

**Plan de Prévention des Risques
naturels de la commune de Punaauia
(Polynésie française). Appui technique
et méthodologique**

Rapport final
BRGM/RP-64947-FR
Juillet 2015

BRGM/RP-64947-FR

Juillet 2015

Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Punaauia (Polynésie française). Appui technique et méthodologique

Rapport final

BRGM/RP-64947-FR

Juillet 2015

Étude réalisée dans le cadre des projets
d'appui aux politiques publiques du BRGM

A. Nachbaur, P. Stollsteiner, JM Mompelat, O. Sedan

Vérificateur :

Nom : A. REY
Date : 26/08/2015



Approbateur :

Nom : C. CARNEC
Date : 27/08/2015



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Plan de Prévention des risques naturels, PPRN, mouvement de terrain, inondation, Punaauia, Service de l'Urbanisme, Polynésie française

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Nachbaur A., Stollsteiner P., Mompelat JM., Sedan O. (2015). Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Punaauia (Polynésie française). Appui technique et méthodologique. Rapport final. BRGM/RP-64947-FR, p. 91, 24 ill., 8 ann., CD.

Synthèse

Le 25 mars 2010, la commune de Punaauia a approuvé son Plan de Prévention des Risques naturels (PPRN), le rendant ainsi opposable aux tiers. L'instruction avait été portée par la commune de Punaauia et le Service de l'Urbanisme de la Polynésie française, tout en bénéficiant du soutien du BRGM alors engagé avec le Pays dans le cadre du programme ARAI¹. En tant que premier PPR de Polynésie française, la procédure d'instruction s'était déroulée selon une démarche « pilote ».

Une révision du PPR de Punaauia a été décidée en conseil des ministres par l'arrêté n°1846 CM du 9 décembre 2014. Dans ce cadre, le Service de l'Urbanisme qui assure la gestion de la prévention des risques naturels et des PPR, a sollicité un appui technique et méthodologique du BRGM. Cet appui consiste, d'une part en l'étude des demandes de révision sollicitées par les pétitionnaires et d'autre part, en l'étude des évolutions possibles du document réglementaire.

En effet, l'aléa fort est soumis à des mesures d'inconstructibilité. Or, plusieurs remises en question de l'inconstructibilité de ces parcelles sont remontées par des pétitionnaires, au Service de l'Urbanisme ou à la commune, depuis l'application du PPR en 2010. Ces demandes de révision sont au nombre de 18 et sont essentiellement portées par des privés. Elles concernent l'aléa inondation et l'aléa mouvement de terrain et s'appuient, pour certaines, sur des études techniques. Chacun des sites a fait l'objet d'une expertise naturaliste, « à dire d'experts ». Pour ce faire, une mission de 2 agents du BRGM a été conduite du 11 au 22 mai 2015.

La mission du BRGM a donc d'abord consisté à préciser l'aléa sur ces 18 sites (c'est à dire modifications des contours des zones et/ou des niveaux d'aléa), à la lumière des nouveaux éléments techniques disponibles et d'investigations de terrain. Chaque site a fait l'objet d'une fiche normalisée constituée d'une proposition argumentée de révision du zonage de l'aléa ou d'un argumentaire en faveur du statu-quo (l'ensemble des fiches sont disponibles en annexe). Les résultats de ces expertises et les évolutions proposées de la cartographie de l'aléa sont présentées au chapitre 2 pour l'aléa mouvement de terrain et au chapitre 3 pour l'aléa inondation.

Il ressort que :

- Pour l'aléa mouvement de terrain, les modifications envisagées concernent essentiellement des limites en tête ou en pied de versant, justifiées par l'effet d'échelle et/ou les avancées de la connaissance sur la prise en compte de la propagation des chutes de blocs, depuis 2010. En effet, la présente étude basée sur une expertise de terrain, apporte une précision au 1/5000 ;

¹ Entre décembre 2002 et septembre 2013, le BRGM a réalisé pour le compte de la Polynésie française, les programmes ARAI 1, 2 et 3 (Aléa, Risque naturel, Aménagement et Information - conventions n° 2.2513, n°8.0008 et n°6056). Ces programmes ont principalement porté sur la gestion des risques naturels et l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (ou PPR). Il s'agissait en particulier de doter le Pays des données, outils et méthodologies lui permettant d'exercer une compétence nouvelle en matière de prévention des risques naturels majeurs (séismes, mouvements de terrain, inondations et crues torrentielles, houles cycloniques, tsunamis)

- Pour l'aléa mouvement de terrain, il faut noter qu'il n'y a pas de nouvelles données topographiques depuis la réalisation des premières cartes d'aléas et que le MNT disponible actuellement (de 5 m de résolution) bénéficie d'une forte incertitude sur les zones escarpées et boisées limitant l'analyse. La réalisation de levé LIDAR sur des zones à enjeux spécifiques permettrait d'avoir une meilleure connaissance de la configuration topographique et de préciser l'évaluation de l'aléa MVT notamment pour les secteurs soumis aux chutes de blocs ;
- Pour l'aléa inondation, les modifications proposées se justifient par de nouvelles connaissances sur l'aléa (issue de modélisation hydraulique) ou la création d'ouvrages adaptés en zone de ruissellement urbain.

Les différentes configurations rencontrées sur le terrain et l'analyse des pratiques réglementaires existantes dans les autres DRPM, ont permis d'identifier certaines perspectives d'évolution réglementaire envisageables en zone d'aléa fort notamment. Elles font l'objet du chapitre 5. **Ces propositions réglementaires améliorent la flexibilité du PPR sans remettre en cause le principe de préservation des personnes et des biens**, et en prenant en compte autant que possible la réalité des questions qui se posent concrètement dans le contexte polynésien.

Ainsi, concernant l'aléa inondation, le BRGM a précisé les modalités selon lesquelles une révision de l'aléa fort serait envisageable. Lorsque des solutions alternatives pour des zones moins exposées ne sont pas envisageables, l'idéal reste de concevoir un projet d'aménagement global, porté par une collectivité pour envisager une réduction des aléas à travers la prise en compte du cours d'eau dans son ensemble. Par ailleurs, le BRGM propose d'introduire une zone réglementaire spécifique au droit des collecteurs d'eaux pluviales, naturels ou non. Pour finir, l'exemple des zones réglementaires R1B1 de la Réunion est rappelé, puisqu'elles offrent une possibilité de renouvellement urbain dans certaines zones spécifiques soumises à l'aléa fort inondation, notamment quand les vitesses d'écoulement des eaux à l'intérieur de ce périmètre sont faibles.

Concernant l'aléa mouvement de terrain, le BRGM a identifié, au sein des secteurs indiqués par le Service de l'Urbanisme et étudiés dans le cadre de la présente étude, des sites à configuration géomorphologique particulière où le niveau d'aléa fort, en l'état actuel des connaissances est justifié mais est potentiellement réductible avec des aménagements d'ampleur. Le BRGM propose d'introduire des prescriptions dans le règlement pour que ces zones puissent être traitées spécifiquement et éventuellement être aménagées selon des modalités précises. Celles-ci doivent permettre de satisfaire les objectifs de prévention et de sécurité des personnes et des biens, qui sont ceux des PPR. Deux sites de ce type ont été identifiés dans le cadre de cette étude. L'identification d'autres secteurs sur la commune de Punaauia reste envisageable, le BRGM n'ayant établi un diagnostic que sur les sites étudiés.

Ces propositions impliquent la définition de nouvelles zones réglementaires, nuancant le niveau des contraintes à l'intérieur d'un même niveau d'aléa. Pour prendre en compte ces évolutions réglementaires, il devient nécessaire de distinguer explicitement le zonage d'aléa du zonage réglementaire avec la mise en place d'un principe de traduction réglementaire intégrant les aléas et les enjeux.

Dans le cadre de la présente étude, il a donc été présenté une approche novatrice pour la Polynésie, permettant, d'envisager d'aménager certaines zones d'aléa élevé, à travers un zonage réglementaire spécifique et des dispositions réglementaires dédiées. **Il est rappelé toutefois que le principe général pour les zones d'aléa élevé doit rester l'inconstructibilité. Aussi, envisager d'aménager une zone d'aléa élevé, même si l'aléa**

peut y être réduit après travaux, nécessite d'avoir épuisé toutes autres solutions alternatives.

Par ailleurs, il doit toujours demeurer possible à tout moment de réaliser des travaux visant à réduire l'aléa en zones d'aléa élevé, et d'en tenir compte s'il y a lieu lors de la prochaine révision du PPR.

Les résultats des travaux et réflexions menés dans le cadre de cette convention s'adressent à la ville de Punaauia, mais pourront bénéficier également aux PPR des autres communes de Polynésie française, encore à l'état de projets.

Sommaire

1. Introduction.....	13
2. L'aléa mouvement de terrain : analyse des cas d'études et révision	15
2.1. L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR LA COMMUNE DE PUNAAUIA	15
2.1.1. Événements redoutés sur la commune de Punaauia	15
2.1.2. Méthodologie d'évaluation de l'aléa initial (extrait du Rapport de présentation du PPR de Punaauia)	17
2.1.3. Cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Punaauia (extrait du Rapport de présentation du PPR de Punaauia).....	18
2.2. PRÉSENTATION DES CAS ÉTUDIÉS	18
2.3. CONTENU DE LA MISSION DU BRGM DANS LE CADRE DE LA PROCÉDURE DE RÉVISION.....	19
2.3.1. Méthodologie	19
2.3.2. Nouvelles données à prendre en compte	20
Etudes géotechniques.....	20
Amélioration de la connaissance de l'aléa chute de bloc (MEZAP, 2014)	21
Amélioration de la prise en compte de l'aléa propagation de bloc	22
2.4. RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS.....	24
2.4.1. Synthèse des résultats.....	24
2.4.2. Analyses critiques des études géotechniques.....	25
2.4.3. Identification de zones en aléa fort, dont le niveau est potentiellement réductible	26
3. L'aléa fort Inondation : Analyse des cas d'études et révision.....	29
3.1. L'ALÉA INONDATION SUR LA COMMUNE DE PUNAAUIA	29
3.1.1. Événements redoutés	29
3.1.2. Cartographie de l'aléa inondation sur la commune de Punaauia.....	29
3.2. PRÉSENTATION DES CAS ÉTUDIÉS	30
3.3. MISSION DU BRGM DANS LE CADRE DE LA PROCÉDURE DE RÉVISION	32
Données d'entrées nouvelles disponibles	32
Méthodologie	32
3.4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS	32
3.4.1. Résultats.....	32
Précision du niveau d'aléa grâce à une nouvelle connaissance sur l'aléa, non disponible initialement	33

Modification de l'aléa lié à de nouveaux ouvrages ou aménagements	33
Ajout d'aléa fort lié à des drains non pris en compte initialement	34
3.4.2. Enseignements quant aux configurations favorables à une révision cartographique	34

4. Analyse comparative des règlements PPR dans les DROM..... 35

4.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE	35
4.1.1. Rappel du principe réglementaire sur la commune de Punaauia	35
4.1.2. Présentation des règlements PPR dans les DROM	36
4.2. COMPARAISON DES RÉGLEMENTS ASSOCIÉS AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN	37
Comparabilité des niveaux d'aléas	37
Inconstructibilité en zone d'aléa fort mouvement de terrain	37
Exception en zone d'aléa fort.....	38
Constructibilité en zone d'aléa moyen	41
Objectifs des études techniques exigées	41
Réglementation sur les terrassements en zone d'aléa moyen	45
Protection de talus.....	45
4.3. COMPARAISON DES RÉGLEMENTS ASSOCIÉS AUX INONDATIONS	46
Distinction des phénomènes.....	46
Inconstructibilité en zone d'aléa fort inondation	46
4.4. RETOUR D'EXPÉRIENCE DROM SUR LES PROCÉDURES DE MISE A JOUR DE L'ALÉA	47
4.5. RETOUR D'EXPÉRIENCES DROM SUR « L'AMÉNAGEMENT GLOBAL » (INONDATION ET MVT).....	47
Aperçu général	47
L'enseignement de l'expérience martiniquaise (SCE, 2011)	48

5. Pistes de réflexion pour des évolutions réglementaires 49

5.1. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES GÉNÉRALES	49
5.1.1. Découplage des zonages d'aléas et réglementaires.....	49
5.2. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN.....	49
5.2.1. Envisager des aménagements dans certaines zones en aléa fort sous réserve de réduire le niveau d'aléa	49
5.2.2. Exiger un aménagement d'ensemble, pour certaines zones d'aléa moyen où une gestion de versant s'avère indispensable	51
5.2.3. Etudes de risque motivant une demande de révision de la carte d'aléa mouvement de terrain du PPR.....	52
5.2.4. Procédure de validation des études.....	53

5.3. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'ALÉA INONDATION	53
5.3.1. De nouvelles prescriptions réglementaires pour encadrer l'aménagement global en <u>aléa fort inondation</u>	53
5.3.2. Ouvrir dans certaines conditions très cadrées le renouvellement urbain de certaines zones soumises à l' <u>aléa fort inondation</u>	54
5.3.3. Une zone réglementaire spécifique au droit des collecteurs d'eaux pluviales	54
5.3.4. Des précisions dans les zones réglementaires existantes	55
Etude ponctuelle de réduction des risques en aléa fort inondation sur les projets existants	55
Encadrement du remblaiement en aléa moyen inondation	55
5.4. AUTRES APPROCHES A ENVISAGER	56
6. Conclusion	57
7. Bibliographie	59

Liste des illustrations

<i>Illustration 1 : Localisation des différentes demandes de révision de l'aléa</i>	14
<i>Illustration 2 : Eboulement au pk 14,9 en décembre 2002 (Source : Rapport de présentation du BRGM)</i>	16
<i>Illustration 3 : Encastrement du bloc dans la maison (Source : CR du SAU du 06 janvier 2010)</i>	16
<i>Illustration 4 : Extrait du rapport de présentation du PPR de Punaauia</i>	17
<i>Illustration 5 : Présentation des demandes de révision concernées par l'aléa Mouvement de terrain</i>	19
<i>Illustration 6 : Qualification de la probabilité de départ par un indice d'activité (MEZAP, 2014).</i>	21
<i>Illustration 7 : Qualification de la probabilité d'occurrence de l'aléa de référence, en croisant la probabilité d'atteinte et la probabilité de départ (MEZAP, 2014)</i>	21
<i>Illustration 8 : Qualification du niveau d'aléa de référence en croisant le niveau d'intensité et la probabilité d'occurrence (MEZAP, 2014)</i>	22
<i>Illustration 9 : Exemple de simulation trajectographique permettant de donner un indicateur pour apprécier la probabilité d'atteinte en un point</i>	24
<i>Illustration 10 : Synthèse des résultats des expertises du BRGM</i>	24
<i>Illustration 11 : Deux configurations morphologiques particulières, laissant supposer que l'aléa fort pourrait être réductible</i>	27
<i>Illustration 12 : Grille de définition des niveaux d'aléa inondation utilisé dans le PPR de Punaauia (extrait du rapport de présentation du PPR)</i>	29
<i>Illustration 13 : Extrait de la carte d'aléa inondation du PPR de Punaauia</i>	30
<i>Illustration 14 : Présentation des demandes de révision concernées par l'aléa Inondation</i>	31
<i>Illustration 15 : Synthèse des sites expertisés et des configurations justifiant une révision de l'aléa</i>	33
<i>Illustration 16 : Extrait du règlement du PPR de Punaauia</i>	35
<i>Illustration 17 : Etat des lieux administratifs des Plans de Prévention des Risques dans les DROM et en Polynésie</i>	36
<i>Illustration 18 : Emprise de la Zone réglementaire MVT dite « inconstructible » (= la plus contrainte)</i>	38
<i>Illustration 19 : Exemple de certaines prescriptions, concernant les habitations en zone d'aléa fort MVT dans les différents règlements PPR</i>	40
<i>Illustration 20 : Exemple de prescriptions, concernant les habitations en zone d'aléa moyen MVT dans les différents règlements PPR</i>	44
<i>Illustration 21 : Forte et rapide dégradation d'un talus de mamu II. Site 14.</i>	45
<i>Illustration 22 : Emprise de la Zone réglementaire Inondation dite « inconstructible » (= la plus contrainte)</i>	47

Liste des annexes

Annexe 1	Fiche des mises à jour de l'aléa mouvement de terrain	63
Annexe 2	Fiche des mises à jour de l'aléa inondation	65
Annexe 3	Extrait de la carte informative, planche 1 du PPR de Punaauia	67
Annexe 4	Classement des missions d'ingénierie géotechnique de la norme NF P94-500 du 30 novembre 2013	71
Annexe 5	Extrait du PPR de Fort de France, approuvé en décembre 2013, au sujet de la procédure d'aménagement global, en zone d'aléa fort et enjeux forts futurs	75
Annexe 6	Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)	81
Annexe 7	Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)	85
Annexe 8	Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)	91

1. Introduction

Située sur la côte Ouest de Tahiti Nui, la commune de Punaauia s'inscrit dans un contexte de fortes pentes et est traversée par de nombreuses vallées dont la principale est celle de la Punaruu. La pression urbaine sur la plaine côtière et les fronts de planèze est forte, puisque la commune appartient à la zone urbaine du Grand Papeete. Les inondations et les mouvements de terrain sont deux principaux aléas à prendre en compte pour l'aménagement du territoire communal.

Le 25 mars 2010, la commune de Punaauia a approuvé son Plan de Prévention des Risques naturels (PPRN) vis-à-vis des mouvements de terrain, des inondations de cours d'eau et des surcotes marines (inondation par submersion marine), le rendant ainsi opposable aux tiers notamment vis-à-vis des actes d'urbanisme (demandes de permis de construire et/ou d'aménager). L'instruction avait été portée par la commune de Punaauia et le Service de l'Urbanisme, avec le soutien du BRGM alors engagé avec le Pays dans le cadre du programme ARAI². En tant que premier PPR de Polynésie française, la procédure d'instruction s'était déroulée selon une démarche « pilote ».

La révision du PPR de Punaauia a été décidée en conseil des ministres par l'arrêté n°1846 CM du 9 décembre 2014.

Dans ce cadre, le Service de l'Urbanisme (SAU) qui assure aujourd'hui la gestion de la prévention des risques naturels et des PPR, a sollicité un appui technique et méthodologique du BRGM. Cet appui consiste, d'une part en l'étude des demandes de révision sollicitées par les pétitionnaires et d'autre part, en l'étude des évolutions possibles du volet réglementaire (plan de zonage et règlement).

En effet, l'aléa fort est soumis à des mesures d'inconstructibilité, comme le préconise la réglementation nationale. Or, plusieurs remises en question de l'inconstructibilité de ces parcelles sont remontées au Service de l'Urbanisme depuis l'application du PPR en 2010. Localisées sur l'*Illustration 1*, ces demandes (au nombre de 18), portées par des privés essentiellement (quatre demandes émanent directement du Pays) concernent l'aléa inondation et l'aléa mouvement de terrain et s'appuient, pour certaines, sur des études techniques.

Pour cela, une mission de 2 agents du BRGM a été conduite du 11 au 22 mai 2015. A cette occasion, chacun des sites a fait l'objet d'une expertise naturaliste, « à dire d'experts ». A la lumière des nouveaux éléments techniques disponibles (notamment les études techniques de précision fournies par les pétitionnaires) et des investigations de terrain, l'objectif était d'évaluer si des ajustements cartographiques s'avéraient nécessaires (modifications des contours des zones et/ou des niveaux d'aléa).

² Entre décembre 2002 et septembre 2013, le BRGM a réalisé pour le compte de la Polynésie française, les programmes ARAI 1, 2 et 3 (Aléa, Risque naturel, Aménagement et Information - conventions n° 2.2513, n°8.0008 et n°6056). Ces programmes ont principalement porté sur la gestion des risques naturels et l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (ou PPR). Il s'agissait en particulier de doter le Pays des données, outils et méthodologies lui permettant d'exercer une compétence nouvelle en matière de prévention des risques naturels majeurs (séismes, mouvements de terrain, inondations et crues torrentielles, houles cycloniques, tsunamis)

Les résultats de ces expertises et les évolutions proposées de la cartographie de l'aléa sont présentées au chapitre 2 pour l'aléa mouvement de terrain et au chapitre 3 pour l'aléa inondation.

En plus des reconnaissances de terrain, le BRGM a réalisé une synthèse des pratiques réglementaires les plus récentes et performantes dans les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM), pour ces deux phénomènes (mouvement de terrain et inondation), détaillée au chapitre 4. L'objectif est de pouvoir bénéficier des pratiques et du retour d'expérience des territoires couverts largement par PPR et situés dans des contextes géologiques et géomorphologiques proches de celui de Tahiti.

Finalement, fort de ce retour d'expérience et en tenant compte des différentes configurations rencontrées sur le terrain, des propositions méthodologiques afin d'envisager de possibles réductions de l'emprise de l'aléa fort mouvement de terrain ainsi que des propositions de prescriptions réglementaires, sont établies. Elles sont présentées au chapitre 5.

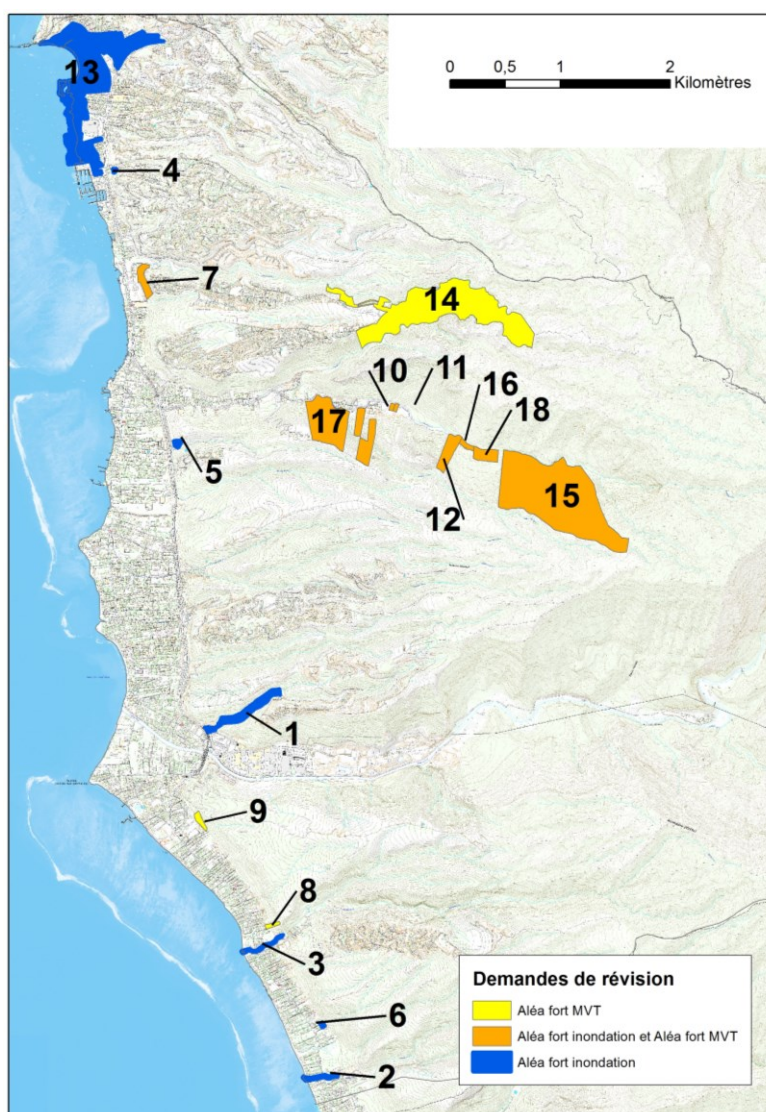


Illustration 1 : Localisation des différentes demandes de révision de l'aléa

2. L'aléa mouvement de terrain : analyse des cas d'études et révision

2.1. L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR LA COMMUNE DE PUNAAUIA

La prise en compte de l'aléa mouvement de terrain dans le PPR de la commune est détaillée dans le rapport de présentation du PPR et dans la note méthodologique associée. Les informations ci-dessous sont principalement extraites de ces documents.

2.1.1. *Évènements redoutés sur la commune de Punaauia*

Le terme générique de mouvements de terrain englobe, en réalité, plusieurs phénomènes naturels. En Polynésie, les plus courants et dommageables, sont :

- Les glissements de terrain ;
- Les chutes de blocs et les éboulements ;
- Les coulées de débris ou coulées boueuses.

La carte informative intégrée au PPR localise tous les évènements répertoriés sur la commune à l'époque dont un certain nombre de mouvement de terrain (cf. Annexe 3). La base de données BD Arai permet de consulter les documents associés (compte-rendu d'intervention, rapports, article de presse..).

D'après cette base de données, complétée par les récentes interventions du Services de l'Urbanisme, plusieurs chutes de blocs ont déjà impactées la commune de Punaauia. Citons notamment :

- En décembre 2002, un éboulement rocheux de 1 500 à 2 000 m³ a provoqué la ruine partielle d'une habitation en pied de versant au pK 14.9, face au centre commercial Tamanu (cf. Illustration 2). Les impacts de blocs et la boue ont endommagé une seconde habitation. D'après le compte-rendu d'intervention du BRGM à l'époque (Mompelat et al., 2002), l'éboulement a pris naissance dans une paroi rocheuse de 30 m de hauteur environ, particulièrement fracturée. La formation géologique concernée est une formation bréchique (lahars ou lave autobréchifiée);
- En 2010, dans le lotissement Punavai Nui, un éboulement a fait de nombreux dégâts. D'après le compte-rendu du Service de l'Urbanisme du 6 janvier 2010, plusieurs blocs auraient dévalé la pente dont un de plusieurs mètres cubes, qui est venu s'encastrent dans une maison d'habitation et un second qui l'a traversée pour finir sa course dans un talweg en contre-bas (cf. photo en Illustration 3) ;
- En juillet 2014, un bloc d'environ 0,75 m³ soit approximativement 2 tonnes a terminé sa course à 5 mètres au bas d'un versant et à une quinzaine de mètres d'une habitation. Décrit dans le compte-rendu du Service de l'Urbanisme du 17 juillet 2014 (Bernon, 2014), cette chute affecte un des sites expertisés (le site 9).

Les événements à proximité des sites expertisés sont évoqués dans les fiches concernées.



Illustration 2 : Eboulement au pk 14,9 en décembre 2002
(Source : Rapport de présentation du BRGM)



Illustration 3 : Encastrement du bloc dans la maison
(Source : CR du SAU du 06 janvier 2010)

2.1.2. **Méthodologie d'évaluation de l'aléa initial (extrait du Rapport de présentation du PPR de Punaauia)**

Le niveau d'aléa mouvement de terrain a été cartographié conformément aux recommandations du guide méthodologique du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (1999). La démarche a consisté en une approche naturaliste de type expertise excluant le recours à des acquisitions de données supplémentaires systématiques. Ces analyses tiennent compte essentiellement de la pente des versants, de la nature lithologique et de la structure des terrains et de la présence d'indices témoignant d'instabilités passées.

Les phénomènes « glissement » et « chute de pierre » ont été analysés distinctement bien que le niveau d'aléa final affiché ne les distingue plus. A chaque endroit de la commune, il est possible de distinguer le niveau d'aléa vis-à-vis des glissements de terrain et des coulées boueuses d'une part (noté G) et vis-à-vis des chutes de pierre et des éboulements d'autre part (noté Eb). L'aléa est exprimé de façon qualitative, selon trois niveaux possibles : faible (noté 1 - jaune), moyen (2 - orange) ou fort (3 - rouge).

Une approche déterministe a été mise en œuvre ponctuellement en appui à l'approche globale. Le zonage d'aléa chutes de bloc a été affiné localement à l'aide du logiciel PIERRE (©BRGM) pour définir l'extension des zones affectées par les chutes de blocs. Les paramètres du logiciel ayant été calés à l'époque sur plusieurs événements historiques connus de la commune.

Concernant les glissements de terrain, l'outil TALREN (©TERRASOL) a été mis en œuvre ponctuellement au sommet des planèzes, afin d'aider à la définition de la largeur de la zone d'aléa fort à afficher en crête de versant.

L'illustration 4 présente les périodes de retour associées aux niveaux d'aléas définis dans le PPR de Punaauia.

Les cartes d'aléa mouvement de terrain du PPR sont affichés au 1/10 000.

Niveau d'aléa	Portée	Gravité	Périodes de retour associées aux phénomènes de glissement	Périodes de retour associées aux phénomènes d'éboulement et de chute de blocs
Faible	parade individuel économiquement et techniquement	pas d'accident ou improbable	Quelques (0 à 9) G1 tous les 10 ans environ G2 à G5 improbables	1 bloc tous les 100 ans
Moyen	parade collective, supportable par quelques individus (immeuble collectif, petit lotissement)	accident isolé	Quelques G1 tous les 5 ans environ Quelques G2 tous les 10 ans environ Un G3 tous les 50 à 100 ans G4 et G5 improbables	1 bloc tous les 50 ans ou plus
Fort	cadre dépassant la parcelle, parade au coût prohibitif et techniquement difficile	quelques victimes	Quelques G3 tous les 10 ans environ Un G4 tous les 50 à 100 ans	1 bloc tous les 10 ans ou plus, associé à des phénomènes de tpe E1 à E3
Majeur	pas de parade technique	quelques dizaines de victimes ou plus	Un G5 tous les 100 ans environ Quelques G4 tous les 100 ans environ	Un E4 ou un E5 tous les 100 ans

Illustration 4 : Extrait du rapport de présentation du PPR de Punaauia

2.1.3. *Cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Punaauia (extrait du Rapport de présentation du PPR de Punaauia)*

Sur la commune de Punaauia, les zones en aléa fort mouvement de terrain sont principalement situées sur les grands versants des vallées principales ainsi que sur les versants composant les fronts des planèzes. L'aléa fort lorsqu'il existe, est justifié par une forte pente associée à la présence de barres rocheuses fracturées et/ou à la présence d'accumulations de matériaux argileux déjà éboulés ou glissés (colluvions).

Du nord de la commune jusqu'au lotissement Tavake, l'aléa est globalement de niveau faible à moyen. Entre la vallée de la Matatia et celle de la Punaruu, les pentes des versants sont relativement plus fortes et la hauteur des fronts de planèze est de l'ordre de 100 m, justifiant un aléa fort sur les grands versants et les fronts de planèzes. Au sud de la Punaruu, les fronts de planèze sont encore plus hauts (150 m) et plus escarpés. Des barres rocheuses dans la pente et la présence de cône d'éboulis en pied est quasi systématique. Les fronts de planèzes sont classés en aléa fort de chute de blocs / éboulement et la majeure partie des habitations situées en pied de versant sont soumises à cet aléa.

2.2. PRÉSENTATION DES CAS ÉTUDIÉS

Parmi les demandes de révision remontées aux Service de l'Urbanisme, onze d'entre elles concernent l'aléa mouvement de terrain. Ces demandes sont présentées sur l'illustration 5. Il s'agit de parcelles situées :

- en pied de grand versant, dans la vallée de la Matatia (site 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18).
- en pied de front de planèze, le long de la route du littoral, au sud de la Punaruu entre le PK 15 et 16 (site 8 et 9) et au nord de la Matatia (site 7) ;
- au sommet d'un grand versant (site 14).

La plupart des projets d'aménagement associés sont des logements individuels portés par des particuliers ou par des aménageurs.

Ces parcelles sont toutes affectées (en totalité ou partiellement) par un niveau d'aléa fort mouvement de terrain, et plus précisément un niveau d'aléa « Eb3G2 », c'est-à-dire un aléa chute de bloc de niveau fort associé à un aléa glissement de niveau moyen.

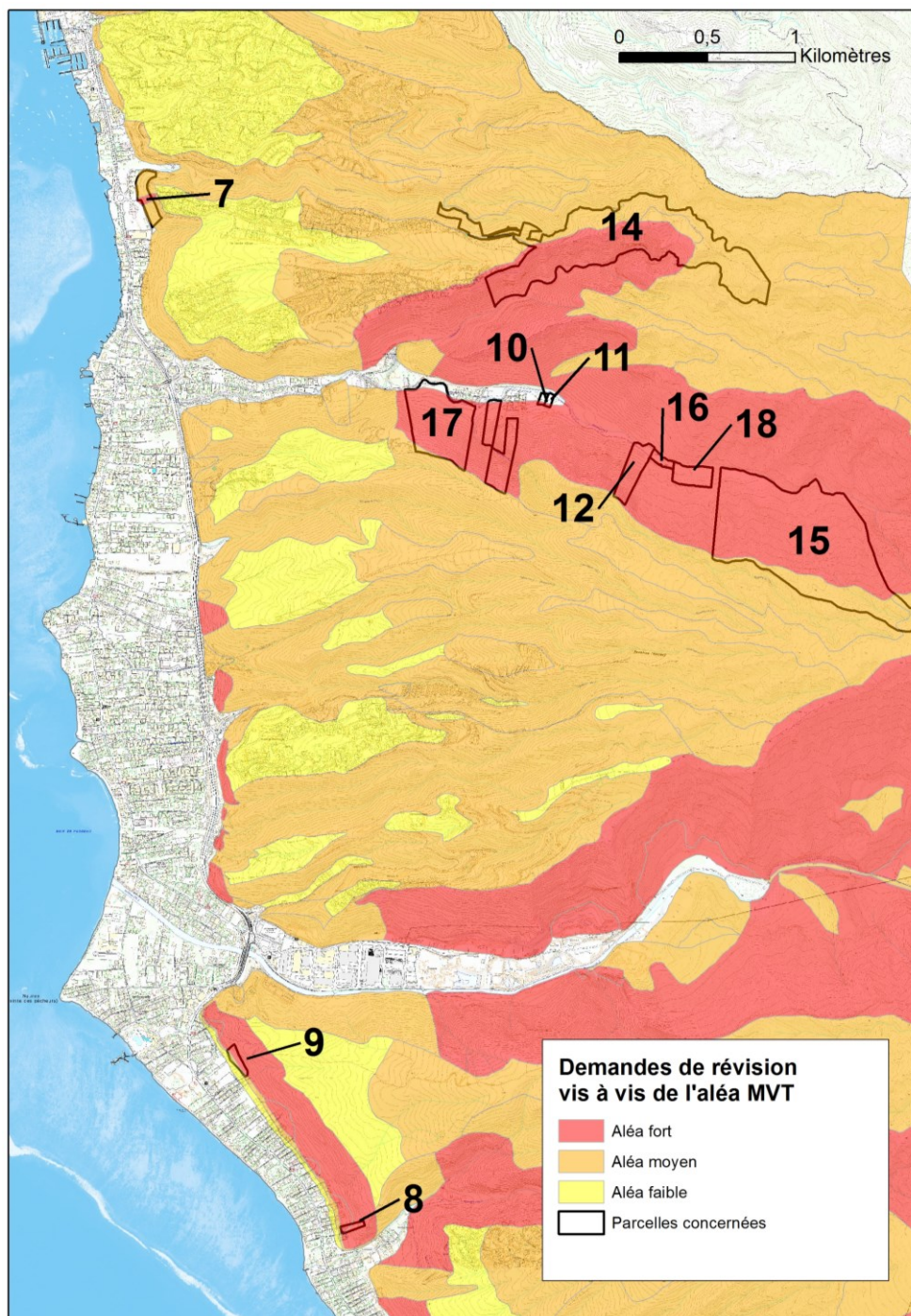


Illustration 5 : Présentation des demandes de révision concernées par l'aléa Mouvement de terrain

2.3. CONTENU DE LA MISSION DU BRGM DANS LE CADRE DE LA PROCÉDURE DE RÉVISION

2.3.1. Méthodologie

L'expertise du BRGM a consisté en une inspection visuelle détaillée de chaque secteur, confortée localement par des modèles de trajectographies et l'analyse des nouveaux éléments

techniques disponibles (décrits dans le § 2.3.2). L'analyse de ces données ont permis au BRGM de juger, s'il y avait matière ou non, à réviser le zonage de l'aléa du site (non aménagé).

La méthode est donc la même que celle utilisée pour réaliser les cartes d'aléa initiales, en tenant compte des nouvelles données d'entrées et outils disponibles depuis, décrits dans le paragraphe suivant.

Les sites ont chacun fait l'objet d'une fiche détaillée d'appréciation du niveau d'aléa, disponible en Annexe 1.

2.3.2. Nouvelles données à prendre en compte

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT), acquis par le Service de l'Urbanisme en 2002-2003 et mis à jour à partir de données satellites de 2013, a été transmis au BRGM au démarrage de la présente mission, par le Service de l'Urbanisme. Ce MNT couvre l'île avec une maille de 5 m x 5 m. Il a été constitué par restitution photogrammétrique à partir de clichés photographiques à une échelle du 1/2 000 à 1/5 000. Sa précision altimétrique et planimétrique est globalement métrique mais est plus limitée dans les zones boisées ou à forte pente, sujettes aux mouvements de terrain.

Ce MNT est identique à celui utilisé lors de la réalisation des PPR, car les mises à jour de 2013 ne concernent pas les secteurs étudiés. Il n'y a donc pas de données topographiques plus précises depuis la dernière cartographie d'aléa.

La réalisation de levé LIDAR sur des zones à enjeux spécifiques permettrait d'avoir une meilleure connaissance de la configuration topographique et de préciser l'évaluation de l'aléa MVT notamment pour les secteurs soumis aux chutes de blocs.

Les nouvelles données à prendre en compte sont évoqués ci-dessous.

Etudes géotechniques

9 des 11 demandes ont été associées à des études géotechniques. La majorité de ces études géotechniques ont été réalisées par des bureaux d'étude spécialisés, à la demande et sur financement des pétitionnaires. Elles sont de type G5 « diagnostic géotechnique » de la nouvelle norme NF P94-500 de novembre 2013 (+ une de type G2). Si le type d'étude proposé est homogène, les objectifs affichés par les bureaux d'étude sont variés :

- « Vérifier la stabilité générale de la parcelle et la faisabilité des terrassements » ;
- « Réévaluation du niveau d'aléa et les préconisations constructives » ;
- « Avis technique sur les risques encourus et préconisations ».

Seulement deux des études s'intéressent explicitement au phénomène de glissement de terrain (site 14 et site 7) et apportent, pour ce faire, de nouvelles données sur les caractéristiques du versant nu grâce à l'acquisition de données in situ (pénétromètres, pressiomètres et sondages carottés) et à des essais en laboratoire. Les autres études s'intéressent aux risques de chutes de blocs.

La pertinence de ces études et de leur méthodologie vis-à-vis d'une précision des aléas dans une démarche PPR est analysée au § 2.4.2.

Amélioration de la connaissance de l'aléa chute de bloc (MEZAP, 2014)

Les réflexions nationales, et notamment le groupe de travail MEZAP, apportent plusieurs avancées concernant la cartographie de l'aléa rocheux et la normalisation des critères pour évaluer l'aléa chute de bloc. L'appréciation du niveau d'intensité, de la probabilité d'occurrence et de l'aléa sont désormais « normalisées », permettant de conforter et d'homogénéiser à minima le diagnostic des acteurs.

Ainsi, le groupe de travail MEZAP (2014) a proposé une grille d'appréciation formalisée pour qualifier la probabilité de départ d'une part (cf. Illustration 6), la probabilité d'occurrence de l'aléa (cf. Illustration 7) et le niveau d'aléa, d'autre part (Illustration 8).

En première analyse, il ressort de cette méthodologie d'évaluation de l'aléa chute de blocs qu'un aléa élevé peut être considéré pour un bloc d'un volume supérieur au m³, quel que soit sa probabilité d'occurrence (même faible).

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

Illustration 6 : Qualification de la probabilité de départ par un indice d'activité (MEZAP, 2014)

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

Illustration 7 : Qualification de la probabilité d'occurrence de l'aléa de référence, en croisant la probabilité d'atteinte et la probabilité de départ (MEZAP, 2014)

		<i>Intensité</i>				Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)
		$V \leq 0,25 \text{ m}^3$	$0,25 < V \leq 1 \text{ m}^3$	$1 < V \leq 10 \text{ m}^3$	$V > 10 \text{ m}^3$	
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	Cartographie avec un niveau d'aléa unique: très élevé (Cf. 3.1)
<i>Probabilité d'occurrence</i>	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé	
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé	

Illustration 8 : Qualification du niveau d'aléa de référence en croisant le niveau d'intensité et la probabilité d'occurrence (MEZAP, 2014)

D'après ces réflexions collégiales, l'efficacité des peuplements forestiers vis-à-vis de l'aléa rocheux est avérée. Il est proposé d'en tenir compte à partir d'un parcours de 200 ml en forêt et avec un peuplement caractérisé par une surface terrière d'au moins 25 m²/ha (MEZAP, 2014), sous réserve que le risque incendie ne soit pas caractérisé sur la commune.

La prise en compte dans les PPRN des recommandations de ce guide est en cours de formalisation au niveau national.

Ces règles ont été prises en compte dans la présente analyse pour valider ou non les zonages d'aléa.

Amélioration de la prise en compte de l'aléa propagation de bloc

Depuis l'évaluation des aléas en 2010, une expérience de lâchers de blocs (appelée OFAI), a été réalisée en 2010 par le BRGM à la demande du SAU, afin de disposer de paramètres spécifiques aux versants locaux et donc de préciser ainsi, le zonage d'aléa chute de blocs (Dewez et al., 2010b). Une des principales valorisations opérationnelles de cette opération d'envergure a été de déterminer des paramètres cinématiques propres au contexte géologique polynésien. Jusqu'alors, les paramètres qui conditionnaient l'ampleur des rebonds (et donc le zonage d'aléa), découlaient d'une expérimentation de ce type réalisée en Isère.

Par ailleurs, l'outil Pierrauto³ utilisé pour estimer cartographiquement la probabilité d'atteinte et donc les niveaux d'aléa, a été amélioré (exemple en Illustration 9). Désormais :

- le nombre de blocs dont la chute est simulée a été augmenté (1000 simulations par profils). Les résultats permettent d'afficher, en chaque point du profil, le pourcentage de blocs qui s'arrêteront en aval de ce point ;
- les caractéristiques des sols tiennent compte désormais des paramètres cinématiques propres au contexte géologique polynésien. En effet, les paramètres de simulation relatifs à l'impact (coefficients de restitution coefficient de frottement statique) et au roulement (coefficient de frottement de roulement) ont été précisés par l'expérience OFAI. Initialement, la propagation était simulée avec des paramètres physiques calés sur un site métropolitain ;
- les calculs tiennent compte de la variabilité des sols et des paramètres cinématiques le long d'un profil (différence de comportement selon que le bloc roule sur un versant naturel ou sur un sol mou) ;

L'outil Pierrauto, ainsi que ponctuellement le logiciel Pierre⁴, ont donc été utilisés pour vérifier les aléas au droit des secteurs analysés. Les simulations ont considéré la chute de 1000 blocs indépendants, de forme parallélépipédique, avec une masse comprise entre 1,4 et 3,3 T, ce qui correspond à la plage des blocs les plus fréquemment rencontrés sur les sites expertisés. Si ce nombre n'est statistiquement pas suffisant pour apprécier rigoureusement les probabilités d'atteinte⁵, il est déjà un bon indicateur des distances de propagation possibles, qu'il reste à confronter à d'autres analyses. Il est important de souligner que la qualité de la donnée topographique disponible limite la précision des résultats trajectographiques.

Les résultats des calculs trajectographiques ont notamment été confortés par le principe de la ligne d'énergie développée par Heim (1932), communément employé dans la communauté scientifique. Il s'agit de conventions angulaires empiriques entre la zone de départ du bloc et son point d'arrêt.

Aucun de ces outils n'est suffisant à lui-seul. Ces résultats ont été utilisés avec d'autres, pour guider l'analyse de l'expert.

³ L'utilitaire Pierrauto couple un outil de cartographie et le logiciel trajectographique PIERRE.

⁴ L'outil PIERRE est un modèle de simulation trajectographique développé conjointement par le BRGM et l'université British Columbia du Canada en 1998. Il fait partie des modèles dits « à trajectoire enveloppe », orientés vers l'analyse des conditions limites de propagation générées par l'enchaînement d'impacts successifs les plus défavorables sur l'ensemble de la trajectoire.

⁵ Le niveau de probabilité d'atteinte est considéré comme faible si moins d'un bloc sur million atteint le point, d'après MEZAP (2014)

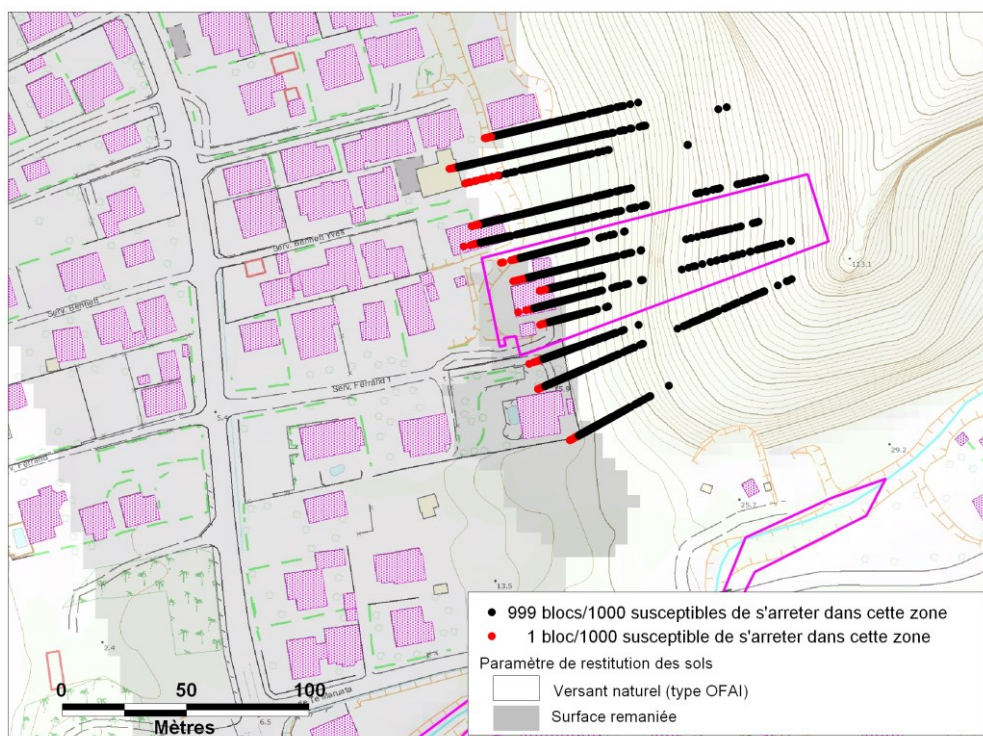


Illustration 9 : Exemple de simulation trajectographique permettant de donner un indicateur pour apprécier la probabilité d'atteinte en un point

2.4. RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS

2.4.1. Synthèse des résultats

Les onze sites ont chacun fait l'objet d'une fiche détaillée d'appréciation du niveau d'aléa, disponible en Annexe 1.

