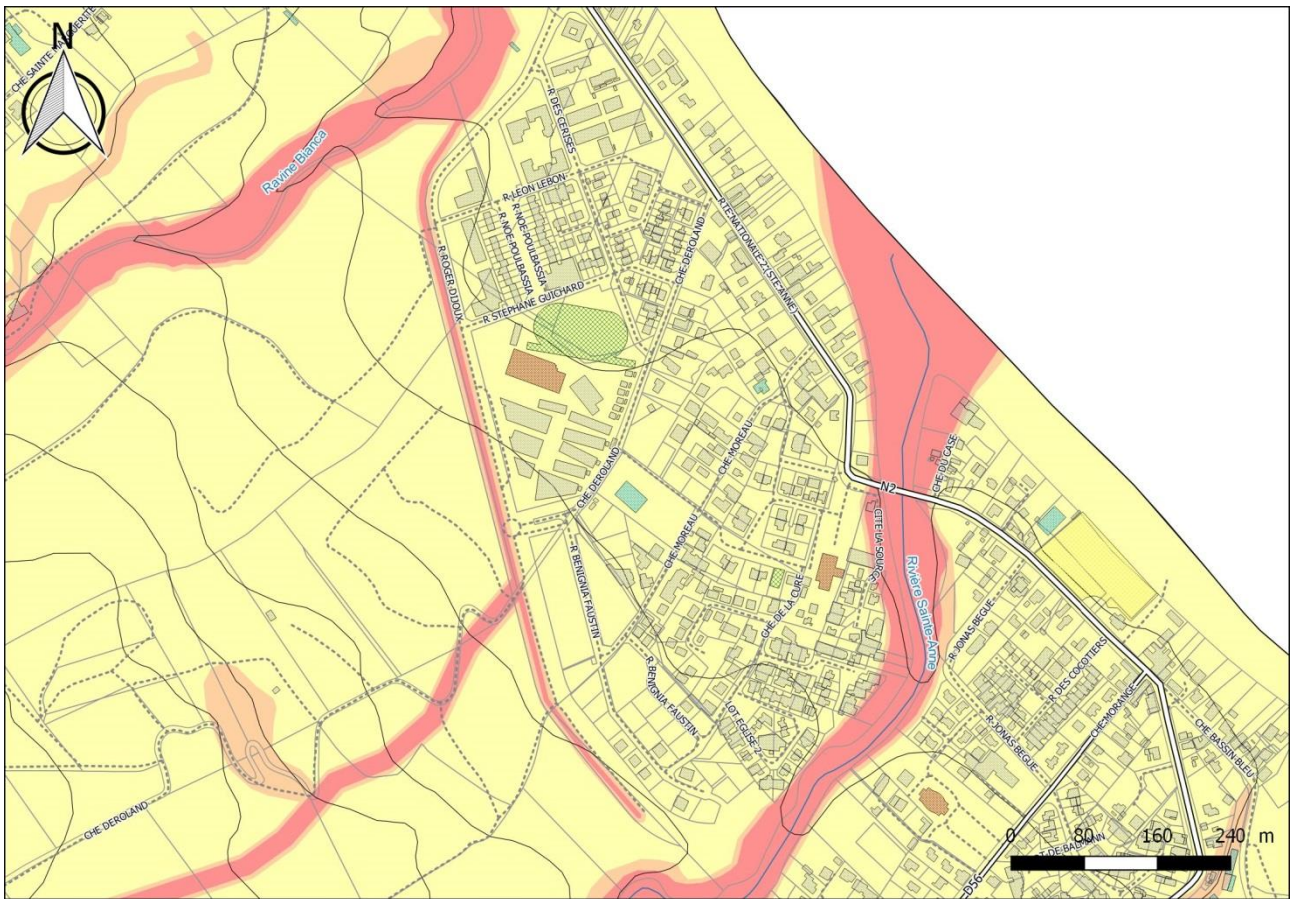
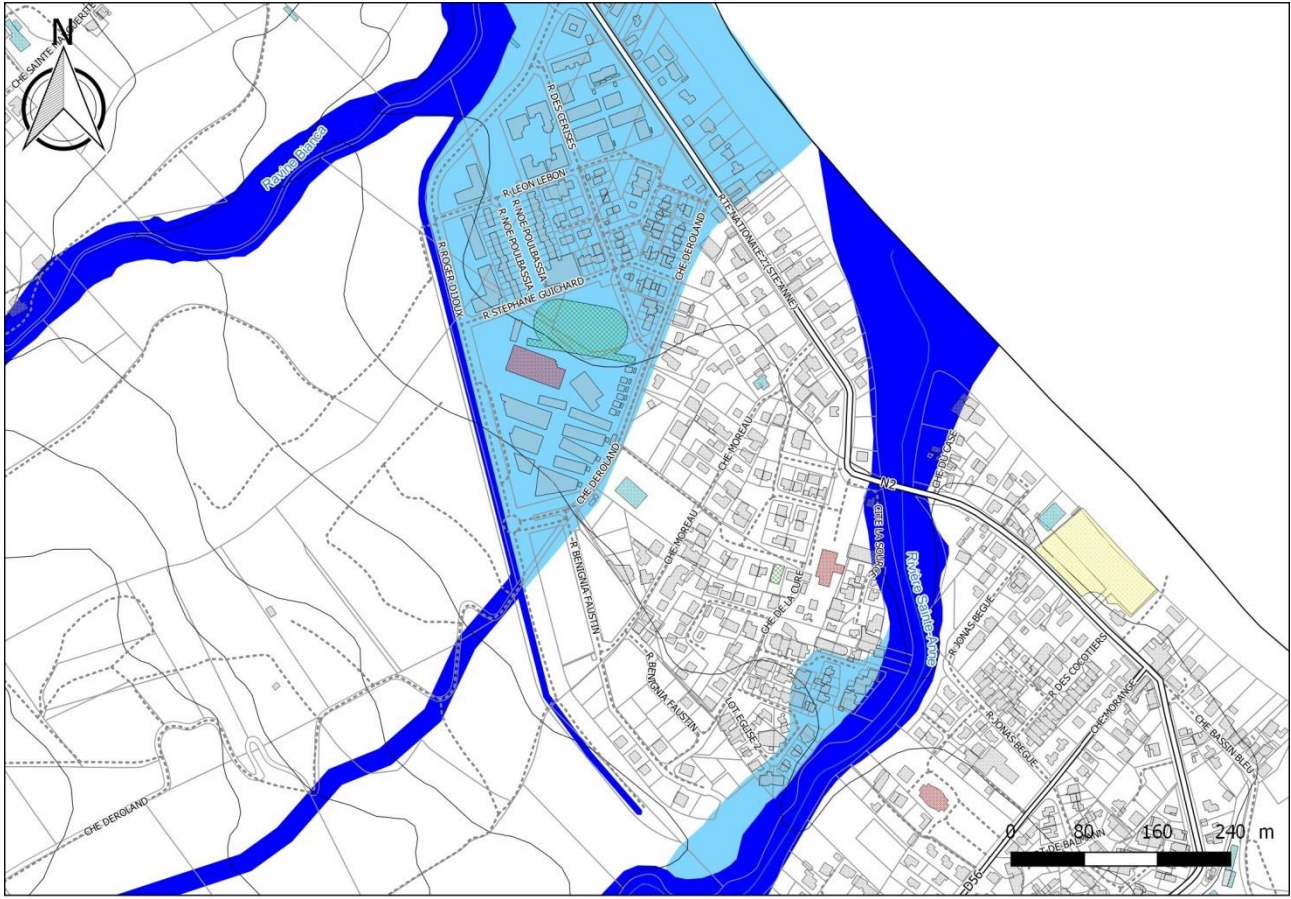
Il a ainsi été mis en évidence des axes de drainage de la zone une d'expansion de crue vers la Rivière Sainte Anne permettant de significativement circonscrire l'étendue de l'aléa inondation moyen.

