

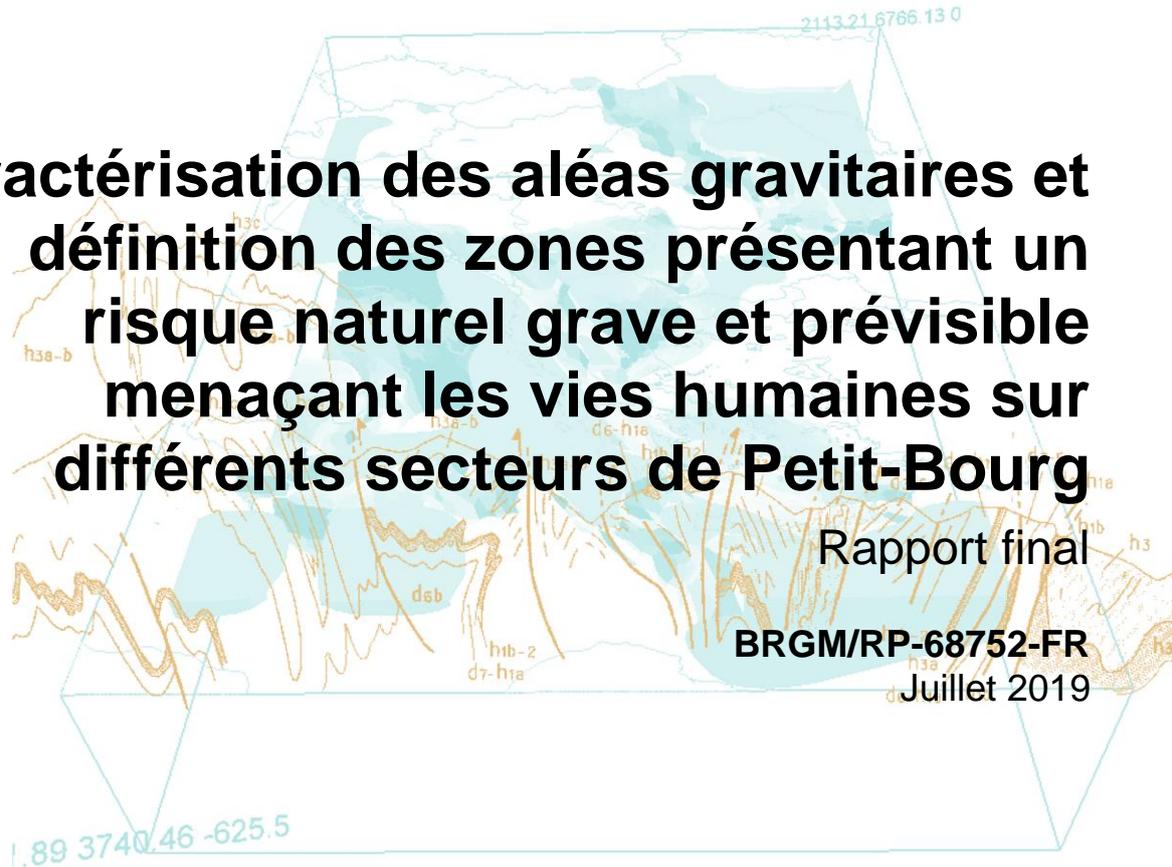


Caractérisation des aléas gravitaires et définition des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur différents secteurs de Petit-Bourg

Rapport final

BRGM/RP-68752-FR

Juillet 2019



Caractérisation des aléas gravitaires et définition des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur différents secteurs de Petit- Bourg

Rapport final

BRGM/RP-68752-FR

Juillet 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM

Y. Legendre, A. Nachbaur, E. Grellier et L. Guillen

Vérificateur :

Nom : B. Colas

Fonction : Ingénieur Géotechnicien

Date : 14/10/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : Y. De La Torre

Fonction : Directeur BRGM
Guadeloupe

Date : 23/10/19

Signature :



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

Mots-clés : Analyse risque, Mouvement terrain, Risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, Guadeloupe, Petit-Bourg, Bovis, Bel-Air, Pointe-à-Bacchus

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

Legendre Y., Nachbaur A., Grellier E. et Guillen L. (2019) – Caractérisation des aléas gravitaires et définition des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur différents secteurs de Petit-Bourg. Rapport final. BRGM/RP-68752-FR, 82 p., 43 ill., 6 tabl., 3 ann.

Synthèse

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a lancé, en 2012, auprès des collectivités locales intéressées, un appel à projet « relocalisation spatiale des activités et des biens fortement exposés dans les territoires à risques littoraux ».

La commune de Petit-Bourg avec la Communauté d'Agglomération du Nord Basse-Terre (CANBT) et, en collaboration avec l'Agence des 50 pas géométriques de la Guadeloupe (AG50), est la seule collectivité d'Outre-mer à avoir été retenue avec un projet concernant les quartiers de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

Le BRGM a été sollicité par la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Guadeloupe (DEAL Guadeloupe) pour :

1. Caractériser les zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines au sens des lois Letchimy (2011) et d'actualisation du droit de l'Outre-mer (ADOM) (2015) pour l'aléa mouvement de terrain et recul du trait de côte sur les secteurs de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus ;
2. Identifier et évaluer des stratégies de gestion des risques sur le long terme sur le secteur Pointe-à-Bacchus.

Notre analyse de ces différents sites a permis de mettre en évidence que, de part la nature géologique des formations identifiées, l'anthropisation de la tête de falaise et de l'absence (ou le dysfonctionnement) de réseau de récupération et d'évacuation des eaux de ruissellement, l'action de la mer et donc l'aléa recul du trait de cote ne représente finalement qu'un facteur aggravant secondaire dans l'instabilité des falaises de Bovis et de Bel-Air. Une caractérisation de l'aléa recul du trait de côte a été menée sur Pointe-à-Bacchus, mais ne concerne pas les zones présentant des enjeux.

La caractérisation des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines au sens des lois Letchimy (2011) et d'actualisation du droit de l'Outre-mer (ADOM) (2015) pour les quartiers de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus ne repose donc que sur une analyse de l'aléa mouvement de terrain. C'est l'objet de ce rapport.

Un second rapport (Herivaux et Legendre, 2019), se focalise davantage sur les implications économiques, avec une évaluation sur le long-terme des différentes trajectoires d'adaptation pour le site de Pointe-à-Bacchus face aux risques naturels.

Deux typologies de mouvements de terrain sont redoutées pour les quartiers de Bovis et de Bel-Air :

- Des glissements d'ampleur limitée (quelques m³ à quelques dizaines de m³) se produisant dans des formations de pente peu consolidées et particulièrement sensibles à l'érosion côtière ;
- Des glissements d'ampleur modérée à élevée (plusieurs centaines de m³ à plusieurs milliers de m³) au sein de la falaise littorale affectant de façon brutale les formations altérées (allotérite et isaltérite) pouvant atteindre plus de 20 m d'épaisseur.

Trois mécanismes d'instabilité gravitaire sont redoutés sur le versant de Pointe-à-Bacchus :

- Des glissements superficiels d'ampleur limitée (quelques m³ à quelques dizaines de m³) au sein des formations argileuses (allotérite), initiés en pied de versant et qui progressent vers l'amont par glissements emboîtés ;
- Des glissements à cinétique rapide d'ampleur modérée (de la centaine de m³ à plusieurs centaines de m³) au niveau de l'escarpement principal, en amont du quartier de Pointe-à-Bacchus et dont la hauteur varie entre 10 et 25 m (allotérite);
- Un « grand » glissement d'ampleur élevée à très élevée (plusieurs dizaines de milliers de m³ et quelques centaines milliers de de m³) de l'ensemble du versant de Pointe-à-Bacchus (allotérite et isaltérite).

La caractérisation des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines face à l'aléa mouvement de terrain repose sur l'application de la méthodologie développée par le BRGM et décrite par Nachbaur et al. (2015).

Dans un premier temps, nous avons défini la zone présentant un risque naturel grave et prévisible (zone de danger) pour chacun des sites pilotes. Nous avons retenu les typologies de mouvements de terrain présentant un impact important : les glissements au sein de la falaise littorale sur les sites de Bel-Air et de Bovis et les glissements de l'escarpement principal sur le site de Pointe-à-Bacchus.