Tous les sites étudiés sont concernés par un niveau d'aléa fort Eb3G2, c'est-à-dire exposés à un aléa fort chute de bloc associé à un niveau d'aléa glissement moyen. Notons que ceci ne représente pas l'ensemble des configurations possibles (notamment le cas particulier des zones de niveau G3) n'a pas été rencontré ici.

L'Illustration 10 synthétise le résultat des expertises du BRGM.

Configuration	Nombre de site concerné	
Aucun changement	4	Site 12, 15, 16, 18
Changement du niveau d'aléa	2	Site 14 (diminution) Site 7 (augmentation)
Précision de la limite aléa fort/aléa moyen en pied de versant	6	Site 7, 8, 9 10, 11, 17
Précision de la limite aléa fort/aléa moyen/faible, en haut de pente	1	Site 9

Illustration 10 : Synthèse des résultats des expertises du BRGM

Les configurations topographiques sont telles que le niveau d'aléa fort dans le versant, a été confirmé sur l'ensemble de ces sites, sauf sur le site 14.

Sur le site 14, les récentes études conduites par les bureaux d'études ont permis de conforter l'expertise de terrain du BRGM selon laquelle le niveau d'aléa n'était pas fort mais moyen. Cette précision est liée à un effet d'échelle.

Par ailleurs, des modifications de la limite entre l'aléa fort et l'aléa moyen ou faible ont été apportées. Elles ont consisté en :

- des ajustements de la limite aléa fort/aléa moyen en pied de versant, justifiée par les récentes évolutions dans la prise en compte de la propagation des blocs. Ces ajustements atteignent généralement une dizaine de mètre ;
- des ajustements de la limite aléa fort/aléa moyen en tête de versant, qui peuvent atteindre une vingtaine de mètre ;
- l'ajout d'une nouvelle zone en pied de versant, de niveau moindre (moyen ou faible) pour encadrer au plus juste l'emprise de la propagation probable de blocs, en intégrant toutes les sources d'incertitude.

2.4.2. Analyses critiques des études géotechniques

La plupart des études géotechniques ont explicitement été dédiées à revoir la cartographie de l'aléa, cependant aucune ne s'appuie explicitement sur la définition et la méthodologie d'évaluation des aléas (période de référence, événement de référence - historique, événement possible, etc). Pour preuve, les études concluent globalement au maintien du niveau d'aléa fort chute de blocs mais aucune ne conclue à l'impossibilité de construire, puisque généralement, elles précisent ensuite les préconisations constructives à la parcelle, rendant possibles et compatibles l'aménagement avec le risque identifié. Ceci n'est pas en accord avec la traduction réglementaire usuelle de l'aléa fort (= zone rouge dotée d'un principe d'inconstructibilité), notamment dans le PPR de Punaauia.

Seulement deux des études s'intéressent au phénomène de glissement de terrain (site 14 et site 7) et apportent, pour ce faire, de nouvelles données sur les caractéristiques du versant nu grâce à l'acquisition de données in situ (pénétrromètres, pressiomètres et sondages carottés) et à des essais en laboratoire. Dans le cas général, les données à acquérir (profondeur d'investigation..) doivent être explicitement définies en fonction de l'aléa de référence. Celui-ci n'est pas explicitement évoqué dans les études géotechniques consultées mais dans les deux cas cités, il se trouve que les événements redoutés restent des glissements superficiels pour lesquels les données acquises apportent globalement des informations suffisantes.

Les autres études s'intéressent aux risques de chutes de blocs, dans des secteurs où l'aléa est élevé. L'analyse conduite par les bureaux d'étude s'appuie exclusivement sur des expertises de terrain sur la partie accessible du versant. En résumé :

- toutes ces études aboutissent à confirmer le niveau d'aléa fort sur les parcelles étudiés, mais proposent un dispositif pour réduire la vulnérabilité ;
- dans le cas des grands versants, les risques en provenance de l'amont du versant ne sont pas explicitement abordés ; la notion de bassin de risque n'est pas respectée ;

- aucune étude trajectographique n'a été conduite pour justifier d'éventuelle réduction du niveau d'aléa en pied.

Ces études apportent peu d'arguments tangibles, exploitables pour revoir l'aléa chute de blocs.

↳ **Des pistes d'encadrement de ces études sont proposées au § 5.2.3.**

2.4.3. Identification de zones en aléa fort, dont le niveau est potentiellement réductible

Parmi les 11 sites étudiés, deux secteurs classés en aléa fort (Eb3G2) se distinguent : le site 7 et le site 9 (cf. fiches en annexe). Le niveau d'aléa fort chute de bloc, en l'état actuel des connaissances, est justifié mais les configurations morphologiques (taille du versant notamment) permettent d'envisager que l'aléa puisse être maîtrisé et réduit à un niveau acceptable, avec des aménagements d'ampleur.

Un des critères implicites d'identification de ces secteurs est qu'une collectivité puisse traiter l'intégralité du bassin de risque (ceci revient notamment à des critères de hauteur de versant rocheux). En l'occurrence, les deux sites identifiés sont caractérisés par une très forte densité de blocs pluri-décimétriques à métriques ($< 1 \text{ m}^3$), sur un versant de taille limitée respectivement ici à 40 et 60 m de dénivelé (cf. Illustration 11).

A l'inverse, sur les autres sites étudiés, notamment tous les sites situés dans la vallée de la Matatia, les configurations morphologiques sont telles que l'aléa fort n'est pas réductible.

Par ailleurs, aucun site classé en aléa glissement fort (G3) n'a été étudié dans le cadre de cette mission, mais il serait plus difficile d'envisager que ce type d'aléa puisse être maîtrisé et déclassé à un niveau acceptable.

Deux sites de ce type ont donc été identifiés au sein des secteurs indiqués par le Service de l'Urbanisme et étudiés dans le cadre de la présente étude.

↳ **Des propositions de prescriptions réglementaires pour ces zones spécifiques sont proposées au § 5.2.1**

D'autres secteurs de la commune dans des configurations similaires pourraient être identifiés, le BRGM n'ayant établi un diagnostic sur les secteurs étudiés.

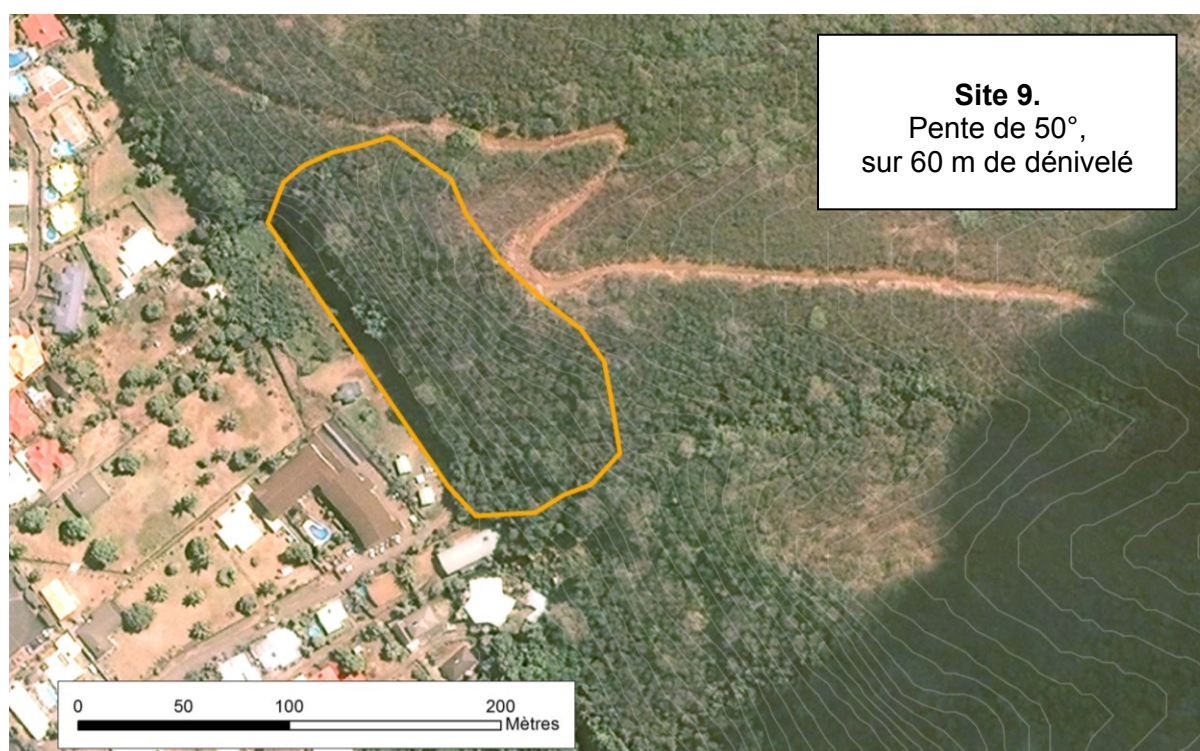
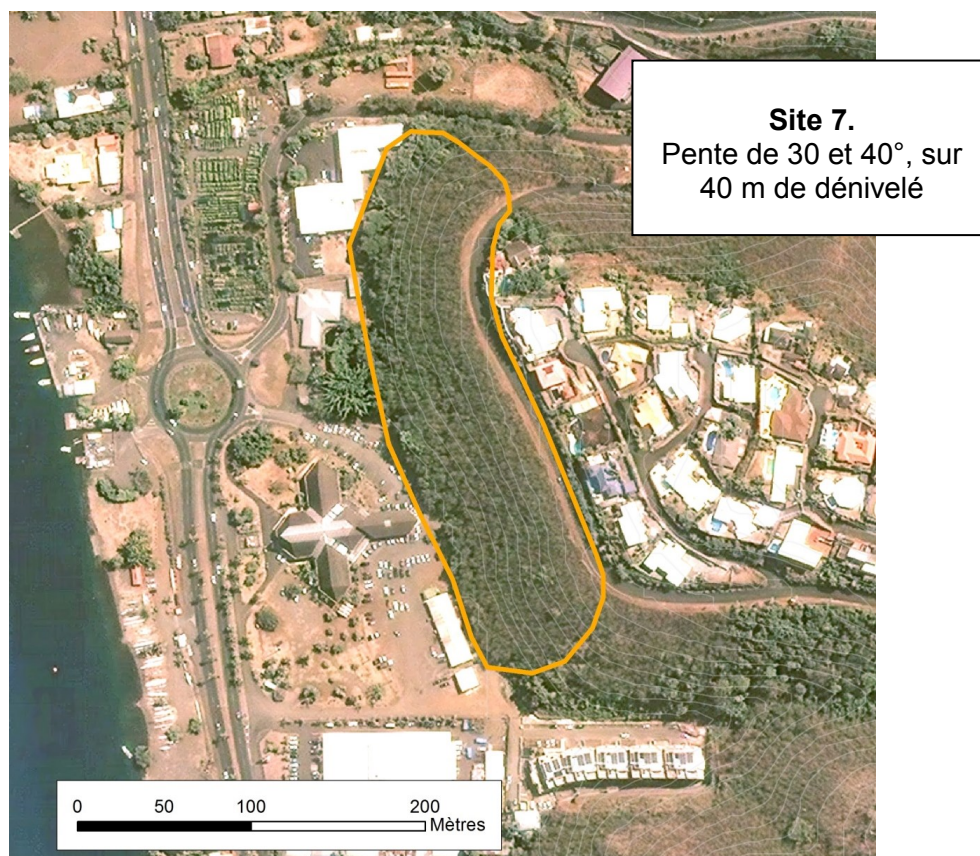


Illustration 11 : Deux configurations morphologiques particulières, laissant supposer que l'aléa fort pourrait être réductible

3. L'aléa fort Inondation : Analyse des cas d'études et révision

3.1. L'ALÉA INONDATION SUR LA COMMUNE DE PUNAAUIA

La prise en compte de l'aléa inondation dans le PPR de la commune est détaillée dans le rapport de présentation du PPR et dans la note méthodologique associée. Les informations ci-dessous sont extraites de ces documents.

3.1.1. Évènements redoutés

La commune de Punaauia subit régulièrement le phénomène d'inondation lié aux crues des cours d'eau. La carte informative intégrée au PPR localise quelques-unes des inondations ayant affecté la commune (cf. Annexe 3).

Les inondations pouvant se produire sur le territoire communal sont le plus souvent en relation directe avec les crues d'un cours d'eau. Il s'agit d'une part de torrents aux bassins versants peu étendus ; ils sont encaissés et leurs berges sont généralement peu construites. D'autre part des zones de débouché dans les plaines où l'eau a tendance à s'accumuler après débordement. Il existe également des zones dites d'inondation pluviales où l'eau s'évacue mal en raison des faibles pentes et parfois d'un mauvais fonctionnement du système d'évacuation. Pour ce type d'inondation, même si les dégâts sur les ouvrages et les biens peuvent être importants, il ne présente qu'un faible risque pour la vie des personnes du fait d'hauteurs d'eau généralement faibles.

3.1.2. Cartographie de l'aléa inondation sur la commune de Punaauia

Les cours d'eau accessibles ont fait l'objet d'une visite de terrain et le zonage a été établi suivant une approche semi-quantitative. Seule la Punaruu avait initialement bénéficié d'une modélisation hydraulique.

L'aléa est défini en fonction de la hauteur de submersion et de la vitesse d'écoulement des eaux comme indiqué dans le tableau suivant :

Hauteur / Vitesse	faible (stockage)	moyenne (écoulement)	forte (grand écoulement)
$H < 0.5 \text{ m}$	faible	moyen	fort
$0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	moyen	moyen	fort
$H > 1 \text{ m}$	fort	fort	fort

Illustration 12 : Grille de définition des niveaux d'aléa inondation utilisé dans le PPR de Punaauia (extrait du rapport de présentation du PPR)

Un extrait de la carte d'aléa inondation produite sur la commune est donné en Illustration 13.

La carte d'aléa fait ressortir le fait que l'aléa fort est souvent confinée au lit mineur des rivières ou à l'axe principal des thalwegs. Seules les zones situées dans les vallées principales ou aux débouchés de celles-ci sont soumises à des niveaux d'aléa faible à moyen.

Par ailleurs, il est important de noter à titre informatif, qu'une grande partie de la plaine côtière a une morphologie propice à la stagnation des eaux pluviales car la performance hydraulique y est naturellement moindre et a fortiori si les réseaux d'évacuation sont sous dimensionnés et/ou mal entretenus.

Les cartes d'aléa inondation du PPR sont affichées au 1/10 000.

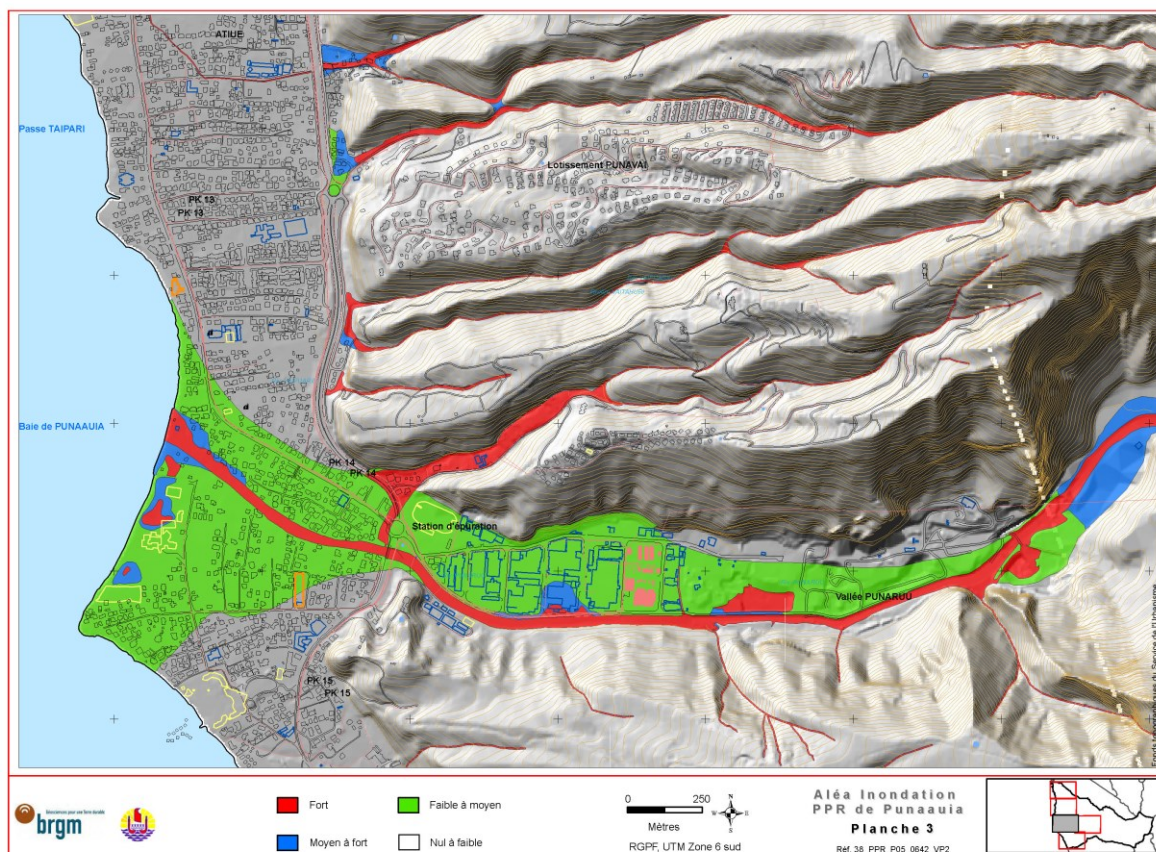


Illustration 13 : Extrait de la carte d'aléa inondation du PPR de Punaauia

3.2. PRÉSENTATION DES CAS ÉTUDIÉS

Parmi les demandes de révision remontées aux Service de l'Urbanisme, onze d'entre elles concernent l'aléa inondation. Ces demandes sont présentées sur l'illustration 14.

Ces parcelles sont toutes concernées (en totalité ou partiellement) par un niveau d'aléa fort inondation, mais dont la révision porte plus particulièrement :

- sur l'ensemble du cours d'eau pour les rivières de la Vaipu, Vaioa et Maruapo (Site 1, 2, 3) et de la Matatia ;
- sur la partie aval du cours d'eau, pour les sites 13, 4 ; 7, 5, 6), située sur la bordure côtière.

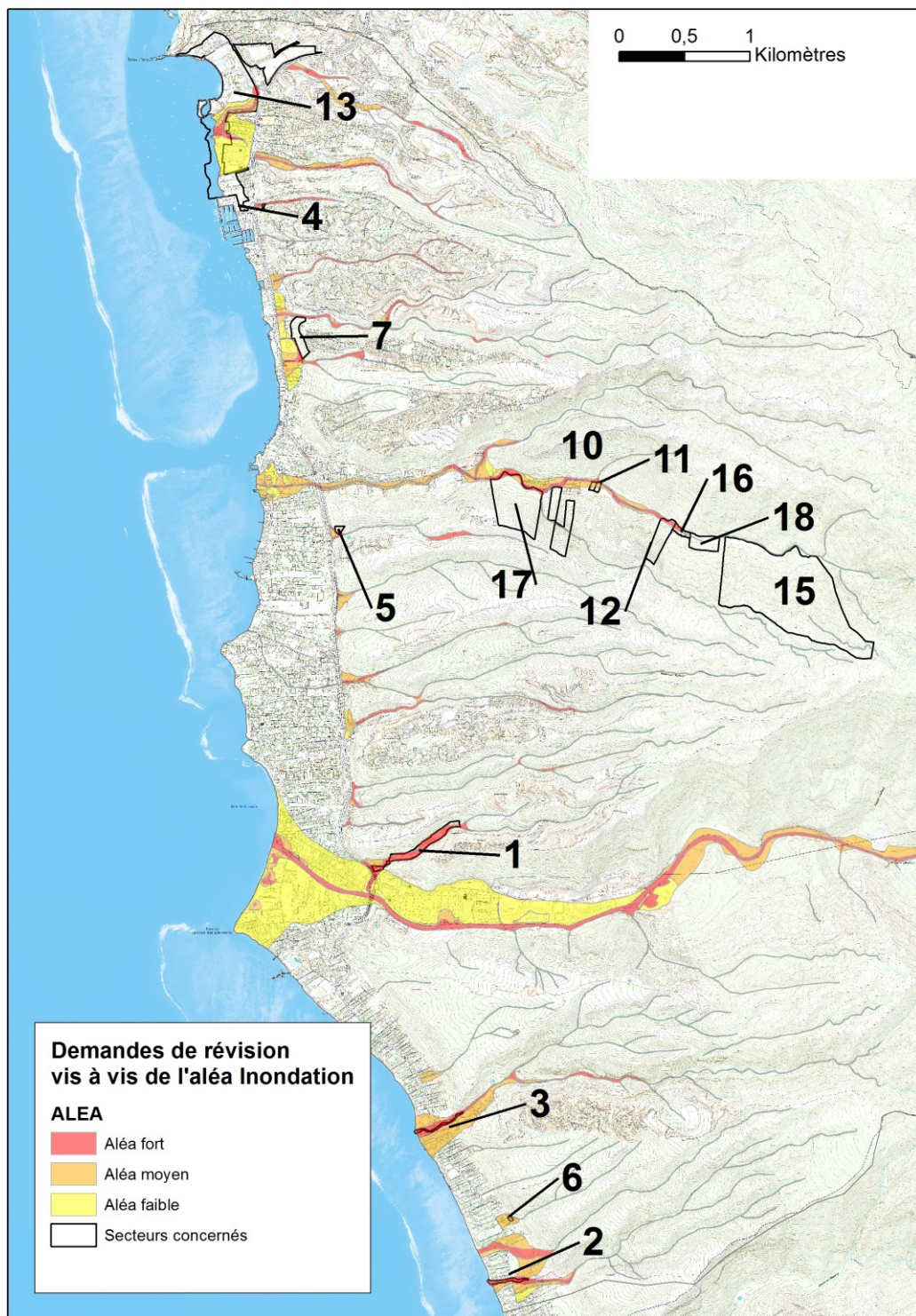


Illustration 14 : Présentation des demandes de révision concernées par l'aléa Inondation

3.3. MISSION DU BRGM DANS LE CADRE DE LA PROCÉDURE DE RÉVISION

Données d'entrées nouvelles disponibles

Trois rivières ont bénéficié d'une modélisation hydraulique d'ensemble reposant sur des levés topographiques spécifiques. Elles ont été réalisées par des bureaux d'études et ont conduit à une nouvelle proposition de zonage d'aléa par rapport au zonage utilisé pour le PPR. Il s'agit des rivières : Vaiope, Vaioa, Maruapo.

Sur certaines parcelles, de nouveaux ouvrages hydrauliques ont été conçus ainsi que des aménagements en remblais, aménagements qui modifient nécessairement les écoulements et donc potentiellement les aléas.

Méthodologie

L'expertise du BRGM a consisté en une inspection de terrain détaillée de chaque secteur visant notamment à apprécier la conformité des ouvrages et les modifications de topographie, tenant compte également des nouveaux éléments techniques lorsqu'ils existent.

3.4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS

3.4.1. *Résultats*

Les 11 sites ont chacun fait l'objet d'une fiche détaillée d'appréciation du niveau d'aléa, disponible en Annexe 2. Les différentes configurations rencontrées sont :

- Création de nouvelles zones en aléa fort (exemple de drains non cartographiés initialement) ;
- Ajustement de l'emprise de l'aléa fort et moyen notamment lié à des aménagements récents ou à des nouvelles données sur l'aléa (modélisation hydraulique, topographique..) ;
- Maintien du niveau d'aléa (Site 7).

Les configurations qui ont conduit à une modification de l'aléa (et notamment de l'emprise de l'aléa fort) sont synthétisées dans l'illustration 15 puis détaillées ci-après.

Numéro	Lieu	Nouvelle connaissance de l'aléa disponible (modélisation, accessibilité)	Réalisation d'ouvrage/aménagement (ouvrage hydraulique, remblai..)	Précision liée à l'effet d'échelle (diminution de l'emprise de l'épandage, ajout de drain..)
1	VAIOPE	X (modélisation)		
2	VAIOA	X (modélisation)		
3	MARUAPO	X (modélisation)		

4			X (remblai)	X (diminution de l'emprise de l'aléa en amont + ajout de drain)
5			X (dalot)	X
6				X
7	MAIRIE			
13	MAHANA BEACH			X (drain)
10/11/2/15/16/17/18	VALLEE DE LA MATATIA	X (accessibilité)	X (remblai)	

Illustration 15 : Synthèse des sites expertisés et des configurations justifiant une révision de l'aléa

Précision du niveau d'aléa grâce à une nouvelle connaissance sur l'aléa, non disponible initialement

A l'occasion de cette mission, l'aléa inondation a été cartographié en amont de la vallée de la Matatia, par expertise de terrain. En effet, il existe désormais une piste permettant d'accéder à cette partie, non accessible lors de la réalisation du PPR.

Par ailleurs, trois rivières (Vaiope, Vaioa, Maruapo) ont fait l'objet d'une modélisation hydraulique globale confié à un bureau d'études. Il s'avère que ces études avaient été réalisées entre 2009 et 2012 sous assistance à maîtrise d'ouvrage du BRGM lors des programmes ARAI précédent. Pour ces études, la présente mission du BRGM a consisté en une validation des hypothèses et vérifications que ces études ont été réalisées selon les « règles de l'art ». Parallèlement le BRGM s'est assuré qu'aucune modification majeure des cours d'eau n'avait été opérée depuis la date de réalisation de ces études.

En l'occurrence, le BRGM a validé intégralement les 3 propositions de zonage d'aléa émises par les bureaux d'études suite à ces modélisations hydrauliques.

Modification de l'aléa lié à de nouveaux ouvrages ou aménagements

Des ouvrages hydrauliques ont été réalisés au droit de deux sites :

- Le premier, situé au droit de la mairie de Punaauia, a fait l'objet d'une étude hydraulique par un bureau d'étude. Il est constitué d'un dalot enterré de section (2.66 m x 1.60 m). L'aléa n'a pas été modifié car :
 - les aménagements complémentaires au dalot (bassin dégraisseur et grille de protection d'embâcles), préconisés initialement par le bureau d'études n'ont pas été réalisés conformément aux préconisations,
 - La solution proposée ne comportait pas de solution permettant de pallier, au moins partiellement, à un dysfonctionnement du système (risque d'obstruction et

difficulté d'entretien le cas échéant, voire risque d'embâcle à l'entrée de l'ouvrage).

- A contrario, les caractéristiques d'un autre aménagement ont été jugées suffisantes pour proposer une révision du niveau d'aléa au droit de cette parcelle (site 5). Il s'agit d'un petit dalot permettant l'évacuation des eaux de ruissellement du chemin longeant la parcelle concernée.

Par ailleurs, plusieurs aménagements de type remblais ont été constatés, en zone d'aléa fort ou moyen. Ils ont conduit à réduire légèrement l'emprise locale de l'aléa. Même si les conséquences de ces modifications limitées sont difficilement quantifiables sans modélisation, la réduction de la largeur de la section entraîne une élévation de la ligne d'eau et une augmentation de la vitesse de l'écoulement qui va généralement aggraver l'aléa en aval, raison pour laquelle il est nécessaire, à des fins de remblaiement, de réaliser une étude hydraulique définissant, si besoin, des aménagements compensant l'effet de ces remblais.

Ajout d'aléa fort lié à des drains non pris en compte initialement

Certaines zones d'aléa fort ont été ajoutées pour indiquer les drains d'évacuation d'eaux pluviales. Ces zones n'ont pas pour vocation à interdire la constructibilité mais à signaler la nécessité de prévoir un système d'évacuation sous peine de générer localement des inondations.

3.4.2. Enseignements quant aux configurations favorables à une révision cartographique

A la lumière de ces études de cas (qui ne peuvent pas être considérées comme représentatives de l'ensemble des configurations possibles), les configurations où une modification du niveau d'aléa inondation peut être envisagée, sont :

- de nouvelles connaissances sur l'aléa, notamment par le biais :
 - de résultats de modélisations hydrauliques des écoulements ;
 - de données topographiques actualisées (MNT plus précis ou relevé topographique localisé) et/ou des données type orthophotos permettant de préciser certaines configurations difficiles d'accès.
- La réalisation de nouveaux ouvrages ou aménagements autorisés qui entraîneraient une modification des conditions d'écoulement en crue.

4. Analyse comparative des règlements PPR dans les DROM

Cette analyse consiste en une comparaison du contenu des Plans de Prévention des Risques Naturels en vigueur dans les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM) concernant les phénomènes mouvement de terrain et inondation. En effet, toutes ces régions (sauf la Guyane) possèdent des contextes géologiques et géomorphologiques comparables à celui de la Polynésie française et a priori, le même type de contrainte foncière.

Cette analyse ne vise pas à comparer les méthodologies d'évaluation de l'aléa mais les dispositions réglementaires associées à chaque phénomène. L'attention sera portée sur la réglementation en zone d'aléa fort, contraignante pour des territoires insulaires tropicaux, sans remettre en cause leur légitimité. Le BRGM s'appuiera sur cette synthèse pour faire un bilan des pratiques réglementaires les plus récentes et performantes dans les DROM, pour ces deux phénomènes, spécialement en zone d'aléa fort.

L'analyse des règlements PPR en France métropolitaine n'était pas prévue dans le cadre de cette étude, considérant que les problématiques sont en général très différentes.

4.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

4.1.1. *Rappel du principe réglementaire sur la commune de Punaauia*

Le principe du règlement sur la commune de Punaauia est rappelé dans le tableau ci-dessous.

Zone rouge	Le principe est d'y limiter au maximum la constructibilité et de prendre les mesures permettant d'améliorer la sécurité des personnes déjà présentes.	Aléa fort MVT Aléa fort inondation Aléa fort surcote marine
Zone bleue	Dans ces zones, il convient de prendre des mesures particulières non définies par les règlements généraux afin de limiter le risque pour les biens et bien entendu de préserver la sécurité des personnes présentes.	Aléa moyen MVT Aléa moyen inondation Aléa moyen surcote marine
Zone verte		Aléa faible MVT Aléa faible inondation Aléa faible surcote marine
Zone non colorée	Ne font pas l'objet de règles particulières	—
Zone non cartographiée	A priori en « zone naturelle » au sens du PPR. Il s'agit en général de zones à relief escarpé où l'aléa mouvement de terrain est élevé.	—

Illustration 16 : Extrait du règlement du PPR de Punaauia

4.1.2. Présentation des règlements PPR dans les DROM

L'illustration 17 synthétise les caractéristiques des différents Plans de Préventions des Risques Naturels dans certaines Régions outre-mer.

La Guyane est le seul territoire à élaborer un PPR par phénomène. Les autres territoires ont choisi des PPRN multi-risques mais en réalité, seuls les PPRN de la Réunion traitent explicitement ensemble des phénomènes et émettent des dispositions communes. Pour les autres, il s'agit d'une juxtaposition de phénomènes traités indépendamment, comme la plupart des PPRN métropolitains (Monge et al., 2003).

DOM	Type	Approuvés depuis	Dernière révision	Couverture spatiale
Martinique	PPR Multi-aléas	2004	déc-13	34 /34 communes
Guyane	MVT	2001	-	3/22 communes (iles de Cayenne)
	Inondation	2001 pour les premiers	-	8/22 communes
Guadeloupe	PPR Multi-aléas	entre 2002 et 2012	procédure de révision en cours sur toutes les communes	30/32 communes
La Réunion	PPR Multi-aléas ⁶	Premier PPR approuvé en 2001. 3 communes sur 24 de l'île n'ont pas encore de PPR approuvé	procédure de révision/élaboration en cours pour certaines communes	21/24 communes
Mayotte	PPR Multi-aléas	en attente d'approbation		en attente d'approbation sur 10 communes
Polynésie	PPR Multi-aléas	2010	-	1/48 commune

Illustration 17 : Etat des lieux administratifs des Plans de Prévention des Risques dans les DROM et en Polynésie

Le contenu des différents types de PPR en vigueur a été analysé de manière à faire ressortir les principaux points communs et les différences dans les préconisations, concernant surtout les projets futurs (et non existants) et essentiellement sur les constructions à usage d'habitation.

⁶ Quelques PPR approuvés à la Réunion (commune du Port et de la Possession, approuvés en 2012) intégraient les aléas littoraux et les inondations par débordement de cours d'eau dans la même procédure. Les aléas littoraux d'un côté et l'aléa mouvement de terrain et inondation de l'autre, sont depuis cette date, pour toutes les autres communes de l'île, dissociés dans deux procédures PPR distinctes.

Dans la suite du rapport, on identifiera les différents DROM par des abréviations (MAR, POL, REU, MAY, GUY, GUA).

4.2. COMPARAISON DES RÉGLEMENTS ASSOCIÉS AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

Comparabilité des niveaux d'aléas

Avant de pouvoir comparer les règlements, il est nécessaire de s'assurer de comparer les mêmes choses et donc que la signification d'un aléa fort ou moyen soit identique d'un territoire à l'autre.

La méthode d'évaluation des aléas affichée est la même sur chacun des DROM, soit une analyse à dire d'expert basé sur le critère des guides PPRN et calé par des modélisations localisées. Il existe nécessairement une variabilité liée aux intervenants, à la précision des données d'entrées, mais pas plus importante à l'intérieur d'un même territoire qu'entre les territoires. Dans un premier niveau d'analyse, on peut considérer que les niveaux d'aléa sont comparables d'un territoire à l'autre et donc que l'aléa fort a la même signification sur l'ensemble des territoires. Par ailleurs, il se trouve que la cartographie actuelle ou la méthodologie initiale a été établie par le BRGM pour la plupart de ces territoires (MAR, GUA, POL, MAY, REU) favorisant ainsi une certaine homogénéité. La plus grande source de variabilité dans ces zonages reste la précision des données d'entrée, notamment topographiques et géologiques.

Notons que sur certains territoires (MAR, POL, REU), un aléa « majeur » ou « très élevé » est introduit, supra aléa fort, qui ne modifie pas la signification de l'aléa fort et qui correspond la plupart du temps à un mouvement de terrain de grande ampleur, actif.

Ainsi, dans tous ces territoires en particulier, la zone d'aléa fort est caractérisée par une probabilité non négligeable d'un événement d'intensité élevé, soit définie par « des parades intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et/ou d'un coût très important et/ou techniquement difficile ».

Inconstructibilité en zone d'aléa fort mouvement de terrain

L'illustration 18 compare, la définition de la Zone réglementaire MVT dite « inconstructible », soit la zone réglementaire la plus contrainte. Il ressort que la zone d'aléa fort est traduite en zone réglementaire dotée d'une inconstructibilité dans tous les DROM sauf en Martinique. Une part importante des territoires étend cette contrainte à des niveaux d'aléa moindre pour des enjeux limités (REU, MAY) ou par principe de précaution (GUY).

Ceci est en accord avec les préconisations :

1). du guide PPR MVT du MATE (1999) qui stipule que « *la zone d'aléa fort est en principe inconstructible* » (en comparaison avec la zone d'aléa majeur, inconstructible). Le guide précise effectivement que « *ponctuellement, l'étendue des prescriptions pourra être examinée avec les acteurs locaux, notamment les élus* » :

- *dans les zones à fort enjeu où le risque peut être maîtrisé de manière satisfaisante même à des coûts très importants (comblement de cavités souterraines en centre urbain) ;*

- lorsqu'une activité agricole ou touristique par exemple, contribuant à la gestion du territoire, reste compatible avec le risque, sous réserve que la sécurité des personnes soit garantie » ;

2). du guide PPR MEDDE (2006) qui stipule que « les zones d'aléa fort sont les zones où la règle générale est l'interdiction de construire. Pour les projets échappant à cette règle (aménagement de plein air, activités agricoles,...) des prescriptions strictes doivent être définies ».

Seul le règlement martiniquais envisage une possibilité de construire en zone d'aléa fort sous réserve d'une étude de risque ou d'un aménagement global, selon la zone d'enjeux. On reviendra sur le principe de l'aménagement global en zone d'aléa élevé au § 4.5.

POLYNESIE	Aléa fort MVT			
LA REUNION	Aléa fort MVT	+	Aléa moyen MVT $\cap$ (Autre que "secteurs urbains à enjeux")	
GUYANE	Aléa fort MVT	+	Aléa faible et moyen MVT enclavé dans de l'aléa fort	+
GUADELOUPE (avant 2014)	Aléa fort MVT			Certaines zones en Aléa moyen MVT par précaution
GUADELOUPE (après 2014)	Aléa fort MVT $\cap$ ("enjeux faible et modérés")			
MAYOTTE	Aléa fort MVT	+	Aléa moyen MVT $\cap$ ("Espace non destinés à l'urbanisation")	
MARTINIQUE	(Aléa fort MVT) $\cap$ ("enjeux modérés")			

Illustration 18 : Emprise de la Zone réglementaire MVT dite « inconstructible » (= la plus contrainte)

Exception en zone d'aléa fort

L'illustration 19 compare le niveau de préconisations en zone d'aléa fort dans les différents DROM. Hors Martinique, on constate qu'en zone d'aléa fort, une latitude est accordée :

- aux installations ou aménagements déclarés « d'utilité publique » dans la plupart des régions (en POL, GUY, MAY, GUA) ;
- aux travaux contribuant à la réduction des risques ;

- pour les extensions de bâtiments existants dont l'emprise au sol est inférieure à 20 m² pour mises aux normes (habitabilité / sécurité) ;
- pour la reconstruction de biens sinistrés. Elle est explicitement envisagée dans les règlements de La Réunion et de La Martinique en zone d'aléa fort à condition que le sinistre ne soit pas lié à un aléa naturel.

Pour ces exceptions d'aménagement identifiées en aléa fort, les règlements exigent des études techniques, identiques à celles demandées en aléa moyen.

Concernant le bâtiment à usage d'habitation, les fortes contraintes pesant sur ces territoires exposés et exigus, ont conduit chaque territoire à réfléchir à des latitudes réglementaires envisageables cohérentes avec le niveau de risque. L'état des réflexions est le suivant :

- La Martinique a choisi de faire évoluer son PPR en autorisant la constructibilité en zone d'aléa fort sous réserve d'une étude de risque (pour les espaces déjà largement urbanisées) ou d'un aménagement global (enjeux futurs) ;
- Dans le cadre de la révision des PPR, la Guadeloupe est en court de réflexion pour introduire la possibilité d'un « aménagement global » sous la responsabilité de la collectivité, en zone d'aléa fort (mouvement de terrain et inondation) dans des zones à enjeux forts ;
- A Mayotte, des réflexions sont en cours en zone d'aléa fort mais il s'agit plus de réflexions pour réduire la vulnérabilité des personnes exposées que des dispositions réglementaires.

	POLYNESIE	LA REUNION	GUYANE	GUADELOUPE (avant 2014)	GUADELOUPE (en cours)	MAYOTTE (projet)	MARTINIQUE (avant 2013)	MARTINIQUE (après 2013)
Inconstructibilité	Cas général	Cas général	Cas général	Cas général	Cas général hors zone d'enjeux forts	Cas général	Cas général hors zone d'enjeux forts	Cas général hors zones d'enjeux forts
Type d'aménagement de construction autorisé sans « étude technique » (mais soumis à préconisation dans le règlement)	Travaux destinés à réduire les effets dommageables des mouvements de terrain ou d'autres phénomènes naturels	Travaux contribuant à la réduction des risques	-	Travaux contribuant à la réduction des risques	Travaux contribuant à la réduction des risques	Extension <= 15 m2 pour mises aux normes d'habitabilité		Réhabilitation et démolition/reconstruction (sans ajouter logements ni surface de plancher)
		...		Bâtiment ouvert, démontable, <= 100 m2, sans fonction d'hébergement	Bâtiment ouvert, démontable, <= 100 m2, sans fonction d'hébergement	...		Bâtiments ouverts démontables si surface au sol <= 100 m2
		...		...	...	...		-
Type d'aménagement de construction autorisé avec « étude technique »	Installations ou aménagements "jugés d'Utilité Publique"	-	Installations ou aménagements "déclarés d'Utilité Publique"	Installations ou aménagements "déclarés d'Utilité Publique"	Installations ou aménagements "déclarés d'Utilité Publique" ou "d'intérêt général"	Installations ou aménagements "jugés d'Utilité Publique"		Cas général, dans les zones à enjeux forts existants
	Extension <= 20 m2 pour mises aux normes (habitabilité / sécurité)	-	Extension <= 20 m2 pour mises aux normes (habitabilité / sécurité)	-	Démolitions / reconstructions de maison à usage d'habitation	-		
		Reconstruction de biens sinistrés, si sinistre non lié à un aléa naturel.			Constructions nouvelles dans les dents creuses "dans l'attente d'un aménagement global"	-		
Type d'aménagement autorisé avec aménagement global	-	-	-	-	Cas général dans les zones à enjeux forts	-	Cas général en zones d'enjeux forts	Cas général en zones d'enjeux forts futurs

Illustration 19 : Exemple de certaines prescriptions, concernant les habitations en zone d'aléa fort MVT dans les différents règlements PPR

Constructibilité en zone d'aléa moyen

La constructibilité de projets nouveaux est possible en zone d'aléa moyen dans tous les DROM moyennant certaines préconisations et/ou obligations décrites dans l'illustration 20.

Historiquement, les PPR à la Réunion n'autorisaient pas la construction en aléa moyen MVT (zone réglementaire R2 des PPR réunionnais approuvés). De la souplesse a été apportée dans le cadre de la révision du PPR de Saint-Denis, approuvé en octobre 2012 et aujourd'hui, des constructions nouvelles sont tolérées en zones d'aléa moyen mouvements de terrain, dans les zones urbanisées jugées à enjeux et sécurisables, sous réserve de prescriptions réglementaires (zone réglementaire B2u). L'Annexe 6 reprend l'annexe 4 du PPR de Saint Paul (juin 2015) qui définit les critères de détermination de « ces secteurs urbains à enjeux sécurisables » :

- ce soit des zones U ou AU des PLU des communes (ou NAU des POS) ;
- où des aménagements sont projetés ;
- où la capacité à sécuriser la zone à échelle de projet soit réaliste (analyse technique lors de l'élaboration du PPR) ;
- avec une certaine densité d'urbanisation pré existante (notion de dents creuses, les zones clairsemées ou vierge de construction ou éloignées de tout réseau étant écartées).

La plupart des règlements associe la constructibilité en aléa moyen à la réalisation d'une étude technique préalable réalisée par un cabinet d'étude. Cependant, certaines constructions particulières sont dispensées d'étude technique obligatoire (cf. Illustration 18). Citons notamment :

- En Polynésie, les constructions « *comportant 3 niveaux et moins* » (sous réserve de respecter des prescriptions techniques par défaut sécuritaire, énoncées dans le règlement) ;
- A Mayotte, les constructions et les extensions d'une surface (SHON) inférieures à 100 m² ;
- En Guyane, les constructions neuves de moins de 20 m² d'emprise au sol et les extensions de bâtiments existants de moins de 20 m² d'emprise au sol ;

Ainsi, la Polynésie est un des rares territoires à ne pas exiger d'études techniques pour des constructions (jusqu'à R+3) au détriment de préconisations sécuritaires visant à encadrer les aménagements tout en évitant de passer systématiquement par une étude.

Objectifs des études techniques exigées

Le contenu et les objectifs de l'étude technique exigée sont plus ou moins encadrés selon les règlements :

- En Guadeloupe, dans le règlement actuel, les constructions doivent faire l'objet « *d'une étude préalable et d'un schéma d'aménagement global* » afin de « *maîtriser le risque* »

mouvements de terrain à l'échelle du versant ». Désormais, les réflexions sont en cours pour proposer, en zone d'enjeu modéré, une étude géotechnique est envisagée ;

- En Polynésie, l'étude demandée pour les constructions supérieures à trois niveaux, doit viser à « *définir les mesures de construction adaptées au projet et au site* ». L'étude est encadrée par :
 - « *une étude technique réalisée par un bureau d'étude compétent* » ;
 - plusieurs objectifs précisés dans le règlement.
- En Martinique, l'étude demandée n'est pas spécifique au niveau d'aléa moyen, puisque il est simplement demandé une « *étude géotechnique adaptée au niveau d'aléa permettant l'adaptation du bâtiment futur à la nature du terrain et la prise en compte de l'aléa mouvement de terrain* », commune à l'aléa faible ;
- En Guyane, une étude technique est demandée « *afin de définir les mesures de construction adaptées au projet et au site* ». Par ailleurs, les objectifs auxquels doit répondre l'étude sont précisés en distinguant le type de phénomène redouté.
- A la Réunion, l'étude technique préalable est très détaillée dans l'annexe 2 des règlements réunionnais (consultable en Annexe 7 de ce rapport). En résumé :
 - étude géotechnique réalisée par un bureau d'étude spécialisé, conformément aux prescriptions de la norme NF P94-500 de novembre 2013 ;
 - Au moment du dépôt du permis de construire ou d'aménager, une attestation établie par un architecte ou un expert agréé est exigée afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
 - « *Selon le contexte géomorphologique, les caractéristiques du projet, son ampleur, les moyens techniques à mobiliser in situ, cette étude pourra être de type G1 (étude géotechnique préalable), G2 (étude géotechnique de conception) ou G5 (diagnostic géotechnique) selon la norme NF P94-500 de novembre 2013* » ;
 - L'étude doit porter « sur l'ensemble du bassin de risque », définit précisément, de la même manière que dans le règlement de Mayotte.
- A Mayotte, l'étude technique demandée, détaillée au § I.2.5 du règlement des projets de PPR, doit viser à « *préciser les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré* ». En résumé :
 - étude géotechnique réalisée par un bureau d'étude spécialisé de type G11 de la norme NF P94-500 ;
 - L'étude doit porter « sur l'ensemble du bassin de risque », bassin de risque défini précisément en Annexe 2 du règlement, de la même manière que dans le règlement de la Réunion ;
 - Les objectifs auxquels doit répondre l'étude sont précisés ;

- Attestation certifiant la réalisation de cette étude exigée lors du dépôt du dossier de permis de construire.

	POLYNESIE	LA REUNION (après juin 2015)	GUYANE	GUADELOUPE (avant 2014)	GUADELOUPE (en cours)	MAYOTTE	MARTINIQUE (après 2013)
Inconstructibilité	-	Cas général	-	-	Cas général dans les zones à enjeux faible	-	-
Type d'aménagement de construction autorisé sans « étude technique » (mais soumis à préconisations dans le règlement)	Construction <= R+3	-	Construction neuves (et extension) <= 20 m ² d'emprise au sol, ...	Extension de construction existante < 20 m ² de SHOB, ...	Constructions nouvelles sans création de surface de plancher supplémentaire, ...	Construction et extension d'une surface (SHON) <= 100 m ² , ...	Cas général
	-	Extension de bâtiment existant (1 seule de 20 m ²), Reconstruction de biens sinistrés sauf en cas de sinistre lié à un MVT	-	-	Extension de bâtiments existants <=20 m ² de surface de plancher ou <=40m ² en zone urbaine, ...		
	Terrassement < 6 m	Talus et soutènement <= 2 m	-	-		Terrassement <= 2m et aménagement (affouillement..) <= 100 m ²	
Type d'aménagement de construction autorisé avec « étude technique »	Construction >= R+4	Extension par surélévation, installations agricoles, ...	Cas général	-	Cas général dans les zones à enjeux modérés	Construction et extension d'une surface (SHON) >= 100 m ² , ...	-
	Terrassement >= 6 m					Terrassement > 2 m et aménagement > 100 m ² , ...	-
Type d'aménagement de construction autorisé avec aménagement global	-	Cas spécifique pour les zones urbaines à enjeux jugées sécurisable (zone réglementaire B2u)	-	Cas général	Cas général dans les zones à enjeux forts	-	-

Illustration 20 : Exemple de prescriptions, concernant les habitations en zone d'aléa moyen MVT dans les différents règlements PPR

Réglementation sur les terrassements en zone d'aléa moyen

Concernant les talus et/ou terrassement, une étude technique est exigée dès 2 m de haut dans les règlements de MAY/GUY/REU/GUA et seulement pour ceux dépassant 6 m dans le règlement POL. Le projet de règlement de Mayotte interdit les talus de hauteur supérieure à 5 m (cf. annexe 4 du projet de règlement).