Cette précision se traduit par un déclassement des trois quarts des parcelles initialement concernées par un aléa moyen inondation en aval du point de débordement.

La limite de l'aléa Élevé inondation en sommet des berges a été précisé suite à la visite de terrain.

Une bande d'aléa moyen MVT, traduit en B2u au zonage réglementaire est considérée sur une largeur de 5m en recul pour tenir compte des phénomènes d'érosion régressive associés aux crues répétées sur la période de référence (siècle à venir). Le zonage réglementaire B2u du projet de PPR est doté d'un principe de constructibilité sous réserve du respect de prescriptions (via une étude technique).

Le zonage réglementaire B2 est soumis au principe de constructibilité sous conditions, notamment le respect d'une cote plancher du premier niveau au-dessus de la cote de référence de la crue centennale, à défaut 1 m.



6. Lexique des sigles et termes techniques

Sigles

I.C.P.E.	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
P.L.U.	Plan Local d'Urbanisme
P.O.S.	Plan d'Occupation des Sols
P.K.	Point Kilométrique
PPR	Plan de Prévention des Risques
PPRi.	Plan de Prévention des Risques Inondation
PPRi.	Plan de Prévention des Risques Littoraux
P.R.	Point Repère
R.D.	Route Départementale
R.H.I.	Résorption de l'Habitat Insalubre
R.N.	Route Nationale
T.O.C.	Tempête – Ouragans – Cyclones
Z.A.C.	Zone d'Aménagement Concerté
Organismes / Administrations	
B.C.T.	Bureau Central de Tarification
B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C.A.H.	Commissariat à l'Aménagement des Hauts
C.I.R.A.D.	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
D.A.A.F.	Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
D.E.A.L	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
E.M.Z.P.C.O.I.	État-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 Études Économiques
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.

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.

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. LÉGISLATION - RÉGLEMENTATION

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.
6. Loi du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile qui instaure notamment les plans communaux de sauvegarde ;
7. Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006.

7.2. PRINCIPALES CIRCULAIRES

1. La circulaire interministérielle (Intérieur - Équipement - 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 (Équipement - Environnement) du 24 avril 1996 relative aux dispositions applicables au bâti et aux ouvrages existants en zones inondables ;
4. La circulaire interministérielle (Équipement - Environnement) du 30 avril 2002 relative à la politique de l'État 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 : bilan de la concertation établi pour le lancement de l'enquête publique en février 2017