Dans un second temps, nous avons appliqué la méthode décrite par Nachbaur et al. (2015). L'intensité, la cinétique et l'occurrence de ces phénomènes ainsi que l'absence de mesures de réduction de l'aléa en place, amènent à caractériser l'ensemble des habitations situées dans ces zones de danger (ou dans ces zones présentant un risque naturel grave et prévisible) vis-à-vis des mouvements de terrain comme une menace pour les vies humaines :

- Sur le site d'étude de Bovis, 43 bâtiments présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 10 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 7 ne sont que partiellement exposés.
- Sur le site d'étude de Bel-Air, 34 bâtis présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 5 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 9 ne sont que partiellement exposés.
- Sur le site d'étude de Pointe-à-Bacchus, 14 bâtis présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines dont un n'est que partiellement exposé.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte.....	10
2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	10
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	11
2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	20
2.4. SYNTHÈSE DES ÉTUDES GEOTECHNIQUES	23
3. Mouvements de terrain sur la commune de Petit-Bourg	26
3.1. HISTORIQUE DES ÉTUDES DE RISQUES	26
3.2. CARACTÉRISATION DE L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR BOVIS ET BEL-AIR	30
3.3. CARACTÉRISATION DE L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR POINTE-A-BACCHUS	35
3.4. SYNTHÈSE DES TYPOLOGIES DES MOUVEMENTS DE TERRAIN REDOUTES SUR LES SITES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS.....	43
4. Définition des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines.....	44
4.1. RAPPEL SUR LE CONTEXTE LEGISLATIF.....	44
4.2. DÉFINITION THÉORIQUE D'UN RISQUE NATUREL GRAVE ET PRÉVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES (NACHBAUR ET AL., 2015).....	45
4.3. CARACTÉRISATION DU RISQUE DE MOUVEMENT DE TERRAIN GRAVE ET PRÉVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES.....	47
5. Application aux sites d'études de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus	52
5.1. CARACTÉRISATION DES HABITATIONS SUR LES SITES D'ÉTUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS	52
5.2. REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DU RISQUE MOUVEMENT DE TERRAIN GRAVE ET PRÉVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES SUR LES SITES D'ÉTUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS	52
5.3. CARACTÉRISATION DU RISQUE NATUREL GRAVE ET PRÉVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES SUR LES SITES D'ÉTUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS.....	55

6. Conclusion.....	60
7. Bibliographie	62

Liste des figures

Illustration 1. Localisation des sites d'études sur le littoral de la commune de Petit-Bourg (SCAN 25 2015 et BD TOPO 2017 – © IGN).	10
Illustration 2. Localisation des secteurs d'études et des sondages issus de la Banque de données du Sous-Sol dans un rayon de 2 km.....	12
Illustration 3. Localisation et nature des affleurements identifiés au cours des visites de terrain.....	13
Illustration 4. Conglomérat observé à plusieurs endroits à Bovis (à gauche) et à de rares endroits à Bel-Air (à droite).....	14
Illustration 5. Isaltérites conglomératiques présentant différents degrés d'altération observés sur des affleurements dans la falaise littorale à Bovis (à gauche) et à Bel-Air (au centre et à droite).....	15
Illustration 6. Allotérite dans la partie supérieure de la falaise observée sur tout le littoral de Bovis (en bas à droite) et de Bel-Air (à gauche et en haut à droite). En bas à droite : unité d'argile bariolée avec fantômes de blocs/minéraux (Bovis).	16
Illustration 7. Colluvions de pente, en pied de falaise sur les sites de Bovis et de Bel-Air et associées au démantèlement des isaltérites et allotérites constituant les falaises littorales. ...	17
Illustration 8. Affleurements de coulées pyroclastiques de cendres et de ponces en pied de versant sous forme d'isaltérites. Les photographies de droite montrent les quelques structures (lapillis vésiculés, stratifications, ...) encore visibles – Pointe-à-Bacchus.	17
Illustration 9. Indices de glissements et d'érosion affectant les allotérites 2 (de type argile rouge) à Pointe-à-Bacchus.....	18
Illustration 10. Evolution du degré d'altération de la formation conglomératique constituant les falaises de Bovis et de Bel-Air depuis la base (conglomérat) jusqu'au sommet (allotérite).	19
Illustration 11. Représentation schématique des formations géologiques constituant les falaises littorales de Bovis et Bel-Air (Litto 3D © IGN-SHOM 2013).....	20
Illustration 12. Cartographie des pentes sur les sites de Bovis (à gauche) et de Bel-Air (à droite) extraites des données Litto3D® (© IGN et SHOM 2013) et de la tête de falaise à partir des données IGN et validées sur le terrain	21
Illustration 13. Cartographie des pentes extraites des données Litto3D (© IGN et SHOM 2013) permettant d'identifier les escarpements emboîtés dans le quartier de Pointe-à-Bacchus.	22
Illustration 14. Quartier Pointe-à-Bacchus - Cicatrice d'arrachement en tête du versant.	23
Illustration 15. Localisation des études géotechniques consultées.	25
Illustration 16. Carte des phénomènes de mouvement de terrain recensés sur la commune de Petit-Bourg (IMSRN, 2011).	26
Illustration 17. Extrait du plan de zonage du premier PPRN de la commune de Petit-Bourg (1998) basé sur la cartographie de l'atlas communal des risques de Petit Bourg (BRGM, 1993).	27
Illustration 18. Carte de l'aléa mouvement de terrain sur Bovis (ANTEA, 2003).	28
Illustration 19. Extrait de la carte de l'aléa mouvement de terrain sur Pointe-à-Bacchus (ANTEA, 2005).	29

Illustration 20. Extrait de la carte de l'aléa mouvement de terrain au 1/20 000 sur Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus (IMSRN, 2011).	30
Illustration 21. Escarpements verticaux en pied de pente dans formations colluvionnaires associés à des glissements d'ampleur limitée – Bovis.	31
Illustration 22. Evidence de glissement de la partie supérieure de la falaise ayant entraîné un recul de la tête de falaise entre 8 et 10 m – Quartier Bovis.	32
Illustration 23. Recul de la tête de falaise interprété d'après l'analyse d'orthophotographies (© IGN) entre 1989 et 2017 ainsi que la disparition de certains bâtis (BD ORTHO 2017 – © IGN).	33
Illustration 24. Niche d'arrachement en tête de falaise (à gauche) ayant provoqué le recul de la tête de falaise (à droite) – Quartier Bel-Air.	33
Illustration 25. Exemple de maison menacée par le glissement de la partie supérieure de la falaise (à gauche) et de maison endommagée et abandonnée (à droite) - Quartier Bel-Air.	34
Illustration 26. Représentation schématique des différents mouvements de terrain identifiés au niveau de la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air.....	34
Illustration 27. Profils étudiés sur le site de Pointe-à-Bacchus.	36
Illustration 28. Coefficients de sécurité concernant l'escarpement amont : coefficient de 1,16 à gauche pour l'hypothèse 4 et de 0,98 à droite, pour l'hypothèse 5.....	39
Illustration 29. Indices de glissements superficiels au niveau de la mer, au pied du versant.	39
Illustration 30. Schéma d'une rupture du talus amont d'ampleur modérée, d'un volume de 100 à 500 m ³	40
Illustration 31. Evidences de glissements de terrain d'ampleur modérée au niveau de l'escarpement sub-vertical amont du glissement de grande ampleur affectant le quartier de Pointe-à-Bacchus.	41
Illustration 32. Loupe de glissement en aval de la route (à gauche) et glissement superficiel dans le versant (à droite) – Quartier Pointe-à-Bacchus.	41
Illustration 33. Schéma d'un glissement de versant d'ampleur élevée à très élevée, d'un volume de 100 000 à 200 000 m ³	42
Illustration 34. Représentation schématique des différents mouvements de terrain identifiés à Pointe-à-Bacchus le long d'un profil extrait des données Litto 3D (© IGN-SHOM 2013).	42
Illustration 35. Schéma explicatif de la notion de gravité (source : MEDDAD).	46
Illustration 36. Logigramme permettant d'identifier les conditions nécessaire à la caractérisation d'un risque de mouvement de terrain grave et prévisible menaçant la vie humaine.....	46
Illustration 37. Menaces graves pour la vie humaine en cas de glissement de terrain : impacts redoutés	49
Illustration 38 : Relation empirique entre le volume de la masse glissée et l'angle de la ligne d'énergie ($\beta = \text{ArcTan}(H/L)$) : application aux coulées de débris martiniquaises.	51
Illustration 39. Caractérisation d'un glissement récent (2017) sur toute la hauteur de la falaise (10 m) entraînant un recul de près de 8 m de la tête de falaise – Bovis.	51
Illustration 40. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible sur le site de Bovis en fonction de l'altitude de la tête de falaise et de l'épaisseur des formations mobilisables.	53
Illustration 41. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible sur le site de Bel-Air en fonction de l'altitude de la tête de falaise et de l'épaisseur des formations mobilisables.	54

Illustration 42. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible sur le site de Pointe-à-Bacchus en fonction de l'altitude de la tête de falaise et de l'épaisseur des formations mobilisables.	55
Illustration 43. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Bel-Air.	57
Illustration 44. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Bovis.	58
Illustration 45. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Pointe-à-Bacchus.	59

Liste des Tables

Table 1. Synthèse des études géotechniques disponibles dans le secteur.	24
Table 2. Tableau synthétique des différentes études de risques sur Petit-Bourg et notamment le secteur de Pointe-à-Bacchus et de Bovis.	27
Table 3. Les six hypothèses prises en compte concernant les caractéristiques mécaniques.	36
Table 4. Coefficients de sécurité obtenus sur le profil C pour différents scénarios de paramètres de profondeur du substratum en condition hydrogéologique basse.	37
Table 5. Coefficients de sécurité obtenus sur le profil C avant rupture historique pour différents scénarios de paramètres mécaniques pour une profondeur du substratum de 30 m en condition hydrogéologique basse.	37
Table 6. Coefficient de sécurité sur le profil C actuel pour différents jeux de caractéristiques mécaniques en condition hydrogéologique basse.	38
Table 7. Synthèse des configurations possibles sur le littoral de la commune de Petit-Bourg.	43

Liste des annexes

Annexe 1 : Résultats des calculs de stabilité sur le versant reconstitué avant glissement	63
Annexe 2 : Résultats des calculs de stabilité sur la pente actuelle pour une profondeur de toit d'une trentaine de mètres	69
Annexe 3: Caractérisation de l'aléa recul du trait de côte sur Pointe-à-Bacchus	73

1. Introduction

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a lancé, en 2012, auprès des collectivités locales intéressées, un appel à projet « relocalisation spatiale des activités et des biens fortement exposés dans les territoires à risques littoraux ».