Protection de talus

Au sein d'un talus « mamutisé » (appellation locale des altérites) de niveau II, l'hétérogénéité de faciès et la présence d'horizons peu cohésifs est un critère favorable au processus de dégradation en masse (Dewez et al. ,2010). L'érosion s'initie préférentiellement dans les horizons où la cohésion est faible (ou le devient par lessivage de la matrice fine dans une lithologie grenue), entraînant ensuite, par sous-cavage principalement, le recul des autres faciès comme l'illustre la forte et rapide dégradation observée sur le talus routier du site 14.

En conséquence, la mise en œuvre de parades contre l'érosion pour limiter ses effets indésirables sur la stabilité en grand, est fortement recommandée, surtout pour les talus de mamu II. Il peut s'agir de techniques de béton projeté ou de végétalisation. Un diagnostic préalable de la nature lithologique des terrains qu'il recoupe et de la géométrie de ces formations permettrait de hiérarchiser les secteurs à traiter en particulier.

Dans le règlement REU, en aléa MVT moyen, il est précisé que, « *lors des travaux de terrassement, tous les talus d'une hauteur excédant 2 m seront protégés des instabilités par tous les moyens appropriés (végétalisation, parement, ouvrages de soutènement..)* ».

↳ **Le BRGM recommande d'introduire cette recommandation notamment, pour les talus de Mamu II et III.**



Illustration 21 : Forte et rapide dégradation d'un talus de mamu II. Site 14.

4.3. COMPARAISON DES RÉGLEMENTS ASSOCIÉS AUX INONDATIONS

Distinction des phénomènes

La plupart des règlements traite seulement du phénomène d'inondation par débordement de cours d'eau sans aborder le ruissellement urbain. Notons la particularité des projets de PPR de Mayotte qui aborde spécifiquement le ruissellement urbain avec des préconisations réglementaires particulières tout en le traitant dans la même procédure.

Inconstructibilité en zone d'aléa fort inondation

L'illustration 18 compare, la définition de la Zone réglementaire INONDATION dite « inconstructible », soit la zone réglementaire la plus contrainte. Il ressort que la zone d'aléa fort est affichée comme inconstructible dans tous les DROM mais que des latitudes commencent à être introduites pour certaines zones à enjeux, en Martinique et à la Réunion.

Le règlement martiniquais envisage une possibilité de construire en zone d'aléa fort sous réserve d'une étude de risque ou d'un aménagement global, selon la zone d'enjeux. On reviendra sur le principe de l'aménagement global en zone d'aléa élevé au § 4.5.

De la même manière, récemment à la Réunion, a été introduite la possibilité de construire en zone d'aléa fort inondation, pour les zones situées en centre urbain historique qui se caractérise notamment par son histoire, une occupation du sol de fait importante, une continuité bâtie et la mixité des usages entre logements, commerces et services (zone R1B1 du PPR de Saint Paul). Les dispositions de la circulaire interministérielle Equipement/Environnement du 24/04/1996 visent à concilier la prévention des risques et la nécessité d'assurer la continuité de vie et le renouvellement urbain, tout en permettant de réduire la vulnérabilité des personnes exposées (PPR de Saint Paul, 2015).

Les zones de centre-ville historique comme celui de la commune de Sainte-Suzanne ou St Paul correspondent à des dépressions topographiques naturelles qui se remplissent par débordement selon un processus progressif qui permet la mise en œuvre de mesures de sauvegarde de la population. Les vitesses d'écoulement des eaux à l'intérieur de ce périmètre sont faibles et resteront compatibles avec le déploiement de moyens de secours et d'évacuation. Ces zones bien qu'inconstructibles en théorie (hauteur d'eau en crue centennale supérieure à 1 m), peuvent néanmoins accepter une densification de l'habitat en élévation à emprise au sol constante, dans le respect des dispositions de la circulaire du 24/04/1996, sous réserve que leur incidence hydraulique soit négligeable et que les surfaces au niveau du sol n'accueillent aucun local à sommeil ou établissement sensible. La faculté offerte par le règlement du PPR de densifier le secteur du centre-ville repose sur les mesures de sauvegarde et de prévention prescrites par le règlement.

Un zonage spécifique a été récemment et progressivement introduit pour les zones de ce type dans les règlements des PPR de la Réunion (cf. notamment le PPR de Sainte-Suzanne approuvé le 26 juin 2015, zone RB1).

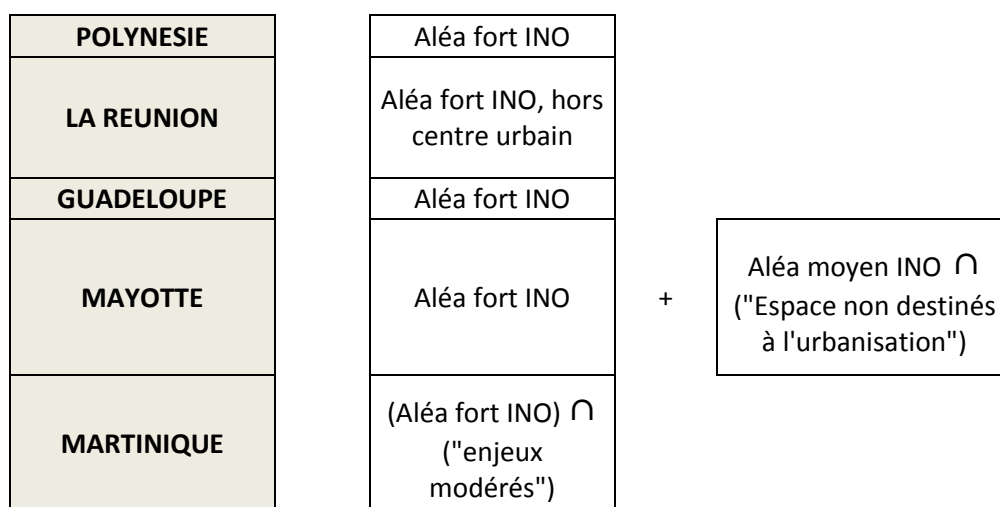


Illustration 22 : Emprise de la Zone réglementaire Inondation dite « inconstructible » (= la plus contrainte)

4.4. RETOUR D'EXPÉRIENCE DROM SUR LES PROCÉDURES DE MISE A JOUR DE L'ALÉA

Le PPR de Polynésie intègre une latitude de modification de l'aléa fort pour palier à l'effet d'échelle, décrite comme une « *adaptation mineure des limites (en tête et en tête de versant), des limites d'aléa fort* », sous réserve d'une étude technique. Notons que ces latitudes de modification ne sont pas aussi explicites dans les autres règlements.

Dans le PPRN de Martinique, l'évolution de la connaissance de l'aléa était historiquement possible dans la première version du PPR (2004) grâce à un « *chapitre 0* » qui prévoyait que « *la servitude et le règlement du PPRN ne s'applique plus si une étude de détail validée par le représentant de l'Etat apporte la preuve que le risque n'existe pas ou plus* ». La procédure de réévaluation du PPR Martiniquais a montré que « *la possibilité de mise à jour de l'aléa selon le chapitre 0 n'était pas suffisamment encadrée et précise, favorisant des pratiques aléatoires, illégales ou abusives* » et cet article a été supprimé (SCE, 2011). La commission avait formalisé les conditions de révision de l'aléa limitant les révisions pour la mise à jour de la connaissance aux révisions périodiques (5 ans), avec des exceptions possibles seulement pour des projets d'intérêt général ou dans le cadre d'un aménagement global (SCE, 2011).

4.5. RETOUR D'EXPÉRIENCES DROM SUR « L'AMÉNAGEMENT GLOBAL » (INONDATION ET MVT)

Aperçu général

Une étude d'aménagement global signifie la prise en compte du risque à une échelle globale pour définir les travaux à réaliser à une échelle cohérente vis-à-vis du risque (exemple : ouvrages de protection collectifs, ..). Parmi les DROM, seules la Martinique et la Guadeloupe ont introduit cette possibilité dans le cadre des PPRN.

En Martinique, les premiers PPRN (approuvés en 2004) avaient défini la possibilité en zone d'aléa fort (mouvement de terrain, inondation, houle et submersion), pour les secteurs à enjeux

fort, de construire sous réserve d'un « aménagement global ». Cela avait donné lieu à une zone « orange ». La nouvelle version des PPR (approuvé en 2013) maintient ce principe d'aménagement global en zone d'aléa fort, en le restreignant aux zones à enjeux fort non urbanisées. Cet aménagement est décrit comme « *la réalisation de travaux visant à sécuriser une zone d'enjeux forts futurs (voire existants dans certains cas) soumise à des aléas forts avant de poursuivre son urbanisation. [..]* ». L'encadrement de ce principe tel que décrit dans les PPRN approuvés en 2013 en Martinique sont consultables en Annexe 5.

Un principe similaire existe dans les PPRN de Guadeloupe, mais n'est applicable qu'en aléa moyen (les zones d'aléa fort étant systématiquement classées en rouge/inconstructible). Des possibilités d'aménagement global sont évoquées en Guadeloupe en zone d'aléa fort MVT dans le cadre de la prochaine révision à venir, mais qui n'est pas encore formalisé. Leur particularité est qu'ils devront être portés par une collectivité territoriale compétente.

L'enseignement de l'expérience martiniquaise (SCE, 2011)

La mise en œuvre du principe d'aménagement global dès 2004 a permis de disposer, lors de la procédure de révision, d'un retour d'expérience riche d'enseignements. La révision des PPR a été précédée d'une phase d'évaluation de plusieurs mois.

Une seule étude d'aménagement global aurait abouti en Martinique, sur 10 ans concernant l'aléa inondation. Contrairement au phénomène d'inondation, le principe de l'aménagement global est considéré impraticable en aléa mouvement de terrain par de nombreux experts. Aucune étude d'aménagement global n'a d'ailleurs été réalisée pour l'aléa mouvement de terrain.

Le groupement d'expert mandaté pour préparer la révision des PPRN Martiniquais estime que l'étude d'aménagement global en zone d'aléa fort s'avère pertinente et opérationnelle en aléa inondation, à condition notamment que :

- l'étude soit menée à une échelle cohérente intégrant les fonctionnalités physiques, dans un périmètre validé par l'Etat (en général les bassins versants ou sous bassins versants pour l'aléa Inondation) ;
- l'étude soit portée essentiellement par la collectivité, à la fois techniquement et politiquement, seule légitime à assumer les arbitrages qui pourraient s'avérer nécessaires (périmètre, conclusions en termes de financement ou d'inconstructibilité) ;
- le financement des travaux de sécurisation et l'entretien soit assuré (par des engagements contractuels et la mise en place de syndicats de gestion par exemple).

A l'issue de cette phase d'évaluation, le groupement d'expert avait donc suggéré concernant la procédure réglementaire de validation de l'aménagement global de :

- Maintenir l'obligation d'une révision du PPRN ;
- Prévoir la révision sans exiger les travaux avant mais renvoyer à l'application du règlement modifié du PPRN pour autoriser des travaux dans le cadre de l'instruction des demandes de permis de construire ;
- Exiger les engagements financiers pour la réalisation et l'entretien des ouvrages de protection comme condition pour engager la procédure de révision ;
- Identifier les zones ayant fait l'objet d'un aménagement global par un zonage spécifique et leur associer un règlement particulier.

5. Pistes de réflexion pour des évolutions réglementaires

Sur la base des pratiques dans les DROM insulaires analysées et détaillées dans le chapitre 4, et en prenant en compte la particularité du contexte polynésien notamment grâce aux investigations menées sur les différents sites étudiés (chapitres 2 et 3), le BRGM a identifié des évolutions possibles du plan de zonage réglementaire et du règlement, concernant les phénomènes mouvement de terrain et inondation.

5.1. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES GÉNÉRALES

5.1.1. *Découplage des zonages d'aléas et réglementaires*

Les expertises inondations et MVT du BRGM ont toutes deux identifiées des latitudes possibles dans les préconisations réglementaires, pour certaines zones à l'intérieur d'un même niveau d'aléa. Cette évolution implique la définition de nouvelles zones réglementaires qui nuanceraient les prescriptions à l'intérieur d'un même niveau d'aléa.

Pour prendre en compte ces évolutions réglementaires, il est nécessaire de découpler explicitement le zonage d'aléa du zonage réglementaire :

- En considérant des échelles de couleurs différentes ;
- En ne faisant plus référence dans le corps du règlement aux différents niveaux d'aléas.

A titre d'exemple, les règlements consultés dans les autres DROM identifient chaque zone réglementaire par une couleur spécifique (zone rouge, zone orange, ..) et éventuellement un sigle (R1, B2..), sans référence au niveau d'aléa.

Le principe d'une grille réglementaire associant les aléas (inondation et mouvement de terrain) et les enjeux permettra d'effectuer la traduction des aléas d'un point de vue réglementaire avec la définition de zones réglementaires spécifiques pour lesquelles des prescriptions sont édictées (autorisés, interdits, règles de construction).

5.2. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN

5.2.1. *Envisager des aménagements dans certaines zones en aléa fort sous réserve de réduire le niveau d'aléa*

Dans ce qui suit, les propositions du BRGM restent en cohérence avec le principe de base des PPR polynésiens, à savoir que tant que l'aléa présente un niveau fort, la construction est interdite dans la zone.

Parmi les 11 sites étudiés, le BRGM a identifié deux secteurs où l'aléa fort pourrait probablement être maîtrisé et réduit à un niveau acceptable (faible ou dans des cas spécifiques

à un niveau moyen), moyennant des travaux conçus et réalisés suivant les normes et règles en vigueur et aménagements d'ampleur (cf. § 2.4.3).

↳ **Un travail complémentaire d'identification de ces zones est à mener à l'échelle de toute la commune afin d'être exhaustif.**

Sur ces zones d'aléa fort spécifiques identifiées comme potentiellement réductibles, le BRGM propose d'introduire une nouvelle zone réglementaire, pour que ces zones puissent être traitées spécifiquement et éventuellement être aménagées selon des modalités précises.

La gestion de ces zones spécifiques doit nécessairement être portée par une collectivité territoriale avec l'accord du Pays, rejoignant ici les conclusions du COTECH 2⁷ préconisant que le maître d'ouvrage soit connu et pérenne au pas de temps de l'aléa de référence.

Pour envisager à terme (après les travaux de réduction des risques) des constructions dans la zone, il faut auparavant nécessairement réduire le niveau d'aléa à un niveau acceptable (au plus et de manière exceptionnelle en aléa moyen, sinon en aléa faible) ce qui nécessite de traiter l'intégralité du bassin de risque.

Plusieurs études techniques successives permettront de définir les mesures qui devront être mises en œuvre pour réduire le niveau d'aléa. Dans ce qui suit, on s'inspire de la norme afnor NF P 94-500 (rappelée en Annexe 4) pour qualifier le type d'études nécessaires.

Une étude préalable de type G1 de la norme NF P94-500 (« *étude géotechnique préalable* ») pourra préciser la nature et l'intensité des mouvements de terrain redoutés ainsi que l'aléa de référence à considérer. On pourra se référer à l'annexe 2 du règlement de la Réunion qui donne certaines précisions sur le contenu de ces études, distinguant les chutes de blocs des glissements (cf. Annexe 7).

Ensuite, une étude de type G2 de la norme NF P94-500 (« *étude géotechnique de conception* ») devra impérativement être réalisée pour démontrer la faisabilité et concevoir les mesures de sécurisation (ouvrages, travaux (terrassement, purge..) qui permettront de réduire significativement et comme défini précédemment, le niveau d'aléa, sur l'intégralité de la zone, sans l'augmenter par ailleurs :

- Les bureaux d'études pourront s'appuyer sur les résultats des réflexions du COTECH 2 qui précisent les conditions pour lesquelles le niveau d'aléa fort serait réductible derrière un ouvrage de protection et qui identifient d'ores et déjà des solutions techniques qui ne permettent pas de réduire le niveau d'aléa. A ce titre, vis-à-vis des problématiques de chutes de blocs et d'éboulements, les mesures de sécurisation les plus adaptées pour envisager une réduction du niveau d'aléa et donc à terme du zonage réglementaire selon le principe de traduction réglementaire adopté, sont les suivantes : merlon en pied de versant, terrassement/reprofilage du versant et dans une moindre mesure d'efficacité et dans certaines configuration, quelques solutions actives comme les purges ou les ancrages. Les solutions passives type écran de filet restent trop souvent vulnérables et délicates à entretenir pour envisager une révision pérenne de l'aléa ;

⁷ Le COTECH est le COMité TECHnique mis en place dans le cadre de la révision des guides PPRN de montagne, à la demande de la DGPR. Le COTECH/2 s'attache à évaluer la constructibilité à l'aval d'un ouvrage de protection en montagne.

- L'efficacité des solutions techniques envisagées doit être en accord avec la période de référence de l'aléa. Ce critère est essentiel à démontrer ; il intègre des notions de niveau de performance, de période de fonctionnement et d'entretien détaillée dans le COTECH 2 (2014).

Les travaux issus de ces études techniques doivent :

- être définis, réalisés et contrôlés par des organismes spécialisés ;
- être réceptionnés par la collectivité territoriale.

La réalisation des travaux devra donc être suivie par des organismes compétents dans le cadre des missions géotechniques définies dans la norme NF P 94-500 (mission G3 et G4 notamment).

A l'issue de la réalisation des travaux, une tierce-expertise devra être établie afin de statuer et de confirmer la réduction du niveau d'aléa de la zone traitée.

Une fois les travaux réalisés, contrôlés et réceptionnés, la zone peut alors faire l'objet d'aménagements et de constructions.

Ces nouveaux éléments de zonage d'aléa pourront alors être intégrés dans une procédure de révision ou de modification du PPR.

5.2.2. Exiger un aménagement d'ensemble, pour certaines zones d'aléa moyen où une gestion de versant s'avère indispensable

Comme discuté au § 4.2, la Polynésie a choisi de ne pas exiger d'études techniques systématiques en aléa moyen pour des constructions jusqu'à R+3. Dans ce cas, il est nécessaire de respecter des préconisations sécuritaires intégrées au règlement.

Cependant, le BRGM a identifié certaines configurations géologiques qui relèvent d'un aléa moyen mais qui nécessitent des études préalables à l'échelle du versant ainsi qu'une gestion globale de l'aménagement.

Le BRGM propose que ce type de zone soit, réglementairement, traité comme les zones précédentes (aléa fort potentiellement réductible), pour que la construction et les aménagements sur ces contextes géomorphologiques particuliers en aléa moyen, soit nécessairement définies dans le cadre d'études techniques abordant la gestion de l'aménagement, à l'échelle du bassin de risque.

Citons l'exemple du site 14, déclassé en zone d'aléa moyen (G2) (cf. fiche en Annexe). Les configurations du site font qu'un aménagement non contrôlé dans la pente a de forte chance d'accentuer le risque en amont ou en aval. On ne peut envisager de construction individuelle sans une conception globale des éventuelles modifications topographiques de versant et de la gestion des eaux.

D'autres secteurs de la commune de Punaauia pourraient également être concernés, le BRGM n'ayant établi un diagnostic que sur les sites étudiés.

- ✍ **Un travail complémentaire d'identification de ces zones spécifiques en aléa moyen, serait à mener à l'échelle de toute la commune afin d'être exhaustif.**

5.2.3. Etudes de risque motivant une demande de révision de la carte d'aléa mouvement de terrain du PPR

Des ajustements de niveaux d'aléa conséquents, de type mise à jour de la connaissance, sont possibles mais sortent des possibilités réglementaires de la démarche PPR. En règle générale, toute demande de modification ou de révision devrait être formulée par une collectivité locale ou les services du Pays, même si elles émanent à l'origine d'initiatives privées.

Globalement, les sites étudiés par le BRGM sur la commune de Punaauia ont d'ailleurs montré que les niveaux d'aléa fort expertisés sont justifiés. Il convient donc d'être prudent et rigoureux pour réduire le niveau d'aléa mouvement de terrain.

Les études de cas ont néanmoins permis d'identifier des configurations où une modification du zonage pouvait être justifiée localement, qui rentre dans le cadre des latitudes déjà autorisées par le règlement PPR polynésien. En effet, pour palier l'effet d'échelle, une latitude est explicitement accordée pour une « *adaptation mineure des limites (en tête et en tête de versant), des limites d'aléa fort* », sous réserve d'une étude technique traitant des points suivants (cf. chapitre 2.1.1.3 du règlement) :

1. *Nature géologique et caractéristiques géotechniques du terrain ;*
2. *Stabilité des terrains d'assise et des pentes en amont (glissements de terrain, coulées de débris...) et en aval, à l'état initial et après d'éventuels terrassements ;*
3. *Drainage périphérique aux constructions ;*
4. *Mesures de protection et dispositions constructives applicables aux ouvrages.*

Dans le cadre de cette mission, une dizaine d'études (en majorité affichées G5) ont été conduites pour étayer les demandes de révision, mais les objectifs affichés de ces études manquent de clarté et d'homogénéité. Aucune ne s'attache explicitement à revoir cartographiquement l'aléa ; elles s'attachent plutôt à identifier les moyens de rendre le projet constructible.

Que cela soit pour régler le problème d'échelle (entre 1/5000 et la parcelle) comme préconisé dans le règlement ou pour une révision plus globale (dans le cadre d'une démarche de révision et/ou de modification), les objectifs attendus de ces études techniques spécifiquement dédiées à la précision des aléas méritent d'être détaillés :

- Ces études de révision de la limite aléa fort-aléa moyen, doivent nécessairement être de type G1 de la norme NF P94-500 (« *étude géotechnique préalable* ») et menées distinctement des études de préconisation constructive ;
- Elles doivent avoir pour objectif de préciser le zonage actuel à une échelle minimale du 1/5000 sur une zone cohérente avec les objectifs de l'étude G1, soit « *l'identification des risques géotechniques majeurs pour un futur ouvrage non encore étudié* » (NF P94-500) ;
- Pour cela, il s'agira d'abord de préciser la nature et l'intensité des mouvements de terrain redoutés et pour chacun, de définir l'aléa de référence à considérer. Concernant l'aléa rocheux, le guide MEZAP (2014) apporte des critères pour argumenter l'analyse et homogénéiser les résultats, repris en partie au § 2.3.2.

5.2.4. Procédure de validation des études

Actuellement, le règlement polynésien ne précise pas les procédures de contrôle/ validation de ces études techniques et des éventuels travaux et aménagements qui en découlent alors que la mise en sécurité des biens et des personnes repose sur la validité de ce processus.

La puissance publique ayant fixé les objectifs à atteindre, c'est l'aménageur qui porte la responsabilité de son aménagement et non la collectivité. Pour le signifier explicitement, les règlements PPR de la Réunion et de Mayotte exigent, au moment du dépôt du permis de construire ou d'aménager, une attestation établie par un expert agréé pour attester de la réalisation de l'étude et des éventuels aménagements en conformité avec les prescriptions définies dans cette étude.

Une autre piste envisageable pourrait être la mise en place d'un système dissuasif, non basé sur un contrôle systématique mais incitant à une auto-exigence de qualité. Il pourrait s'agir de mettre en place une habilitation ou un agrément accordé aux bureaux d'études et Maîtres d'Œuvre, qui serait maintenu ou remis en cause à travers des contrôles occasionnels *a posteriori*.

5.3. PROPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'ALÉA INONDATION

5.3.1. De nouvelles prescriptions réglementaires pour encadrer l'aménagement global en aléa fort inondation

Il est toujours possible de réaliser des travaux visant à réduire l'aléa en zone d'aléa élevé.

En s'inspirant de ce qui est proposé dans les autres DROM notamment aux Antilles françaises, le BRGM propose d'introduire explicitement la possibilité d'un aménagement global en zone d'aléa fort.

Les retours d'expérience confirment que ces perspectives en zones d'aléa fort inondation doivent être encadrées strictement. Les retours d'expérience après 10 ans d'application du principe en Martinique ont permis d'identifier plusieurs enseignements, dont les principaux sont décrits au § 4.5.

Ces aménagements globaux doivent notamment :

- être portés par une collectivité territoriale avec accord de l'autorité administrative du Pays qui s'assurera que ces zones d'aléa sont potentiellement aménageables et ne font pas partie des zones à préserver (zones d'expansion des crues,...) ;
- concerner une zone d'étude « hydrauliquement » cohérente (bassin versant, zone d'influence hydraulique....) c'est-à-dire suffisamment étendue pour permettre au bureau d'étude spécialisé de montrer que les aménagements envisagés n'auront aucune influence sur les aléas tant en aval qu'en amont de la zone d'étude ;
- être définis, réalisés et contrôlés par des organismes spécialisés ;
- être réceptionnés par la collectivité territoriale.

Une fois que les travaux auront été réalisés et vérifiés conformes, cela peut donner lieu à une modification de l'aléa et/ou du zonage réglementaire entériné par la révision du PPR, pour

permettre la constructibilité. Le bon fonctionnement des ouvrages garantissant la légitimité de l'aménagement, il pourrait s'agir, comme en Martinique, d'exiger les engagements financiers pour la réalisation et l'entretien des ouvrages de protection comme condition pour engager la procédure de révision (cf. § 4.5).

Cette possibilité d'aménagement global est également à encourager en aléa moyen.

5.3.2. Ouvrir dans certaines conditions très cadrées le renouvellement urbain de certaines zones soumises à l'aléa fort inondation

Les zones réglementaires R1B1 introduites récemment à la Réunion, ouvrent, dans certaines conditions très cadrées, le renouvellement urbain dans les centres urbains soumis à l'aléa fort inondation.

Au-delà de la problématique propre de la commune de Punaauia, le cas particulier de ces zones est intéressant puisqu'elles sont un des rares exemples d'ouverture en aléa fort inondation. Un extrait du règlement décrivant ces zones et les dispositions associées est consultable en Annexe 8.

Le principe est d'autoriser le renouvellement urbain (extension en hauteur de bâtiment existant) dans des zones d'expansion de crues éloignées des lits mineurs en zone de plaine. En effet, ces zones correspondent à des dépressions topographiques naturelles qui se remplissent par débordement selon un processus progressif qui permet la mise en œuvre de mesures de sauvegarde de la population. Les vitesses d'écoulement des eaux à l'intérieur de ce périmètre sont faibles et resteront compatibles avec le déploiement de moyens de secours et d'évacuation. La faculté offerte par le règlement du PPR de densifier le secteur du centre-ville repose donc sur les mesures de sauvegarde et de prévention prescrites par le règlement.

Ce cas est cité ici pour mémoire mais il reste à prouver qu'une configuration similaire existerait sur le territoire polynésien. Il n'en existerait pas, à première vue, à Punaauia.

👉 **Une expertise préalable serait nécessaire pour identifier si de telles zones existent en Polynésie.**

5.3.3. Une zone réglementaire spécifique au droit des collecteurs d'eaux pluviales

Si plusieurs collecteurs pluviaux ont été signalés lors de la mission (sites 4 et 7), le BRGM signale que tous les drains/fossés d'évacuation d'eaux pluviales n'ont pas été représentés de manière exhaustive sur la carte d'aléa car leur tracé est en perpétuel changement et leurs tracés et caractérisation en aléa nécessiteraient, tout d'abord, la réalisation d'un schéma directeur des eaux pluviales.

Les tracés représentés sur la carte d'aléa par un linéaire rouge d'épaisseur minimale représentent certains de ces collecteurs, naturels ou non. Ces linéaires, qui sont indiqués en aléa fort, ont pour vocation de signaler la présence d'un drain d'évacuation d'eaux pluviales afin qu'il en soit tenu compte dans tout aménagement envisagé. Il n'a pas pour vocation d'interdire la constructibilité mais seulement à signaler la présence d'un écoulement et la nécessité de prévoir un système d'évacuation adapté afin d'éviter au mieux toute possibilité d'inondation.

A l'image des PPR qui traitent spécifiquement de ces problématiques de ruissellement urbain, le BRGM propose d'introduire une zone réglementaire spécifique au droit de ces collecteurs.

5.3.4. Des précisions dans les zones réglementaires existantes

Etude ponctuelle de réduction des risques en aléa fort inondation sur les projets existants

Des aménagements visant à réduire la vulnérabilité de l'existant sont possibles en zone d'aléa fort inondation, à condition que cette solution soit transparente vis-à-vis de l'aléa (pas d'influence, ni en aval ni en amont). Ainsi, le règlement de Punaauia autorise certains travaux en aléa fort inondation, comme les ouvrages de protection de berges.

Le BRGM propose de préciser : « *Sont autorisés tous travaux destinés à réduire les effets dommageables des inondations et qui auront été définis dans le cadre d'une étude technique préalable visant à préciser les risques d'inondation, les niveaux d'exposition à l'aléa et définir les dispositions permettant d'assurer la sécurité du projet tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas d'incidence de ces aménagements de part et d'autre de la zone aménagée ainsi qu'en aval et en amont* ».

Dans le cadre de la présente étude, plusieurs aménagements de type remblais ont été constatés en zone d'aléa fort. Même si les conséquences de ces modifications limitées sont difficilement quantifiables sans modélisation, la réduction de la largeur de la section entraîne nécessairement une élévation de la ligne d'eau et une augmentation de la vitesse de l'écoulement. Cela va généralement aggraver l'aléa en aval, raison pour laquelle il est nécessaire de réaliser une étude hydraulique définissant, si besoin, des aménagements compensant l'effet de ces remblais. Si l'effet induit par le remblaiement d'une parcelle est difficilement quantifiable, l'influence de plusieurs parcelles remblayées devient préjudiciable.

Vu le fort risque d'accentuation du risque en aval de certains remblais, le BRGM préconise explicitement de préciser que, sans cette étude spécifique, « *les remblais ne sont pas autorisés* ».

La réduction de la vulnérabilité de l'existant n'entraînera généralement pas de modification de zonage.

Les autres configurations où une modification du niveau d'aléa fort reste justifiée localement (cf. § 3.4.2) feront l'objet d'un aménagement global ou d'une expertise dédiée à l'occasion des procédures de révision.

Encadrement du remblaiement en aléa moyen inondation

Actuellement, dans le règlement de Punaauia, en zone d'aléa moyen inondation (lié aux surcotes marines ou aux cours d'eau), pour les projets futurs, il est indiqué « *les aménagements doivent gêner au minimum les écoulements* » (cf. § 2.1.2.3 et 2.1.3.3).

Vu le fort risque d'accentuation du risque en aval de certains remblais, le BRGM préconise de remplacer cette phrase par « *les remblais ne sont pas autorisés sauf si une étude réalisée par un organisme spécialisé montre que le remblaiement n'aura pas d'incidence de part et d'autre de la zone aménagée et plus généralement le long du cours d'eau en aval et en amont* ».

5.4. AUTRES APPROCHES A ENVISAGER

Dans ce qui précède au sein du présent chapitre 5, il a été présenté une approche novatrice pour la Polynésie, permettant, d'envisager d'aménager certaines zones d'aléa élevé, à travers un zonage réglementaire spécifique et des dispositions réglementaires dédiées. Cette approche est compatible avec les exigences attendues pour un PPR en termes de sécurité des personnes et des biens.

Il est cependant rappelé que le principe général pour les zones d'aléa élevé doit rester l'inconstructibilité. Aussi, envisager d'aménager une zone d'aléa élevé, même si l'aléa peut y être réduit après travaux, nécessite d'avoir recherché au préalable des opportunités foncières dans des zones d'aléa plus faible, compatibles par ailleurs avec la vocation du projet d'aménagement en cause.

Par ailleurs, il doit toujours demeurer possible à tout moment de réaliser des travaux visant à réduire l'aléa en zones d'aléa élevé, et d'en tenir compte s'il y a lieu lors de la prochaine révision du PPR. Dans ce cas, c'est la carte d'aléa qui serait éventuellement révisée et par conséquent le zonage réglementaire qui en découle.

Enfin, si des zones d'aléa élevé sont aménagées dans le cadre des dispositions réglementaires novatrices proposées dans le présent rapport, il faudra veiller lors de la prochaine révision du PPR à entériner les modifications du zonage d'aléa. Il conviendra aussi d'harmoniser autant que possible, les changements de niveau d'aléa intervenus dans les zones aménagées avec les zones environnantes.

6. Conclusion

Les réflexions menées sur la commune de Punaauia, à l'occasion de la procédure de révision du PPR, ont permis de proposer des avancées réglementaires innovantes pour améliorer la flexibilité de cet outil de prévention et de prise en compte des risques dans l'aménagement, en prenant en compte autant que possible la réalité des questions qui se posent concrètement dans le contexte polynésien.

Concernant l'aléa inondation, le BRGM a identifié les conditions dans lesquelles une révision de l'aléa serait envisageable. L'idéal reste le projet d'aménagement global, porté par une collectivité, pour envisager une réduction des aléas à travers la prise en compte du cours d'eau dans son ensemble.

Concernant l'aléa mouvement de terrain, le BRGM a identifié, au sein des secteurs indiqués par le Service de l'Urbanisme et étudiés dans le cadre de la présente étude, des sites à configuration géomorphologique particulière où le niveau d'aléa fort, en l'état actuel des connaissances est justifié mais est potentiellement réductible avec des aménagements d'ampleur. Le BRGM propose d'introduire une nouvelle zone réglementaire pour que ces zones puissent être traitées spécifiquement et éventuellement être aménagées selon des modalités précises. Celles-ci doivent permettre de satisfaire les objectifs de prévention et de sécurité des personnes et des biens, qui sont ceux des PPR. Deux sites de ce type ont été identifiés dans le cadre de cette étude. L'identification d'autres secteurs sur la commune de Punaauia reste envisageable, le BRGM n'ayant établi un diagnostic que sur les sites étudiés.

Dans le cadre de la présente étude, il a été présenté une approche novatrice pour la Polynésie, permettant, d'envisager d'aménager certaines zones d'aléa élevé, à travers un zonage réglementaire spécifique et des dispositions réglementaires dédiées. Il est rappelé toutefois que le principe général pour les zones d'aléa élevé doit rester l'inconstructibilité. Aussi, envisager d'aménager une zone d'aléa élevé, même si l'aléa peut y être réduit après travaux, nécessite d'avoir épuisé toutes autres solutions alternatives.

Par ailleurs, il doit toujours demeurer possible à tout moment de réaliser des travaux visant à réduire l'aléa en zones d'aléa élevé, et d'en tenir compte s'il y a lieu lors de la prochaine révision du PPR.

Les résultats des travaux et réflexions menés dans le cadre de cette convention s'adressent à la ville de Punaauia, mais pourront bénéficier également aux PPR des autres communes de Polynésie française, encore à l'état de projets.

7. Bibliographie

- **Généralité**

COTECH2 (2014). Constructibilité à l'aval d'un ouvrage de protection en montagne. Révision des guides méthodologiques PPR. Document du 23 juin 2014.

Dewez T, Nachbaur A et Sedan O. (2010) – Programme ARAI 2. Érodibilité des talus de Polynésie française : analyse morphologique 2D et 3D par reconstitution stéréo-photogrammétrique. Rapport final. BRGM/RP-58965-FR, 149 p., 73 fig., 9 tab., 4 ann.

Dewez T., Kobayashi H., Mathon C., Nachbaur A. (2010) - Programme ARAI 2. OFAI, expérience de lâchers de blocs en Polynésie française pour calibrer les modèles de trajectographie en contexte volcanique tropical. Rapport final. BRGM/RP-58724-FR, 322 p., 49 fig., 22 tab., 8 ann.

Heim, A., 1932, Bergsturz und Menschenleben, Beiblatt Vierteljahrschrift Naturforsch, Gesell, Zürich, n° 77, 218 p.

MATE (1999). Plans de Prévention des Risques Naturel. Risques de mouvement de terrain. Guide méthodologique. La documentation française. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

MEDD (2006). Plans de Prévention des Risques Naturel. Cahier de recommandations sur le contenu des PPR. Document établi par le ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 2006.

MEZAP (2014). Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'Etat en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet aléa rocheux d'un PPRN. Rédaction du groupe de travail MEZAP du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie. Version du 21/01/2014.

Monge O., Montgaillard M., Ledoux B (2003). Analyse du contenu des plans de prévention des risques naturels (PPR) et réalisation d'un cahier de recommandation. Phase 1 : évaluation global de la qualité des 3600PPR ayant été approuvés sur le territoire national français. Rapport GTR/MEDD/0703-197Av1.

Nedellec JL. (2007). Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée d'aléa fort mouvement de terrain à Mayotte. BRGM/RP-55631-FR

Norme française NFP-94-500. Mission d'ingénierie géotechnique. Novembre 2013

- **Polynésie**

Plan de prévention des risques. Règlement. Février 2010.

Plan de Prévention des Risques. Rapport de Présentation du PPR de Punaauia, Février 2010.

Plan de Prévention des Risques. Note méthodologique de réalisation des cartes, Février 2010.

Bernon N. (2014). Compte-rendu de visite du Service de l'Urbanisme du 17 juillet 2014, suite à la chute d'un bloc le 05/07/2014 sur la parcelle AC176 à Punaauia. N°002264 PR/AU.EP

EGIS EAU (2010). Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française. Cours d'eau : MARUAPO. Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes Service de l'Urbanisme. Section Etudes et Plans. GRI / N° 04635D. Décembre 2010

EGIS EAU (2012). Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française. Cours d'eau : VAIOPU. Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes Service de l'Urbanisme. Section Etudes et Plans. HSO 11126K. Juin 2012

Lavest P., Leotot C., Prudhomme C. (1990). Carte géologique de Tahiti au 1/25 000.

LTPP (2011). Avis géotechnique G51 sur sécurisation terrassement en délaï. Les Hauts de Tahiti Village. Procès-verbal de visite n°11/0952.

Mompelat JM., Sedan O., Lembezat C. (2012). Intervention du BRGM sur le site de l'éboulement du 13/12/2002 à Punaauia au PK 14.9. Compte rendu du 13/12/2002. Réf POL/02/11.

Nowak E. (2010). Compte-rendu de visite du Service de l'Urbanisme du 06 janvier 2010, suite à un éboulement au lotissement Punavai Nui, voie V (parcelle CI 383) – Commune de Punaauia.

SPEED (2012). Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française. COURS D'EAU : VAIOA. Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes Service de l'Urbanisme. Section Etudes et Plans. Rapport N° 1374 11 05-V2. Avril 2012.

- **DROM**

Plan de prévention des risques Mouvements de terrain de l'Ile de Cayenne. Communes de Cayenne, Matoury et Rémire-Montjoly. GUYANE. Règlement. Arrêté préfectoral du 15 novembre 2001.

Plan de prévention des risques. « Mouvement de terrain (glissement et chutes de blocs), inondation par débordement de cours d'eau ou ravines et par ruissellement urbain, submersion marine d'origine cyclonique ». Commune de Mamoudzou. MAYOTTE. Règlement. Version de Juin 2012, pour mise à l'enquête publique.

Plan de prévention des risques. « Inondation et Mouvement de terrain ». Commune de Saint Leu. La RÉUNION. Règlement. Version d'avril 2015 pour mise à l'enquête publique.

Plan de prévention des risques. « Inondation et Mouvement de terrain ». Commune de Saint Paul. La RÉUNION. Règlement. Version de juin 2015 pour consultation.

Plan de prévention des risques naturel. Commune de Fort-de-France. MARTINIQUE. Règlement de 2004.

Plan de prévention des risques naturel. Commune de Fort-de-France. MARTINIQUE. Règlement. Arrêté préfectoral du 30 décembre 2013.

Plan de prévention des risques naturel. Commune du Gosier. GUADELOUPE. Règlement de janvier 2008. Arrêté préfectoral du 3 mars 2008.

Plan de prévention des risques naturel. Aléa mouvement de terrain. Aléas inondations Aléas littoraux. Commune de Petit Bourg. GUADELOUPE. Projet de règlement d'avril 2014.

SCE (2011). Evaluation du PPRN à la demande de la DEAL Martinique. Groupement Expert (SCE, CREOCEAN, NAOMIS, GNGER GEODE). Février 2011.

Annexe 1

Fiche des mises à jour de l'aléa mouvement de terrain

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 14/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°7	Commune Punaauia	Quartier Mairie de Punaauia	Demandeur Privé	Parcelles E21 et AT144
-----	---------------------	--------------------------------	--------------------	---------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

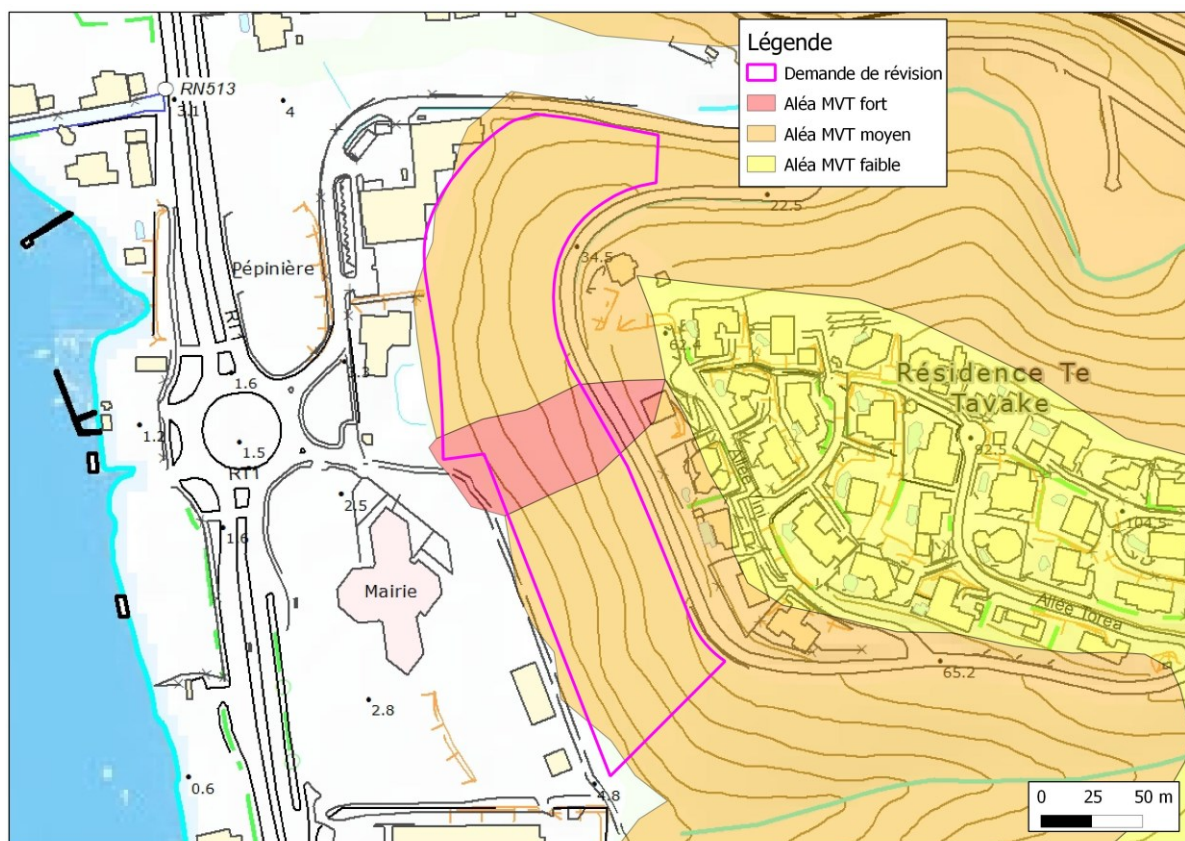


Illustration 1 : Carte de situation du site 7 avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Apigéo (2014a). Etude préliminaire de site G11. Phase 1 : Reconnaissance visuelle d'un talus et préconisations générales liées au terrassement avec avis technique concernant une partie du terrain en zone d'aléa fort mouvement de terrain. Projet nouvelle clinique Cardella R+4. N°A22-JBS-14. 03/03/2014

Apigéo (2014b). Etude préliminaire de site G11. Phase 2 : Sondage géologiques (carottages + destructifs) et préconisations sur les terrassements projetés. N°A22-JBS-14. 20/03/2014

Apigéo (2015). Etude projet géotechnique G2 (norme décembre 2013) : Analyse zones aléa fort projet de clinique de Punaauia (G2). N°A36-LB-15. Mars 2015

3 - Examen du site

L'examen du versant a été effectué depuis le chemin forestier qui parcourt le versant et depuis la route d'accès au lotissement Te Tavake, en tête du versant.

- **Eléments de topographie / morphologie**

Le versant correspond à un front de planèze, de 30 à 40 m de hauteur, de pente entre 30 et 40°. Ce versant est limité en tête par la route d'accès au lotissement Te Tavake et en pied par l'aménagement de la mairie. Le versant est peu végétalisé, jonché de blocs et colonisé par des arbres avec des troncs de petit diamètre.

- **Eléments de géologie**

D'après les observations de terrain, le versant est armé par une succession de coulées basaltiques pluridécimétriques à plurimétriques. Les sondages réalisés par le bureau d'étude AFIGEO (2004b) ont effectivement recoupé sur les 10 premiers mètres de profondeur, cette succession de bancs basaltiques d'épaisseur métrique. En réalité, les bancs durs alternent avec des bancs plus sensibles à l'érosion comme des bancs de scories atteignant 1 m d'épaisseur en moyenne. Les coulées basaltiques affleurent en bancs épais altérés en amont de la route supérieure, sur une dizaine de mètres de hauteur au maximum.

Dans le versant, ces bancs sont recouverts par une couverture de colluvions de faible épaisseur (« limons bruns d'altération »), recoupés sur 2 m maximum par les sondages (Apigéo, 2004b). Une épaisseur inframétrique de ce type de formation a été recoupée entre chaque banc basaltique et pourrait correspondre à l'horizon de scories altéré.

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

Le bureau d'étude Apigéo rapporte qu'en février 2014, un glissement de terrain superficiel s'est produit en partie aval du versant, au droit de la mairie côté nord, emportant probablement les limons bruns d'altération de surface (2014a).

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

La carte d'aléa du PPR approuvé (cf. Illustration 1) avait attribué à l'ensemble du versant un aléa de niveau Eb2G1 et sur la partie centrale du versant, un aléa Eb3G2, qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chute de blocs et un aléa moyen vis-à-vis des glissements/coulées.

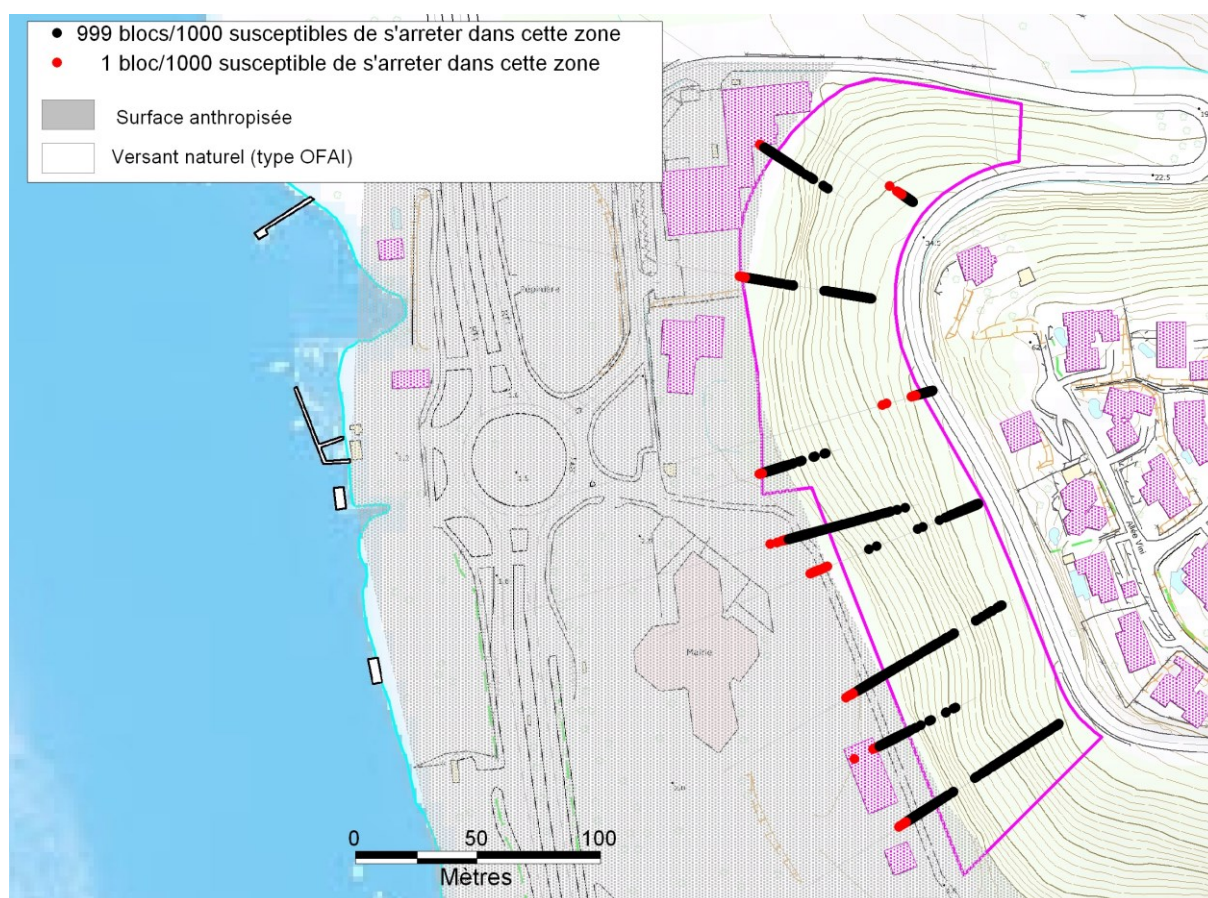
Si la partie nord pourra être sujette à l'instabilité des limons d'altération, la stabilité du versant n'est pas remise en cause vu la faible épaisseur de terrain mobilisable et la présence de formations rocheuses avec de fortes caractéristiques mécaniques. On pourra se référer à l'étude de stabilité réalisée par Afigéo qui obtient des valeurs de coefficient de sécurité de 2.25, garantissant la stabilité d'ensemble (Afigéo, 2015). Un niveau d'aléa glissement de niveau faible (G1) est cependant justifié correspondant à l'occurrence possible de glissement superficiel de la formation de sub-surface (limitée à 2 m d'épaisseur).

L'investigation dans le versant confirme la présence de coulées rocheuses massives fortement déstabilisables, que ce soit par sous-cavage des niveaux scoriacés ou par le jeu des diaclases et fissures qui recoupent ces formations. De cette manière, en tête de versant, par le jeu des discontinuités et plans stratigraphiques, les coulées épaisses sont susceptibles de produire des blocs atteignant plusieurs mètres cubes à dizaine de mètres cubes (exemple sur l'illustration 4).

La probabilité de départ de blocs est, de ce fait, très importante, comme en témoigne leur forte présence sur l'ensemble du versant.

Les blocs les plus fréquents sont pluri-décimétriques à métriques ($< 1 \text{ m}^3$) (cf. Illustration 5 et Illustration 6). Le départ de blocs d' 1 m^3 et est donc fortement probable sur l'ensemble du versant. La partie centrale est l'endroit où les coulées sont les plus épaisses et les blocs les plus volumineux. Les plus gros atteignent 15 à 20 m^3 et certains sont situés relativement proches du pied de versant (à 10 – 15 m par exemple). Sur la partie centrale, le départ de blocs de taille supérieure à 1 m^3 est donc fortement probable.

Pour donner une idée des distances de propagation possibles en pied du versant, des simulations trajectographiques ont été réalisées sur plusieurs profils, pour 1000 lâchers de blocs (cf. Illustration 2).



*Illustration 2 : Etude trajectographique (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3.3 T)
avec le logiciel Pierrauto @BRGM*

Motivations du nouveau zonage :

La partie centrale est l'endroit où les coulées sont les plus épaisses et les blocs les plus volumineux, justifiant une probabilité de départ de bloc de niveau très élevé et un niveau d'intensité élevé (bloc de 1 à 10 m³).

Cependant, vu la forte densité de blocs de 1 m³ sur l'ensemble du versant, un niveau d'aléa fort mérite d'être attribué à l'ensemble du versant vis-à-vis des chutes de blocs Eb3 et non plus sur la seule partie centrale. La probabilité de départ de bloc est de niveau élevé et le niveau d'intensité modéré à élevé.

Le niveau d'aléa attribué au versant est Eb3G1, pour prendre en compte la possibilité de glissements superficiels des limons d'altération.

En pied de pente, l'emprise de l'aléa a été ajustée, appuyée notamment par les résultats des simulations trajectographiques (Illustration 3).

Un aléa de niveau moyen (Eb2G0) a également été attribué sur une dizaine de mètres supplémentaire, correspondant à une zone où la probabilité d'atteinte est moins importante mais pas négligeable.

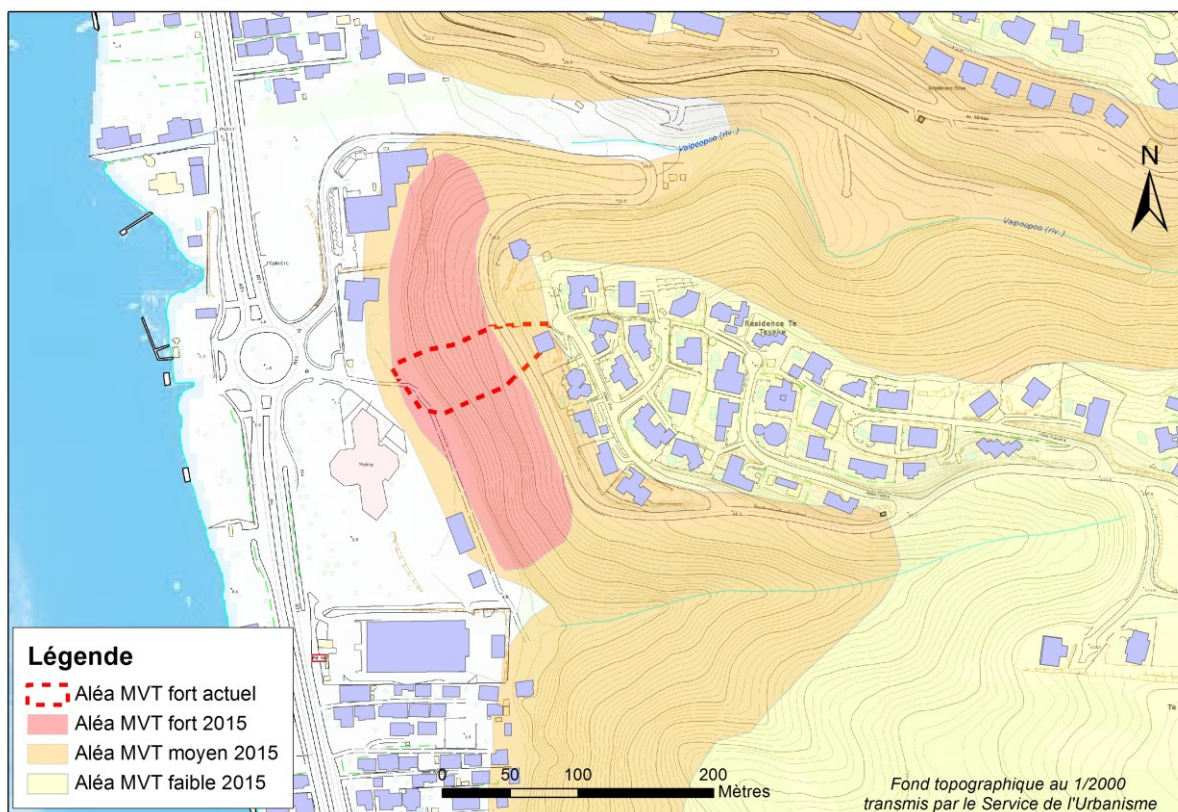


Illustration 3 : Proposition de modification de la carte de l'aléa mouvement de terrain

5 – Remarques

Actuellement, la route en contrebas est éloignée du pied de pente de 4 m environ. Un fossé peu profond permet de réceptionner quelques blocs (cf. Illustration 8). Cette protection de pied de pente doit d'être entretenue et prolongée le long du versant de manière à mettre à l'abri de toute chute de blocs.

6 - Photos



Illustration 4 : Amont de la route. Coulée massive en amont du versant, sur la partie centrale, avec une individualisation de bloc de plus de 10 m³



Illustration 5 : Blocs métrique très fréquents dans la pente



Illustration 6 : Versant jonché de blocs d'1 m³ en particulier dans la zone d'aléa fort



Illustration 7 : Coulée massive en place de 3 m de hauteur, sous-cavée par des scories.



Illustration 8 : Fossé de réception des blocs en pied de pente, dans la partie sud du versant

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 19/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°8	Commune Punaauia	Quartier Pk16 Servitude Benett	Demandeur Privé	Parcelles AH353 et AH354
-----	---------------------	--------------------------------------	--------------------	--------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

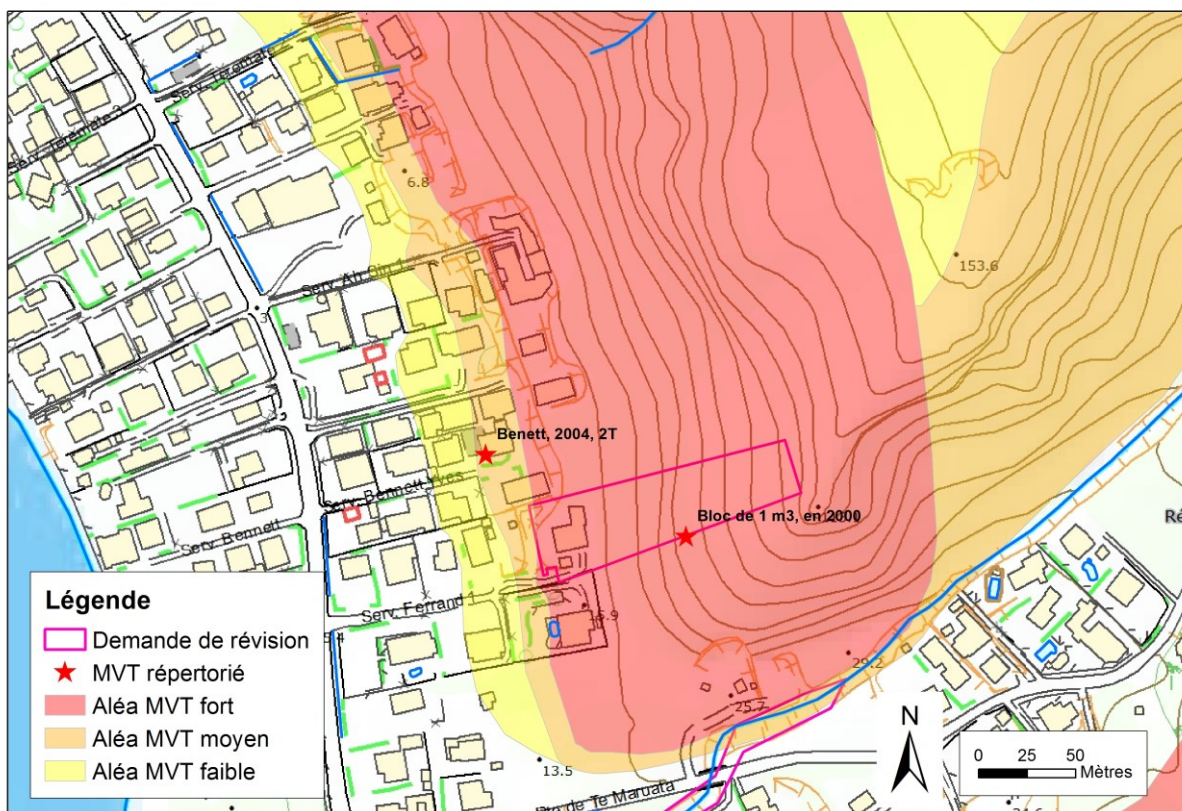


Illustration 1 : Carte de situation du site n°8 avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Bégétech (2015). Etude projet géotechnique G5. Heipua Teuira – parcelle AH353-354. Rapport n°13 8152. Juin 2013

Nédellec JL., Mathon C. (2006). "Programme ARAI - Programme 3.1. – Cartographie de l'aléa mouvements de terrain - Étude de sites détaillés - Rapport final" – BRGM/RP-54834-FR. 173 p, 48 illustrations.

3 - Examen du site

L'examen du site a consisté en un examen visuel détaillé du versant au niveau de la parcelle et de part et d'autre. L'inspection du versant s'est limitée à la cote 50 NGT, le relief et la végétation rendant l'accès à la partie supérieure délicat.

Notons que ce site a la particularité de correspondre à un des sites pilotes sélectionnés en 2006 pour caler la méthodologie d'évaluation des aléas mouvements de terrain (le site E « Panaauiua – Vaiohu ») (cf. Illustration 2) et avait, à ce titre, bénéficié d'une attention particulière. Les investigations avaient déjà consisté en un examen visuel détaillé du pied de versant.

- **Éléments de topographie / morphologie**

La parcelle occupe le pied d'un versant de grande hauteur qui atteint environ 100 - 150 m de dénivelé à cet endroit, avec une pente globalement supérieure à 40° (cf. Illustration 6 et Illustration 7). L'habitation qui occupait la parcelle a été détruite entre 2007 et 2011 (pour des raisons inconnues).

La parcelle est terrassée en déblais-remblais, limitée par un talus amont de 5-6 m de hauteur dans les colluvions (cf. Illustration 10). Une banquette de 3 à 4 m de largeur, sur laquelle quelques blocs d'1 m³ ont atterri, joue le rôle de merlon protecteur en amont de la parcelle (cf. Illustration 8).

- **Éléments de géologie**

Le versant est constitué d'une succession de barres rocheuses issues de différents épisodes volcaniques effusifs. Jusqu'à environ 75 m d'altitude, des coulées basaltiques porphyriques (type 1a de la carte géologique), plurimétriques, alternent avec des bancs de scories. Au-delà, le versant serait constitué de coulées à tubes-lavas (type 1b de la carte géologique), qui n'ont pas été observées sur le terrain. Une barre rocheuse est observable au sommet du versant.

Ce front de planèze a la particularité de présenter des secteurs de colluvions de pied de pente, jusqu'à la cote 40 environ, constitués de blocs voire de gros blocs (jusqu'à 1 m de diamètre) et dont l'épaisseur peut atteindre 4 à 5 m. Ces colluvions sont recouverts d'éboulis de blocs centimétrique à décimétrique, en limite de stabilité. Ils sont colonisés par une végétation récente à système racinaire superficiel comme les cocotiers.

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

Deux chutes de blocs sont répertoriées dans le secteur (cf localisation en Illustration 1).

Un bloc de 2T a dévalé la pente en 2004, pour s'arrêter au niveau d'une habitation de la servitude Benett, sans la toucher (Nedellec et Mathon, 2006). La distance de propagation depuis le pied de pente est estimée à 20 m. L'angle entre la zone de départ supposée et la zone atteinte est de 27° environ ce qui est relativement faible et témoigne de l'absence d'obstacle suffisamment marqué dans la pente pour ralentir la propagation.

La carte informative du PPR indique un autre événement, qui daterait de 2000- 2002. Il s'agirait d'un bloc d'un mètre cube qui aurait dévalé une pente de 35 à 40° sans faire de dégât. Ce bloc se serait détaché du versant, au niveau de la parcelle étudiée.

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

Le versant dans son intégralité a la particularité d'être un des sites détaillés étudiés en 2006 (cf. Illustration 2). D'après la carte d'aléa initiale qui a donc fait l'objet d'une évaluation précise sur ce secteur, l'ensemble du versant est associé à un aléa de niveau Eb3G2, ce qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs et un aléa moyen vis-à-vis des glissements de terrain. L'aléa majeur redouté sur ce versant sont donc des chutes de bloc. En pied de versant, un aléa particulier (noté Eb2G3) a été attribué à des secteurs de colluvions/éboulis où les événements les plus préjudiciables sont des glissements de terrain/coulées de débris.

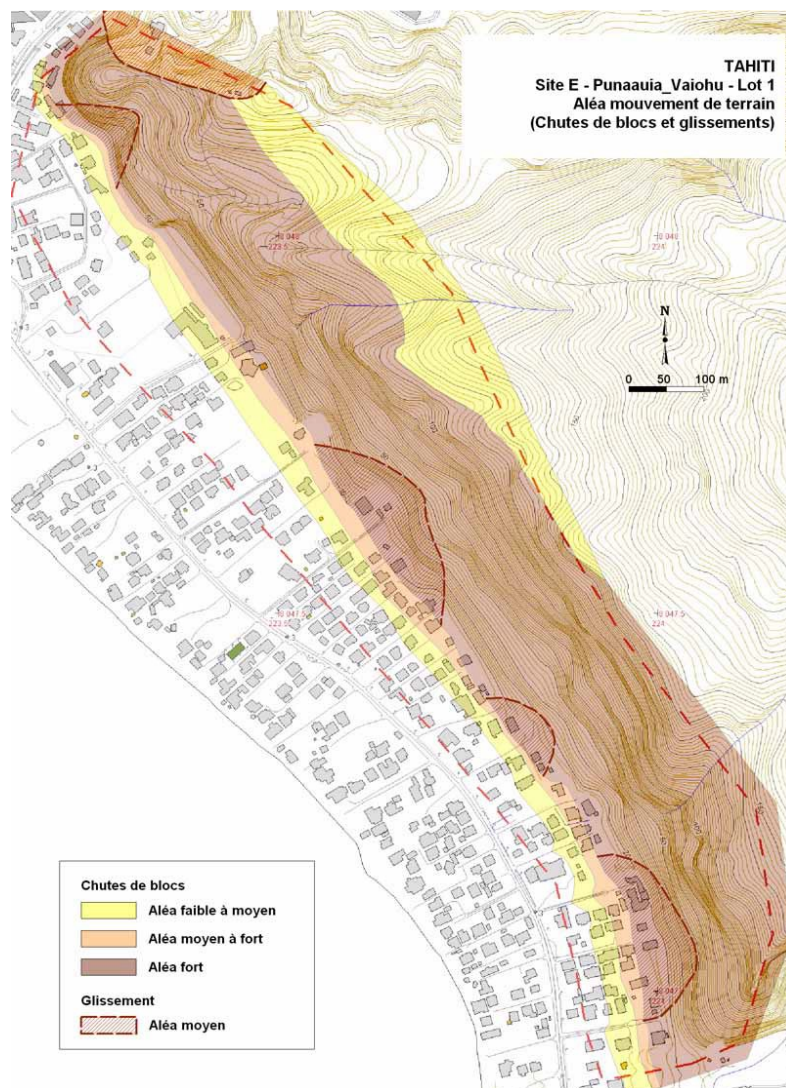


Illustration 2 : Zonage d'aléa issu de l'analyse détaillée réalisée en 2006 (Nedellec et Mathon, 2006)

Le versant est jonché de blocs. L'inspection de terrain a confirmé la présence de coulées massives, susceptibles de produire des blocs, dès la cote 20. Les blocs les plus fréquents sont pluri-décimétriques à métriques ($< 1 \text{ m}^3$) mais localement, de plus gros blocs se détachent également, à la faveur de quelques bancs plus épais. En effet, des affleurements de 6 à 7 m de hauteur ont été repérés et les plus gros blocs repérés dans la pente atteignent 15 à 20 m^3 . Les deux récents événements confirment la très forte susceptibilité de départ de blocs de l'ordre de 1 m^3 et d'atteinte des enjeux en pied de versant.

Quant aux zones d'éboulis et de colluvions de pied de pente, elles sont sujettes à des glissements de terrain ainsi qu'à la remobilisation des blocs potentiellement sous forme de coulées de débris (cf. Illustration 9).

Motivations du nouveau zonage

Le niveau d'aléa fort est donc confirmé dans la pente, comme l'indique également le rapport d'étude de Bégétech (2015).

La limite de la zone en aléa fort avait été calée à l'époque par des modélisations de la propagation possible des blocs. La topographie dont la banquette amont, était identique à celle d'aujourd'hui d'après l'observation des photos aériennes sur Google Earth (cf. Illustration 8). L'angle entre la zone de départ depuis la barre rocheuse supérieure (d'où serait parti le bloc de 2004) et cette limite est de 35° environ, ce qui correspond approximativement aux valeurs généralement considérées (de l'ordre de 34 à 38° selon les auteurs) pour définir la limite des zones de forte probabilité de propagation et par conséquent, vu les indices d'activité dans le versant, pour limiter l'emprise de l'aléa fort (principe de la ligne d'énergie).

Depuis, il n'y a pas eu d'événements récents remettant en cause le zonage. De nouvelles modélisations de trajectoire ont cependant été réalisées sur plusieurs profils dans le versant, tenant compte de la variabilité des paramètres d'entrées et de l'évolution des outils de simulations trajectographiques disponibles (cf. Illustration 3).

Certains ajustement sont proposés au vu de ces résultats et de l'expertise de terrain. Le nouveau zonage d'aléa est présenté dans l'illustration 4 ci-dessous.



*Illustration 3 : Etude trajectographique (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3.3 T)
avec le logiciel Pierrauto @BRGM*

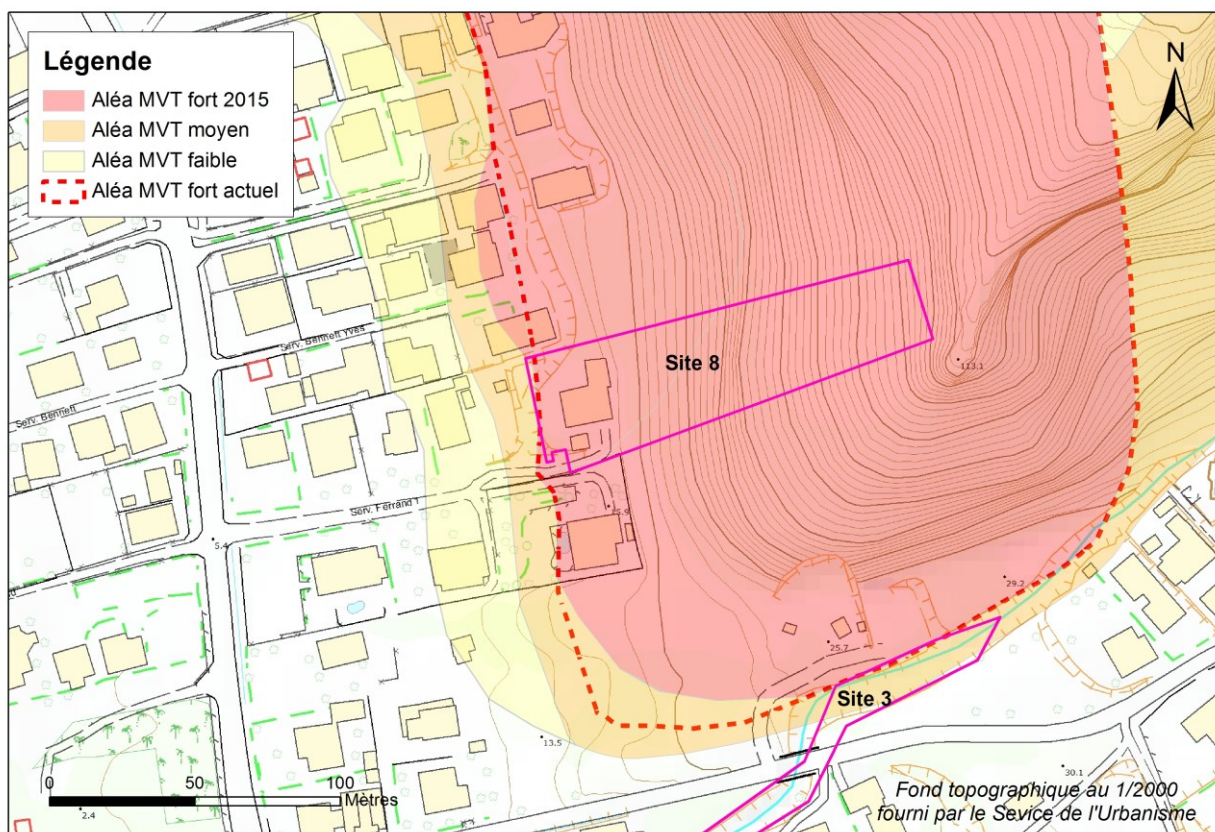


Illustration 4 : Proposition de modification de la carte de l'aléa mouvement de terrain

5 – Remarques

Dans la zone investiguée, il a été mis en évidence des habitations non protégées, particulièrement exposées à des aléas forts (cf. Illustration 11 et Illustration 5). Il s'agit notamment de deux habitations situées à moins d'un mètre du pied de pente, sans protection (ni banquette, ni filet, ..). L'inspection du versant en contre-haut révèle une présence importante de blocs et d'éboulis à faible distance de ces enjeux.

Une zone d'éboulis menace directement le lotissement situé dans l'axe direct, à 50 m de distance, en aval (cf. Illustration 5 et Illustration 12). Notamment liés à l'élagage du couvert végétal entrepris en tête de parcelle, il n'y a plus de végétation pour retenir ces blocs. Un nombre important d'entre eux, de taille limitée, pourraient facilement être remobilisés par de fortes pluies. Il est nécessaire, à cet endroit, de protéger le lotissement ou d'éliminer les blocs.

Le BRGM recommande par ailleurs, de proscrire l'élagage des arbres dans le versant et en pied de versant, puisqu'ils protègent les enjeux en aval, voire de reboiser les zones peu densément végétalisées.

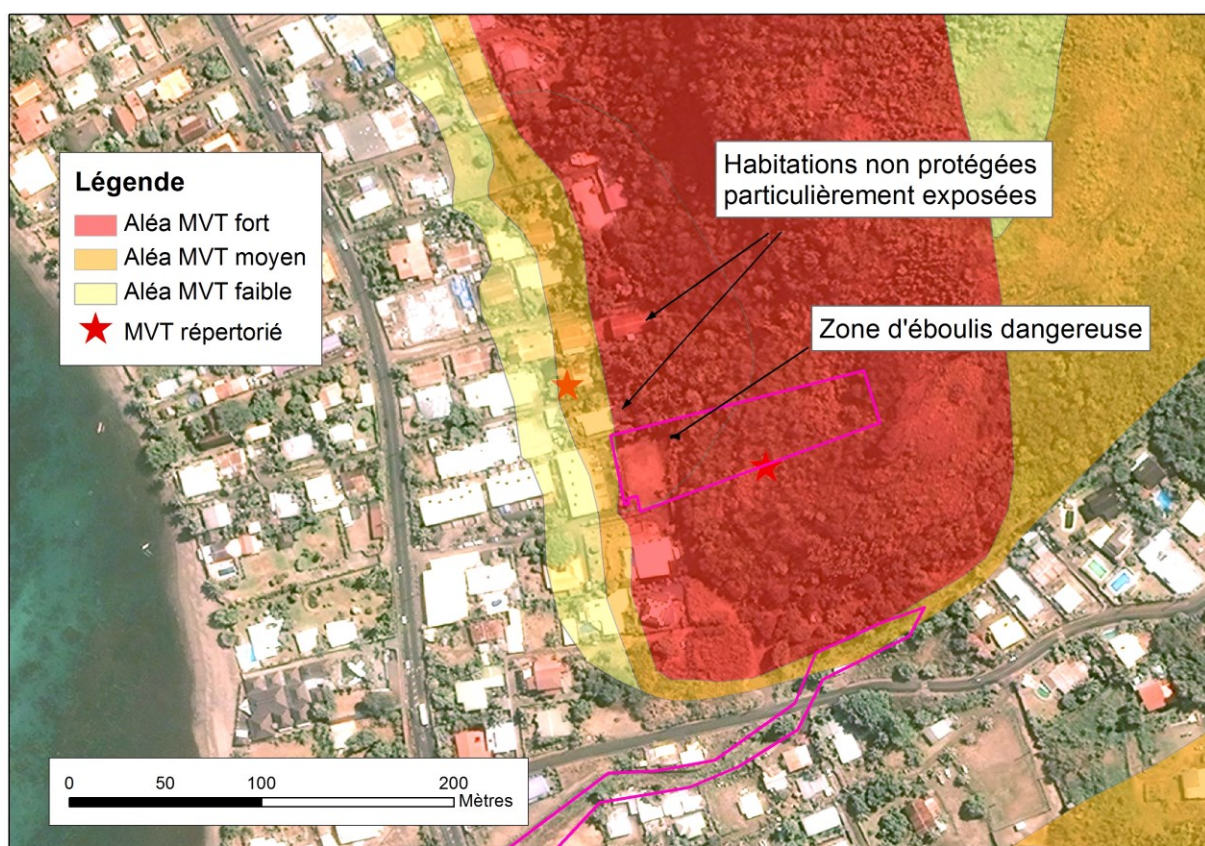


Illustration 5 : Localisation des enjeux exposés

6 – Photos



Illustration 6 : Versant surplombant la parcelle



Illustration 7 : Versant vu depuis la plateforme terrassée



Illustration 8 : Banquette de réception de blocs, en amont de la parcelle



Illustration 9 : Colluvions peu consolidées sur plusieurs mètres d'épaisseur



Illustration 10 : Plateforme terrassée avec la banquette supérieure



Illustration 11 : Une des habitations menacées, directement en pied de pente.



Illustration 12 : Le couloir de propagation accentuant le risque de coulée en aval lié à un stock d'éboulis et de blocs facilement mobilisables en amont

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 18/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°9	Commune Punaauia	Quartier Pk15,3 Servitude Bernardino	Demandeur Privé	Parcelles AC168, AC175, AC176, AC183
-----	---------------------	--	--------------------	--

1 - Plan de situation avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

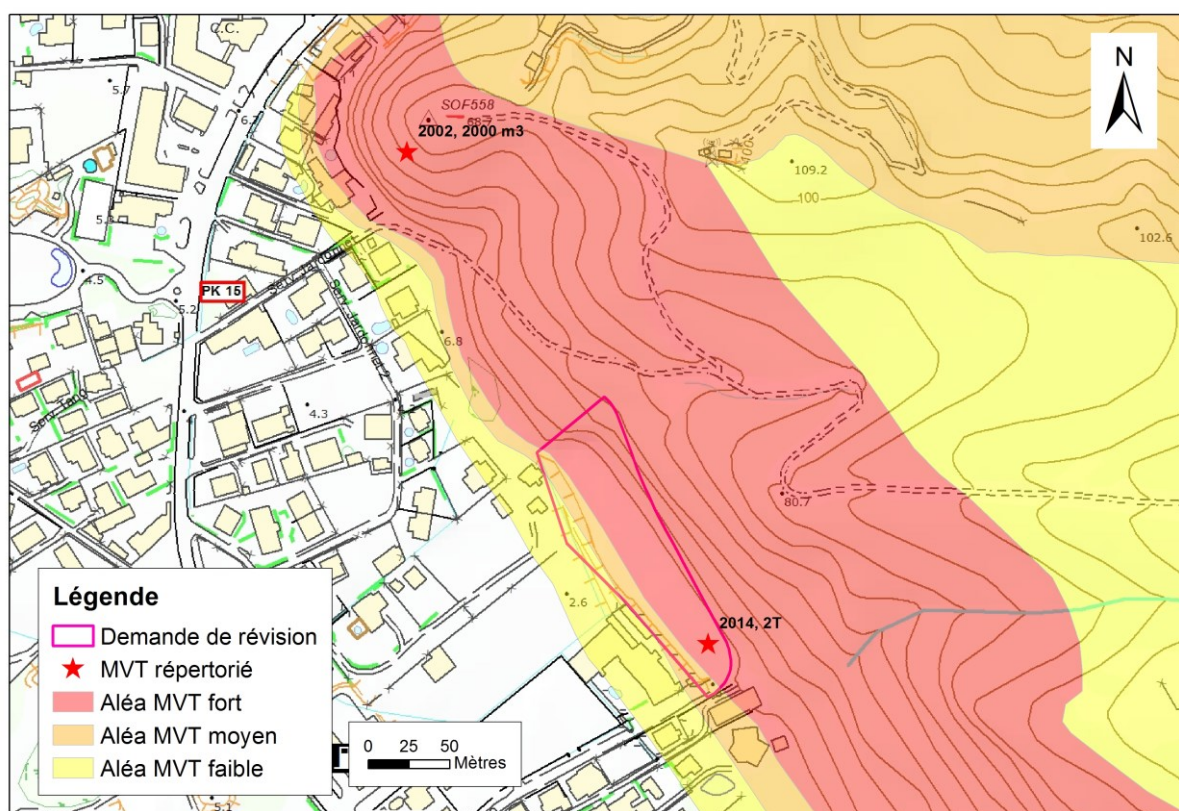


Illustration 1 : Carte de situation du site n°9 avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Apigéo (2015). Etude projet géotechnique G2 (norme décembre 2013) : Analyse zones aléa fort projet de construction et de terrassement à Punaauia (G2). N°A89-LB-15. Mai 2015

Bernon N. (2014). Contre rendu de visite suite à la chute d'un bloc le 05/07/2014 sur la parcelle AC176 à Punaauia. 17/07/2014. N°002265 PR/AU.EP

LTPP (1995). Visite géologique Sismique réfraction. Résidence les Hauts de Tamanu. Procès-verbal d'essais n°95/767.

LTPP (1999). Projet de terrassement en déblai. Visite géologique. Les Hauts de Tahiti village. Procès-verbal de visite n°99/701.

LTPP (2011). Avis géotechnique G51 sur sécurisation terrassement en déblai. Les Hauts de Tahiti Village. Procès-verbal de visite n°11/0952.

Mompelat JM., Sedan O., Lembezat C. (2012). Intervention du BRGM sur le site de l'éboulement du 13/12/2002 à Punaauia au PK 14.9. Compte rendu du 13/12/2002. Réf POL/02/11.

Nédellec, JL., Mathon C. (2006) – "Programme ARAI - Programme 3.1. – Cartographie de l'aléa mouvements de terrain - Étude de sites détaillés - Rapport final" – BRGM/RP-54834-FR

3 – Examen du site

L'examen du site a consisté en une inspection visuelle du versant qui a pu être parcouru dans sa totalité. L'investigation s'est limitée en tête, à la piste qui conduit au plateau de Tamanu.

Notons que ce site a la particularité de correspondre à un des sites pilotes sélectionnés en 2006 pour caler la méthodologie d'évaluation des aléas mouvements de terrain (le site E « Panaauia – Vaiohu ») (cf. fiche du site 9) et avait, à ce titre, bénéficié d'une attention particulière. Les investigations avaient déjà consisté en un examen visuel détaillé du pied de versant.

Le BRGM a par ailleurs, pris connaissance des 25 documents transmis par la SCI Les Hauts de Tahiti Village au Service de l'Urbanisme.

La SCI Les Hauts de Tahiti Village a commencé des travaux sur le versant dont des travaux de purge manuelle, en cours lors de l'investigation de terrain. Les indices de terrain relevés (blocs, marques sur les arbres) sont dès lors biaisés par ces chutes provoquées.

- **Éléments de topographie / morphologie**

Le versant étudié est fortement penté (pente moyenne d'environ 40 à 50°) sur 75 m de dénivelé. Au-delà de la piste, la pente s'adoucit.

Le versant étudié est marqué par des ressauts topographiques liés à la succession des barres rocheuses, sub-parallèles aux lignes de niveau. Latéralement, il est limité par deux talwegs, secs lors de la visite. Celui au nord a été aménagé en pied de versant en « canal hydraulique », creusé dans les formations rocheuses pour canaliser les eaux.

Le pied de versant a été terrassé entre 1997 et 2000 pour un projet de lotissement et remblayé sur quelques mètres. L'escarpement en pied de versant, subvertical, atteint entre 8 et 15 m de hauteur.

Une venue d'eau a été observée localement en pied de l'escarpement, constituant une zone humide d'ampleur. Cette venue d'eau avait été mise en évidence dès 1995 par le LTPP (1995).

- **Éléments de géologie**

Le versant est armé par une succession de coulées basaltiques (type 1a de la carte géologique). Ces coulées sont métriques à plurimétriques. Des passées de scories (jusqu'à 4 m d'épaisseur) s'intercalent entre ces coulées.

Au-delà, lorsque la topographie s'adoucit, la carte géologique indique des coulées à lavas-type (type 1b), qui se présentent plus altérées et sous forme de Mamu (cf. Illustration 4),

Dans la pente, un horizon superficiel d'éboulis et de terre-végétal atteint entre 0.5 et 1 m d'épaisseur (LTPP, 1995) (APGEO, 2015). La formation colluvionnaire caractérisée par le LTPP (1995) en pied de versant, a été décaissée à l'occasion du terrassement, au niveau de la parcelle.

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

Le 5 juillet 2014, un bloc d'environ 0.75 m³ dévale la pente sur la parcelle AC176 (Bernon, 2014). La zone de départ du bloc a pu être identifiée à environ 35 m au-dessus des habitations. Le bloc s'est fiché dans le sol à 5 m du pied de l'escarpement, soit à une quinzaine de mètres d'une habitation, dans la servitude Benett. L'angle entre la zone de départ et la zone atteinte est de 40° environ.

Le 12 décembre 2002, un éboulement rocheux de 1 500 à 2 000 m³ a provoqué la ruine d'une habitation en pied de versant, au pK 14.9, face au centre commercial Tamanu. L'éboulement concerne une paroi rocheuse de 30 m de hauteur environ, particulièrement fracturée (Mompelat et al., 2002). Bien que proche de la parcelle étudiée (environ 200 m de distance), la formation géologique concernée (bréchique) est différente de celle du versant étudié ici.

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

Le site a la particularité d'être un des sites pilotes étudiés en 2006. D'après la carte d'aléa initiale qui a donc fait l'objet d'une évaluation précise sur ce secteur, le versant est associé à un aléa de niveau Eb3G2, ce qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs et un aléa moyen vis-à-vis des glissements de terrain / coulée.

L'investigation du versant confirme la présence de dalles rocheuses massives. Si la plupart atteint 2 m de hauteur, certaines culminent à 7 – 10 m (cf. Illustration 8 et Illustration 9). Elles apparaissent globalement saines mais de nombreuses diaclases essentiellement subverticales, corrélées aux plans de contact subhorizontal, ont tendance à débiter des dièdres métrique ou de taille supérieure. La production de blocs dans le versant est donc importante liée à cette succession de coulées massives fissurées et localement déstabilisées par le sous-cavage des niveaux scoriacées. Le rôle aggravant des racines (centimétriques) qui s'immiscent dans les plans de faiblesse, est particulièrement marqué. L'illustration 6 résume ces différents facteurs.

Les blocs les plus fréquents sont pluri-décimétriques à métriques (< 1 m³). A l'aplomb des coulées les plus épaisses, des blocs de 5 m³ ont pu être observés et plus fréquemment, des blocs de 3 m³. Vu cette forte densité de blocs volumineux, le niveau d'aléa fort est donc confirmé dans la pente (MEZAP, 2014).

La végétation, de type acacias de faible diamètre (< 10 cm), n'est pas suffisamment dense pour limiter la propagation et dans tous les cas, ne peut être considérée comme protectrice sur d'aussi petit versant (75 m de protection maximale).

En pied de versant, l'escarpement atteint entre 8 m et 15 m de hauteur. Subvertical, il est constitué d'une succession métrique de coulées basaltiques et de passées de scories. Localement, l'érosion d'une poche de scories peut menacer localement l'escarpement, mais il n'y a pas de sous-cavage marqué ni d'indice de déstabilisation en masse. La végétation colonise les passées scoriacées de manière limitée sur la partie sud du talus tandis que le couvert végétal prend de l'ampleur au milieu de l'escarpement (cf. *Illustration 13*). A cet endroit, la végétation est trop dense pour pouvoir observer l'escarpement.

En pied de l'escarpement, il y a de nombreux blocs, sans que l'on puisse savoir s'ils ont été poussés volontairement dans la pente ou non. Au maximum, ils sont situés à 5 - 6 m du pied de talus, pour des tailles moyennes de 20 à 50 cm (cf. *Illustration 12*).

Au sommet, le versant est constitué de formations géologiques plus altérés se présentant sous forme de Mamu et associés à une topographie plus douce (cf. *Illustration 4*), d'une pente moyenne de 20-25°. Quelques dalles rocheuses, beaucoup plus limitées, affleurent toujours mais les blocs produits sont de tailles décimétriques.

La stabilité du versant vis-à-vis des grands glissements, n'est pas remise en cause vu la faible épaisseur de terrain mobilisable et la présence de formations rocheuses, sachant que la formation colluvionnaire caractérisée par le LTPP (1995) en pied de versant, et qui aurait été sujette au glissement de terrain, a été décaissée depuis, au niveau de la parcelle. La frange superficielle n'est soumise qu'à des glissements de faible ampleur (APIGEO, 2015).

Au nord de la parcelle expertisée et de la piste, des coulées massives affleurent (cf. *Illustration 11*), mais les configurations géologiques sont différentes de celles du versant étudiées ici.

Motivations du nouveau zonage

Le niveau d'aléa fort dans le versant est confirmé, notamment par la forte densité de blocs $> 1 \text{ m}^3$, mobilisable dans le versant. Cette conclusion rejoint ainsi celle des études techniques précédentes (LTPP, 2011).

La limite de la zone en aléa fort avait été calée à l'époque par des modélisations de la propagation possible des blocs. Cette analyse tenait compte du terrassement actuel. La limite de l'aléa fort proposée était située à une vingtaine de mètres du pied de l'escarpement. L'angle entre la zone de départ en tête du versant et cette limite est de 40° environ, ce qui est légèrement supérieur aux valeurs généralement considérées (de l'ordre de 34 à 38° selon les auteurs) pour définir la limite des zones de forte probabilité de propagation et par conséquent, vu les indices d'activité dans le versant, pour limiter l'emprise de l'aléa fort (principe de la ligne d'énergie). Aujourd'hui, il n'existe pas véritablement de nouveaux éléments pour motiver des ajustements de la distance de propagation. De nouvelles modélisations de trajectoire ont cependant été réalisées sur plusieurs profils dans le versant, tenant compte de la variabilité des paramètres d'entrées et de l'évolution des outils de simulations trajectographiques disponibles (cf. *Illustration 2*), afin de vérifier et de confirmer ou de préciser le zonage de l'aléa mouvements de terrain.

Les résultats confirment cette distance de 20 m à partir du pied de falaise, à prendre en compte nécessairement, pour l'emprise de l'aléa fort. La limite de l'aléa fort est donc confirmée, avec un léger ajustement d'au plus 5 m.

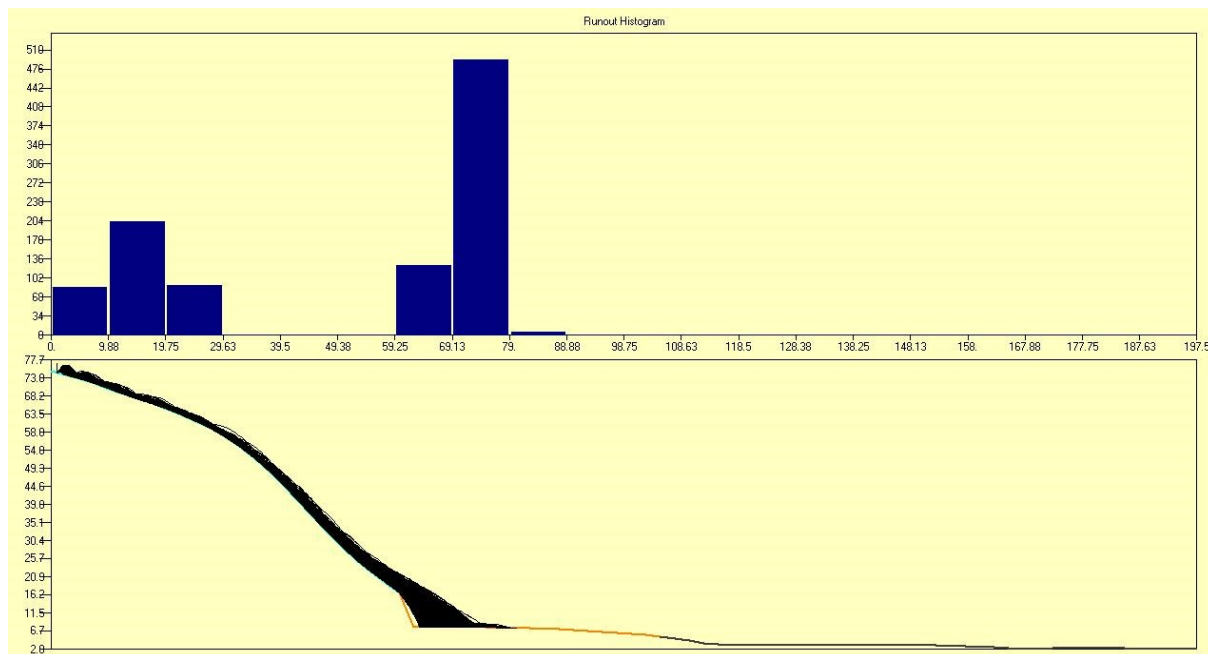


Illustration 2 : Ensemble des trajectoires (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3.3 T) simulée avec le logiciel Pierre

Par ailleurs, la limite de l'aléa fort a été modifiée en tête de versant, pour tenir compte du changement morphologique de haut de pente. Les coulées massives laissent la place à des formations mamutisées ; la pente est douce ($20 - 25^\circ$) ; les blocs restent présents mais sont de tailles décimétriques. Il est à craindre des glissements d'ampleur limitée et des chutes de bloc d'ampleur limitée. Il n'y a pas de falaise rocheuse menaçante en amont. Le niveau est estimé à Eb1G1.