La commune de Petit-Bourg avec la Communauté d'Agglomération du Nord Basse-Terre (CANBT) et, en collaboration avec l'Agence des 50 pas géométrique de la Guadeloupe (AG50), est la seule collectivité d'Outre-mer à avoir été retenue avec un projet concernant les quartiers de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

Malgré différentes études et investigations mises en œuvre par la CANBT, la commune de Petit-Bourg et l'AG50, au cours de ce projet, il est apparu lors du comité de pilotage de décembre 2014 que de nombreuses incertitudes demeurent encore en lien avec les aléas « mouvements de terrain » et « érosion littorale » :

- sur l'adéquation entre les cartes d'aléa mouvements de terrain disponibles et les décisions à prendre en termes de relocalisation des biens ;
- sur la transposition de ces cartes d'aléa en termes de position du trait de côte à différentes échéances ;
- sur l'apport d'éventuels d'ouvrages de protection des enjeux ou de réduction des aléas ;
- sur l'applicabilité de la loi Letchimy concernant la notion de menace grave pour les vies humaines ;
- sur les décisions à prendre pour les constructions situées à cheval sur les zones de risque fort ;
- sur le traitement à réserver aux constructions en zones d'aléa fort mais qui ne présenteraient pas de risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines.

Le BRGM a été sollicité par la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Guadeloupe (DEAL Guadeloupe) pour apporter des éléments de réponses concrets à ces questions. C'est l'objet de ce premier rapport qui se concentre sur (1) la caractérisation des aléas mouvement de terrain et (2) la caractérisation des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines au sens des lois Letchimy (2011) et de l'actualisation du droit de l'Outre-mer (ADOM) (2015) sur les différents sites d'étude de Petit-Bourg (Bovis, Bel-Air et Pointe-à Bacchus).

Un second rapport¹ (Herivaux et Legendre, 2019 - BRGM/RP-68928-FR), se focalise plus sur les implications économiques, sur le long-terme, des différentes trajectoires d'adaptation pour le site de Pointe-à-Bacchus face aux risques naturels.

¹ **Herivaux C., Legendre Y.** (2019) – Implications économiques de trajectoires d'adaptation aux risques littoraux sur le long terme. Application au secteur Pointe-à-Bacchus, Petit Bourg (Guadeloupe). Rapport final. BRGM/RP-68928-FR.

2. Contexte

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

La commune de Petit-Bourg est située à l'Est de l'île de Basse-Terre, au bord du Petit Cul-de-sac Marin de la Guadeloupe, sur la côte au vent, face à l'océan Atlantique (Illustration 1).

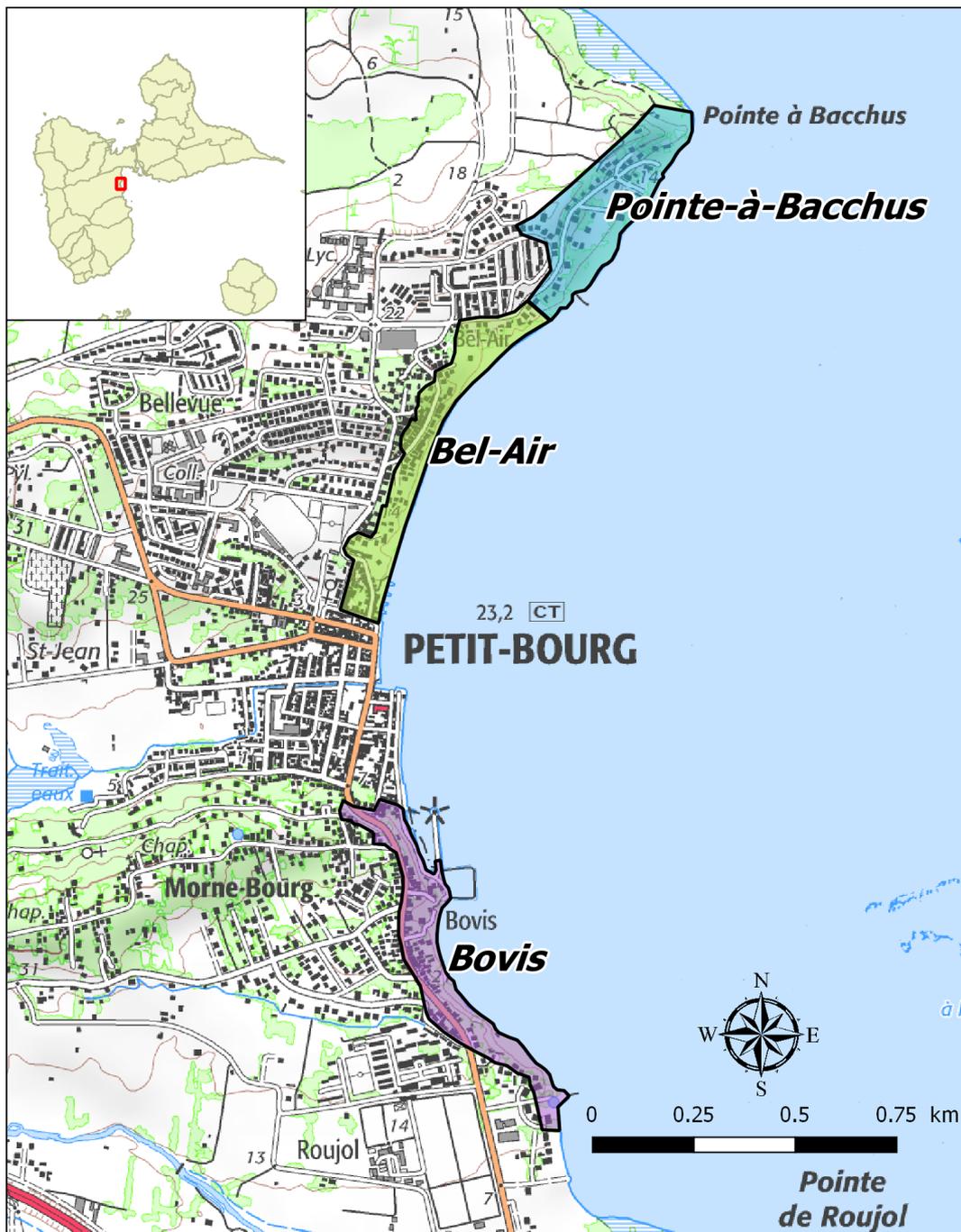


Illustration 1. Localisation des sites d'études sur le littoral de la commune de Petit-Bourg (SCAN 25 2015 et BD TOPO 2017 – © IGN).

Son altitude varie de 0 m, sur le littoral, à 1155 m au sommet du Morne Bel-Air (ou Merwart) dans le massif volcanique de Basse-Terre. L'altitude moyenne est de 578 m.

Le quartier Bel-Air comme le quartier Bovis sont implantés sur un plateau côtier globalement plat, d'altitude moyenne en crête d'environ 15 mètres NGG. Les limites orientales du plateau sont matérialisées par des falaises côtières subverticales dont la hauteur peut atteindre un maximum de 25 m.

Au sud (Bovis), une zone de mangrove résiste en pied de falaise alors qu'au nord (Bel-Air), une plage est présente en pied de falaise. Cette bande sableuse d'une largeur très limitée est en partie submergée à marée haute.

Au niveau de la Pointe-à-Bacchus, située au nord, la topographie côtière se fait globalement plus douce. La bande séparant le trait de côte du talus présente une largeur plus importante (de l'ordre de 150 m) et fait état d'une pente douce (estimée globalement à 15°) (ANTEA, 2005).

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.2.1. Description des formations géologiques d'après la carte géologique au 1/50 000 de la Basse-Terre

D'après la carte géologique de la Guadeloupe au 1/50 000 (de Reynal de Saint-Michel, 1966), l'ensemble de la commune de Petit-Bourg repose sur le complexe volcanique anté-miocène. Ces formations restent toutefois très mal connues.

Les formations composant le complexe volcanique anté-miocène sont principalement des formations volcaniques et détritiques profondément altérées. La coupe type associée au complexe volcanique anté-miocène qui constitue le substratum de la Basse-Terre montre la succession suivante (de Reynal de Saint-Michel, 1966 - Illustration 2) :

- Des argiles de couleur rouge à ocre et dont l'épaisseur peut aller jusqu'à 30 m dans la région autour de Petit-Bourg ;
- Des conglomérats très altérés constitués d'éléments roulés de tailles variées, jointifs et cimentés par des argiles rouges semblables à l'unité argileuse supérieure. Une légère stratification de ces formations détritiques a été décrite dans la région au nord et au sud de Petit-Bourg. Ces formations conglomératiques ont une puissance variable pour atteindre la centaine de mètres par endroits ;
- Des formations volcaniques en place, en général masquées par les formations détritiques, elles n'apparaissent que dans peu d'endroits, sont fortement altérées et présentent une grande variation de typologie : retombées de cendres et de fragments vésiculés, coulées de laves, coulées pyroclastiques, ...

L'interprétation géologique actuelle du complexe volcanique anté-miocène différencie (1) les formations volcano-sédimentaires superficielles (argiles, conglomérats, ...) associées au démantèlement des massifs volcaniques anciens : chaînes Axiale et Septentrionale et pouvant faire jusqu'à plusieurs dizaines voire centaines de mètres d'épaisseur, des formations volcaniques en place et rattachées au volcanisme plio-pléistocène de la Chaîne Axiale et de la Chaîne Septentrionale contraintes entre 2.8 Ma et 1.1 Ma (Samper et al., 2007).