Le nouveau zonage d'aléa est présenté dans l'illustration 3 ci-dessous.

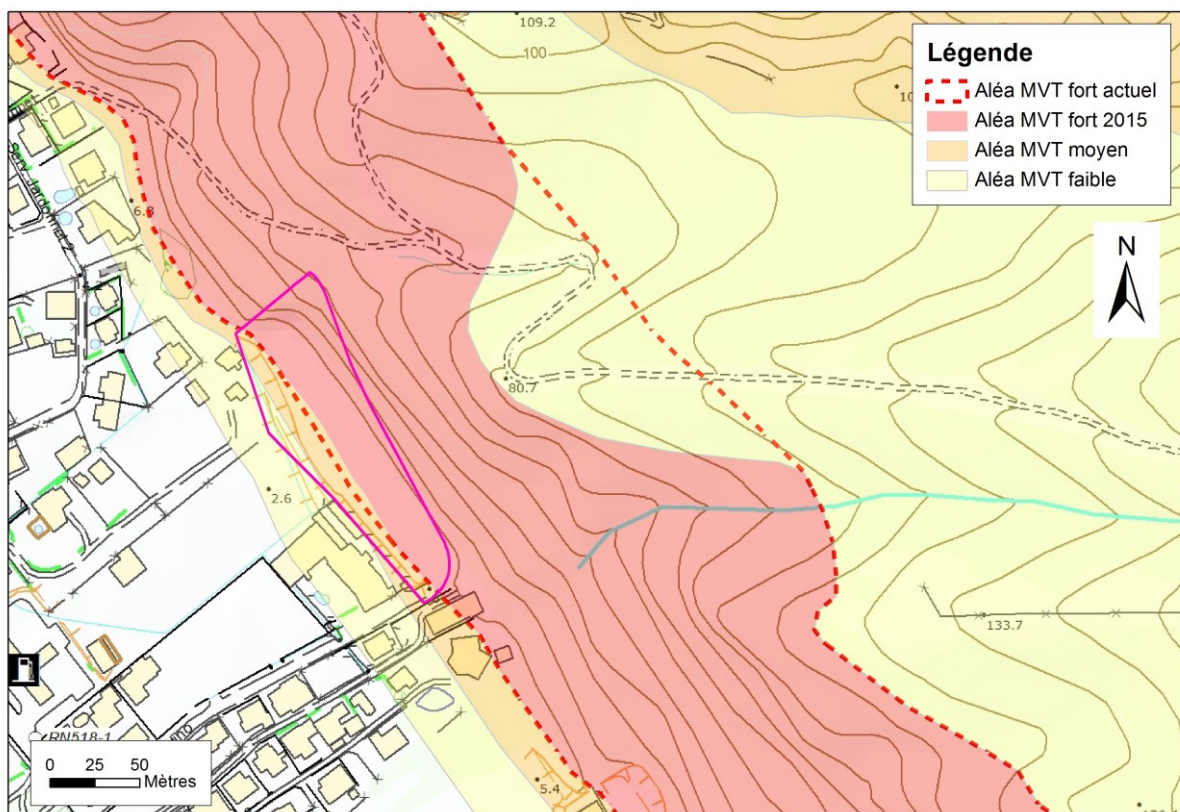


Illustration 3 : Carte de l'aléa mouvement de terrain révisée

5 – Remarques

Le BRGM souligne la nécessité d'arrêter les travaux incontrôlés dans la pente qui ne pourront pas, de la sorte, réduire l'aléa de manière satisfaisante et qui ne peuvent que déstabiliser ou fragiliser de nouveaux blocs.

De part et d'autre de la parcelle étudiée, dans les deux talwegs, une accumulation d'éléments de 50 cm de diamètre voire 1 m³, constitue un éboulis de blocs menaçant, qu'ils convient de maîtriser. Cette configuration entraîne un fort risque de coulée de débris ou de blocs pour l'aval.

Le BRGM préconise également de canaliser les eaux de la piste en tête du versant, qui se jettent actuellement librement dans la pente au niveau du virage, accentuant ainsi les risques de déstabilisation de blocs (cf. Illustration 5).

6 – Photos



Illustration 4 : Topographie du haut de versant, constituée de formation mamutisée



Illustration 5 : Rejet non contrôlé au sommet du versant, dans la pente



Illustration 6 : Cicatrice de bloc plurimétrique destabilisé par l'action conjointe du sous-cavage, des diaclases et des racines.



Illustration 7 : Versant végétalisé à forte pente, en témoigne la difficulté à évoluer



Illustration 8 : Affleurement d'une coulée massive au milieu du versant, débitée en blocs de plusieurs tonnes



Illustration 9 : Un des affleurements le plus important.



Illustration 10 : Zone de blocs au milieu du versant



Illustration 11 : Affleurement d'une coulée massive en amont de la piste



Illustration 12 : Talus de pied de versant. Bloc jusqu'à 6 m de distance du pied de talus



Illustration 13 : Talus de pied de versant. Extrémité nord, fortement végétalisé

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 13/07/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°10 et 11	Commune Punaauia	Quartier Vallée de la Matatia	Demandeur Privé	Parcelles CE 183, CE 184
-----------------------	----------------------------	---	---------------------------	--

1 - Plan de situation avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

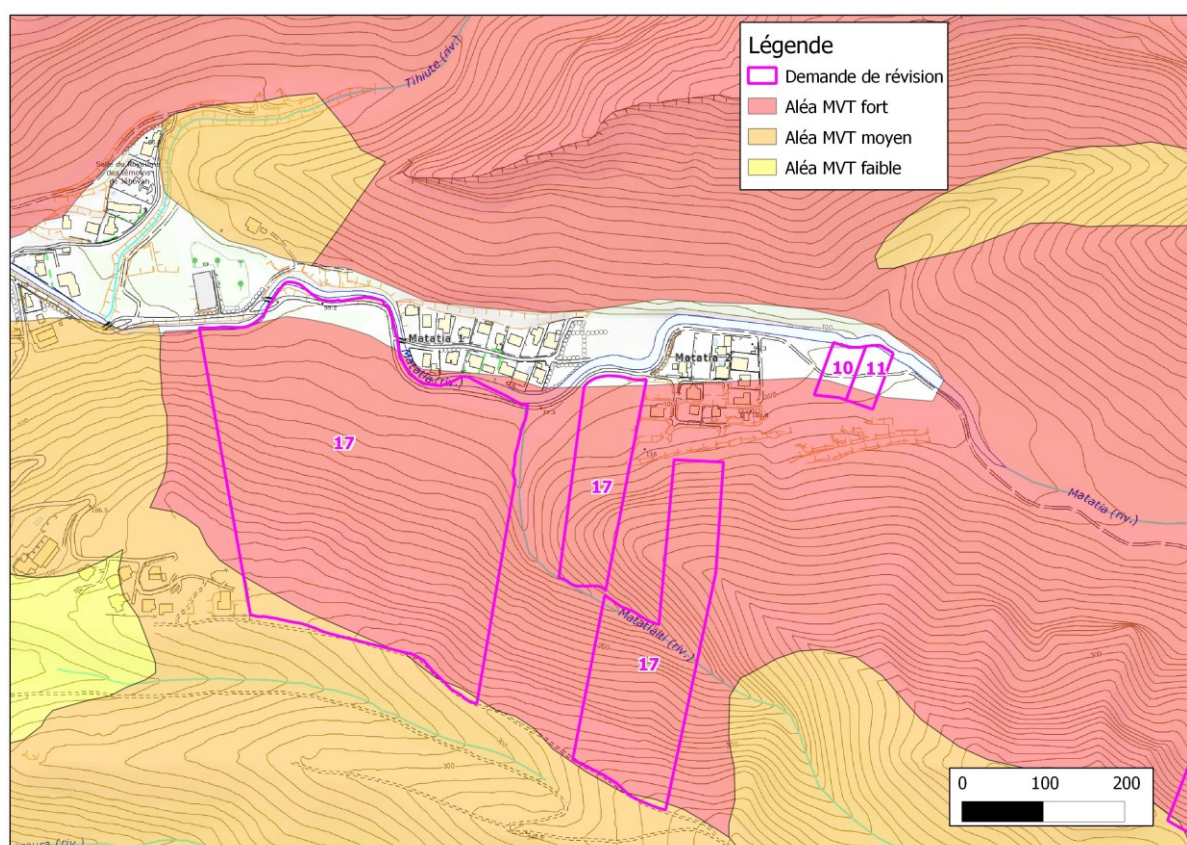


Illustration 1 : Carte de situation des sites 10 et 11 avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Bégétech (2014). Avis technique mission G5 selon la norme NF 94-500. Terre Matatia. CE 202. Rapport n°1409130.

Bégétech (2014). Avis technique mission G51 selon la norme NF 94-500. Terre Matatia. CE 195, 197 et 201. Rapport n°1405071a.

3 - Examen du site

L'examen du site a consisté en une inspection visuelle du versant dans le secteur des deux parcelles depuis le fond de vallée. L'inspection s'est limitée à une quarantaine de mètres de dénivelé (cote 140 m), le relief et la végétation rendant l'accès à la partie supérieure délicate.

- **Eléments de topographie / morphologie**

La parcelle est située au fond de la vallée de la Matatia, après les dernières habitations. A l'endroit étudié, le versant nord atteint plus de 150 m de hauteur avec une forte pente tandis que le versant sud culmine à plus de 200 m, mais avec une topographie adoucie en pied.

Les deux parcelles ont fait l'objet d'un terrassement commun avant 2004 (d'après Google Earth), en remblai / déblai. Le décaissement a créé un escarpement en pied du versant sud, de plus de 5 m de hauteur. Plus à l'est, les parcelles voisines (CE36, CE 185 et CE186) sont également terrassées.

Les parcelles étudiées sont délimitées les unes les autres, par des talus anthropiques non protégés, de 6-7 m de hauteur environ.

- **Eléments de géologie**

Les deux versants sont constitués d'une succession de barres rocheuses correspondant à des coulées basaltiques porphyriques (type 1a de la carte géologiques), en moyenne plurimétrique. Les bancs durs basaltiques alternent avec des bancs de scories. L'excavation réalisée sur la parcelle voisine (CE36) permet d'observer cette succession de coulées massives peu altérées intercalées avec des bancs de scories sur 1 à 2 m d'épaisseur (cf. Illustration 8).

Des colluvions de pied de pente recouvrent le pied du versant sud. Ces colluvions sont constituées de blocs voire parfois de gros blocs issues des démantèlements des barres rocheuses situées dans le versant.

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

Les remblais des plateformes présentent localement des dégradations (ravinement voire déstabilisation), liées à une mauvaise conception (cf. Illustration 9).

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

La zone en aléa fort n'affecte qu'un tiers des deux parcelles. Il correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs en provenance du versant sud associé à un aléa moyen vis-à-vis des glissements de terrain (Eb3G2).

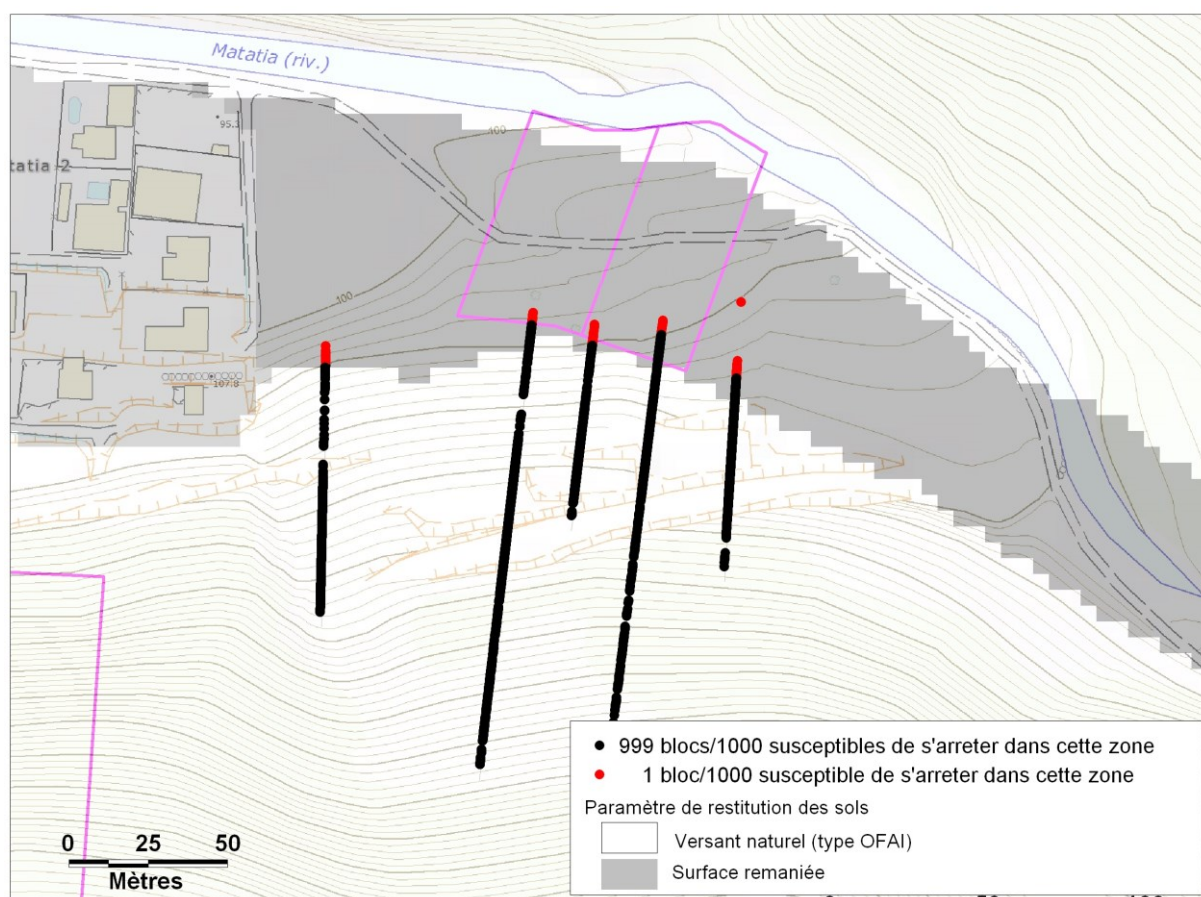
Le versant nord est également associé à un aléa fort chute de bloc mais les blocs sont guidés vers la rivière dont le lit, bordé par des berges hautes, joue le rôle de merlon protecteur. Par ailleurs, à l'endroit des parcelles étudiées, la topographie du versant nord est adoucie par la présence d'un talweg. De ce fait, le versant nord ne menace pas les parcelles étudiées.

Dans le versant sud, les premières coulées en place affleurent sur 3 m de hauteur, à une trentaine de mètres de distance en amont des parcelles CE185 et 186. Plusieurs blocs

d'1 m³, facilement remobilisables, sont observés dans la pente, en amont. Bien que le versant de 200 m de hauteur, n'ait pu être observé, il est fortement probable qu'il y ait d'autres coulées menaçantes plus haut dans le versant, dans la continuité des formations géologiques qui arment la vallée.

Une piste et plusieurs anciens terrassements constituent des zones subhorizontales de rétention de blocs. Le couvert forestier est de faible diamètre (< 10 cm) (cf. Illustration 6).

Pour donner une idée des distances de propagation possibles, des études trajectographiques ont été réalisés sur plusieurs profils dans le versant, pour 1000 lâchers de blocs (cf. Illustration 3).



*Illustration 2 : Etude trajectographique (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3.3 T)
avec le logiciel Pierrauto @BRGM*

Les décaissements mettent en évidence une épaisseur de 4 à 5 mètres de colluvions en pied de pente, qui reposent en discordance sur les coulées massives (*Illustration 7*). Ces colluvions sont constituées d'une forte densité de blocs de taille variée et d'une matrice sablo-argileuse, conférant à l'ensemble une faible cohésion (cf. *Illustration 4* et *Illustration 5*). Le volume de terrain remobilisable n'étant pas négligeable, la probabilité de glissement dans cette formation de pied de pente, est estimée à moyenne.

Motivations du nouveau zonage :

Le niveau de l'aléa fort dans le versant est confirmé, caractérisé à la fois par une probabilité d'occurrence de chute de bloc élevée et par un niveau d'intensité élevé.

L'emprise de l'aléa fort au fond de la vallée de la Matatia est confirmée par les modélisations trajectographiques réalisées, moyennant un ajustement de 7-8 m localement présentés dans l'**Illustration 3**.

En pied de versant, un niveau d'aléa moyen (Eb2G2) correspondant à une probabilité d'atteinte moins importante (faible à moyenne), est proposé sur une vingtaine de mètres pour prendre en compte d'autres configurations de chute de bloc plus défavorables mais moins probables. Cette zone intègre également le risque de glissement de terrain dans les colluvions de pied de pente, d'une intensité limitée à modéré mais d'une probabilité importante.

Enfin, une zone en aléa faible (EB1G1) a été proposée dans une partie du fond de la vallée (actuellement sans aléa mouvement de terrain), où l'occurrence d'un événement en provenance du versant est difficilement totalement exclue.

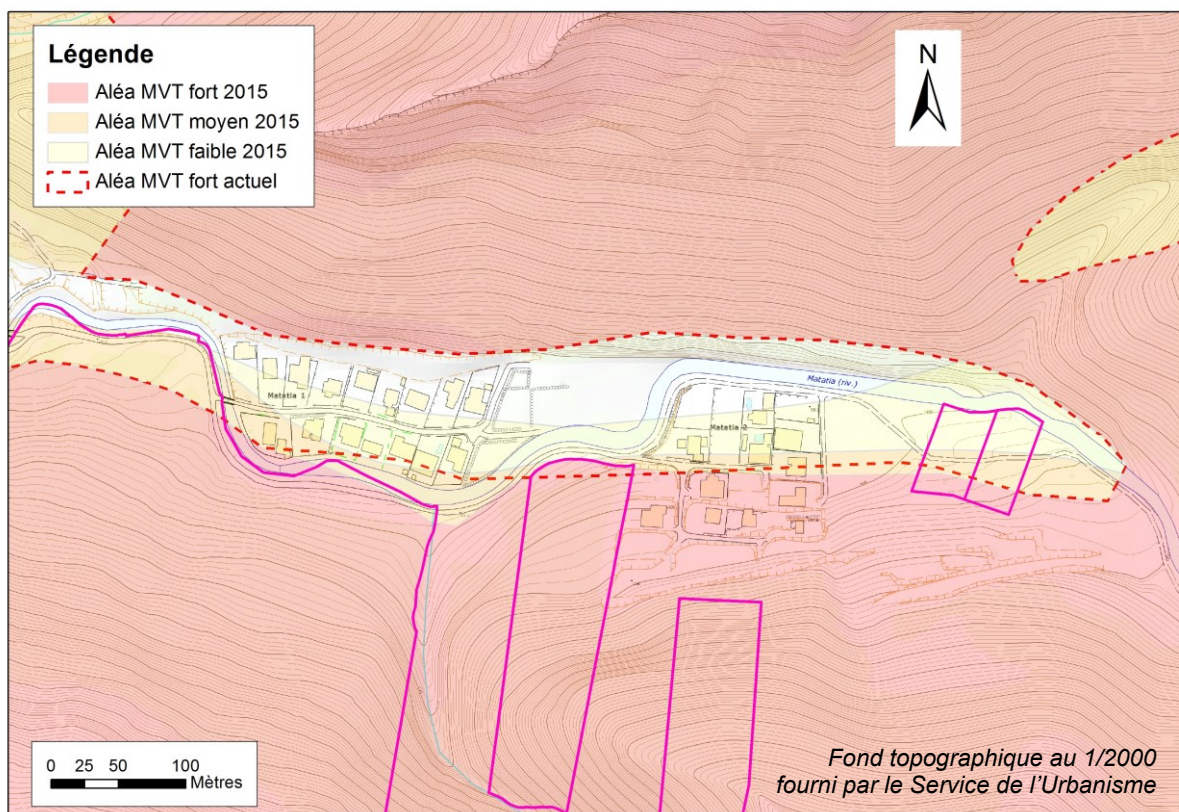


Illustration 3 : Proposition de modification de la carte de l'aléa mouvement de terrain

5 – Remarques

A l'ouest des deux sites étudiés, sur la parcelle CE36, le versant est excavé jusqu'à l'altitude 150 m. L'excavation est récente, la déstabilisation de bloc est fortement probable.

D'après les observations de terrain, la mauvaise conception des talus anthropiques laisse craindre des déstabilisations localisées pouvant être dangereuses (cf. Illustration 9).

6 – Photos



Illustration 4 : Colluvions de pied de pente mis en évidence au pied du versant sud, sur la parcelle CE 185 et CE186



Illustration 5 : Zoom sur les colluvions de pied de pente mis en évidence au pied du versant sud, sur la parcelle CE 185 et CE186. Forte proportion de blocs de taille variée



Illustration 6 : Allure du versant sud, en contre-haut des parcelles terrassées (1 arbres par m2)



Illustration 7 : Forte épaisseur de colluvions de pied de pente, mise en évidence à la faveur de l'excavation de la parcelle CE 36



Illustration 8 : Affleurement de coulée massive succédant à des passages de scories sur la parcelle CE 36, à 150 m d'altitude.



Illustration 9 : Ravinement du remblai lié à l'absence de gestion des eaux pluviales sur des pentes raides

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 21/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°12, 15 16, 18	Commune Punaauia	Quartier Vallée de la Matatia	Demandeur Privé	Parcelles Plusieurs
------------------------------------	----------------------------	---	---------------------------	-------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

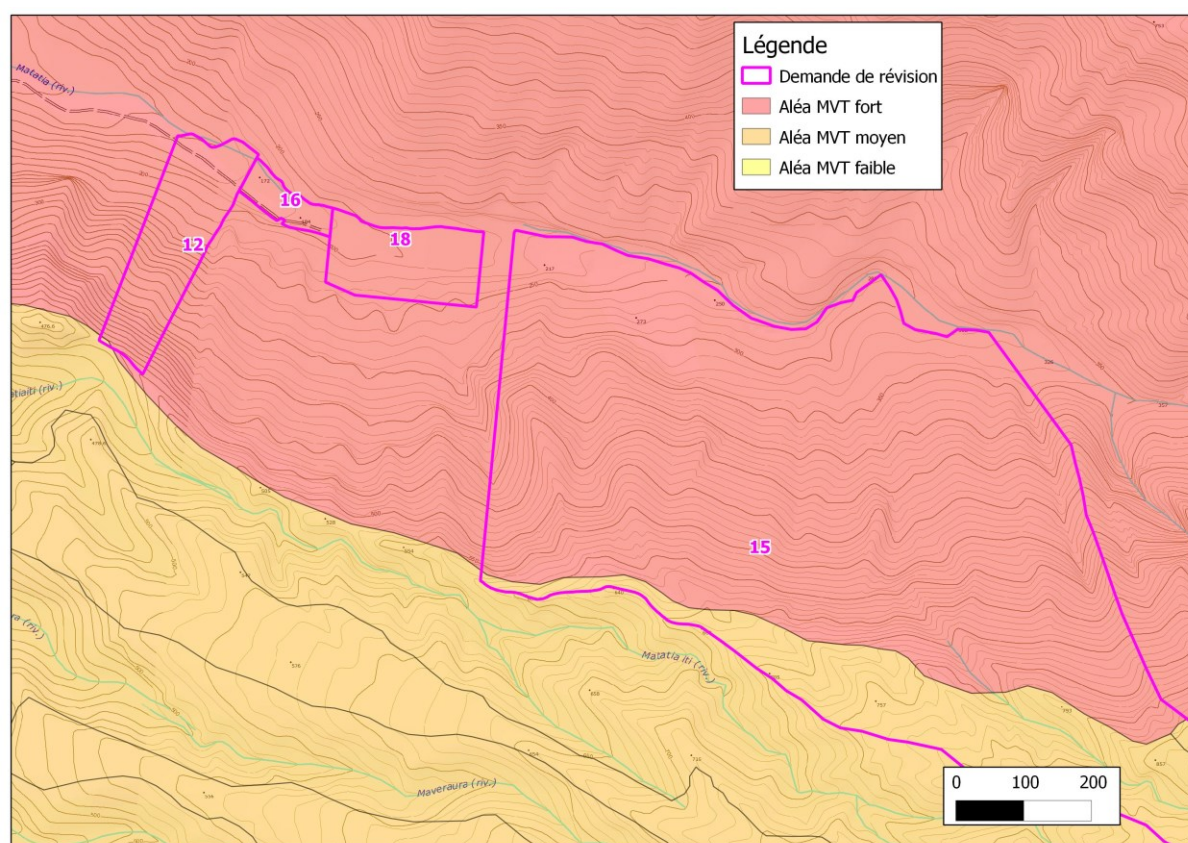


Illustration 1 : Carte de situation des sites 12, 16, 18 et 15 avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Bégétech (2014). Avis technique mission G51. Terre Matatia. CE 193 – Punaauia. Rapport n°1405071c. Mai 2014

Bégétech (2015). Mission G5. Vallée de la Matatia.– section CH 29-30-32-33-34-35-37. Rapport n°1501016. Janvier 2015

3 - Examen des sites

L'examen des sites a consisté en une inspection visuelle des versants, depuis le fond de la vallée. Le versant nord n'est pas accessible ; le versant sud l'est très peu, sauf localement, en amont du site 18, où une piste permet d'évoluer jusqu'à la cote 250. Le site 15 n'est accessible, en fond de vallée, que sur la moitié de la parcelle.

- **Éléments de topographie / morphologie**

Accessibles par une piste, les sites sont situés à la fin de la vallée de la Matatia, au-delà des derniers lotissements. La largeur du fond de vallée mesure en moyenne 40 m et atteint 70 m au niveau de la parcelle 18.

Aux endroits étudiés, les versants sud et nord atteignent plus de 300 m de hauteur et ont une pente globalement supérieure à 40° (cf. Illustration 2). Localement, et notamment au sud des parcelles 16 et 18, le versant sud présente une topographie plus douce (20 à 30°).

Actuellement, certaines de ces parcelles sont terrassées (parcelle 16 et le début de la parcelle 15, cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Illustration 5) alors que d'autres sont boisées (18, cf. Illustration 6). Toutes présentent des berges importantes, atteignant plus de 5 m de hauteur dans les colluvions grossières.

Le site 18, naturel, est tapissé de blocs de toutes tailles, entre autre charriés par la rivière (cf. *Illustration 6*), ne permettant pas d'identifier spécifiquement des blocs qui auraient pu provenir du versant.

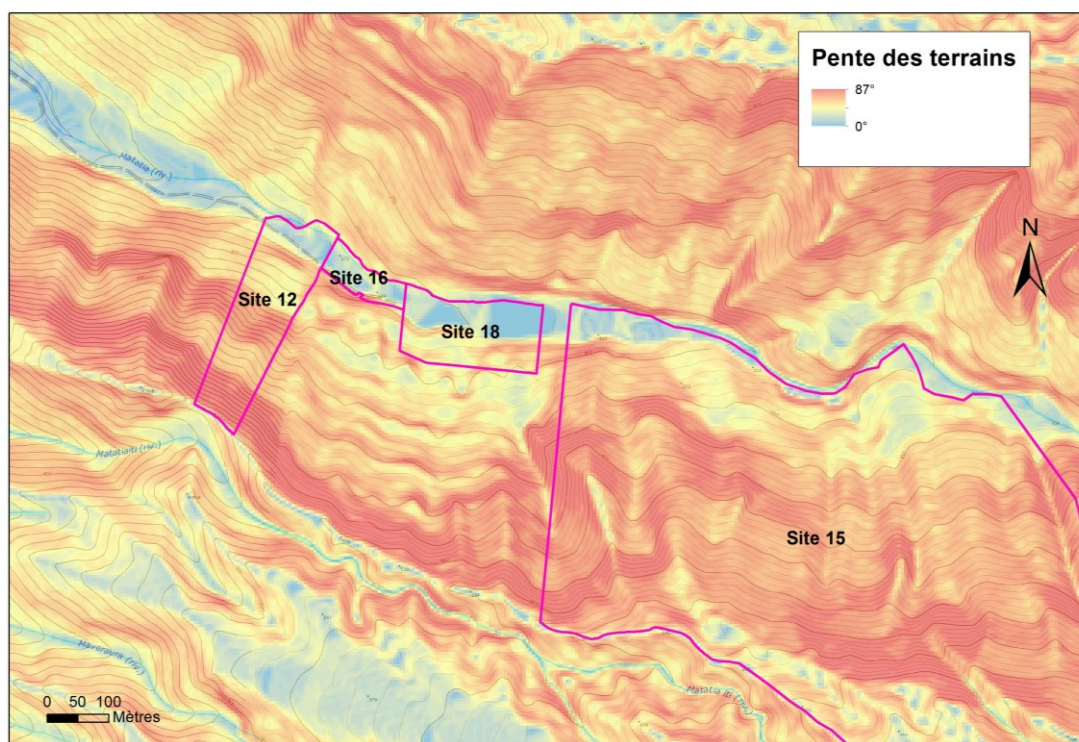


Illustration 2 : Pente des terrains d'après le MNT de 2014 fournis par le Service de l'Urbanisme

- **Éléments de géologie**

Depuis le pied de la vallée et jusqu'à la cote 440 environ, les versants sont constitués d'une succession de coulées basaltiques (type 1a de la carte géologiques), qui ont peu été observées sur le terrain ici, faute d'accessibilité dans le versant, mais qui font partie du même ensemble géologique que les formations rencontrées sur les autres sites de la vallée de la Matatia (site 10, 11 et 17). Localement, derrière le site 18 (et probablement 16) ainsi que dans le versant du site 15, ces coulées peuvent apparaître altérées, s'apparentant à du mamu II-III (cf. photos Illustration 7).

Au-delà, plus en amont, des barres rocheuses sont observables sur les hauteurs (cf. Illustration 8), correspondant probablement aux formations géologiques plus récentes, notées T β et π 0 dans la carte géologique. A partir de la cote 600, cet ensemble est recouvert par une autre formation géologique décrite dans la carte géologique comme un ensemble de coulées peu épaisses (notée 1d).

Le pied du versant au sud est souvent couvert de colluvions, issus du démantèlement des barres rocheuses situées dans le versant. Elles sont souvent très peu consolidées (cf. photos en Illustration 9).

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

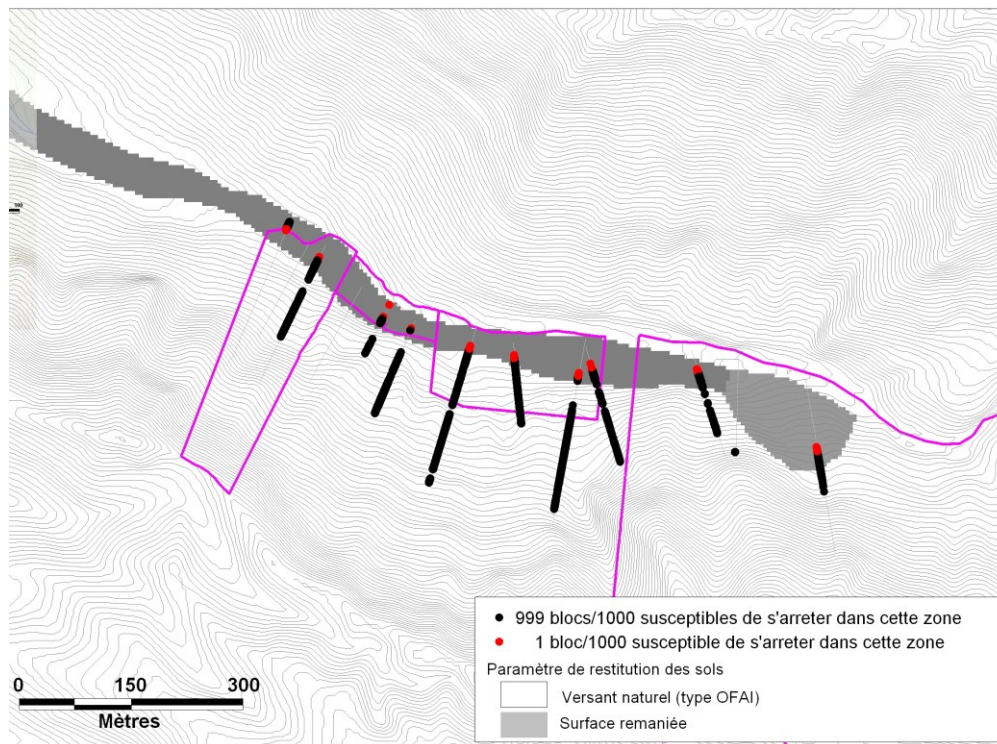
S.O.

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

Le versant et le fond de vallée sont classés en aléa de niveau Eb3G2 ce qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs. Le fond de vallée est plus probablement menacé par les matériaux en provenant du versant sud, car le lit de la rivière Matatia, encaissé dans des berges de 4 à 5 m de hauteur, joue en grande partie le rôle de merlon protecteur vis-à-vis du versant nord.

Bien que le versant ait très peu pu être parcouru, la production de blocs paraît tout aussi importante que dans les autres sites de la vallée (cf. *Illustration 4*). Plusieurs blocs, en provenance du versant, ont également été observés sur la piste en fond de vallée (jusqu'à 25 m du pied de versant, pour un bloc de 25 m³).

Pour donner une idée des distances de propagation possibles, des études trajectographiques ont été réalisées sur plusieurs profils dans le versant, pour 1000 lâchers de blocs (cf. Illustration 3).



*Illustration 3 : Etude trajectographique (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3,3 T)
 avec le logiciel Pierrauto @BRGM*

Localement, cependant, au niveau de la parcelle 18 notamment, la topographie s'adoucit ; le versant est constitué de coulées altérées, type mamu II, plus sujets à des glissements que des chutes de blocs (cf. Illustration 7). Sur cette partie, plusieurs talwegs constituent des drains privilégiés de charriage de blocs, pouvant dégénérer en coulées de débris et se propager largement jusqu'en fond de vallée.

Motivations du nouveau zonage :

La configuration reste fortement défavorable puisque ces versants, connus pour leur prédisposition aux chutes de blocs, atteignent ici plus de 300 m de hauteur.

Aujourd'hui, il n'existe pas véritablement de nouveaux éléments pour motiver des ajustements de la distance de propagation en pied de pente. Il n'y a notamment pas de données topographiques plus précises (rappelons que la précision de la donnée topographique est particulièrement limitée dans les zones boisées ou à forte pente, comme celle-là). Par ailleurs, le versant n'est pas véritablement accessible ne permettant pas d'ajuster avec précision les menaces à considérer.

Les simulations trajectographiques tendent à montrer que le fond de vallée est exposé aux chutes de bloc.

Dans l'état actuel des connaissances, le niveau d'aléa fort EB3G2 est maintenu.

5 – Remarques

-

6 – Photos



Illustration 4 : Versant sud

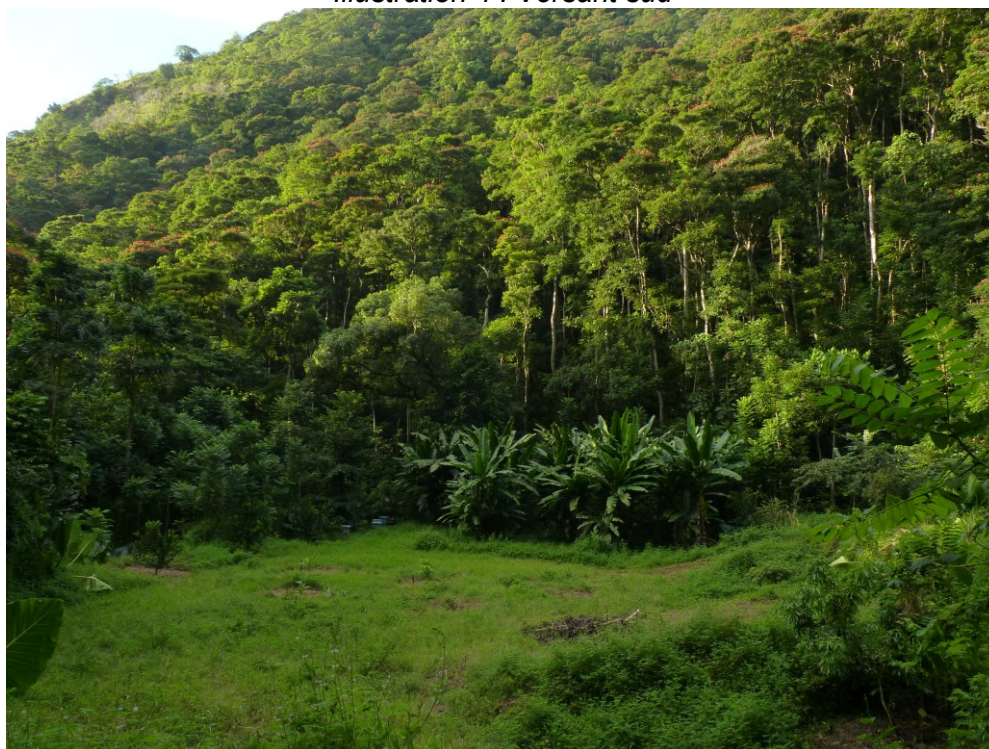


Illustration 5 : Plateforme de la parcelle 16 en pied de versant



Illustration 6 : Plateforme de la parcelle 18, pleine de bloc



Illustration 7 : Affleurement de mamu II à une quarantaine de mètres de hauteur, dans le versant, derrière le site 18



Illustration 8 : Eperon située à 100 m de hauteur depuis le fond de vallée surplombant le site 15, versant sud



Illustration 9 : Colluvions de pied de pente, versant sud, site n° 5

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 18/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°14	Commune Punaauia	Quartier Te Tavake	Demandeur Privé	Parcelles Plusieurs
-------------	----------------------------	------------------------------	---------------------------	-------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

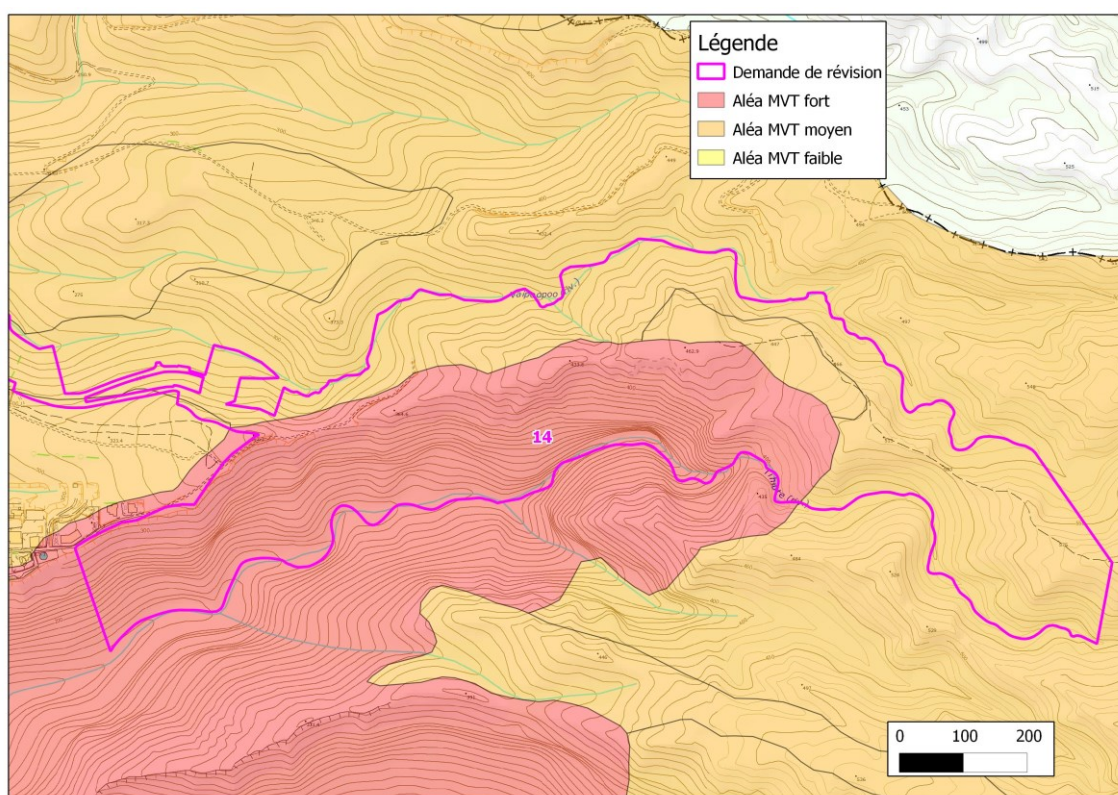


Illustration 1 : Carte de situation du site 14 avec report de l'actuel zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Apigéo (2014). Diagnostic géotechnique G5 – projet de terrassement route de montagne / avis technique de constructibilité. N°A143-LB-14. Aout 2014

Apigéo (2015). Diagnostic géotechnique G5 – projet d'aménagement avec terrassement d'une route et d'un lotissement à Te Tavake. N°A107-LB-15. Juin 2015

3 - Examen du site

L'étude du site a consisté en un examen visuel détaillé de la zone, depuis la crête de versant, parcourable par un chemin non carrossable. La partie investiguée est indiquée sur l'illustration 2.

- **Éléments de topographie / morphologie**

La parcelle intègre la totalité d'une planèze de grande hauteur (> 200 m), encadrée au nord par la vallée de la Vaipoopoo et au sud par celle de la Tihute. Le versant sud est plus penté (> 60°) que le versant nord (< 40°).

Le sommet est aiguisé avec de fortes pentes de part et d'autre de la crête, interrompues par des cols où la topographie s'adoucit pour atteindre jusqu'à seulement 10°. Les crêtes sont couvertes de végétation basse type fougères et localement de pins (cf. Illustration 6 et Illustration 7).

Le sommet de la planèze augmente d'ouest en est, de 360 m au niveau de la piste d'accès, son altitude atteint 460 m au centre et plus de 550 m à l'est des parcelles étudiées.

- **Éléments de géologie**

Le versant est armé par une succession de barres rocheuses depuis le pied de la vallée, correspondant, pour la partie basse, à des coulées épaisses basaltiques porphyriques (noté 1a dans la carte géologique en Illustration 2), coiffées par deux horizons de même type ? d'épaisseur plus limitée (noté Tβ et π0 dans la carte géologique).

Au sommet, cet ensemble est recouverte par une autre formation géologique, décrite dans la carte géologique comme un ensemble de coulées peu épaisses (noté 1d sur l'illustration 2) et qui constitue l'intégralité du sommet de la planèze. Sur le terrain, dès 350 m d'altitude côté sud, cette formation apparaît fortement altérée. Il pourrait s'agir de la formation observée sur le talus routier de la route d'accès au lotissement, constituée d'une succession de coulées métriques intercalées à des passées de scories. L'ensemble est fortement altéré mais la structure de la roche mère est conservée. Le niveau d'altération est estimé à du mamu II (cf. Illustration 8 et Illustration 9).

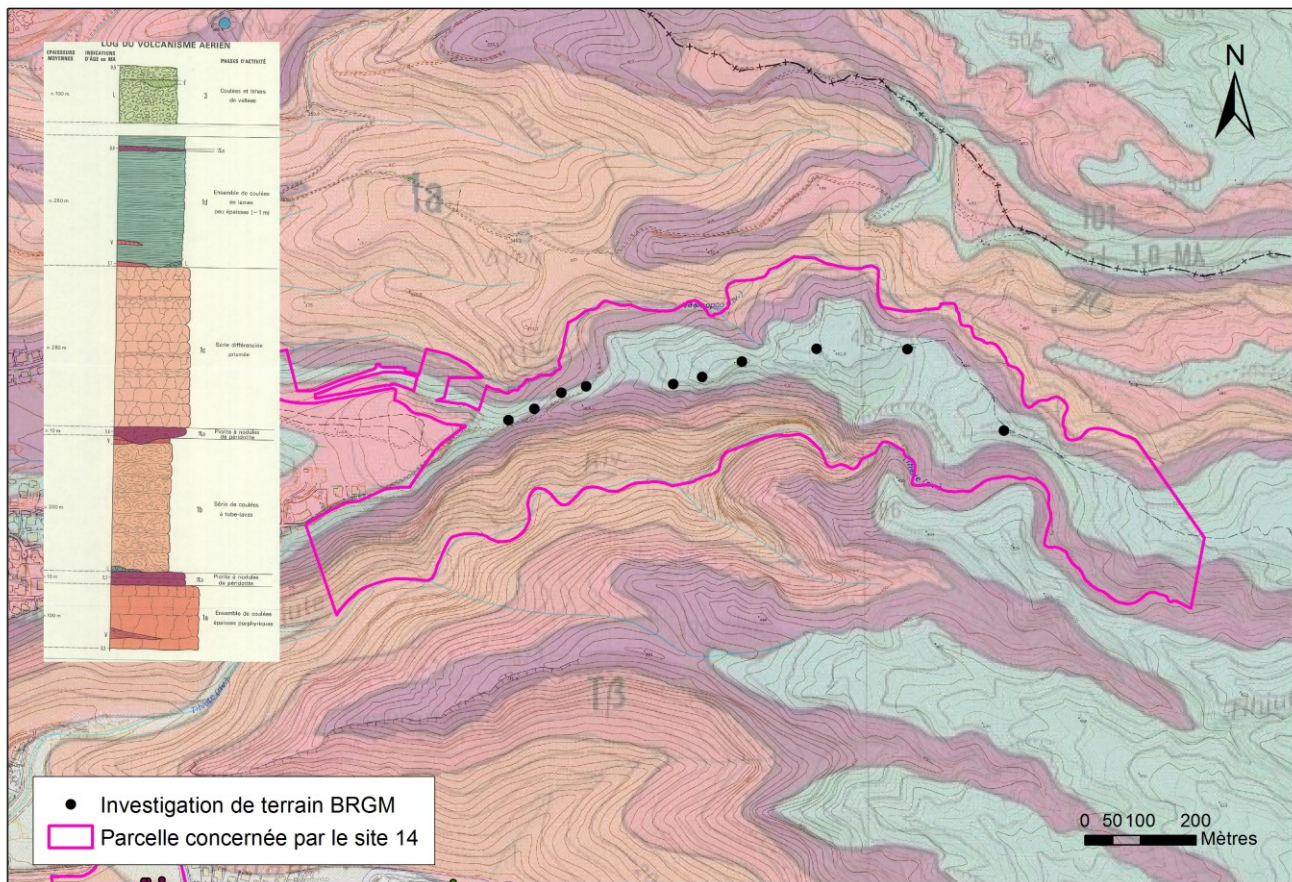


Illustration 2 : Extrait de la carte géologique au 1/25 000 (Lavest et al., 1990)

• **Indices d'instabilité et événements historiques**

En 2014, Apigéo avait noté deux loupes de glissement de part et d'autre du col (cote 427), mettant probablement en jeu les formations altérées (Mamu III et IV à cet endroit).

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

La carte d'aléa initiale (cf. Illustration 1) a attribué à l'ensemble du versant un aléa de niveau Eb3G2, ce qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs et un aléa moyen vis-à-vis des glissements/coulées. Un niveau d'aléa moyen Eb2G1 a été attribué à la partie est du site étudié et au versant nord. Localement, un niveau d'aléa moyen Eb2G2 est affecté au plateau central, lié à la plus forte épaisseur probable de matériau altéré.

Les observations de terrain ont montré que la crête était constituée d'une certaine épaisseur de formation altérée, de type mamu III à IV, ce que confirme Apigéo (2015). Dans la cadre du diagnostic géotechnique G5 réalisé par Apigéo en 2014, dix essais au pénétromètre dynamique descendus à 5 m de profondeur ont mis en évidence des « limons d'altération de caractéristiques mécaniques faibles à médiocres ». Les profils de résistance dynamique sont de l'ordre de 2 à 3 MPa sur toute la colonne de sol ; aucun ne dépasse 4 MPa ; on peut considérer que l'épaisseur de terrain altérée est supérieure à 5 m. Les sondages sont tous situés au-dessus de la cote 410 m.

Motivations du nouveau zonage

L'aléa Eb3G2 est maintenu sur le versant sud fortement sujet aux chutes de blocs, mais la configuration géologique et les constats de terrain confirment que le niveau d'aléa chute de bloc est de niveau faible en tête du versant, à l'aplomb de la partie sommitale altérée. En effet, la crête de versant n'est pas menacée par des blocs massifs issus de barres rocheuses comme peuvent l'être d'autres sites soumis à ce niveau d'aléa Eb3G2 (dans la vallée de la Matatia notamment). Sur cette partie sommitale, le BRGM propose de revoir le niveau d'aléa à la baisse. On y considèrera un aléa moyen Eb1G2 dans lequel l'événement redouté est le glissement des formations altérées associé à des déstabilisations localisées de petits blocs, potentiellement mis à nu par de futurs aménagements.

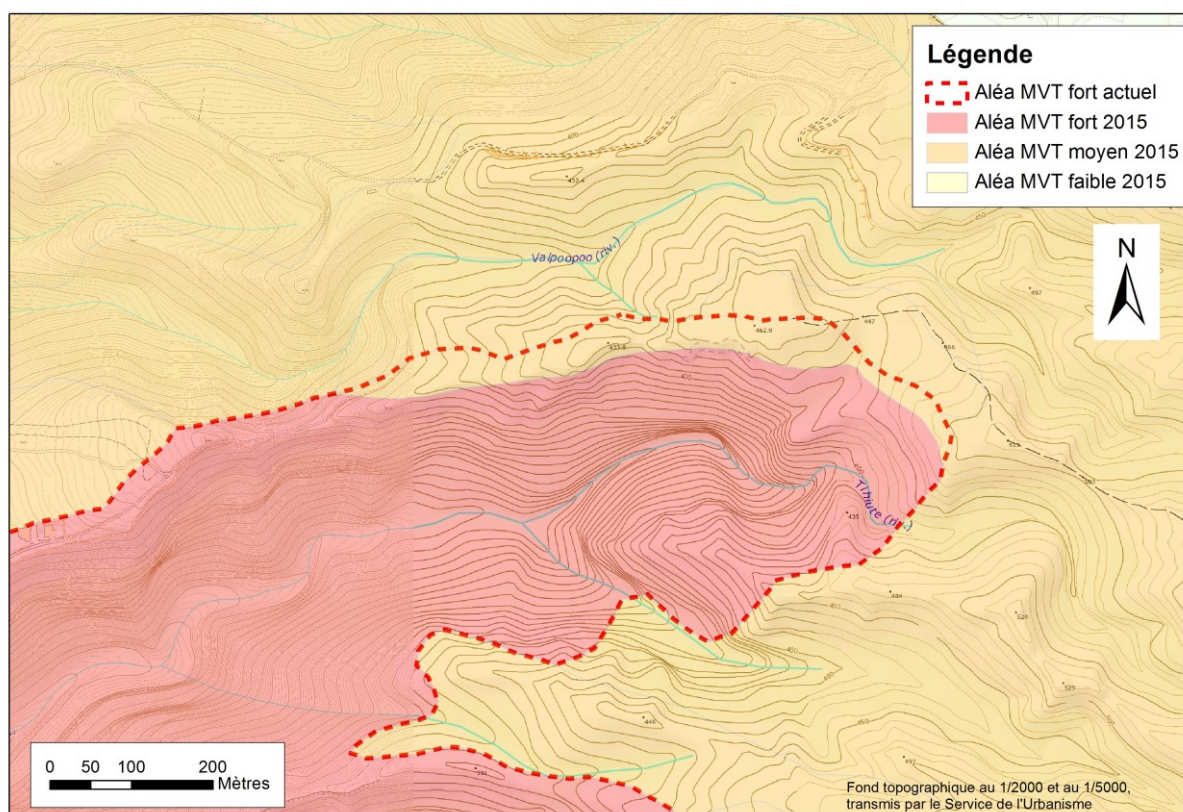


Illustration 3 : Proposition de modification de la carte d'aléa mouvement de terrain

Le BRGM ne se prononce pas sur la pertinence technique des projets d'aménagement proposés qui relèvent de considérations géotechniques du ressort des bureaux d'études (cf. le type d'aménagement proposé actuellement en Illustration 4), mais émet des recommandations générales, pour tout aménagement envisagé sur un secteur de ce type, classé en aléa moyen.

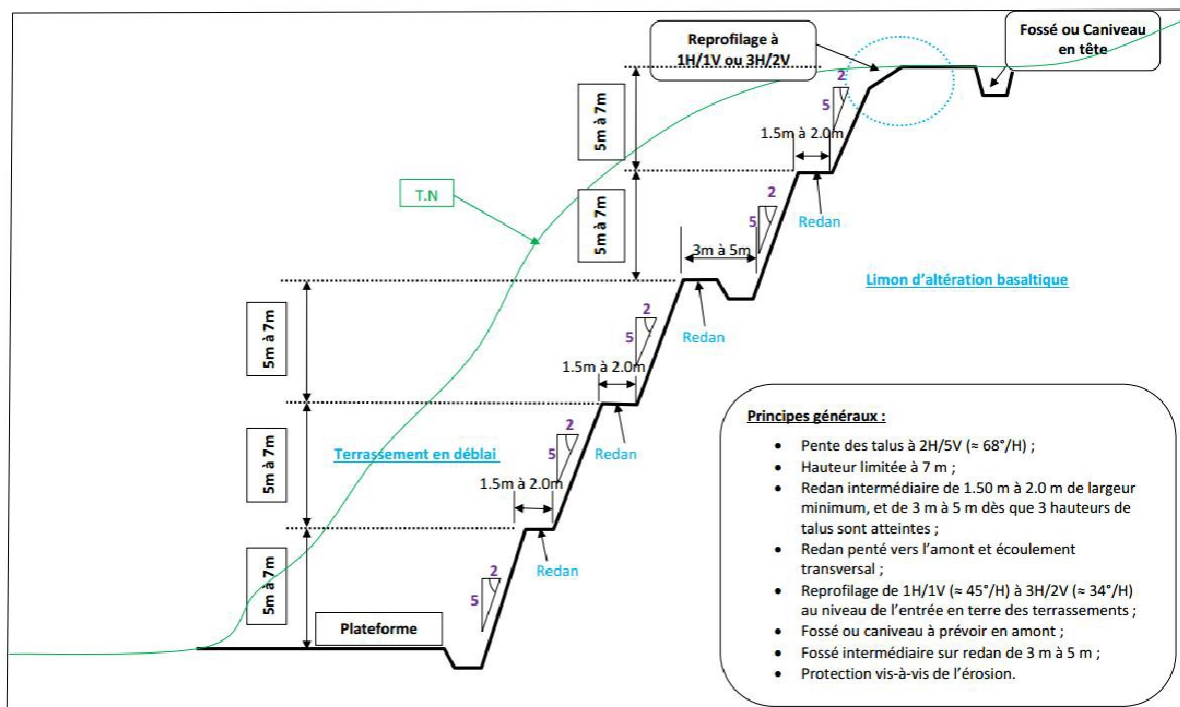


Illustration 4 : Exemple d'aménagement proposé par Apigéo (2015) sur ce versant

Au-delà du niveau d'aléa (moyen), la configuration particulière du versant nord nécessite que les aménagements envisagés (quels qu'ils soient) prennent en compte l'ensemble du bassin de risque pour qu'ils n'accroissent pas le risque de glissement/coulée et de chute de bloc en aval ou en amont.

En effet, les configurations géologiques du site, et notamment l'épaisseur plurimétrique de l'horizon altéré mise en évidence en tête, font qu'un aménagement non contrôlé pourrait accentuer le risque en amont ou en aval. Un terrassement en déblai dans des formations altérées peut déstabiliser la partie amont, s'il ne tient pas compte de l'ensemble du versant. Des constructions individuelles nécessitent de s'insérer dans un aménagement global (modifications topographiques, gestion des eaux...). Une étude de la stabilité d'ensemble du bassin de risque, avant et après projet, est nécessaire.

Le BRGM propose que les aménagements sur ces contextes géomorphologiques particuliers en aléa moyen, soit nécessairement définies dans le cadre d'études techniques abordant la gestion de l'aménagement, à l'échelle du bassin de risque. Des propositions sont discutées à ce sujet dans le corps du rapport.

L'emprise minimale de la zone où la gestion de l'aménagement doit se faire à l'échelle du bassin de risque est proposée en Illustration 5. Elle est calée sur l'étendue de la formation 1d, particulièrement sujet à l'altération.

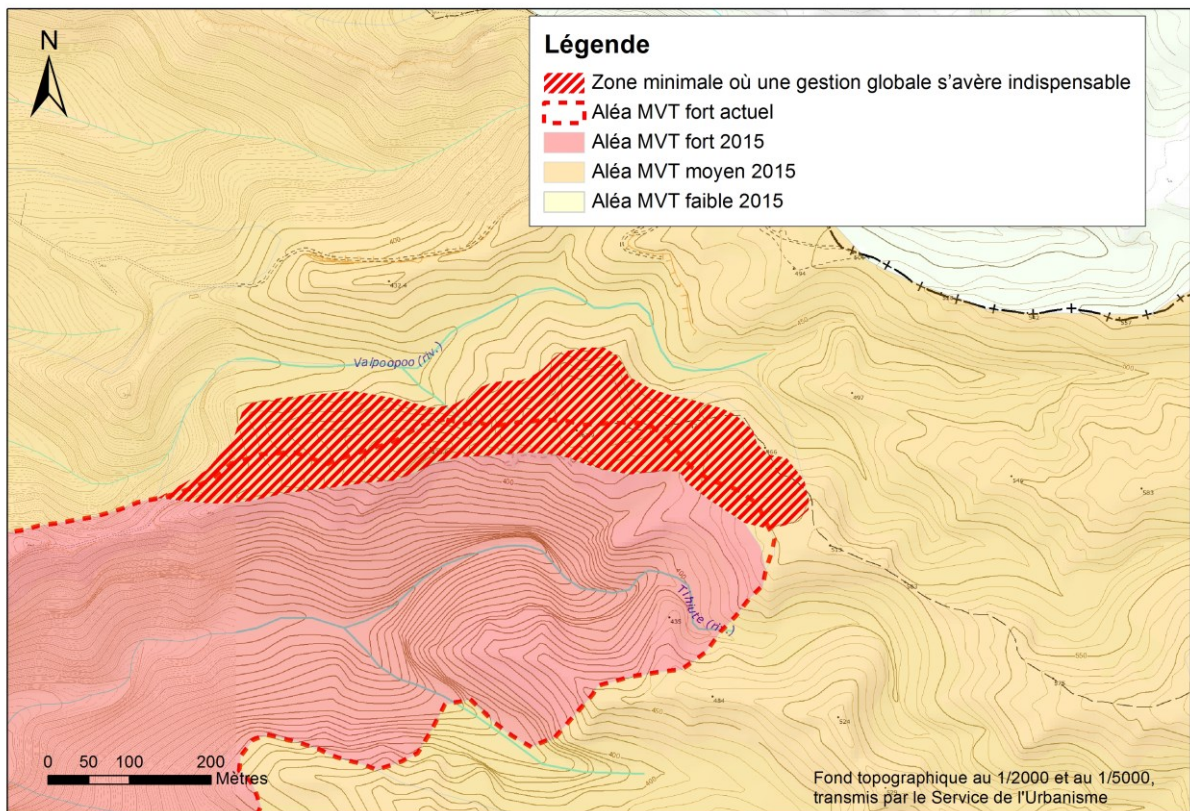


Illustration 5 : Emprise minimale de la zone où la gestion de l'aménagement devrait se faire à l'échelle du bassin de risque

5 – Remarques

La visite de terrain a confirmé la très mauvaise tenue des talus de Mamu II, mis à nu par les déblais de la route d'accès au lotissement (cf. Illustration 9). De nombreuses destabilisations localisées et départs de bloc confèrent à l'ensemble un profil hétérogène. La stabilité d'ensemble n'est pas directement remise en question, mais la destabilisation progressive et rapide du talus est amorcée. Le BRGM préconise que des mesures soient prises pour protéger les talus de l'érosion, dès leur mise en place, en particulier quand ils mettent à nu des formations de mamu II.

6 – Photos



Illustration 6 : Pinus et végétalisation basse colonisant le haut de versant



Illustration 7 : Crête de la planèze



Illustration 8 : Talus le long de la route d'accès au lotissement, constitués de coulées altérées



Illustration 9 : Talus le long de la route d'accès au lotissement. Affleurement de mamu II fortement sujet à l'érosion.

Révision de l'aléa mouvement de terrain

Expertise réalisée par A. Nachbaur (BRGM/DAT) le 15/05/2015

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°17	Commune Punaauia	Quartier Vallée de la Matatia	Demandeur Privé	Parcelles Plusieurs
-------------	----------------------------	---	---------------------------	-------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

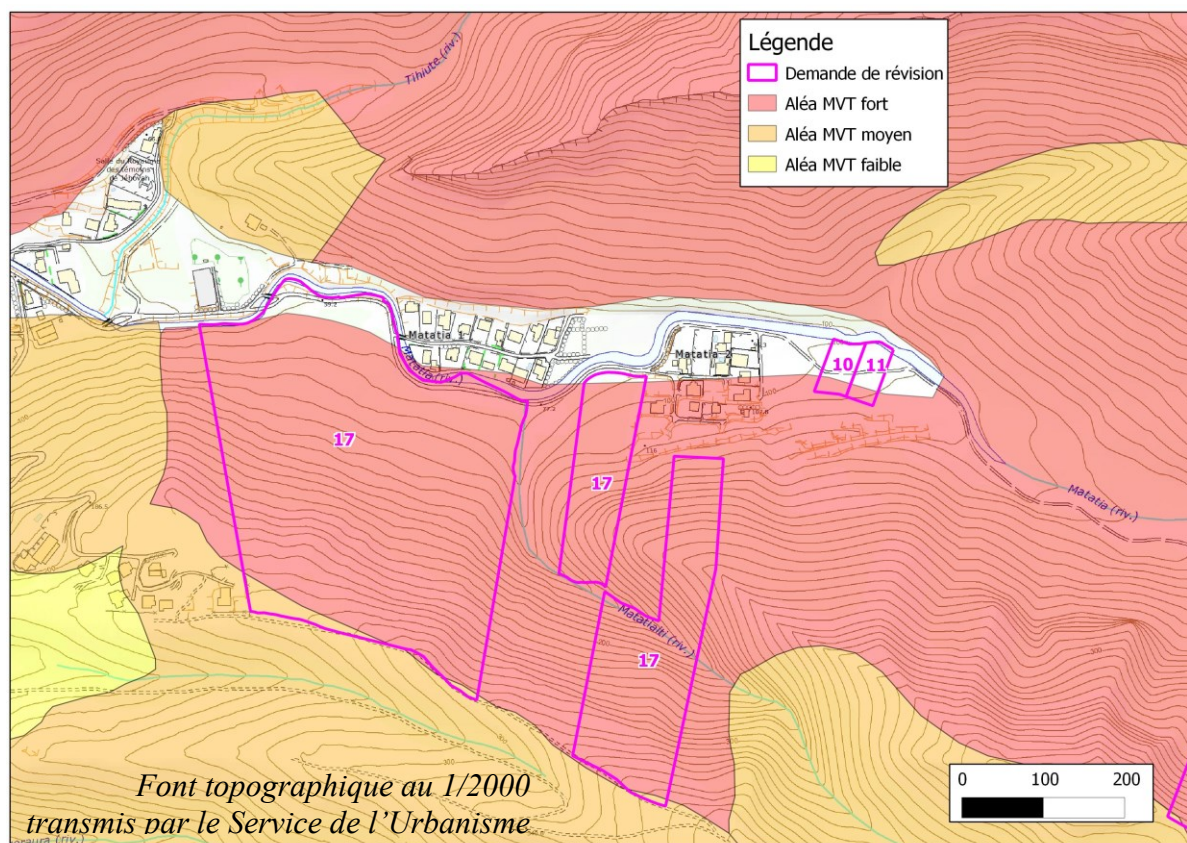


Illustration 1 : Carte de situation du site 17 avec report de l'ancien zonage de l'aléa MVT

2 – Etudes techniques disponibles

Sans objet.

3 - Examen du site

L'examen du site a consisté en une inspection visuelle du versant sud dans le secteur des différentes parcelles depuis le fond de vallée et depuis le sommet accessible par un chemin

en crête. Depuis le fond de vallée, l'inspection s'est limitée à la cote 210 faute d'accessibilité dans le versant. Certaines des parcelles (à l'est) sont inaccessibles.

- **Éléments de topographie / morphologie**

Les parcelles sont situées au milieu de la vallée de la Matatia, au niveau d'un des derniers lotissements. A l'endroit étudié, le versant sud atteint plus de 200 m de hauteur (entre 60 et 260 m d'altitude) et présente une pente de 15° à la base, s'accroissant progressivement pour atteindre 70° au sommet.

La topographie est marquée par la succession des barres rocheuses. Des petits talwegs naturels incisent légèrement les pentes.

Bien que quelques vestiges d'anciennes occupations aient été observés, il n'y a pas de récent terrassement sur ce versant qui est entièrement boisée.

- **Éléments de géologie**

Le versant sud est armé par une succession de coulées basaltiques (type 1a de la carte géologiques), peu altérées d'après les observations de terrain. Ces coulées sont pluridécimétriques à métrique. Des passées de scories s'intercalent entre ces coulées. Les premières barres rocheuses observées affleurent à la cote 110. Par ailleurs, certaines dalles rocheuses sont recouvertes par une couverture métrique de colluvions, constituées de blocs et de terres végétales.

Des venues d'eau sont souvent observées à la base des coulées, probablement en provenance des niveaux scoriacés et à l'origine des talwegs observés.

- **Indices d'instabilité et événements historiques**

Dans la pente, de nombreux impacts ont été observés sur les troncs (à 50 cm de hauteur maximum) notamment dans la partie haute, la plus raide, de ce versant naturel, attestant de la forte prédisposition aux chutes de blocs.

4 – Avis sur le niveau d'aléa mouvement de terrain

Le versant est classé en aléa de niveau Eb3G2 ce qui correspond à un aléa fort vis-à-vis des chutes de blocs.

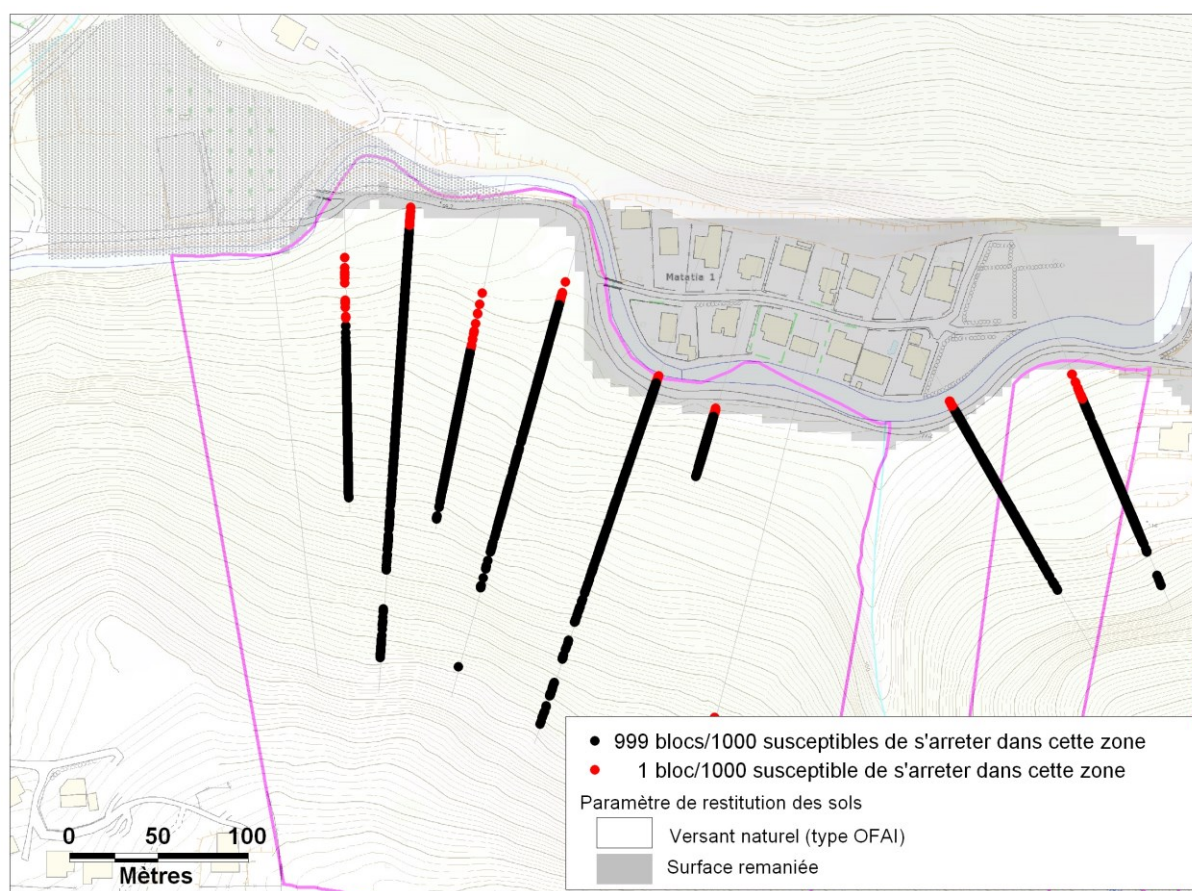
La production de bloc dans le versant est importante liée à la présence d'une succession de coulées massives déstructurées, notamment par sous-cavage des niveaux scoriacés et élargissement des fissures/diaclases (par les racines notamment). D'après l'observation des coulées massives en haut de versant et des blocs dans la pente, la taille des blocs produits serait limitée à 1 m³ environ (3-5 m³ exceptionnellement). En effet, bien que les coulées les plus épaisses, situées en haut de pente, atteignent 4-5 m de hauteur, les diaclases et autres discontinuités délimitent des blocs d'arête métrique. Vu la forte densité de blocs de 1 m³, le niveau d'aléa fort est confirmé dans la pente.

La forte pente de la partie supérieure du versant (entre 40 et 60° jusqu'à la dernière coulée) ainsi que la couverture rocheuse accroissent le pouvoir de restitution du sol pendant la chute des blocs et augmentent donc la distance de propagation. Les talwegs qui s'initient sous certains coulées massives sont particulièrement menaçants pour l'aval, car ils constituent

des drains privilégiés de charriage de blocs voire d'éboulis, pouvant dégénérer en coulées de débris et se propager largement jusqu'en fond de vallée.

La végétation est un facteur pouvant limiter ensuite la distance de propagation. Ici, le versant est couvert d'arbres variés : *purau* dans la partie basse, acacias en partie haute, manguier et tulipier. Vu la taille de la majorité des blocs ($< 1 \text{ m}^3$), les arbres en retiennent effectivement une partie, ce qu'ont confirmé les constats de terrain qui ont montré des blocs jusqu'à 1 m^3 retenus par des arbres de 10 cm de diamètre (cf. Illustration 6 et Illustration 7).

Pour donner une idée des distances de propagation possibles, des études trajectographiques ont été réalisés sur plusieurs profils dans le versant, pour 1000 lâchers de blocs (cf. Illustration 2).



*Illustration 2 : Etude trajectographique (1000 lâchers de blocs de 1,4 à 3.3 T)
avec le logiciel Pierrauto @BRGM*

Motivations du nouveau zonage :

Le niveau de l'aléa fort dans le versant est confirmé, caractérisée à la fois par une probabilité d'occurrence de chute de bloc élevée et par un niveau d'intensité élevé.

L'emprise de l'aléa fort au fond de la vallée de la Matatia est globalement confirmée, moyennant certains ajustements localisés présentés dans l'illustration 3.

Un niveau d'aléa moyen (Eb2G2) correspondant à une probabilité d'atteinte moins importante (faible à moyenne), est proposé sur une vingtaine de mètres pour prendre en compte d'autres configurations de chute de bloc plus défavorables mais moins probables.

Enfin, une zone en aléa faible (EB1G1) a été proposée dans une partie du fond de la vallée (actuellement sans aléa mouvement de terrain), où l'occurrence d'un évènement en provenance du versant est difficilement totalement exclue. Cette prolongation du zonage permet d'intégrer les possibilités de charriage et de coulées, qui peuvent se propager sur de plus grandes distances.

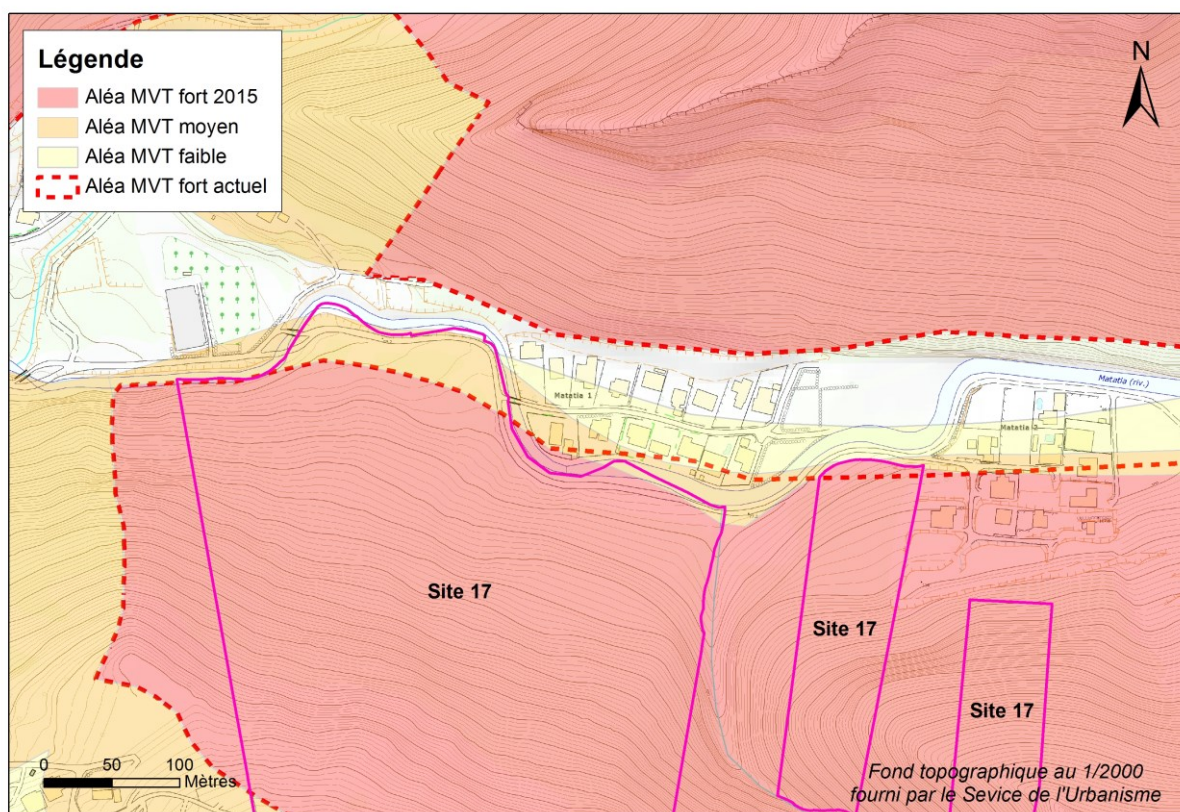


Illustration 3 : Proposition de modification de la carte de l'aléa mouvement de terrain

5 – Remarques

Sans objet.

6 – Photos



Illustration 4 : Les coulées les plus épaisses, situées en haut de pente atteignent 4-5 m de hauteur



Illustration 5 : Plusieurs coulées successives affleurantes dans la pente



Illustration 6 : Arrêt d'un bloc de 1,5 m³ par un manguier



Illustration 7 : Nombreux blocs arrêtés par des acacias dont le tronc est de diamètre inférieur à 10 cm

Annexe 2

Fiche des mises à jour de l'aléa inondation

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°1	Commune Punaauia	Cours d'eau Vaïopu	Rivière Vaïopu	Demandeur Organisme public	Parcelles Plusieurs
-----	---------------------	-----------------------	-------------------	----------------------------------	------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

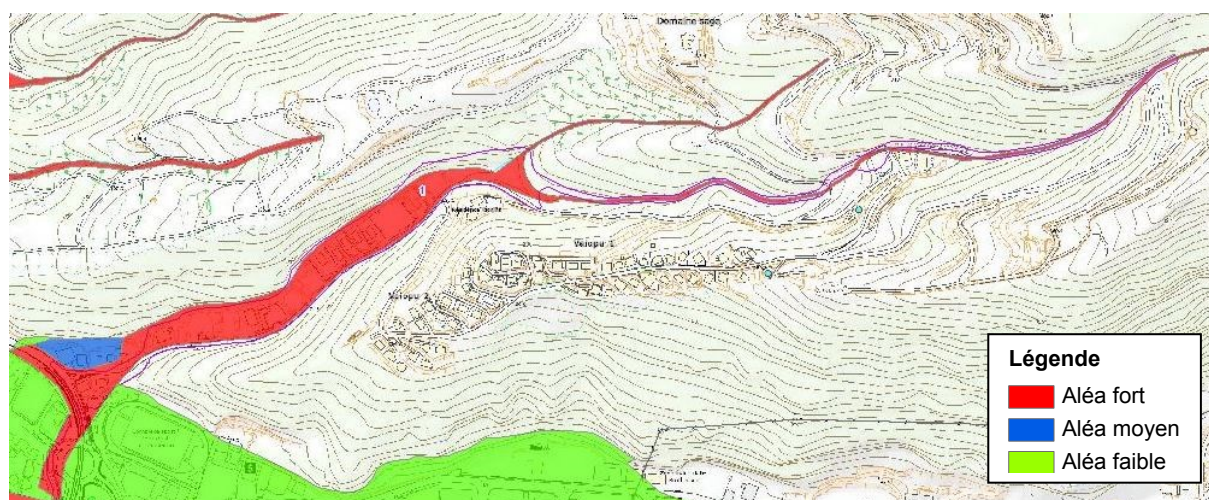


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le bureau d'étude EGIS en 2012

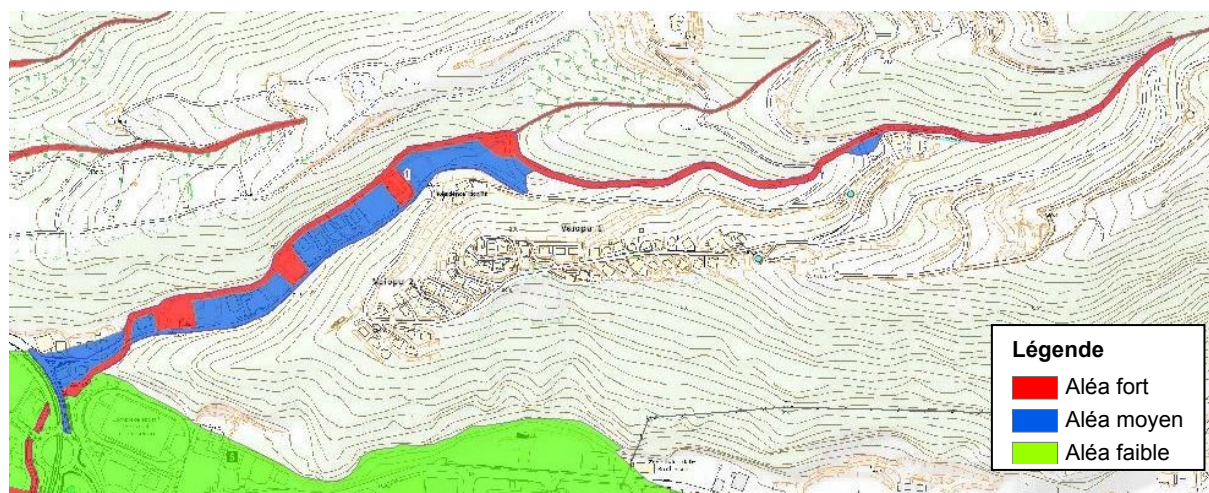


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le bureau d'étude EGIS (rapport HSO 11126 de juin 2012)

3 – Avis du BRGM en 2015

Une étude sur la rivière Vaiopu a été réalisée par le bureau d'étude EGIS à la demande du SAU, sur conseil du BRGM, dans le cadre du projet ARAI. Cette étude (rapport HSO 11126 de juin 2012) comprenant une partie hydrologie et une partie hydraulique, avec notamment une modélisation des écoulements portant la partie aval du cours d'eau, a permis d'affiner la connaissance de l'aléa et tracer ainsi une nouvelle cartographie des aléas (cf. Figure 2).

Suite à une analyse critique du rapport et à la visite de terrain du 19/05/2015, le BRGM, n'ayant pas noté de contre-indications majeures, propose donc son adoption en tant que carte d'aléas.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°2	Commune Punaauia	Cours d'eau Vaioa	Rivière Vaioa	Demandeur Organisme public	Parcelles Plusieurs
-----	---------------------	----------------------	------------------	----------------------------------	------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

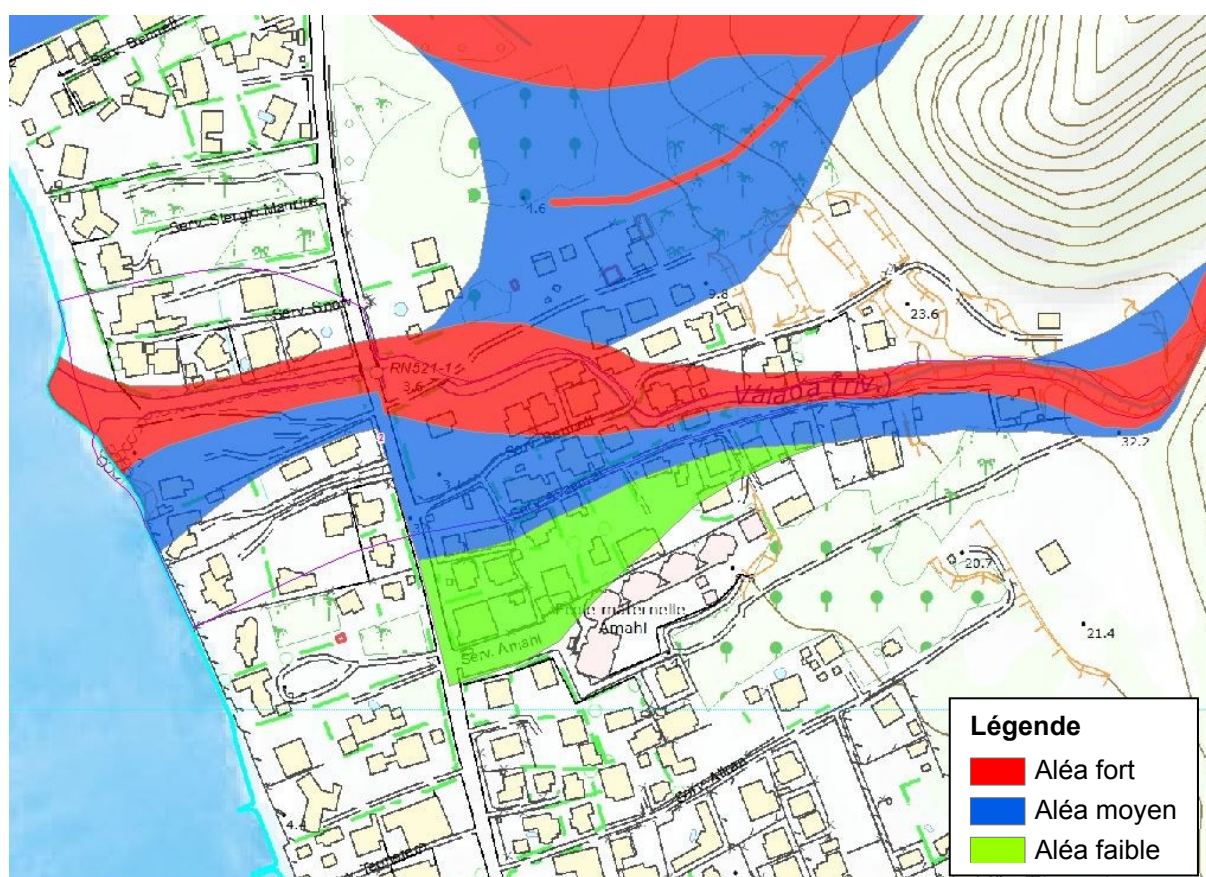


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le bureau d'étude SPEED 2012



Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le bureau d'étude SPEED (rapport 1374 11 05_V2 d'avril 2012)

3 – Avis du BRGM en 2015

Une étude sur la rivière Vaioa a été réalisée par le bureau d'étude SPEED à la demande du SAU, sur conseil du BRGM, dans le cadre du projet ARAI. Cette étude (rapport 1374 11 05_V2 d'avril 2012) comprenant une partie hydrologie et une partie hydraulique, avec notamment une modélisation des écoulements portant la partie aval du cours d'eau, a permis d'affiner la connaissance de l'aléa et tracer ainsi une nouvelle cartographie des aléas (cf. Figure 2).

Suite à une analyse critique du rapport et à une visite de terrain le 20/05/2015, le BRGM a validé l'approche ayant permis d'aboutir à cette cartographie de la crue centennale et propose donc son adoption comme carte d'aléa.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°3	Commune Punaauia	Cours d'eau Maruapo	Rivière Maruapo	Demandeur Organisme public	Parcelles Plusieurs
------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	--	-------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

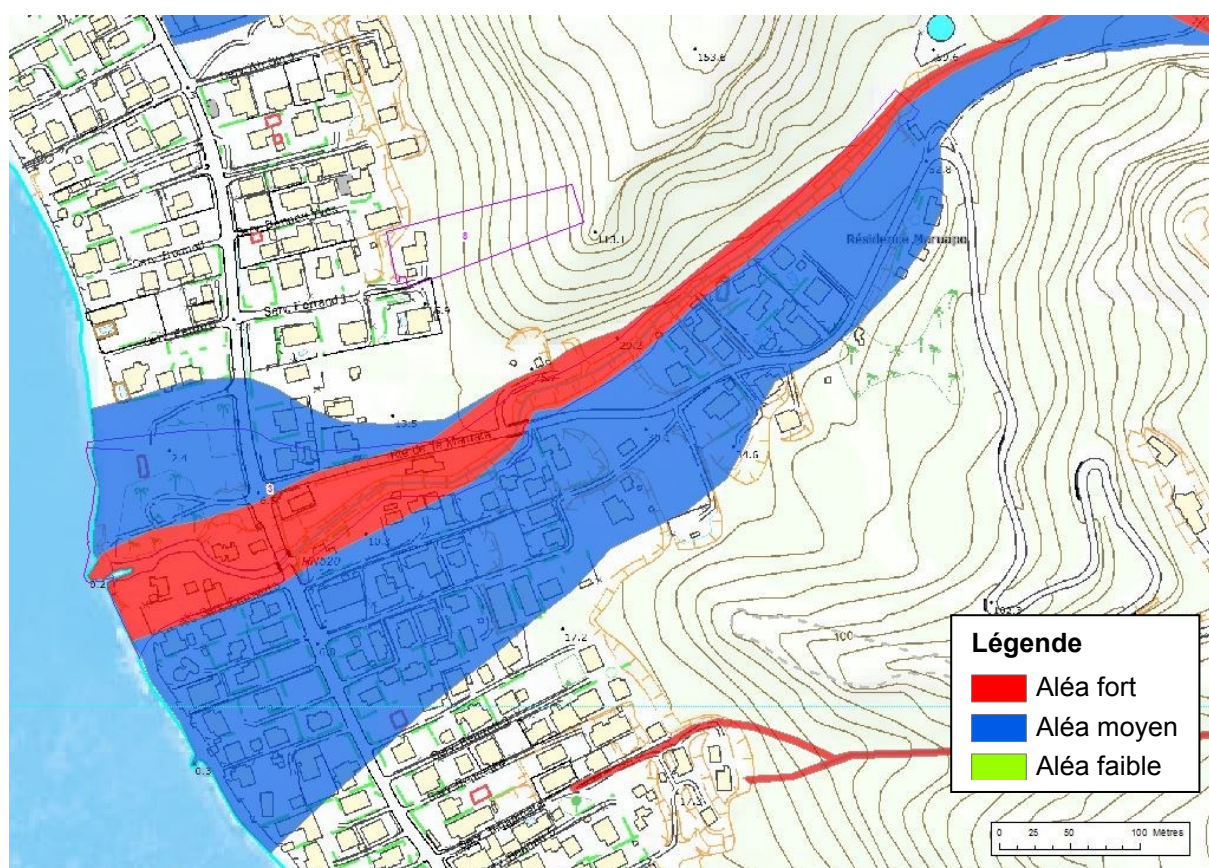


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le bureau d'étude EGIS en 2010

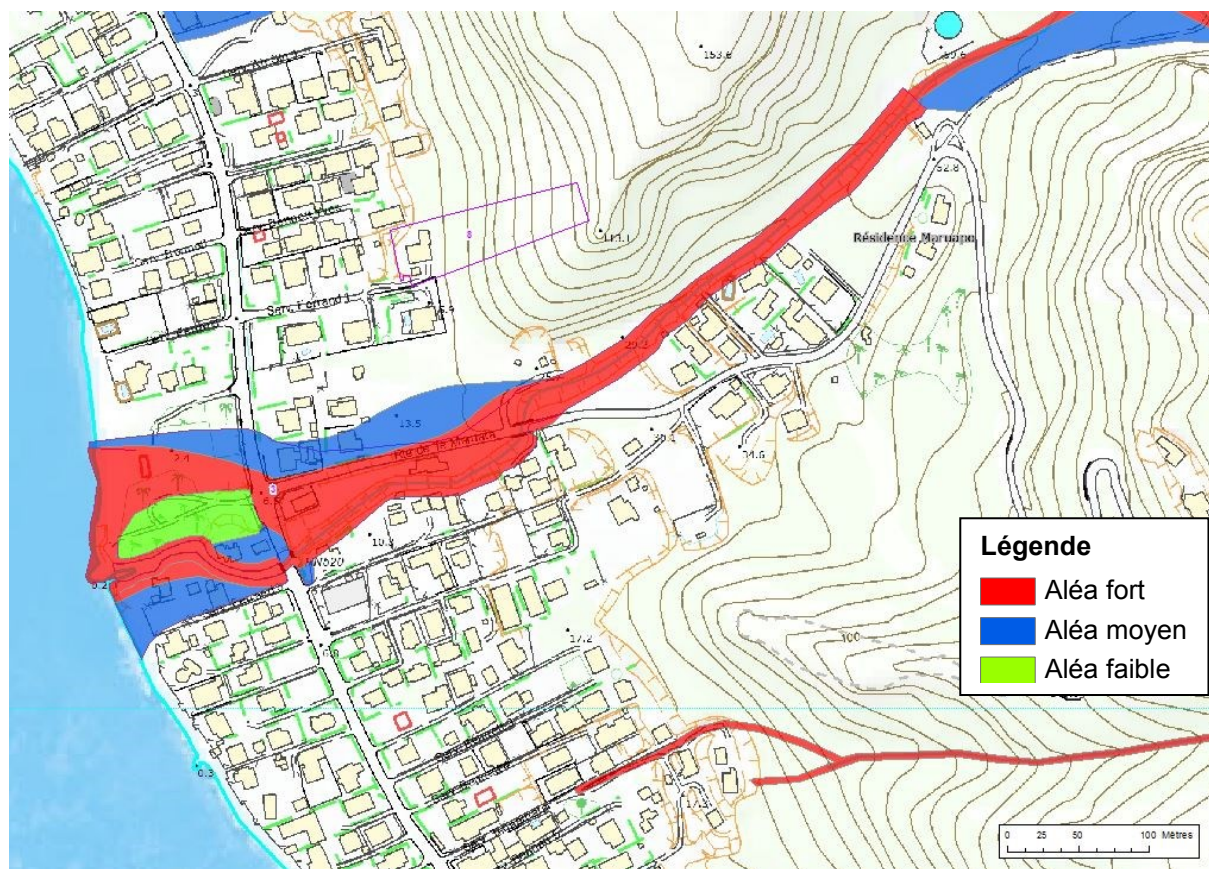


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le bureau d'étude EGIS (rapport GRI 04625D de décembre 2010)

3 – Avis du BRGM en 2015

Une étude sur la rivière Maruapo a été réalisée par le bureau d'étude EGIS à la demande du SAU, sur conseil du BRGM, dans le cadre du projet ARAI. Cette étude (rapport GRI 04625D de décembre 2010) comprenant une partie hydrologie et une partie hydraulique, avec notamment une modélisation des écoulements portant la partie aval du cours d'eau, a permis d'affiner la connaissance de l'aléa et tracer ainsi une nouvelle cartographie des aléas (cf. Figure 2).

La différence entre les deux cartographies (ancienne et nouvelle) se résume principalement en une forte diminution de l'aléa moyen de la rive droite. Initialement un débordement amont sur la route avait été considéré comme probable, ce débordement n'a pas été validé par le modèle.