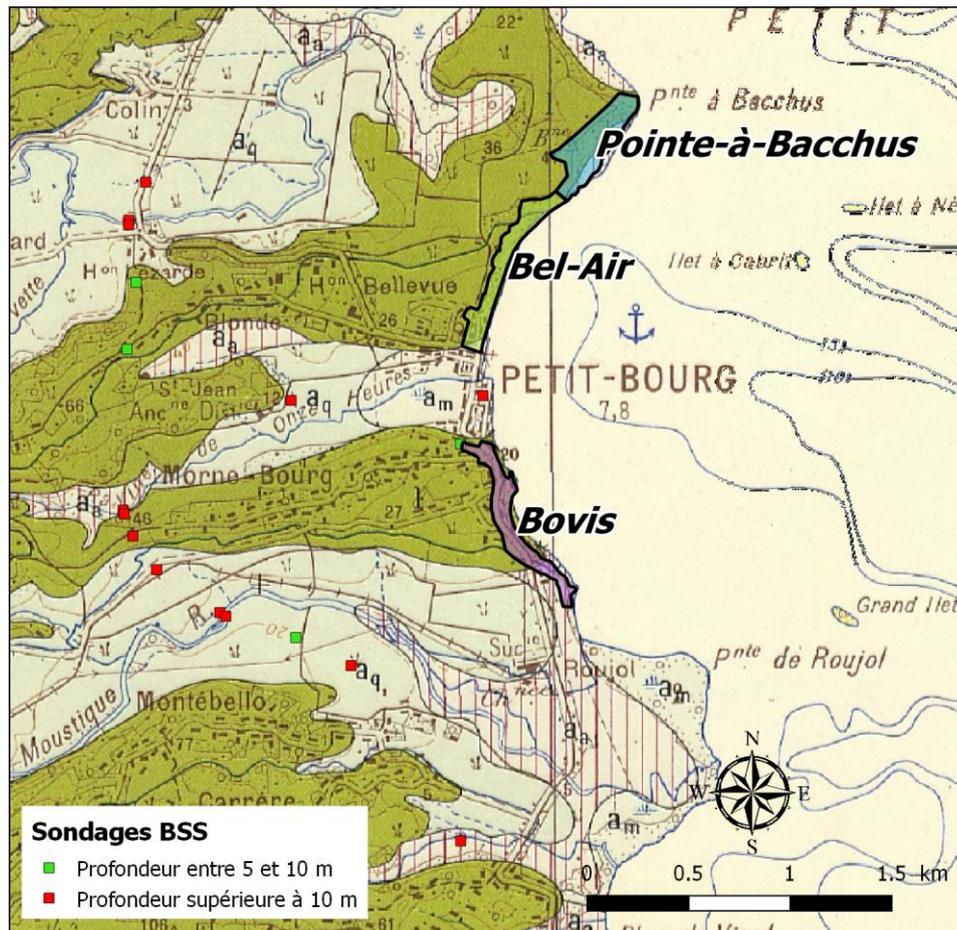


Illustration 2. Localisation des secteurs d'études et des sondages issus de la Banque de données du Sous-Sol dans un rayon de 2 km dont la profondeur dépasse 5 m sur un extrait de la carte géologique de la Guadeloupe au 1/50 000 (de Reynal de Saint-Michel, 1966).

2.2.2. Description des formations géologiques d'après la Base de données du Sous-Sol (BSS)

D'après la Banque de données du Sous-Sol (BSS), aucun sondage n'est recensé sur les secteurs d'étude. En revanche, une trentaine de sondages sont recensés à moins de 2 km de distance. Parmi ceux-là, une vingtaine descendent à une profondeur de 3 m, et ne font apparaître qu'une couche superficielle de terre ou de remblais, puis des argiles. Sur les sondages restants, six concernent des formations alluvionnaires récentes ou ne donnent pas d'informations sur la géologie.

Il reste donc une dizaine de sondages dont la profondeur maximale est entre 5 et 27 m et dont les descriptions géologiques permettent d'identifier :

- (1) en surface et pour tous les sondages, des unités argileuses plastiques bariolées dont l'épaisseur varie de quelques mètres à plus de 20 mètres ;
- (2) des formations détritiques conglomératiques constituées d'éléments volcaniques, le plus souvent observées uniquement sur les forages de plus de 10 m et dont l'épaisseur varie entre 2 et 10 m à des profondeurs comprises entre 10 et 25 m ;

- (3) sur les forages de 20 m ou plus, des formations plus indurées interprétées comme volcaniques et constituées de cendres altérées de couleur grise contenant des lapillis vésiculés.

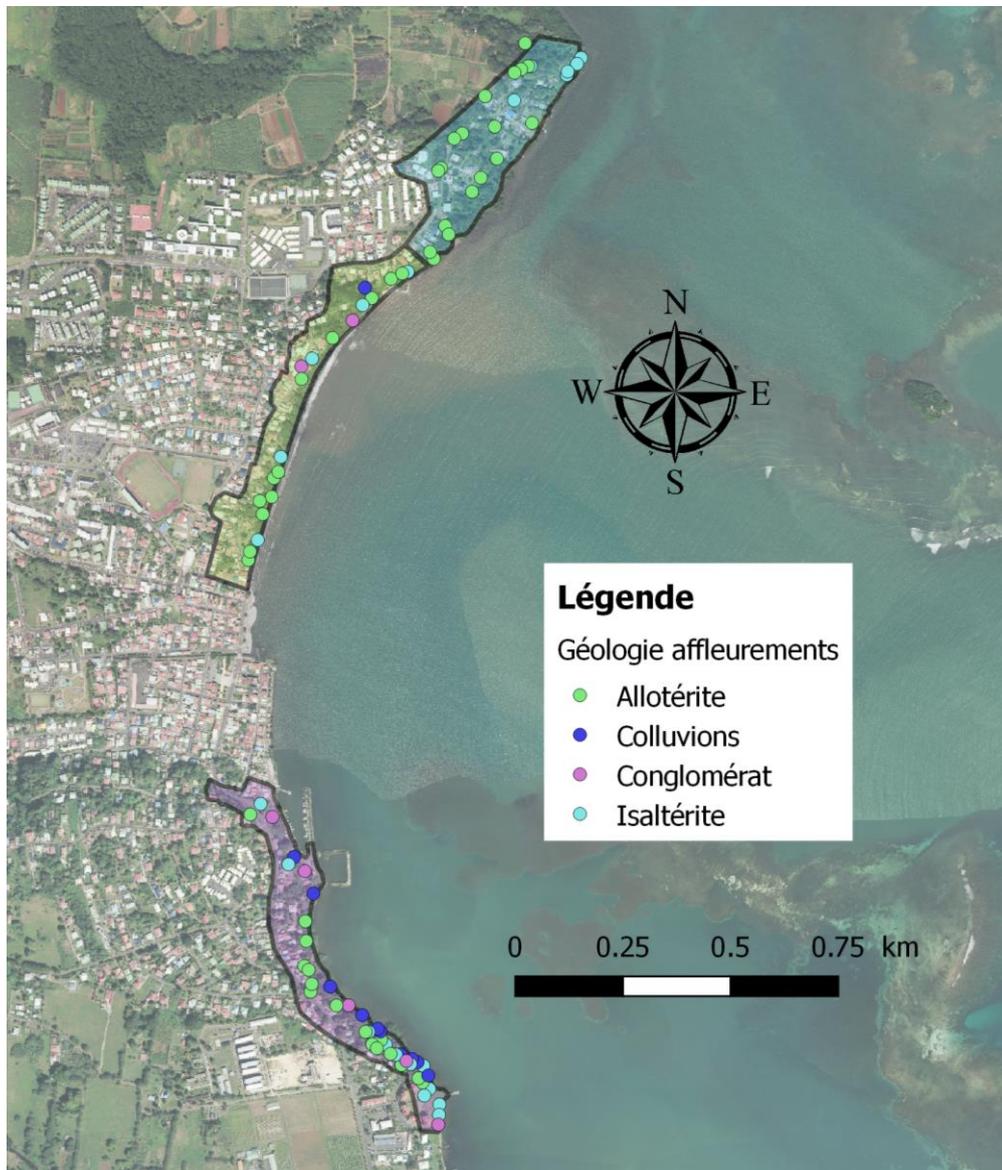


Illustration 3. Localisation et nature des affleurements identifiés au cours des visites de terrain.

2.2.3. Description des formations rencontrées sur les sites d'études

Pour les besoins de l'étude dont l'un des objectifs est d'affiner l'aléa mouvement de terrain sur les secteurs d'études de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus, le BRGM a entrepris des reconnaissances géologiques des différentes formations présentes sur ces sites d'études. Les différents affleurements observés sur le terrain sont localisés sur l'illustration 3.

Une précision a été apportée sur chaque affleurement, sur le niveau d'altération de la formation. On a convenu d'appeler :

- **Isaltérite**, dès que la structure rocheuse initiale est encore visible et que la nature de la formation géologique est, de ce fait, reconnaissable mais présente un niveau d'altération plus ou moins développé ;
- **Allotérite**, lorsque le niveau d'altération est tel que la structure de la formation initiale n'est plus identifiable.