Suite à une analyse critique du rapport et à une visite de terrain le 19/05/2015, le BRGM n'a pas noté de contre-indications majeures sur la méthodologie utilisée pour définir la cartographie de la crue centennale et propose donc son adoption en tant que carte d'aléas.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°4	Commune Punaauia			Demandeur Privé	Parcelles Parcelle AL363 et voisinage
------------	----------------------------	--	--	---------------------------	---

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

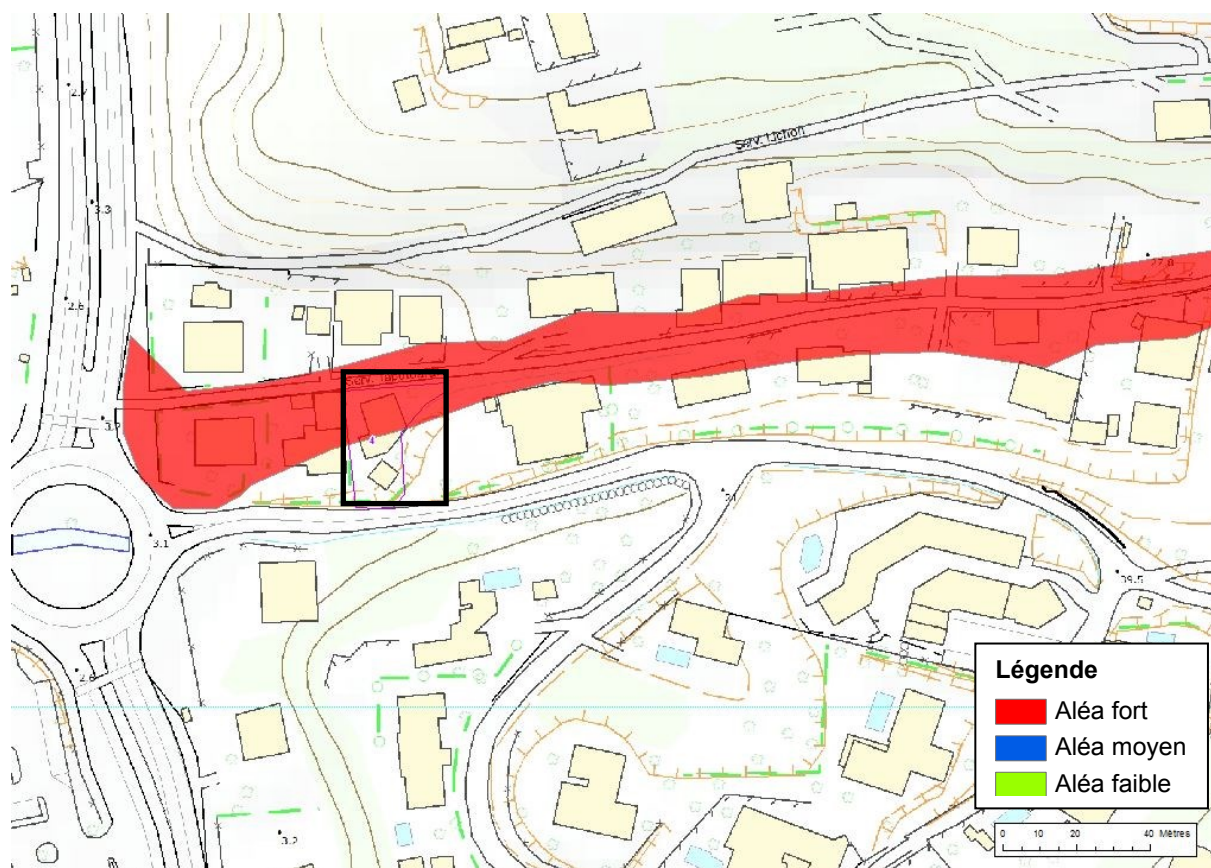


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le BRGM en 2015

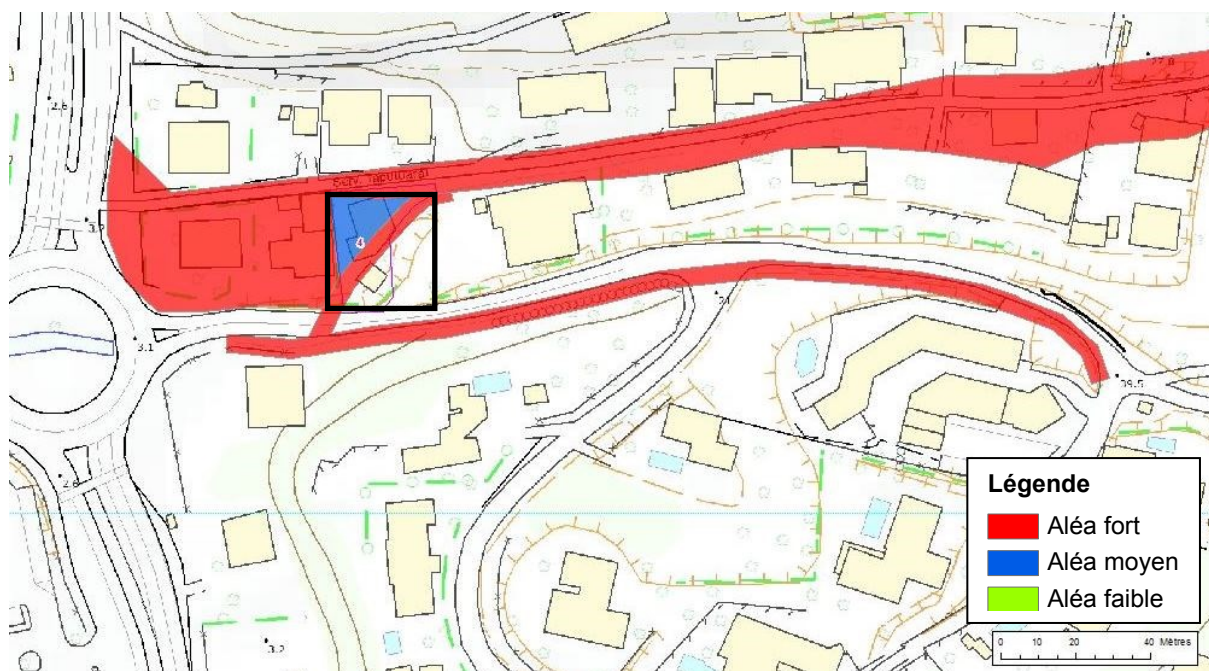


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le BRGM

3 – Modification apportée par la contre visite du 19/05/2015

La différence entre les deux cartographies (ancienne et nouvelle) se résume principalement en :

- une diminution de l'aléa fort due au débordement possible du collecteur pluvial en amont de la parcelle, ce débordement occupant toute la chaussée mais sans pouvoir inonder les parcelles se trouvant de part et d'autre de la chaussée, suite à des constats topographiques de terrain.
- une diminution de l'aléa fort au droit de la parcelle concernée (AL363) par suite d'une surélévation de l'ensemble de la parcelle par des remblais,
- le maintien des parcelles situées en aval en aléa fort par suite des débordements possibles du collecteur au droit de l'aval de la parcelle AL363 et de la différence de hauteur entre les parcelles lié en partie à la mise en place des remblais,
- l'ajout en aléa fort du collecteur pluvial recevant le précédent et situé au sud de la parcelle.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°5	Commune Punaauia	-	-	Demandeur Privé	Parcelles Parcelle BK189 et voisinage
------------	----------------------------	---	---	---------------------------	---

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

La parcelle BK189 est délimitée par le contour violet.

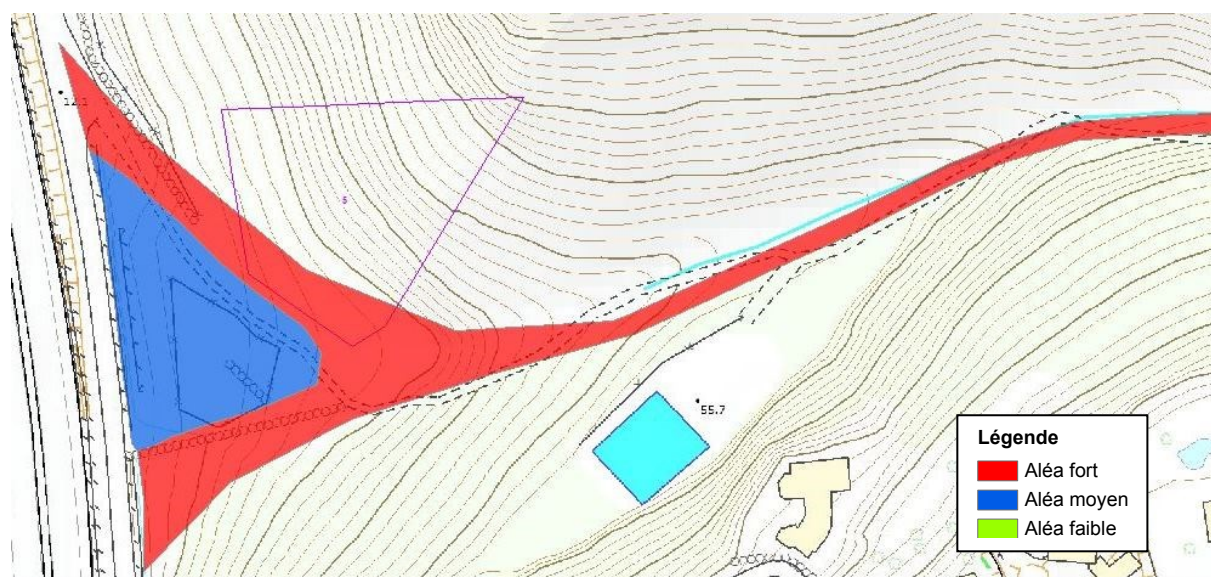
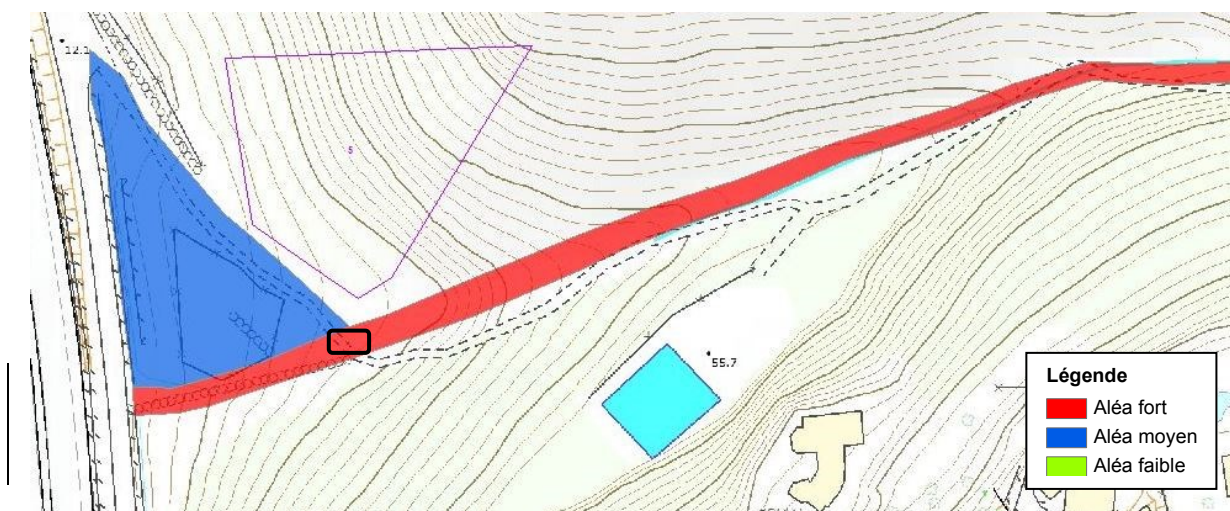


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le BRGM en 2015



**Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le BRGM.
Le carré noir représente le dalot**

3 – Modification apportée par la contre visite du 19/05/2015

La différence entre les deux cartographies (ancienne et nouvelle) est principalement justifiée par la réalisation d'un dalot (carré noir sur la Figure 2) permettant le passage des eaux provenant du caniveau collectant les eaux de ruissellement du chemin d'accès aux lotissements en cours de construction en amont. L'évacuation se poursuivant ensuite via un ouvrage enterré jusqu'au collecteur de la voirie de la route parallèle à la route de ceinture.

Un aléa moyen est toutefois maintenu en rive droite le long du chemin et en aval du dalot, par suite de probables débordements dus à une saturation de ce dalot. L'étude d'aménagement pluvial des lotissements situés en amont et /ou de leurs accès devra intégrer et vérifier le dimensionnement de cette partie du réseau pluvial.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°6	Commune Punaauia	-	-	Demandeur Privé	Parcelles Parcelle AL240 et voisinage
------------	----------------------------	---	---	---------------------------	---

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

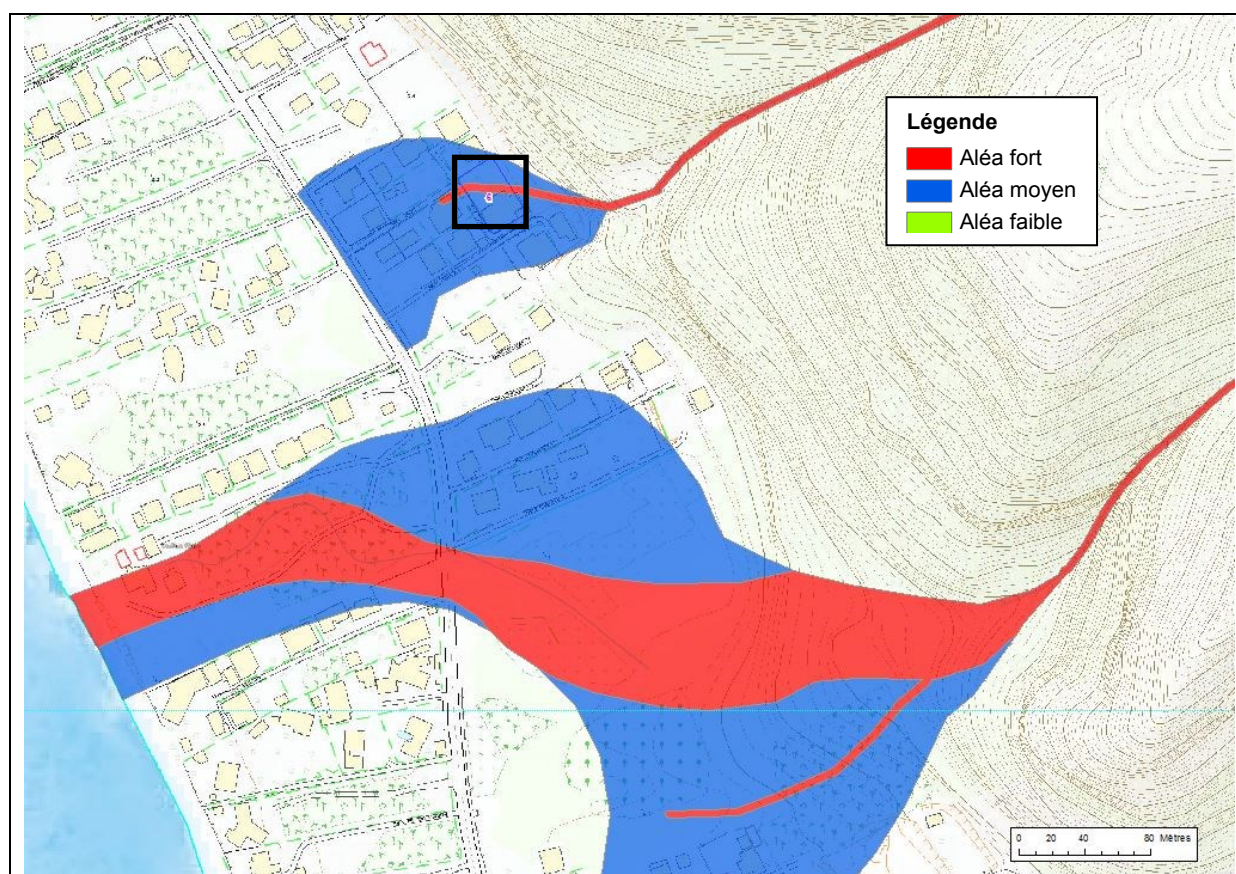


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le BRGM en 2015

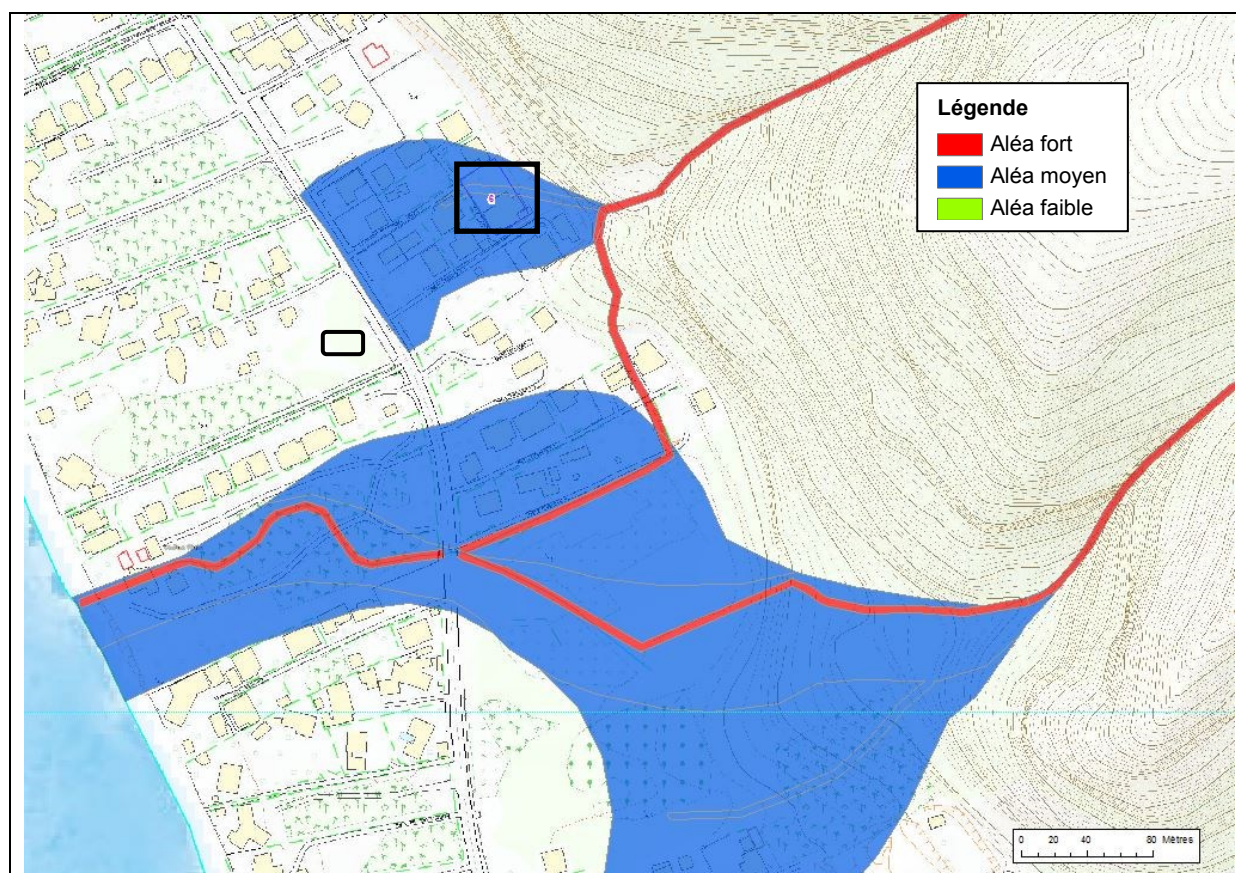


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le BRGM

3 – Modification apportée par la contre visite du 20/05/2015

La différence entre les deux cartographies (ancienne et nouvelle) est probablement due à une erreur de tracé du thalweg et/ou à de légères modifications de topographie locale qui, montre une direction d'écoulement vers un petit thalweg du sud après avoir longé de nombreuses parcelles au lieu de se diriger vers le nord et la parcelle AL240.

L'ensemble de la zone située au sud a de ce fait été revu (sauf l'exutoire qui n'a pu être visité). Cette vaste zone de dépression, située en contrebas de la route de ceinture, reçoit les écoulements en provenance d'un autre bassin versant par le biais d'un petit thalweg. Par suite de la superficie significative de cette dépression, l'ensemble de la zone a été classée en aléa moyen. Cette réduction de l'aléa fort est due à une meilleure vision d'ensemble de la zone mais elle nécessite de respecter un volume de stockage inchangé sous peine d'aggraver la zone d'aléa située en aval.

La parcelle AL 240 ne comportant plus de thalweg, l'aléa fort y a été supprimé. Un aléa moyen y est toutefois maintenu car des débordements en provenance de l'amont se produisent quelquefois et que leur évacuation est rendu délicate par suite de la faible pente des terrains et de la cote de la route de ceinture.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°7	Commune Punaauia	-	Clinique Mana Ora	Demandeur Privé	Parcelles E217/AT144 et voisinage
------------	----------------------------	---	----------------------	---------------------------	--

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

L'emprise du projet est tracée en violet sur la Figure 1.

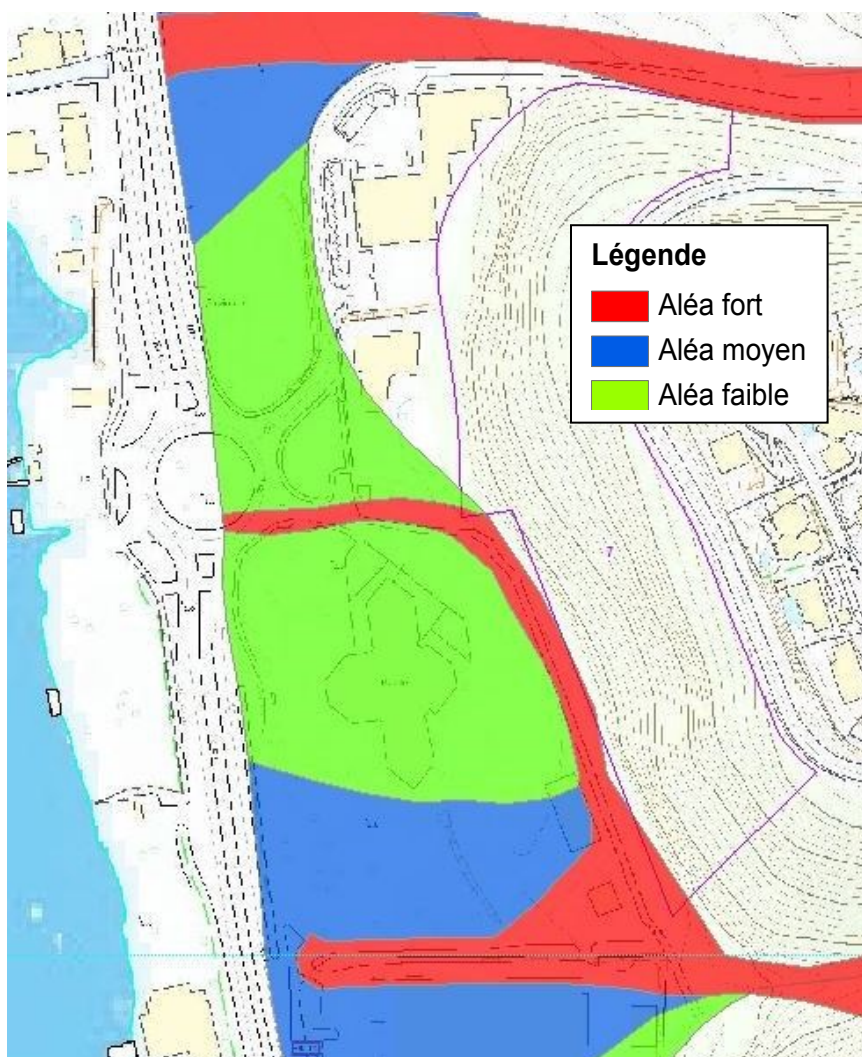


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Schéma de l'aménagement proposé par SPEED en 2009

Afin de réduire les risques vis-à-vis de l'aléa inondation, l'aménagement ci-dessous a été proposé par le bureau d'étude SPEED en 2009 (Figure 2).

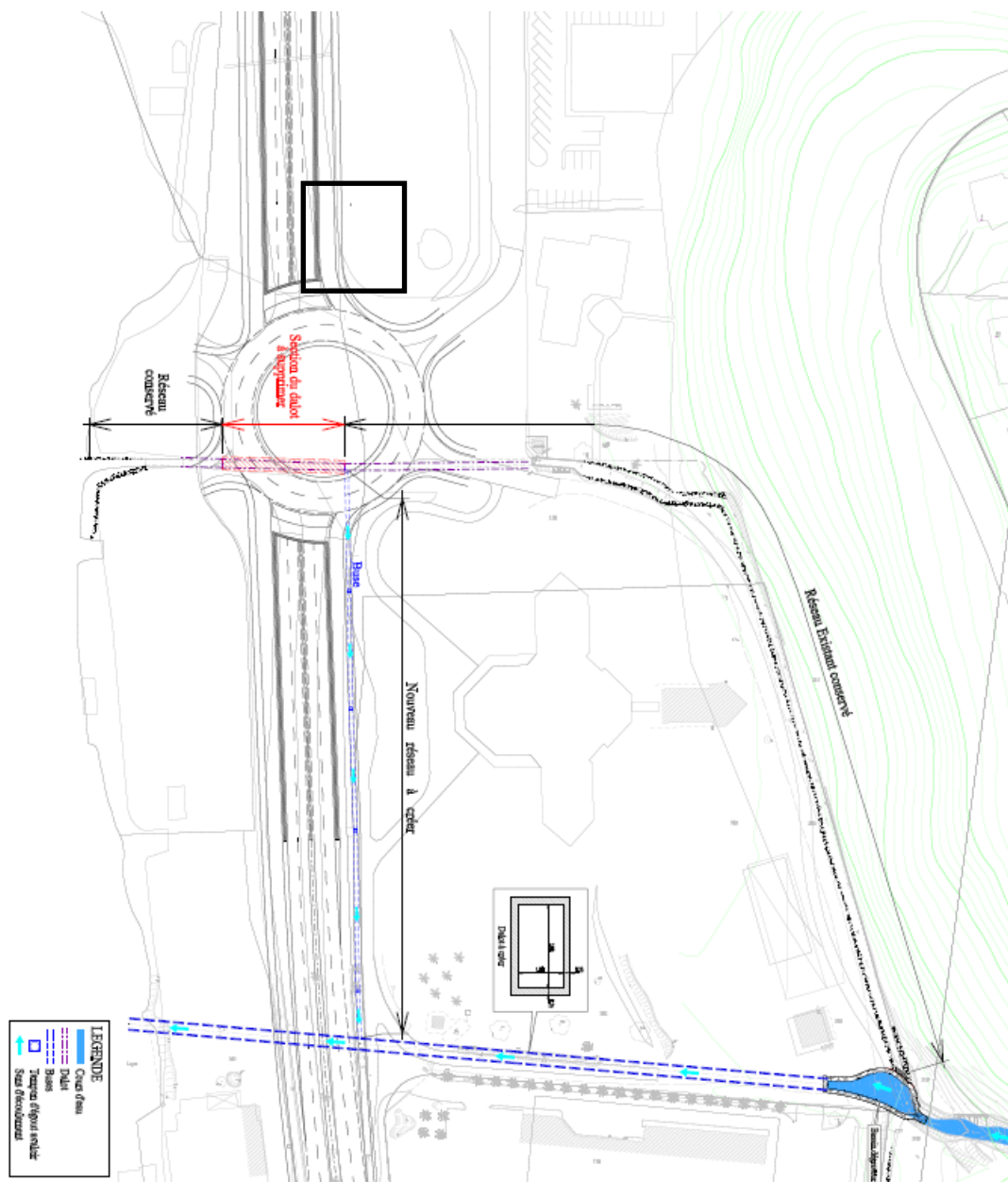


Figure 2 : Carte de situation et schéma de l'aménagement proposé par le bureau d'étude SPEED (rapport n°115908 EP, février 2009)

L'aménagement proposé par le bureau d'étude SPEED consistait en :

- un dalot de 3.0 m x 1.6 m d'une longueur d'environ 200 m,
- un bassin dégraveur en amont, d'une longueur voisine de 30 m,
- une grille située entre le bassin dégraveur et le dalot afin d'empêcher l'accès du dalot aux personnes et aux matériaux.

3- Avis du BRGM suite à la visite du 20/05/2015

Les photographies de l'ouvrage réalisé, faites le 20/05/2015 (cf. Figure 3), permettent de constater que :

- Le bassin dégraveur est trop court,
- La grille n'est plus à sa place ni dans sa position d'origine,
- La section d'écoulement initiale est réduite de moitié suite à la présence d'embâcles apportés par la dernière crue.

Suite à ce constat, l'aléa n'a pas été modifié car :

- les aménagements complémentaires au dalot (bassin dégraveur et grille de protection d'embâcles), préconisés par le bureau d'étude n'ont pas été réalisés conformément aux préconisations ;
- la solution proposée ne comportait pas, contrairement à ce qui est conseillé dans la réglementation PPR, de solution permettant de pallier, au moins partiellement, à un dysfonctionnement du système et à éviter ainsi une dégradation ou dysfonctionnement de l'enjeu fort que constitue le tunnel et la voie rapide (→ cf. 2.1.4.2).

Dans ce cas précis, les objectifs de l'étude SPEED correspondent bien à ceux qu'on attendrait d'une étude « d'aménagement global en vue de réduire l'aléa », la responsabilité des propositions d'aménagement restant au bureau d'étude qui a été chargé des calculs.

Le niveau d'aléa pourra donc être revu à la baisse, après réalisation et constat de la conformité de ces ouvrages avec les préconisations de l'étude SPEED.



Figure 3 : Vue de l'ouvrage de dérivation le 20/05/2015

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par Stollsteiner Philippe (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°13	Commune Punaauia	Cours d'eau Nymphéa	Projet Mahana Beach	Demandeur Organisme public	Parcelles Plusieurs
-------------	----------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	--	-------------------------------

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

L'emprise du projet est délimitée par le tracé violet.

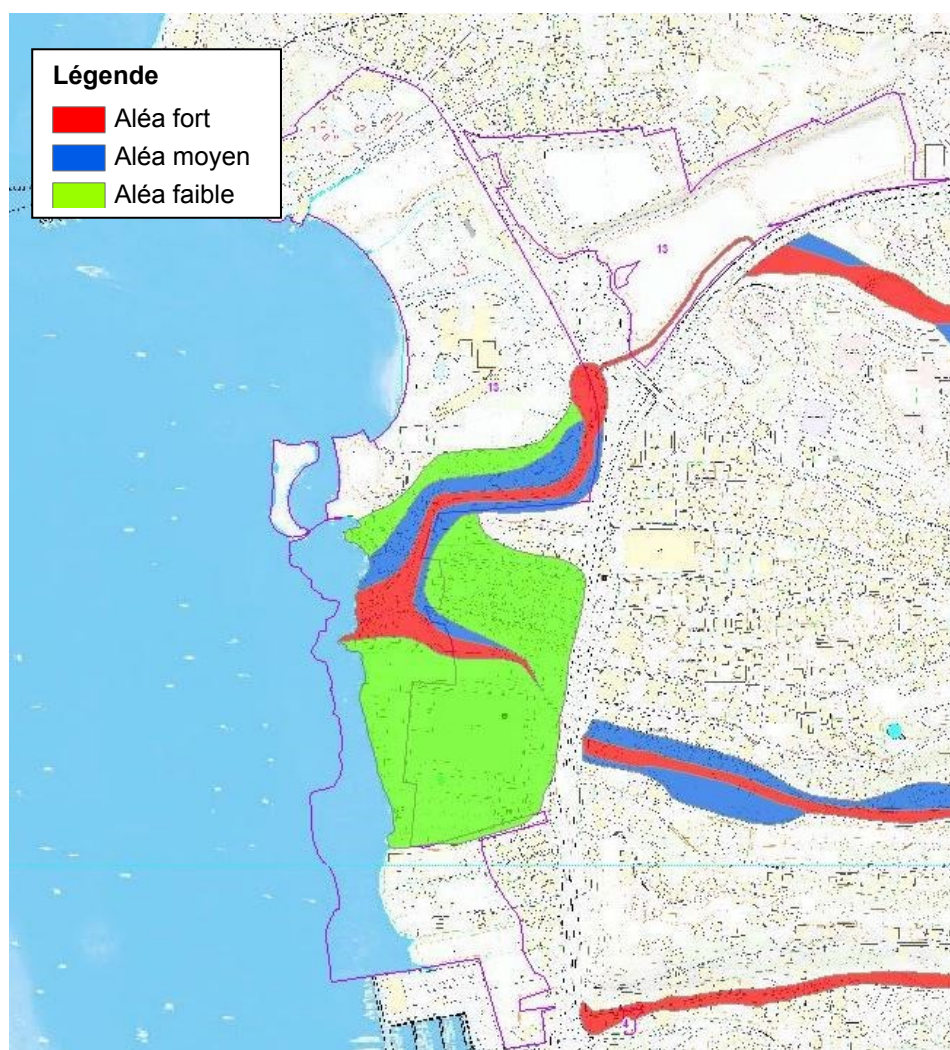


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le BRGM en 2015

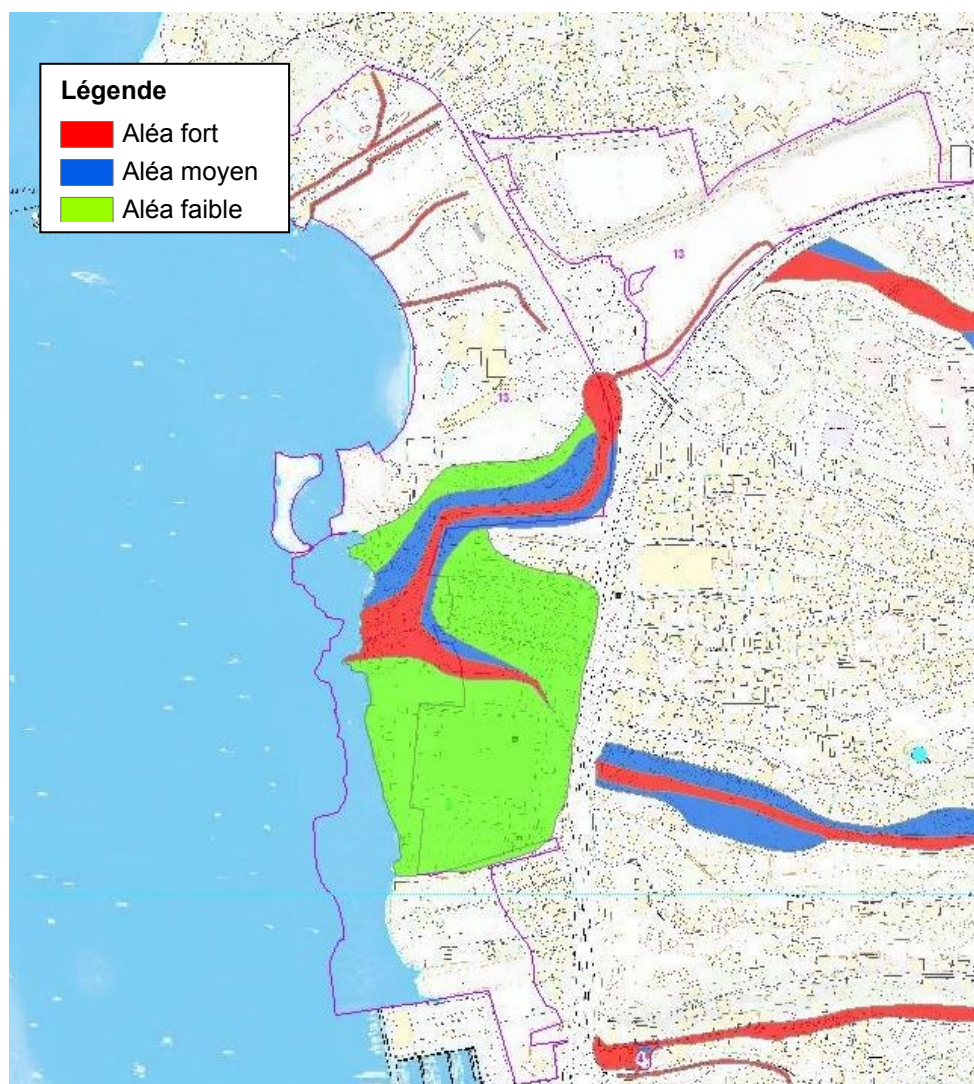


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le BRGM

3 – Justification

Suite aux travaux de terrassement et destruction des bâtiments hôteliers réalisés, aucune zone d'aléa inondation n'a été ajoutée, hormis quatre drains d'évacuation d'eaux pluviales. Ces tracés représentés sur la carte d'aléa par un linéaire rouge d'épaisseur minimale représentent des collecteurs, naturels ou non, d'eaux pluviales. Ces linéaires, qui sont indiqués en aléa fort, ont pour vocation de signaler la présence d'un drain afin qu'il en soit tenu compte dans tout aménagement envisagé. Il n'a pas pour vocation d'interdire la constructibilité mais seulement signaler la nécessité de prévoir un système d'évacuation adapté afin d'éviter au mieux toute possibilité d'inondation.

L'aménagement prévu est un projet touristique de bord de mer, qui devrait s'étendre sur l'ensemble de la zone. Il sera nécessaire que ce projet intègre les aléas initialement définis tel que ceux générés par la rivière Nymphéa et qu'il prenne également en compte les ouvrages d'évacuation souterrains existants aux droits des autres talwegs, ainsi que les drains signalés ci-avant.

Révision de l'aléa Inondation

Expertise réalisée par P. Stollsteiner (BRGM/D3E/EVE)

Vérification : A. Rey (BRGM/DAT)

Identification de la zone expertisée

n°	Commune	Cours d'eau	Vallée de la	Demandeur	Parcelles
15, 16, 17, 18	Punaauia	Matatia	Matatia	Privé	Plusieurs

1 - Plan de situation avec report de l'actuel zonage inondation

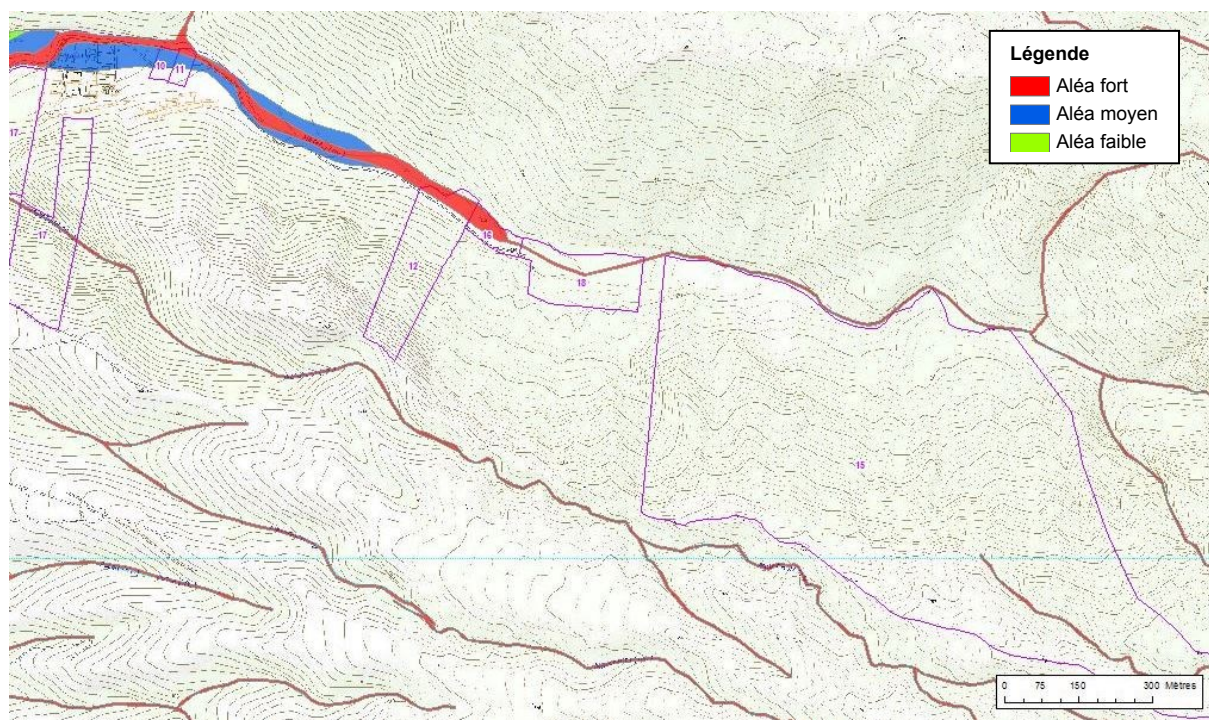


Figure 1 : Carte de situation et d'aléa inondation actuelle et emprise du site étudié

2- Plan de situation avec report du zonage proposé par le BRGM en 2015

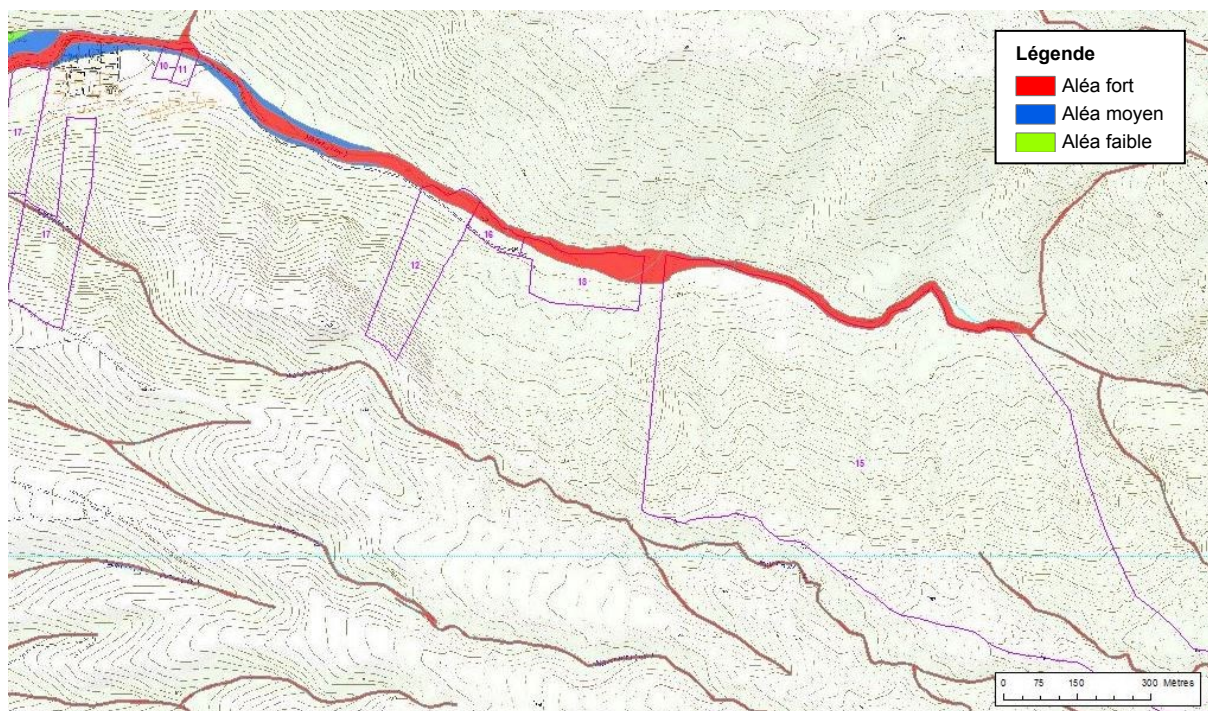


Figure 2 : Carte de situation et d'aléa inondation proposée par le BRGM

3 – Modification apportée par la contre visite du 21/05/2015

Les modifications ont essentiellement consisté en un élargissement de l'emprise de la zone d'aléa fort en amont du site 16 (parcelles CH22 – CH23) et en une réduction de l'emprise de l'aléa moyen en aval.

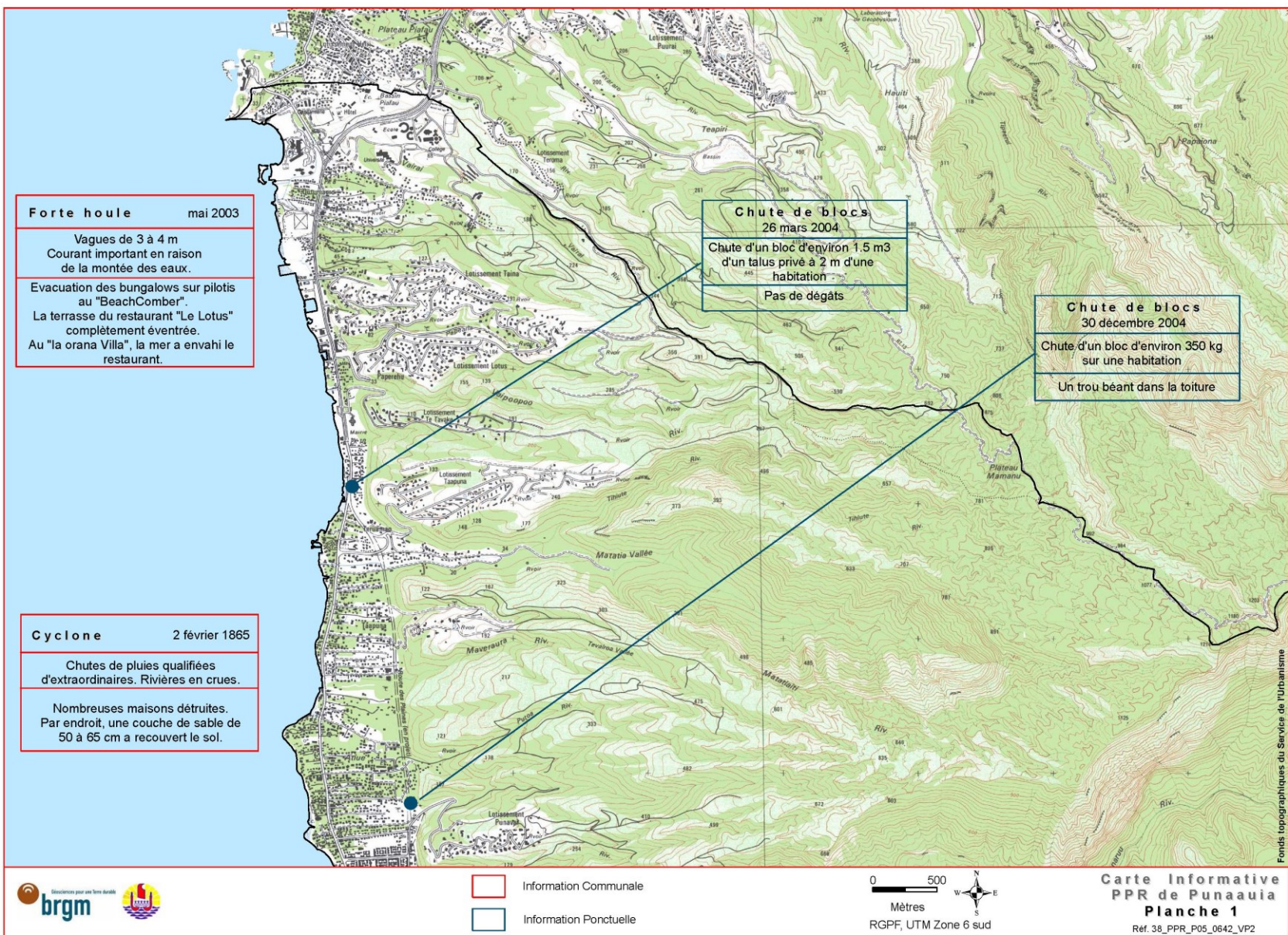
Les différences entre les deux cartographies (ancienne et nouvelle) sont principalement justifiées par :

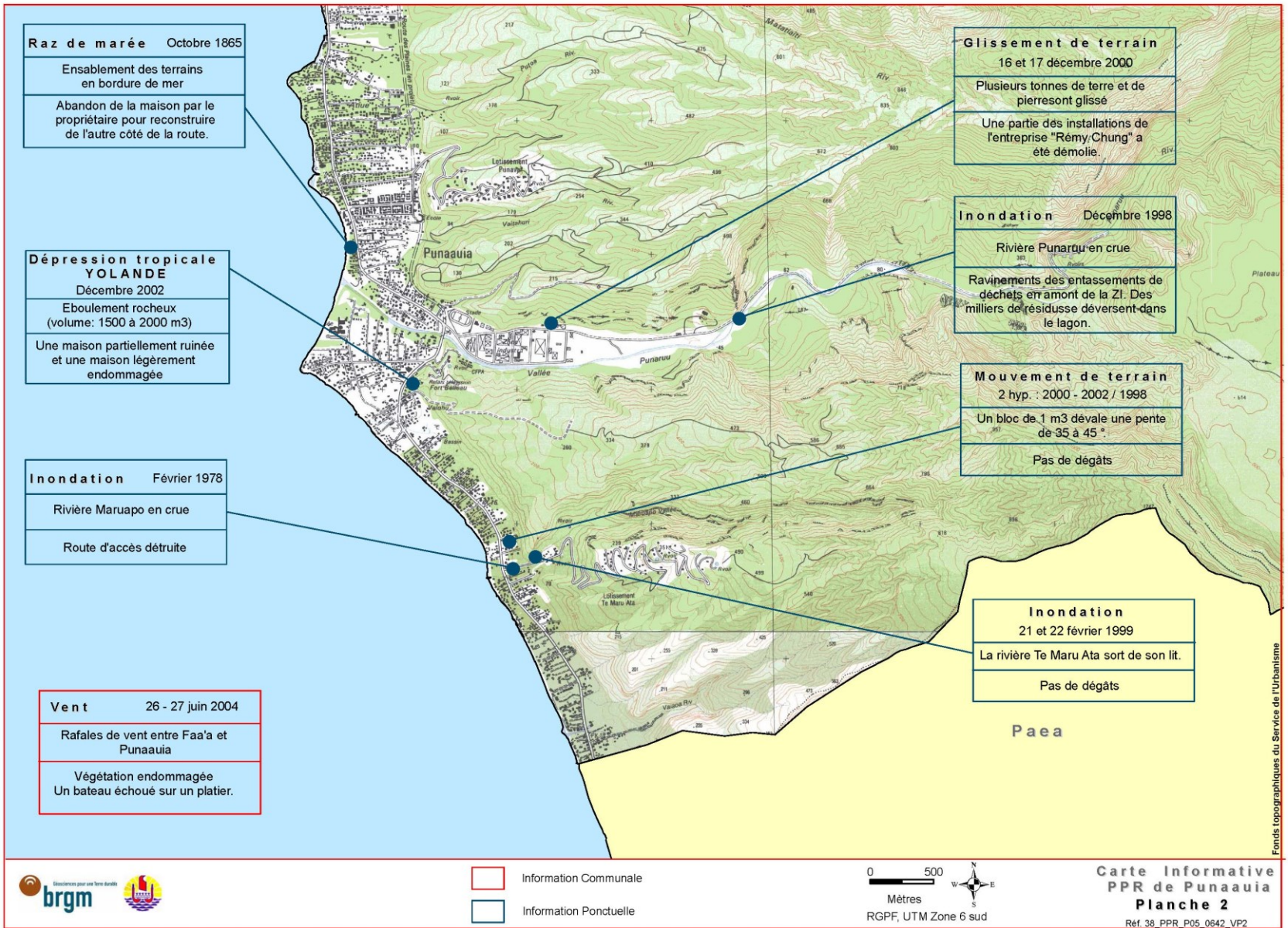
- le prolongement de la voie d'accès qui a permis de préciser le tracé du lit mineur et les aléas en amont des parcelles (CH22 – CH23). Cette partie n'était pas accessible lors de la réalisation des cartes d'aléas initiales ;
- en aval, à une légère diminution des zones d'aléa moyen par suite du remodelage des terrains.

Nota bene : Même si les conséquences de ces remodelages limités sont difficilement quantifiables sans modélisation, la réduction de la largeur de la section entraîne généralement une élévation de la ligne d'eau et une augmentation de la vitesse de l'écoulement qui va généralement aggraver l'aléa en aval, raison pour laquelle il est nécessaire, à des fins de modifications de la section de l'écoulement de réaliser une étude hydraulique définissant, si besoin, des aménagements spécifiques permettant de compenser leurs effets.

Annexe 3

Extrait de la carte informative, planche 1 du PPR de Punaauia





Annexe 4

Classement des missions d'ingénierie géotechnique de la norme NF P94-500 du 30 novembre 2013

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Annexe 5

**Extrait du PPR de Fort de France, approuvé en
décembre 2013, au sujet de la procédure
d'aménagement global, en zone d'aléa fort et enjeux
forts futurs**



I.7 L'AMÉNAGEMENT GLOBAL

Définition

L'aménagement global consiste en la réalisation de travaux visant à sécuriser une zone d'enjeux forts futurs (voire existants dans certains cas) soumise à des aléas forts avant de poursuivre son urbanisation. Tous les aléas présents sur la zone doivent être pris en compte de façon globale pour une sécurisation effective du secteur et pour éviter d'aggraver le risque ailleurs.

Les recommandations, prescriptions et interdictions applicables aux aménagements et constructions futurs sont définies par une **étude d'aménagement global** et traduites dans le règlement et le zonage du PPRN par révision de ce dernier.

Maîtrise d'ouvrage de l'étude

Lorsque les travaux concernent plusieurs propriétaires fonciers, l'étude et les travaux doivent être conduits sous maîtrise d'ouvrage de la collectivité territoriale, la mieux placée pour assumer les arbitrages qui pourraient s'avérer nécessaires (périmètre, conclusions en termes de financement ou d'inconstructibilité).

Lorsque les études concluent à la possibilité de réaliser les travaux et les compensations sur une seule propriété foncière, la maîtrise d'ouvrage peut être privée.

Dans tous les cas, le maître d'ouvrage devra être capable d'assurer la mise en oeuvre des investissements nécessaires, la bonne réalisation des travaux et leur entretien.

Périmètre et contenu de l'étude

L'étude d'aménagement global est menée à une échelle cohérente **intégrant les fonctionnalités physiques** (en général les bassins versants ou sous bassins versants pour l'aléa Inondation, une combe ou un versant pour l'aléa mouvement de terrain, un certain trait de côte pour l'aléa littoral).

Elle doit comporter tout d'abord une première phase d'analyse/affinage de l'état actuel (cartographie des aléas et état des lieux du contexte naturel).

Puis après identification des enjeux existants et futurs, elle doit présenter **scénarii et variantes d'aménagement** dans la mesure où ils existent à l'échelle d'un territoire intercommunal, notamment en ce qui concerne les alternatives de localisation et de programmation urbaines, du point de vue de la protection des biens et des personnes et de leur impact économique (intégrant le cas échéant le relogement).

Les impacts économiques devront être intégrés comme outils d'aide à la décision en termes de faisabilité et d'acceptabilité selon une vision globale intégrant l'investissement et l'amortissement (dégâts évités, plus-values foncières). **Les impacts sur le milieu naturel** devront également être intégrés, tant vis-à-vis des aléas (cartographie) que de la faune et de la flore.

Elle établit enfin un **projet d'aménagement de niveau APS** (avant-projet sommaire) permettant d'établir une estimation fiable des coûts d'aménagement et d'identifier les maîtrises d'ouvrage et les financements nécessaires.

Elle définit **les travaux à effectuer** et leur phasage, les modalités de l'entretien des ouvrages et les **recommandations, prescriptions et les interdictions** applicables après aménagement global.

Elle **cartographie précisément l'aléa** dans l'état actuel et après l'aménagement global.



Comité de suivi

Les partenaires publics ou privés directement concernés (propriétaires fonciers, financement de mesures de protection, porteur de projets immobiliers ...), mais a minima les services de l'Etat et les communes concernées, au sein d'un comité de suivi, sont associés à la démarche et consultés lors de l'élaboration du cahier des charges de l'étude, de l'évaluation des scénarios et de l'analyse des impacts économiques du projet d'aménagement.

Les conclusions de l'étude doivent être validées par l'Etat.

Traduction réglementaire

La révision du PPRN ne peut être engagée qu'en présence des **garanties contractuelles de financement** des travaux de sécurisation et de l'entretien pérenne des ouvrages pour l'ensemble d'un **secteur fonctionnellement indépendant** du point de vue de la protection des risques.

Conformément au décret n°2011-765 du 28 juin 2011 et à la circulaire d'application du 28 novembre 2011, la zone orange sécurisée par un aménagement global doit faire l'objet d'une révision du PPRN, donc doit être soumise à enquête publique. Il convient de **réaliser les travaux de sécurisation avant l'approbation de la révision du PPRN**.

Toutefois, afin que le porteur ait une garantie que son projet pourra se faire après réalisation des aménagements globaux, la procédure suivante est définie :

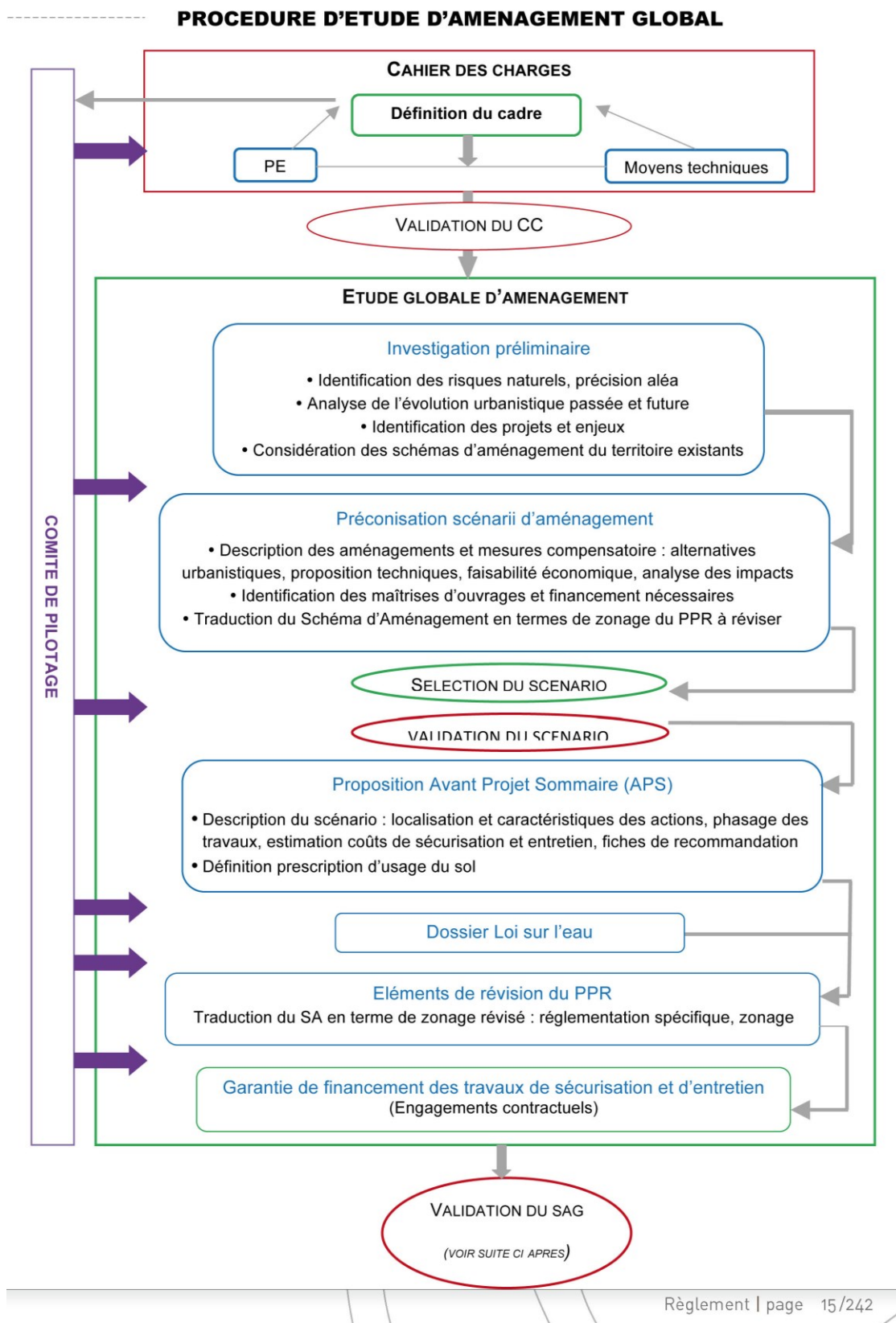
- **prescription** de l'arrêté de révision du PPRN dès que le SAG est validé,
- **dépôt d'un permis d'aménager** (porteur de projet) pour les travaux ne nécessitant pas que le PPRN soit révisé (Voiries, réseaux...),
- une fois le permis d'aménager accordé, **réalisation des travaux de sécurisation**,
- une fois les travaux achevés, **révision du PPR** (arrêté d'approbation).

Enfin le permis de construire pourra être déposé

La cartographie des aléas et le zonage réglementaire sont modifiés. Les zones oranges impactées par l'aménagement global font l'objet d'un règlement spécifique intégré au PPRN précisant les recommandations, prescriptions et interdictions applicables, en cas de besoin par sous-secteurs, et sont identifiées par un zonage spécifique :

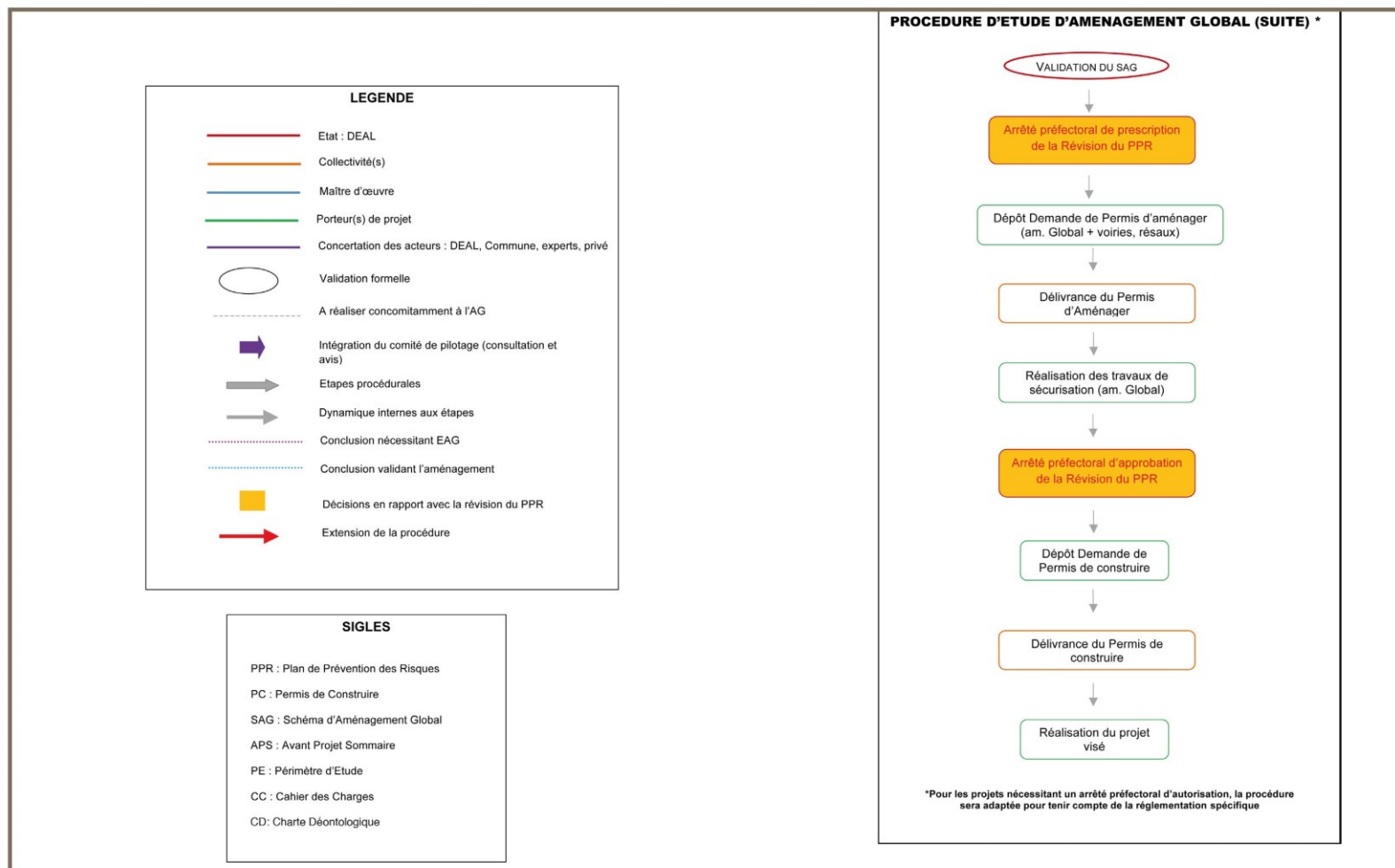
- en orange tramé de jaune si l'aléa est diminué après aménagement global (aléad),
- en orange tramé de rouge si l'aléa est maintenu ou augmenté après aménagement global (aléama).

Le logigramme présenté après le paragraphe I.1.9 détaille la procédure d'aménagement global.





OBJECTIF PROTECTION I - PRINCIPES GÉNÉRAUX



Annexe 6

Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)

Annexe 4 - Critères de détermination des secteurs urbains à enjeux sécurisables

ANNEXE 4 – CRITERES DE DETERMINATION DES SECTEURS URBAINS A ENJEUX SECURISABLES

La présente annexe relative à transcription réglementaire de la zone aléa moyen mouvement de terrain liste un certain nombre de critères qui permettent de caractériser un secteur « urbain à enjeux sécurisables », cohérent avec le cadrage national en la matière issu du guide méthodologique PPR Mouvements de terrain. Cette méthodologie a été retranscrite en détail dans le « *Guide d'élaboration des PPR naturels à la Réunion* » d'août 2012 et appliquée aux récents PPR approuvés sur l'île.

La définition du périmètre des « secteurs urbains à enjeux sécurisables » sur la commune de Saint-Paul est établie suivant une méthodologie et des critères présentés ci-après.

Ce périmètre permet de transcrire d'un point de vue réglementaire les zones d'aléa moyen mouvements de terrain en zone B2u (Cf. chapitre 10 du présent règlement). Il intègre les zones à enjeux urbains d'une commune pour lesquelles une solution de sécurisation est envisageable dans le cadre de projets d'aménagement.

Cette caractérisation ne doit pas occulter la place prédominante du travail d'expertise sur la base de recoupements cartographiques complétés, le cas échéant, par des visites de terrain.

Par ordre de priorité la définition du périmètre des secteurs urbains à enjeux sécurisables est établie à partir des principaux critères suivants :

1. respect des documents d'urbanisme de la commune (enjeux urbains) et des orientations du SAR (ZPU) ;
2. possibilité de sécurisation (protection des biens et des personnes) ;
3. existence de projets d'aménagement et/ou d'une densité de constructions existantes suffisante.

La définition précise des secteurs urbains à enjeux sécurisables est établie suivant la méthodologie suivante :

1. recoupement cartographique à partir des données d'urbanisme de la commune : croisement des zones U, AU du PLU de la commune ;
2. le périmètre ainsi obtenu est corrigé pour éliminer toutes les zones U+AU non comprises dans le périmètre ZPU du SAR (Novembre 2011), en tenant compte de la différence d'échelle d'élaboration de ces différents périmètres (ZPU au 1/100 000ème et U+AU au 1/5 000ème). Dans ce cadre, le périmètre de la ZPU est considéré comme un « bandeau » de 100 m de large pour tenir compte de son imprécision relative à l'échelle de travail (1/5 000ème). Les secteurs U+AU situés en dehors de ce bandeau sont normalement exclus. Cette méthode a été développée pour le PPR de Saint-Denis approuvé en octobre 2012 et appliquée aux autres PPR multirisques approuvés depuis cette date sur l'île.
Concernant la commune de Saint-Paul, il est constaté que son PLU approuvé le 27 septembre 2012 est plus récent que le SAR de novembre 2011, l'examen de

conformité des deux documents ayant été mené. Par conséquent, les secteurs U+AU de la commune ne sont pas corrigés du périmètre ZPU.

3. le périmètre ainsi obtenu est corrigé pour éliminer toutes les zones non sécurisables dans le cadre d'un projet d'aménagement, sur la base des principaux critères suivants :
 - la capacité technique à protéger la zone considérée doit être garantie ;
 - le coût de la protection doit être proportionné au projet éventuel de la zone considérée : les principaux secteurs tels que les zones en recul de tête de rempart sont exclus.

À partir de ce périmètre obtenu par recoupements cartographiques et par un travail d'expertise, la délimitation précise des secteurs urbains à enjeux sécurisables de la commune prend ensuite en compte les enjeux suivants :

- les projets d'aménagement ;
- la densité de l'urbanisation existante.

Concernant les projets d'aménagement, un travail d'échange avec la commune est effectué afin d'identifier les secteurs à enjeux où des projets d'aménagement sont projetés à court/moyen terme. Tous les projets respectant les critères suivants, situés dans le périmètre préalable des secteurs urbains à enjeux sécurisables sont confirmés au sein du périmètre. Par défaut, les autres projets doivent respecter les critères de densité des zones urbaines pour être confirmés dans le périmètre du secteur urbain à enjeux sécurisables :

- Le périmètre du projet d'aménagement doit être en cohérence avec les orientations du SAR ;
- le projet d'aménagement (ZAC, RHI notamment) doit être défini et la maîtrise d'ouvrage identifiée (privée ou publique) ;
- la procédure d'autorisation de ce projet d'aménagement doit être suffisamment avancée afin de justifier sa réalisation à court ou moyen terme (fiche d'opération justifiant l'avancement du projet) ;
- le projet d'aménagement doit apporter un intérêt collectif ;
- existence d'une alternative foncière permettant la réalisation du projet.

Le périmètre des secteurs urbains à enjeux sécurisables est ensuite précisé et finalisé en éliminant toutes les zones non denses sur la base des critères suivants :

- la densité de constructions existantes doit être suffisante pour garantir une sécurisation de la zone considérée ;
- la distance de la zone considéré par rapport au bâti existant doit être limitée ;
- le niveau de desserte par les réseaux et équipements doit être suffisant.

Annexe 7

Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)

Annexe 2 - Les Etudes techniques

ANNEXE 2 – LES ETUDES TECHNIQUES

Dans certaines zones du PPR, du fait de l'intensité et la fréquence de l'aléa, la constructibilité est conditionnée à la réalisation d'une étude technique préalable destinée à rendre compatible le projet (constructions, installations, ouvrages ou équipements) avec le risque considéré. Cette étude devra déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation du projet (adaptations du projet au site) et préciser que ce projet prend en compte ces conditions au stade de la conception.

Ainsi, le pétitionnaire d'une demande d'autorisation de construire ou d'aménager devra fournir une attestation, établie par l'architecte ou le maître d'œuvre du projet ou par un expert agréé, certifiant la réalisation de cette étude en application de l'article R 431-16 du code de l'urbanisme.

Plusieurs types d'étude doivent être distingués :

Études géotechniques :

Cette étude devra être réalisée par un bureau d'études techniques spécialisé, conformément aux prescriptions de la norme NF P94-500 de novembre 2013.

L'étude devra en particulier répondre aux principaux objectifs suivants :

- préciser la nature et l'intensité des phénomènes à risque de mouvement de terrain (chutes de blocs, éboulements, glissements, fluages, solifluxion, effondrements, coulées de boue) pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet, ainsi que les conséquences qu'ils pourraient provoquer sur le projet ou sur son environnement (bassin de risque) ;
- proposer des principes généraux de construction, ainsi que des solutions techniques de mise en sécurité et d'aménagement, adaptées au projet et à son contexte d'exposition aux risques de mouvement de terrain, tant à long terme qu'en phase de travaux ;
- aborder les problématiques relatives aux fondations, aux terrassements et à la gestion des eaux (usées et pluviales) et définir les mesures appropriées relatives à ces problématiques pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet ;
- proposer les principes pour la mise en œuvre de l'assainissement non collectif quand l'équipement existant et/ou l'aménagement en projet est concerné.

Selon le contexte géomorphologique, les caractéristiques du projet, son ampleur, les moyens techniques à mobiliser in situ, cette étude pourra être de type G1 (étude géotechnique préalable), G2 (étude géotechnique de conception) ou G5 (diagnostic géotechnique) selon la norme NF P94-500 de novembre 2013. Le contenu de ces missions est détaillé dans les tableaux ci-dessous.

On entend par bassin de risque :

- la parcelle sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;
- les terrains en amont ou latéraux où :

- tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet ;
- le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
- les terrains en aval ou latéraux où :
 - tout mouvement de terrain pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet par régression dans la pente ;
 - le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
 - des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient se propager.

Concernant plus spécifiquement les secteurs exposés aux chutes de blocs, il conviendra, à l'échelle du bassin de risques considéré, de procéder à une analyse :

- des zones de départ de blocs potentielles : barres rocheuses, parois, blocs dégagés dans un versant meuble, blocs instables sur une pente et pouvant être remobilisés, etc.. Il s'agira d'identifier leur localisation (altitude de départ, etc.), la dimension des blocs, le niveau de fracturation, la géométrie des discontinuités, le niveau d'altération, la géométrie des parois et versants, l'imminence des instabilités, les possibles facteurs aggravants tels que les venues d'eau, le sous-cavage ou encore la présence d'arbres aux réseaux racinaires parcourant les fractures du massif ;
- des zones de propagation des blocs et des zones potentielles d'arrêt. Il s'agira préciser la surface topographique sur laquelle se développent les trajectoires possibles, ainsi que de l'ensemble des paramètres susceptibles d'influer sur la propagation de la masse en mouvement (rebonds possibles, fragmentation des blocs, dispersion aléatoire des débris, présence de végétation absorbant une partie de l'énergie, etc.) et de quantifier les probabilités d'atteintes à l'aval en fonction de ces différents paramètres.

Le prestataire interprétera les résultats obtenus dans son analyse afin de définir les mesures de sécurisation adaptées au projet et qui permettront de ne pas aggraver les risques sur le long terme.

Le prestataire ayant une obligation de résultat, il est de sa responsabilité d'apprécier la nécessité de recourir à un logiciel de modélisation (simulations trajectographiques de blocs) afin de déterminer la nature et la localisation des ouvrages de protection, ainsi que leur dimensionnement.

Concernant plus spécifiquement les secteurs exposés aux glissements de terrain, le prestataire chargé de l'étude géotechnique procèdera, à l'échelle du bassin de risques considéré, à une analyse :

- du contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique. Il s'agira de définir la nature et les caractéristiques des formations en place afin notamment d'identifier les formations sensibles à ces problématiques. Dans ce cadre, le prestataire définira la nécessité éventuelle, et le cas échéant le contenu (nombre, nature, localisation, etc.), de sondages et/ou d'essais in situ pour caractériser au mieux les formations en place ;
- des facteurs aggravants pouvant favoriser le déclenchement de ces aléas : par exemple la présence de surcharge amont (route, bâtiment, remblai), de rejets d'eau mal maîtrisés, d'assainissement non collectif pouvant induire une saturation permanente des terrains, de terrassements non contrôlés, etc. ;
- D'évaluer la stabilité des terrains à partir des hypothèses et informations recueillies au préalable, avec et sans le projet afin notamment de définir les mesures de sécurisation

adaptées pour garantir la stabilité du projet et pour éviter d'aggraver la situation vis à vis des risques naturels.

Le prestataire ayant une obligation de résultat, il est de sa responsabilité d'apprécier la nécessité de recourir à un logiciel de modélisation (stabilité de pentes notamment) afin de déterminer la nature et la localisation des ouvrages de protection, ainsi que leur dimensionnement.

Études hydrauliques :

Cette étude devra être réalisée par un bureau d'études techniques spécialisé en hydrologie/hydraulique. L'étude technique s'attachera à préciser les risques d'inondation, les niveaux d'exposition à l'aléa inondation (si modélisation hydraulique le niveau de la cote de référence sera précisée) et à définir les dispositions permettant d'assurer la sécurité du projet et de ses occupants vis-à-vis des phénomènes identifiés.

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Etude géotechnique préalable (G1)		Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, esquisse, APS	Etude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Etude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Etude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Annexe 8

Extrait du PPR de Saint Paul (La Réunion), en phase de consultation officielle (juin 2015)

Dispositions applicables en zone R1B1

8. DISPOSITIONS APPLICABLES EN ZONE R1B1

Le zonage R1B1 concerne des zones situées en centre urbain exposées à un aléa fort inondation ; un centre-urbain se caractérise notamment par son histoire, une occupation du sol de fait importante, une continuité bâtie et la mixité des usages entre logements, commerces et services. Les dispositions de la circulaire interministérielle Equipement/Environnement du 24/04/1996 visent à concilier la prévention des risques et la nécessité d'assurer la continuité de vie et le renouvellement urbain, tout en permettant de réduire la vulnérabilité des personnes exposées. Ces zones concernent une partie du centre-ville de Saint-Paul, inondable par les débordements du canal Bernica et de l'Etang de Saint-Paul ainsi qu'une partie du centre-ville de Saint-Gilles-les-Bains, inondable par les crues de la ravine Saint-Gilles.

Les écoulements en crue centennale respectent sur ces zones la condition suivante :

- Hauteurs d'eau comprises entre 1 m et 2 m.

Le centre-ville de St Paul constitue une dépression topographique naturelle qui se remplit par débordement selon un processus progressif qui permet la mise en œuvre de mesures de sauvegarde de la population. Les vitesses d'écoulement des eaux à l'intérieur de ce périmètre sont faibles et resteront compatibles avec le déploiement de moyens de secours et d'évacuation. Le **secteur du centre-ville de Saint-Paul** bien qu'inconstructible, peut néanmoins accepter une densification de l'habitat en élévation à emprise au sol constante, dans le respect des dispositions de la circulaire du 24/04/1996, sous réserve que leur incidence hydraulique soit négligeable et que les surfaces au niveau du sol n'accueillent aucun local à sommeil ou établissement sensible. La faculté offerte par le règlement du PPR de densifier le secteur du centre-ville repose sur les mesures de sauvegarde et de prévention prescrites par le règlement.

Compte tenu du fonctionnement hydraulique et de son incidence sur le déploiement des dispositifs de secours en période de crise et des conditions d'évacuation de la population, le **secteur du centre-ville de Saint-Gilles-les-Bains** reste inconstructible mais doit permettre une politique raisonnée de réaménagement urbain et de requalification du bâti existant visant à réduire la vulnérabilité par réduction de la population la plus fortement exposée, sous réserve de ne pas aggraver significativement les conséquences des inondations.

Les zones R1B1, même si elles sont concernées de manière marginale par l'aléa mouvement de terrain, ne font pas l'objet de règles instituées à cette aune.

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

Cote de référence : désigne la cote de submersion associée à l'événement hydrologique ayant servi à la détermination de l'aléa inondation (crue de référence simulée sur le centre-ville de Saint Paul, crue centennale pour le reste de la commune). Ces cotes ont été précisées par modélisation hydraulique et sont identifiées sur les cartes d'aléas inondation afférentes.

Comme indiqué au chapitre 3.4, cinq annexes sont adossées au présent règlement pour mieux appréhender les règles définies ci-dessous

Sauf mention contraire, les dispositions qui suivent sont communes aux zones R1B1 du centre-ville de Saint-Paul et du centre-ville de Saint-Gilles.

8.1. SONT INTERDITS

De façon générale, sont interdits toute construction et aménagement restreignant significativement le libre écoulement des eaux et les champs d'inondation (remblais, clôtures pleines type murs, murets, etc.), ainsi que les travaux conduisant à augmenter le nombre de logements ou de personnes exposées aux risques, sont interdits.

Plus précisément, sont interdits tous travaux et aménagements, constructions et ouvrages, installations et activités, de quelque nature qu'ils soient sauf ceux expressément autorisés au paragraphe 8.2.

Et notamment :

Travaux et aménagements :

- les talus et soutènements autres que ceux autorisés au paragraphe 8.2 dans les travaux visant à réduire les conséquences des risques ;
- les remblais, déblais et dépôts de tout volume.

Constructions et ouvrages :

- la création de nouvelles surfaces destinées à l'habitation et l'hébergement situées au rez-de-chaussée ;
- les extensions au sol d'habitations existantes à la date d'approbation du PPR ;
- la création ou l'extension d'établissements sensibles, en particulier les établissements recevant du public (ERP) ;
- le changement de destination des constructions existantes allant dans le sens d'une augmentation de la vulnérabilité ;
- les modifications sans changement de destination, sous la côte de référence, hors activités et commerces ;
- la création ou l'aménagement de sous-sol ;
- l'aménagement ou la création de stationnements souterrains et de stationnements collectifs au niveau du terrain naturel ;
- les piscines.

En plus, dans les zones R1B1 du centre-ville de Saint-Paul

- les extensions au sol de locaux d'activité et de commerces existants à la date d'approbation du PPR.

Activités de loisirs :

- le stationnement de caravanes habitées, ainsi que le stationnement nocturne de camping-cars ;
- la création ou l'extension de terrain de camping ;
- la création ou l'extension d'habitations légères de loisir.

Clôtures et plantations :

- les clôtures pleines (murets, murs, etc.).

Équipements et infrastructures publiques :

- les stations d'épuration.

Stockage de produits et de matériaux :

- le stockage de matériaux ou de produits flottants (pneus, bois et meubles, automobiles et produits de récupérations, etc.).

8.2. SONT AUTORISES

Sous réserve qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveau risque et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées et la vulnérabilité des biens et activités existants.

Travaux et aménagements :

- les travaux, ouvrages et aménagements destinés à réduire les conséquences des différents risques recensés (travaux de protections de berges, murs de soutènements, etc.) afin notamment de protéger des zones déjà construites ou aménagées, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les aménagements liés à la desserte collective de parcelles, à condition de démontrer la non-aggravation des risques naturels, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers.

Constructions et ouvrages :

- les travaux d'entretien, de réparation et de gestion courante des constructions et des installations implantées antérieurement à la publication du présent plan (notamment les aménagements intérieurs, les traitements et ravalements de façade, les modifications d'aspect extérieur, les réfections et réparations de toitures). Les travaux autorisés devront se faire à emprise au sol au plus égale à l'emprise initiale ;
- les travaux strictement nécessaires à la mise en sécurité des constructions recevant du public et ceux destinés à améliorer l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, si aucune solution de délocalisation n'existe (la justification devra être apportée au moment de la demande d'autorisation) ;
- les changements de destination allant dans le sens d'une diminution de la vulnérabilité des biens, sans création de logements supplémentaires, sous condition de requalification du niveau situé sous la cote de référence dans une optique de réduction de la vulnérabilité des personnes ;
- l'aménagement de stationnements liés à un logement existant au niveau du terrain naturel, sauf ceux destinés à un usage résidentiel collectif ;
- l'aménagement de stationnements au-dessus de la cote de référence sous réserve d'une étude hydraulique démontrant l'absence d'incidence négative sur l'aléa inondation ;
- les constructions nouvelles incluant les annexes et les garages, les réparations, les extensions, les reconstructions ou requalifications, sous réserve de respecter les règles édictées ci-après, qui diffèrent entre les zones du centre-ville de Saint-Paul et du centre-ville de Saint-Gilles les Bains.

En plus, spécifiquement dans les zones R1B1 du centre-ville de Saint-Paul

- l'emprise au sol de tout projet ne devra pas être supérieure à l'emprise initiale : seuls les projets venant en remplacement de constructions existantes peuvent être autorisés ;
- les constructions nouvelles devront respecter les règles suivantes :
 - Elles ne doivent pas être destinées à des établissements sensibles, en particulier les Etablissements Recevant du Public (ERP) ;

- Elles viennent en remplacement de constructions existantes ;
- Elles ne doivent pas comporter des locaux destinés au logement ou à l'hébergement ou de locaux à sommeil en dessous de la cote de référence.
- le calcul de l'emprise au sol initiale (à la date d'approbation du PPR) se fait sur l'ensemble de l'assise foncière du projet, c'est à dire :
 - pour un projet particulier, estimation de l'emprise au sol du bâti existant sur la parcelle ;
 - pour un projet d'aménagement portant sur plusieurs parcelles formant une même unité foncière, estimation de l'emprise au sol cumulée sur l'ensemble de ces parcelles.
- l'extension par surélévation des bâtiments existants à vocation de logement ou d'hébergement est autorisée, sous condition de requalification du niveau situé sous la cote de référence dans une optique de réduction de la vulnérabilité des personnes ;
- les extensions à l'étage de commerce ou activités ou d'établissements sensible (hors Etablissements Recevant du Public de catégories 1 et 2) sont autorisées sans augmentation de la capacité d'accueil sous la cote de référence ;
- les reconstructions après sinistre en application de l'article L.111-3 du code de l'urbanisme, sauf en cas de sinistre dû à un des aléas naturels objet du PPR, autres que celles d'établissements sensibles, et les démolitions/reconstructions sont autorisées sous les conditions suivantes :
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation de l'emprise au sol et que ce soit sur la même unité foncière ;
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation de la capacité d'accueil ;
 - que la construction ait été régulièrement édifiée ;
 - que le niveau situé sous la cote de référence soit requalifié dans une logique de diminution de la vulnérabilité des personnes (pas d'hébergement, de logement, de locaux à sommeil sous la cote de référence).

En plus, spécifiquement dans les zones R1B1 du centre-ville de Saint-Gilles les Bains

- les projets de reconstruction ou de requalification du bâti devront respecter les règles suivantes :
 - la capacité d'hébergement, examinée au regard de la Surface Habitable, ne doit pas être augmentée ;
 - Les niveaux situés sous la cote de référence ne doivent pas être destinés à des établissements sensibles ou recevant des populations vulnérables, ni à des locaux destinés au logement.
- les constructions nouvelles devront respecter les règles suivantes :
 - Elles ne doivent pas être destinées à des établissements sensibles, en particulier les Etablissements Recevant du Public (ERP) de première et seconde catégorie, ni à des logements ou hébergements ou locaux à sommeil. Les ERP de catégories trois à cinq doivent être de type L, M, N, P, S, T, W, X, PA, CTS, SG, PS, ou GA ;
 - Elles doivent intégrer des zones refuge au-dessus de la cote de référence ;
 - Elles ne pourront être réalisées qu'uniquement dans les « dents creuses » se définissant comme des parcelles présentant une discontinuité dans le bâti existant (cf. annexe 5).

- les extensions au-dessus de la cote de référence à vocation d'hébergement ou de logement sous condition de requalification du niveau situé sous la cote de référence dans une optique de réduction de la vulnérabilité des personnes, et sans augmenter la capacité d'hébergement, examinée au regard de la Surface Habitable ;
- les extensions au-dessus de la cote de référence de commerce ou activités ou d'ERP de catégories trois à cinq et de type L, M, N, P, S, T, W, X, PA, CTS, SG, PS, ou GA, dans une optique de mise en sécurité et sans augmentation de la capacité d'accueil sous la cote de référence ;
- les extensions au sol de commerce ou activités ou d'ERP de catégories trois à cinq de type L, M, N, P, S, T, W, X, PA, CTS, SG, PS, GA seront possibles :
 - Si elles se situent dans les dents creuses se définissant comme secteurs présentant une discontinuité dans le bâti existant (cf. annexe 5) ;
 - Si une zone refuge existe ou est construite à l'étage.
- les reconstructions après sinistre en application de l'article L.111-3 du code de l'urbanisme, sauf en cas de sinistre dû à un des aléas naturels objet du PPR, autres que celles d'établissements sensibles, et les démolitions/reconstructions sont autorisées sous les conditions suivantes :
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation de l'emprise au sol et que ce soit sur la même unité foncière ;
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation de la capacité d'accueil ;
 - que la construction ait été régulièrement édifiée ;
 - que le niveau situé sous la cote de référence soit requalifié dans une logique de vulnérabilité humaine décroissante (pas d'hébergement, de logement, de locaux à sommeil sous la cote de référence).

Activités de loisirs :

- les aménagements de terrain de plein air, de sport et de loisirs, supportant la submersion et ne constituant pas un obstacle à l'écoulement, sous réserve de la réalisation d'une étude technique préalable visant à adapter le projet à l'aléa considéré et sous réserve également de la mise en place au minimum d'une information à l'attention des futurs utilisateurs sur l'existence de risques naturels et indiquant les mesures de prévention et de sauvegarde à respecter (par exemple : site interdit en cas d'alerte orange cyclonique ou en cas d'alerte « fortes pluies »).

Clôtures et plantations :

- les clôtures réalisées dans les règles de construction et ajourées de façon à assurer une transparence hydraulique.

Équipements et infrastructures publiques :

- les travaux d'infrastructures, réseaux techniques (eau, assainissement, électricité, télécommunication, etc.), locaux techniques et installations nécessaires au fonctionnement des services publics ou des services destinés au public, notamment les travaux de desserte routière ou piétonne, l'implantation de mobilier urbain à condition d'être ancré dans le sol, les travaux de création de transport en commun en site propre, sous réserve que le maître d'ouvrage prenne les dispositions appropriées aux risques et en avertisse le public par une signalisation efficace ;
- l'installation d'unités de production d'énergie renouvelable, sous réserve du respect de la prise en compte des prescriptions d'une étude technique préalable associée à une étude d'impact

exigée réglementairement par le code de l'environnement, dont l'objectif est de minimiser l'impact du projet sur les différents aléas.

8.3. PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX REGLES D'URBANISME

Les **constructions et ouvrages futurs autorisés, ou projets d'aménagement du bâti existant**, devront être réalisés selon les prescriptions suivantes :

- la création de nouvelles ouvertures en dessous de la cote de référence est subordonnée à la réalisation d'une étude préalable permettant d'en déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation. Conformément à l'article **R 431-16 du code de l'urbanisme**, une attestation établie par l'architecte du projet ou par un expert certifiant la réalisation de cette étude et constatant que le projet prend en compte ces conditions au stade de la conception sera jointe au dossier de demande de permis de construire ;
- tout projet doit faire l'objet d'une étude hydraulique démontrant l'absence d'incidence notable du projet sur les écoulements par rapport à l'état initial de la ou des parcelles. Conformément à l'article **R 431-16 du code de l'urbanisme**, une attestation établie par l'architecte du projet ou par un expert certifiant la réalisation de cette étude et constatant que le projet prend en compte ces conditions au stade de la conception sera jointe au dossier de demande de permis de construire.

8.4. PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX REGLES DE CONSTRUCTION

Tout **aménagement ou toute réparation sur les constructions existantes** devront être réalisés selon les prescriptions suivantes :

- les menuiseries, portes, fenêtres ainsi que tous les vantaux situés au-dessous du rez-de-chaussée devront être constitués soit avec des matériaux insensibles à l'eau, soit avec des matériaux convenablement traités ;
- en cas de requalification du bâti en zone R1B1 du centre-ville de Saint-Gilles les Bains, les constructions comportant des pièces de nuit en rez-de-chaussée devront aménager un niveau supérieur pour les y transférer ;
- les revêtements des sols et des murs, les protections thermiques et/ou phoniques situés au rez-de-chaussée devront être constitués avec des matériaux insensibles à l'eau ;
- les réseaux techniques (eau, gaz, électricité) situés au rez-de-chaussée (sauf alimentation étanche de pompe submersible) devront être dotés de dispositifs de mise hors circuit automatique ou rétablis au-dessus de la cote de référence. Un dispositif manuel est également admis en cas d'occupation permanente des locaux. La mise hors circuit devra être effective en cas de montée des eaux ;
- les équipements électriques, électroniques, micromécaniques et les appareils électroménagers devront être placés, au-dessus du rez-de-chaussée (ou mis en place dans des locaux étanches et résistants) ;
- les citernes, cuves et fosses devront être enterrées ou lestées ou surélevées pour résister à la crue de référence. L'orifice de remplissage devra être situé au-dessus du rez-de-chaussée. Les événements devront être situés au moins à deux mètres au-dessus du terrain naturel ;

- des matériaux insensibles à l'eau ou traités avec des produits hydrofuges ou anticorrosifs seront utilisés pour toute partie de construction située au rez-de-chaussée.

Les constructions et activités futures devront être réalisées selon les prescriptions suivantes :

- en zone R1B1 du centre-ville de Saint-Paul, toutes les constructions et installations collectives devront être accessibles depuis la rue par l'intermédiaire d'une coursive qui servira de zone refuge ;
- les parties de constructions ou installations situées au rez-de-chaussée doivent être réalisées avec des matériaux insensibles à l'eau ;
- les planchers et structures et les cuvelages éventuels, doivent être dimensionnés pour résister à la pression hydrostatique ;
- les menuiseries, portes, fenêtres ainsi que tous les vantaux situés au rez-de-chaussée devront être constitués soit avec des matériaux insensibles à l'eau, soit avec des matériaux convenablement traités ;
- les revêtements des sols et des murs, les protections thermiques et/ou phoniques situés au rez-de-chaussée devront être constitués avec des matériaux insensibles à l'eau ;
- les citernes, cuves et fosses devront être enterrées ou lestées ou surélevées pour résister à la crue de référence. L'orifice de remplissage devra être situé deux mètres au-dessus du terrain naturel ;
- les réseaux de toute nature situés au rez-de-chaussée devront être étanches ou déconnectables et les réseaux de chaleur devront être équipés d'une protection thermique hydrophobe ;
- les réseaux électriques situés au rez-de-chaussée (sauf alimentation étanche de pompe submersible) doivent être dotés de dispositifs de mise hors circuit ;
- toute installation fixe sensible telles qu'appareillages électriques et électroniques, moteurs, compresseurs, machineries d'ascenseur, appareils de production de chaleur ou d'énergie devront être implantés au-dessus du rez-de-chaussée (ou mis en place dans des locaux étanches et résistants).



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - **www.brgm.fr**

Direction régionale de Martinique

4 lot. Miramar

Route Pointe des Nègres

97200 – Fort de France

Tél. : 05 96 71 17 70