Conglomérat (Bovis et Bel-Air)

Dans la partie basse du versant constituant la falaise littorale de Bovis (principalement) et de Bel-Air, des escarpements subverticaux font apparaître des conglomérats consolidés sur 2 à 8 m de hauteur. Cette formation est constituée d'une très forte densité de blocs arrondis (galets) non jointifs, de tailles (1 à 20 cm de diamètre) et de natures variées, présentant un léger degré d'altération et pris dans une matrice indurée de couleur grise (Illustration 4).

Sur les sites de Bovis et de Bel-Air on n'observe cette formation conglomératique consolidée que dans la partie basse de la falaise. A Bovis, cette unité géologique semble armer de façon continue la base du versant avec des épaisseurs pouvant atteindre 8 m au maximum alors que sur Bel-Air elle est moins visible et on ne la retrouve que de façon discontinue sur des épaisseurs plus faibles de 2 à 3 au maximum.

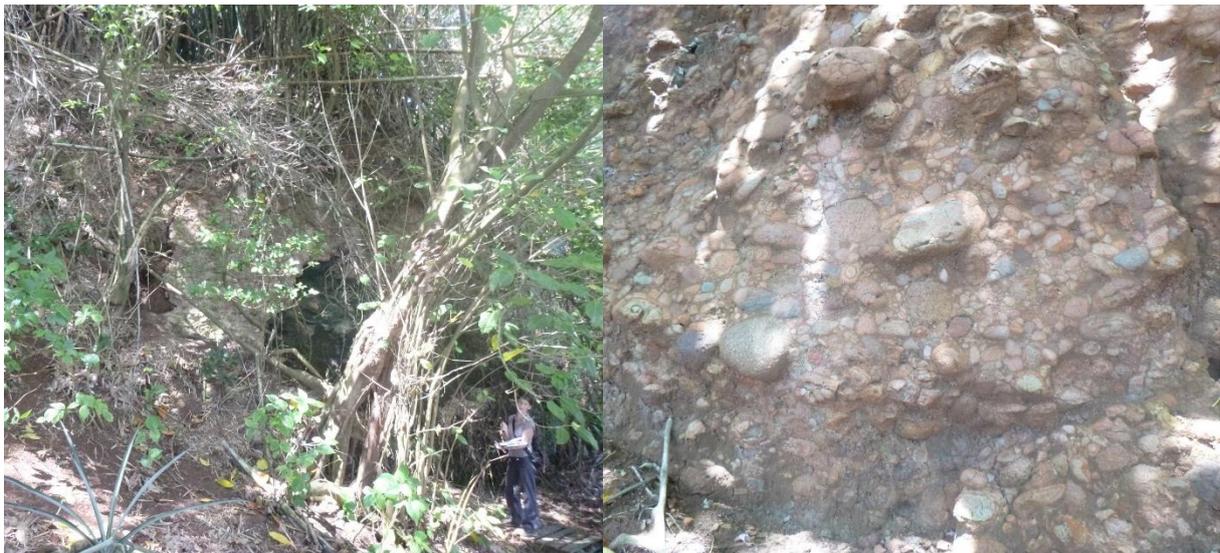


Illustration 4. Conglomérat observé à plusieurs endroits à Bovis (à gauche) et à de rares endroits à Bel-Air (à droite).

Au niveau de la région autour de Petit-Bourg, ces niveaux conglomératiques sont interprétés comme provenant du démantèlement des massifs volcaniques de la Chaîne septentrionale dont le transport et la sédimentation s'est faite dans des paléo-chenaux.

Isaltérite 1 : Conglomérat altéré à très altéré (Bovis et Bel-Air)

Au-dessus de cette formation conglomératique constituant la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air, des escarpements subverticaux à verticaux font apparaître des conglomérats altérés à très altérés sur des épaisseurs de plusieurs mètres à une dizaine de mètres. Cette unité est observée sur tout le littoral de Bovis et de Bel-Air.

Cette formation se caractérise par une très forte densité de blocs arrondis (galets) non jointifs, de tailles et de natures variées, Toutefois à la différence de la formation décrite précédemment, cette isaltérite présente un fort niveau d'altération avec une matrice très argileuse et friable de couleur ocre-rouge (Illustration 5).



Illustration 5. Isaltérites conglomératiques présentant différents degrés d'altération (altéré à gauche et très altéré à droite) observés sur des affleurements dans la falaise littorale à Bovis (à gauche) et à Bel-Air (au centre et à droite).

Allotérite 1 : unité d'argile bariolée (Bovis et Bel-Air)

Dans la partie haute du versant constituant la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air, des escarpements verticaux font apparaître des unités argileuses fines et peu plastiques sur des épaisseurs de plusieurs mètres à une dizaine de mètres. Cette unité est observée sur tout le versant constituant la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air.

On interprète ces unités comme la partie supérieure des formations conglomératiques altérées et très altérées (isaltérite 1) présentant un degré d'altération plus élevé faisant évoluer ces unités (isaltérite 1) décrites précédemment vers une allotérite (allotérite 1). Elle se présente sous forme d'argile fine peu plastique (Illustration 6), de couleur hétérogène avec une dominante ocre-rouge, décrite comme bariolée avec des passées ocre-jaune et des passées ocre-rouge et présentant parfois des fantômes de minéraux blancs.



Illustration 6. Allotérite dans la partie supérieure de la falaise observée sur tout le littoral de Bovis (en bas à droite) et de Bel-Air (à gauche et en haut à droite). En bas à droite : unité d'argile bariolée avec fantômes de blocs/minéraux (Bovis).

Colluvions de pente, en pied de pente (Bovis et Bel-Air)

Au pied des falaises de Bovis (principalement) et de Bel-Air, on observe un horizon d'argiles à blocs, vraisemblablement issu du démantèlement des conglomérats très altérés (isaltérite 1) ou des déstabilisations de la partie supérieure argileuse (allotérite 1). Cet horizon confère au versant une pente beaucoup plus douce (30° - 35°) jusqu'à la mer.

Sur les escarpements actuellement visibles en bord de mer, on observe des argiles rouges bariolées, avec des passages d'argile grise très plastique plus ou moins riches en blocs (issus des conglomérats altérés). Ces argiles ont une très faible cohésion et sont très sensibles à l'érosion côtière. Des escarpement verticaux au niveau du littoral de 1 à 2 mètres de haut (Illustration 7) permettent d'interpréter, sur quelques secteurs de Bovis, des reculs de 2 à 3 mètres entre les visites de terrain de 2016 et de 2019.



Illustration 7. Colluvions de pente, en pied de falaise sur les sites de Bovis et de Bel-Air et associées au démantèlement des isaltérites et allotérites constituant les falaises littorales.

Isaltérite 2 : Coulée pyroclastique ponceuse (Pointe-à-Bacchus)

Un affleurement a été observé en pied de versant, à l'extrémité nord-est du site de Pointe-à-Bacchus (Illustration 8). Le dépôt est très altéré dans la masse, de couleur gris-blanc-vert avec des passées ocre. Cette unité (ou ces unités), très plastique et de forte cohésion a préservé par endroits sa structure initiale légèrement stratifiée et on peut reconnaître une succession d'unités cendreuses contenant des lapillis plutôt vésiculés.



Illustration 8. Affleurements de coulées pyroclastiques de cendres et de ponces en pied de versant sous forme d'isaltérites. Les photographies de droite montrent les quelques structures (lapillis vésiculés, stratifications, ...) encore visibles – Pointe-à-Bacchus.

En pied du versant, cet ensemble que l'on interprète comme une coulée pyroclastique ponceuse est profondément altéré mais conserve sa structure initiale (isaltérite 2).

Des niveaux volcaniques altérés sont aussi observés, sur quelques dizaines de centimètres, dans la partie sud de Bel-Air, à la base de la falaise littorale récemment dévégétalisée, sous une dizaine de mètres d'épaisseur de conglomérat altéré (Isaltérite 1). Ces unités volcaniques altérées sont probablement les mêmes que celles décrites précédemment à Pointe-à-Bacchus, mais présentant un faciès de bordement qui diffère avec celui de Pointe-à-Bacchus interprété comme un faciès canalisé dans une paléo-vallée.

Allotérite 2 : unité d'argile rouge (Pointe-à-Bacchus)

L'unité géologique décrite précédemment à Pointe-à-Bacchus et interprétée comme une coulée pyroclastique ponceuse altérée (isaltérite 2) évolue rapidement vers une allotérite (allotérite 2) caractérisée par une unité argilo-limoneuse, de couleur rouge-ocre, avec une faible cohésion, que l'on retrouve au sommet du versant (Illustration 9). La mauvaise tenue de cet horizon a été confirmée par la présence de loupes de glissement et/ou d'érosion à de nombreux endroits.



Illustration 9. Indices de glissements et d'érosion affectant les allotérites 2 (de type argile rouge) à Pointe-à-Bacchus.

Cette unité, de quelques mètres d'épaisseur jusqu'à la dizaine de mètres par endroits, semble couvrir tout le versant du quartier de Pointe-à-Bacchus et affleure dans le versant sous une épaisseur infra-métrique de terre végétale. Cette unité constitue notamment l'escarpement sommital qui présente une forte pente ($> 35^\circ$).

2.2.4. Interprétation géologique

Les descriptions géologiques extraites de la notice de la carte géologique de la Basse-Terre (de Reynal de Saint-Michel, 1966), celles interprétées des différents forages présents dans la Banque de données du Sous-Sol, ainsi que les observations réalisées sur le terrain montrent une cohérence dans la succession géologique sur les différents sites d'études (Illustration 11) :

- Les sites de Bovis et Bel-Air se caractérisent par un ensemble de formations détritiques de type conglomératique présentant des stades d'altérations différents (Illustration 10) : peu

altérées, altérées à très altérées (isaltérite 1) et complètement altérées (allotérite 1). Ces formations sont constituées d'éléments roulés de tailles variées, non jointifs et cimentés dans une matrice d'abord grise et indurée (conglomérat) de quelques mètres d'épaisseur et devenant plus argileuse et plus friable de couleur rouge à ocre (isaltérite 1) et dont l'épaisseur peut faire jusqu'à une dizaine de mètres. La partie supérieure de ces formations présente un degré d'altération tel que la structure de la formation initiale n'est plus identifiable (allotérite 1). Ce sont des argiles peu plastiques, bariolées avec des passées ocre-jaune et des passées ocre-rouge pouvant faire jusqu'à une dizaine de mètres d'épaisseur.

Conglomérat altéré → **Isaltérite conglomératique** → **Allotérite conglomératique**



Illustration 10. Evolution du degré d'altération de la formation conglomératique constituant les falaises de Bovis et de Bel-Air depuis la base (conglomérat) jusqu'au sommet (allotérite).

- Des niveaux d'argiles plus ou moins riches en blocs, vraisemblablement issus du démantèlement de ces conglomérats altérés à très altérés (isaltérite 1) et/ou des déstabilisations de la partie supérieure argileuse (allotérite 1) sont visibles à certains endroits en pied de versant et présentent une pente beaucoup plus douce, jusqu'à la mer.

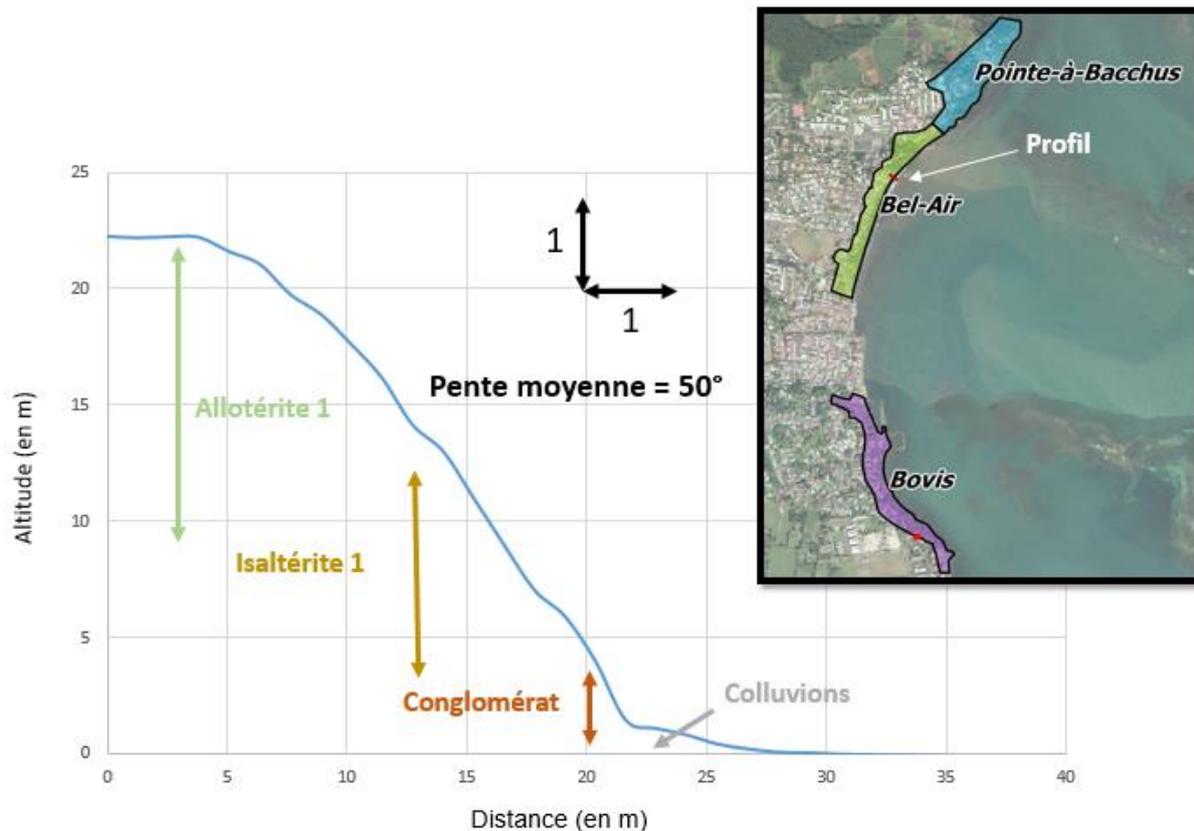


Illustration 11. Représentation schématique des formations géologiques constituant les falaises littorales de Bovis et Bel-Air (Litto 3D © IGN-SHOM 2013).

Le site de Pointe-à-Bacchus permet de mettre en évidence une formation cendreuse contenant des lapillis vésiculés, fortement altérée mais très indurée (isaltérite 2). Cette formation que l'on interprète comme le faciès distal d'une coulée pyroclastique ponceuse semble avoir comblé la paléo-vallée de la rivière de la Lézarde jusqu'à son embouchure. Cette formation semble armer tout le versant du quartier de Pointe-à-Bacchus et s'altère progressivement en une unité argilo-limoneuse de couleur rouge-ocre (allotérite 2), avec une faible cohésion, que l'on retrouve au sommet du versant sur plusieurs mètres à dizaines de mètres d'épaisseur.

2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

2.3.1. Description géomorphologique de Bovis

Le quartier de Bovis est installé sur un plateau côtier, globalement plat, d'altitude moyenne d'environ 20 mètres NGG (27 m NGG au maximum), et dont la bordure orientale est marquée par des falaises côtières subverticales à verticales présentant de très nombreux signes d'instabilité sur l'ensemble du linéaire étudié. Cette falaise surplombe :

- soit une basse plate-forme côtière (altitude moyenne 1,50 m NGG) complètement enrochée (sur un linéaire de 350 m) sur laquelle est implanté un port de pêche et se construit actuellement un port de plaisance ;
- soit directement la mer sur un linéaire de 530 m environ.

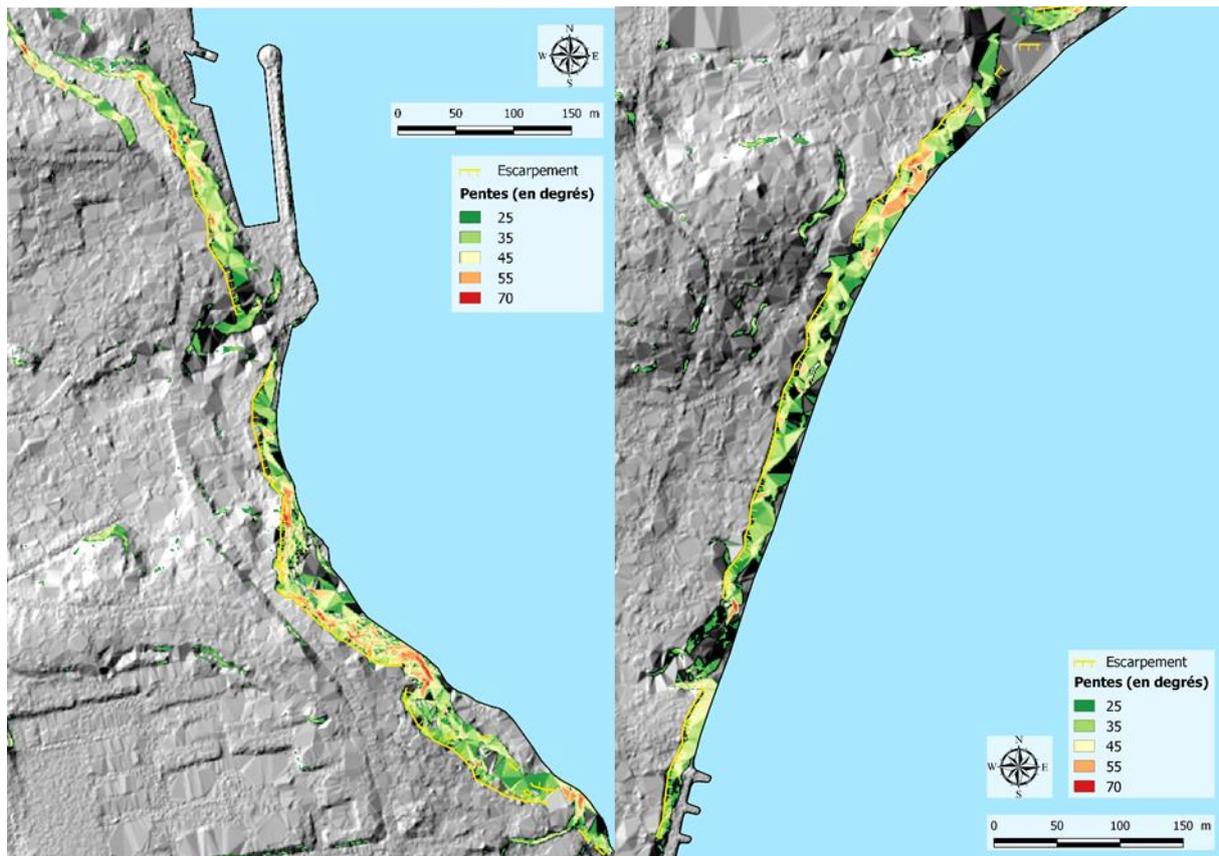


Illustration 12. Cartographie des pentes sur les sites de Bovis (à gauche) et de Bel-Air (à droite) extraites des données Litto3D® (© IGN et SHOM 2013) et de la tête de falaise à partir des données IGN et validées sur le terrain

D'après le modèle numérique de terrain du Litto3D (Illustration 12, à gauche), les falaises côtières présentent des pentes entre 30 et 40° en moyenne, avec des valeurs locales dépassant les 60°.

Toutefois, les observations de terrain montrent que ces falaises côtières sont plus pentues que ce qui ressort des données Litto3D obtenues en 2010. Cette disparité pourrait être liée soit à des biais dans le traitement des données radar (forte pente, densité de la couverture végétale, ...), soit à une évolution récente de la morphologie des falaises littorales.

2.3.2. Description géomorphologique de Bel-Air

Le site d'étude de Bel-Air est lui aussi situé sur les limites orientales d'un plateau côtier globalement plat, d'altitude moyenne d'environ 20 mètres NGG (24 m NGG au maximum) marquées par des falaises côtières subverticales à verticales surplombant directement la mer et présentant de très nombreux signes d'instabilité.

D'après le modèle numérique de terrain issus des données Litto3D (Illustration 12, à droite) les falaises côtières présentent des pentes entre 30 et 40° en moyenne, avec des valeurs locales pouvant atteindre 70°.

Toutefois, les observations de terrain montrent que ces falaises côtières sont plus pentues que ce qui ressort des données Litto3D, certains versants étant plus proches de 60° de pente moyenne, par exemple. Cette disparité pourrait être liée soit à des biais dans le traitement des

données radar (forte pente, densité de la couverture végétale, ...), soit à une évolution récente de la morphologie des falaises littorales.

2.3.3. Description géomorphologique de Pointe-à-Bacchus

Sur le site de Pointe-à-Bacchus, l'analyse des données Litto3D (Illustration 13) et la morphologie des escarpements pourrait suggérer un ancien glissement d'ensemble de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes.

En effet, les escarpements, bien marqués dans la topographie (Illustration 13), s'étendent sur la largeur du versant et présentent des structures emboîtées. L'escarpement principal actuel, dont la hauteur varie entre 10 et 25 m, délimiterait l'amont du glissement.

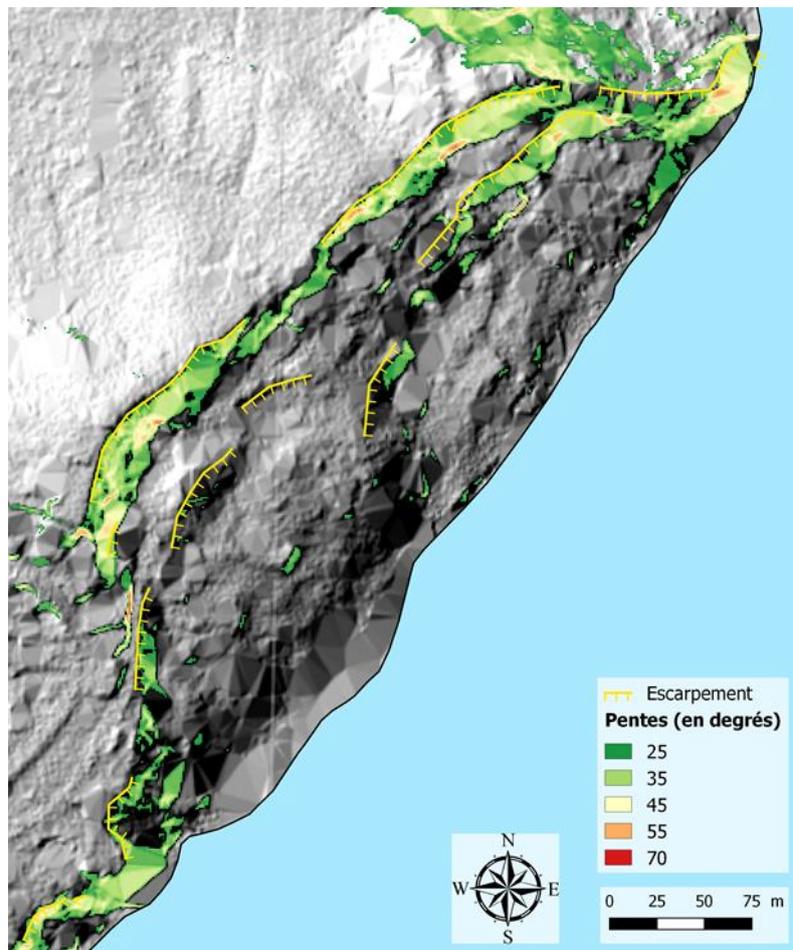


Illustration 13. Cartographie des pentes extraites des données Litto3D (© IGN et SHOM 2013) permettant d'identifier les escarpements emboîtés dans le quartier de Pointe-à-Bacchus.

Deux mécanismes d'instabilité sont possibles pour expliquer la morphologie observée :

- Un glissement qui se serait initié en pied de versant et qui aurait progressé vers l'amont par glissements emboîtés ;
- Un « grand » glissement dont la surface de rupture est sous la mer et qui aurait mis en mouvement l'ensemble des terrains.

Les indices d'instabilités observés (Illustration 14) peuvent correspondre à des réajustements indépendants d'une reprise d'activité de ces grands glissements.



Illustration 14. Quartier Pointe-à-Bacchus - Cicatrice d'arrachement en tête du versant.

2.4. SYNTHÈSE DES ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

Le BRGM a rassemblé les études géotechniques réalisées à proximité du secteur d'étude et qui concernaient les dépôts volcaniques d'âge anté-miocène (d'après la carte géologique). Les études collectées sont localisées sur l'illustration 15 et décrites dans la Table 1.

	Caractéristiques lithologiques	Quartier	Type de mesures	Tranche de sol recoupée	Essai d'identification	Caractéristiques mécaniques	Source
Peu Plastique	Lims et argiles limoneuses peu plastiques	Pointe-à-Bacchus	Pénétrömètre dynamique (0-6 m), Sondage à la pelle mécanique (0-4 m), essai d'identification	0-4 m	Classification GTR : A1	Faible valeur de compacité (Qd < 2 MPa)	<i>IMSRN (2009). Rapport de présentation. Etude de sols. Zone de Bel-Air à Pointe-à-Bacchus.</i>
		Bel-Air			Classification GTR : A1	Faible valeur de compacité (Qd < 2 MPa)	
	Argiles limoneuses à blocs peu argileux	Bellevue	Pénétrömètre dynamique, essais mécaniques en laboratoire.	1- 8 à 10 m	Classification GTR : A1 Matériaux peu argileux	Qd < 4 Mpa Poids volumique = 16 kN/m ³ C'=15 kPa Phi'=23°	<i>Antilles Géotechnique (2015). Etude géotechnique de conception G2-AVP. SEMSAMAR. Résidence de 76 logements à Bellevue. Commune de Petit-Bourg. Rapport 1505-020.IGE1</i>
				8 à > 12 m	Classification GTR : A1 Matériaux peu argileux	Qd > 4MPa Poids volumique = 17.5 kN/m ³ C'=20kPa Phi'=30°	
Plastique à très plastique	Argile plastique bariolée, argileux, brune, ocre et grisâtre	Bel-Air	Pénétrömètre dynamique (0-8 m), Sondage à la pelle mécanique (0-3 m)	2-3 m		Qd < 4-5 Mpa	<i>LABCO Antilles (2012). SEMSAMAR ; Base Nautique à Bel-Air – Commune de Petit-Bourg.</i>

							Rapport n°1210-021
Argile bariolée à dominante marron	Bovis	Sondage à la pelle mécanique (0-4 m), pénétromètre statique (0-6m) + essai d'identification, analyse sédimentologique, essai de compressibilité	0.5 – < 4 m	Classification de Casagrande « limon très plastique » Classification GTR : A2			ANTEA (2003). Opération d'aménagement dans la zone des 50 pas géométrique – secteur de Bovis. Etude géotechnique préliminaire.
Argilo-sableux (limons très plastiques) très plastique et sensible à l'eau	Arnouville	Sondage à la pelle mécanique (0-2 m), pénétromètre dynamique et statique, essais mécaniques en laboratoire	0-2 m		C'=12kPa Phi'=17 à 24°		BRGM (1990). Etude géotechnique de fondation. Les rives d'Arnouville. Rapport BRGM R31458 ANT AS 90.

Table 1. Synthèse des études géotechniques disponibles dans le secteur.

Trois études précisent les caractéristiques mécaniques des formations. Les deux qui ciblent les formations les plus altérées, aboutissent à des paramètres relativement homogènes (C'=12-15 kPa ; Phi'=17 à 24°). La troisième étude caractérise un horizon plus profond moins altéré avec des caractéristiques légèrement meilleures (C'=20kPa ; Phi'=30°).

Des horizons altérés peu plastiques, classifiés A1 et de faible compacité, ont été recoupés dans plusieurs secteurs. Ils ont été décrits comme « limon et argile limoneuse peu plastique » sur Pointe à Bacchus et « argilo-limoneuse à blocs » sur le site de Bellevue. Bien que relativement semblables, il est possible que ces horizons proviennent de l'altération de formations géologiques différentes : l'unité pyroclastique de cendres et de ponces reconnue sur le terrain sur le quartier de Pointe-à-Bacchus et de Bel-Air et l'unité de conglomérat altéré sur le quartier de Bellevue (ce dernier se différencie par la présence de blocs de natures hétérogènes). D'après les profils pénétrométriques, la formation argileuse présente des caractéristiques géomécaniques médiocres qui augmentent progressivement avec la profondeur.

Les argiles bariolées recoupées sur les sites de Bovis et Bel Air ont un comportement décrit comme beaucoup plus plastique.

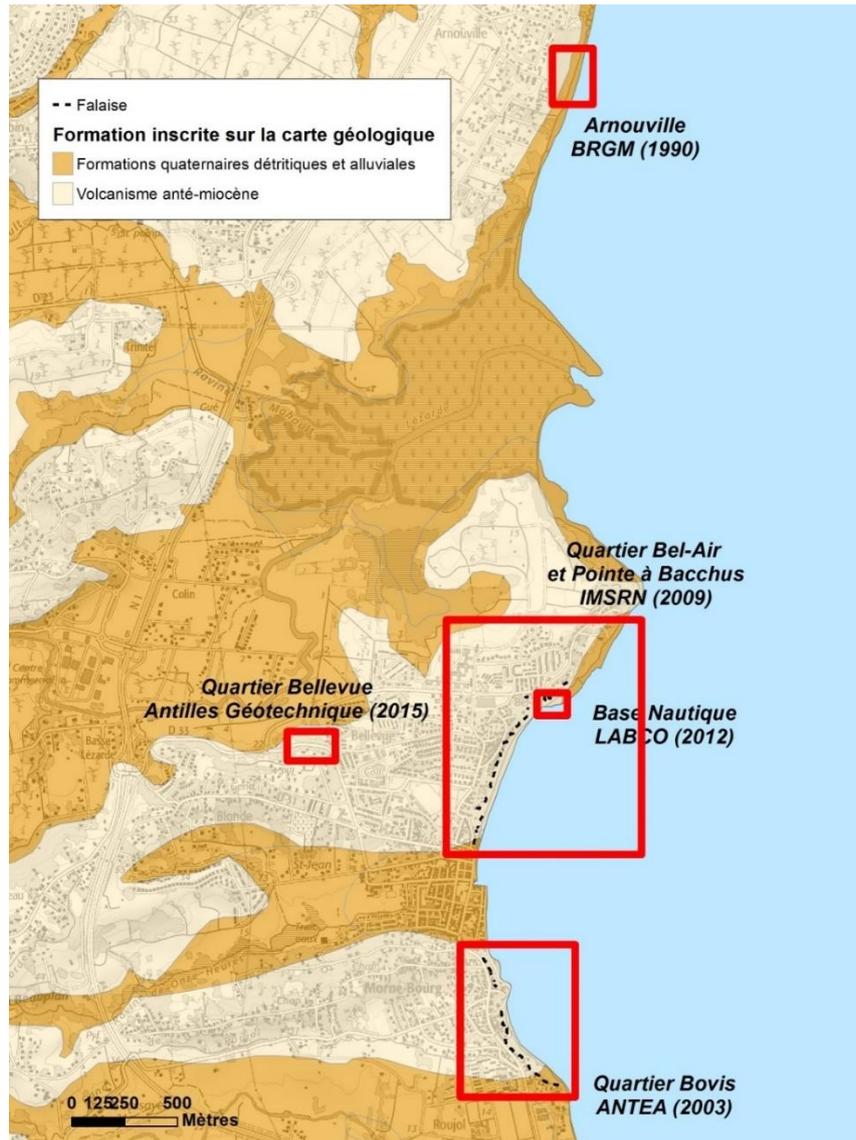


Illustration 15. Localisation des études géotechniques consultées.

3. Mouvements de terrain sur la commune de Petit-Bourg

3.1. HISTORIQUE DES ETUDES DE RISQUES

Plusieurs études d'aléas et de risques se sont succédées sur le territoire de la commune de Petit-Bourg et notamment pour ce qui concerne cette étude sur le quartier de Pointe-à-Bacchus et de Bovis (Table 2).

Elles ont toutes fait l'objet d'une évaluation de l'aléa par expertise naturaliste en accord avec les données disponibles à l'époque de leur réalisation. La plus récente est celle de l'IMSRN en 2011.

Dans le cadre de la révision (toujours en cours) du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) multirisques de la commune de Petit-Bourg, IMSRN a réalisé un inventaire complet des mouvements de terrain affectant la commune (IMSRN, 2011). Une cinquantaine de glissements de terrain et quelques éboulements/chutes de blocs ont ainsi été recensés sur la commune (Illustration 16). Six des phénomènes recensés (dont 5 qualifiés de très grande ampleur) concernent les sites pilotes de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

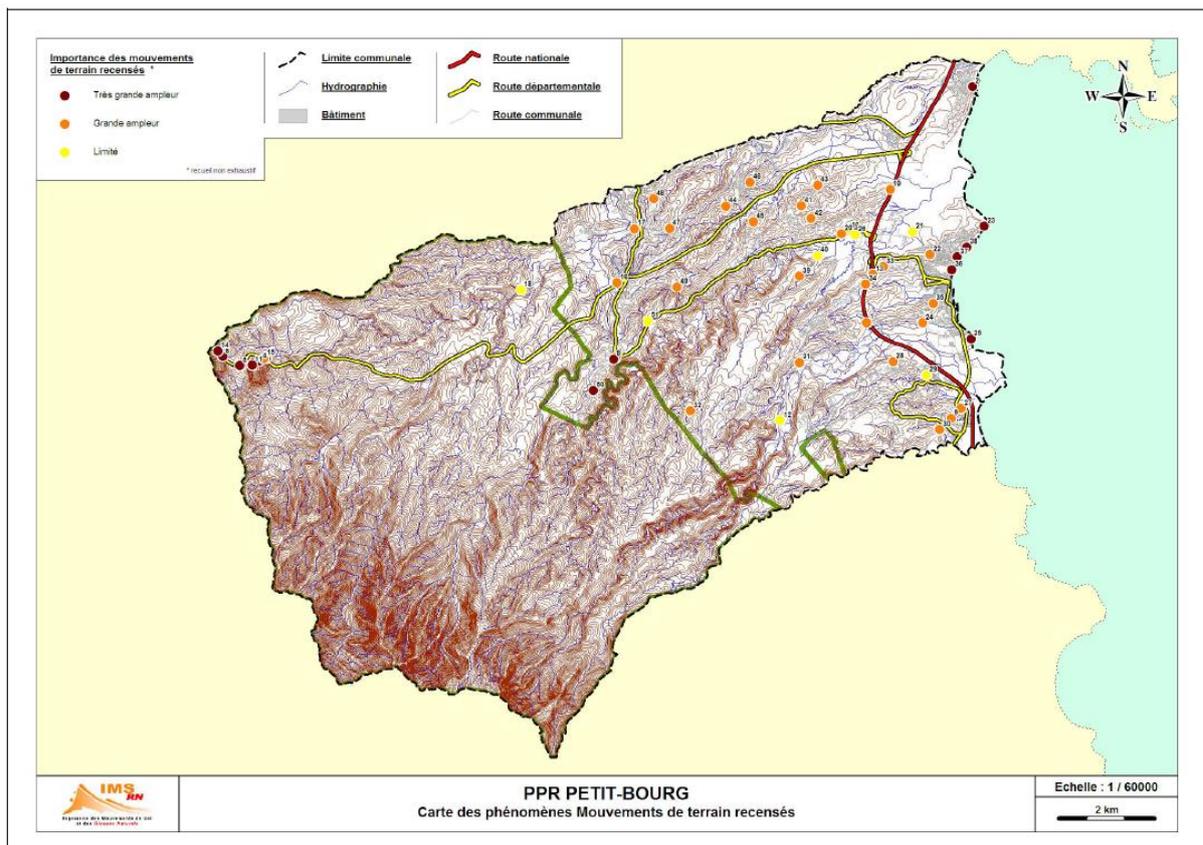


Illustration 16. Carte des phénomènes de mouvement de terrain recensés sur la commune de Petit-Bourg (IMSRN, 2011).

Date	Auteur	Echelle	Source
1993	BRGM	1/25 000	Atlas communal des risques de Petit-Bourg, Guadeloupe. RR-37168-FR
1998	Préfecture Guadeloupe	1/10 000	Plan de Prévention des Risques Naturels, 1998
2003	ANTEA	1/2 000	Etude des risques naturels : Quartier Bovis, Commune de Petit-Bourg – Guadeloupe A 32052 Octobre 2003
2005	ANTEA	1/2 000	Etude des risques naturels : Quartier Bel-Air - Pointe-à-Bacchus A37406 Juillet 2005
2011	IMSRN	1/20 000	Plan de prévention des risques. Aléas Littoraux-inondation – Mouvements de terrain. Rapport de présentation 2011/M2/971/0047

Table 2. Tableau synthétique des différentes études de risques sur Petit-Bourg et notamment le secteur de Pointe-à-Bacchus et de Bovis.

3.1.1. La première étude : Etude du BRGM de 1993

Le BRGM a réalisé en 1993 les premières cartes de risques reprises ensuite dans le Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Petit-Bourg, qui sera approuvé en 2002. Cette première cartographie de l'aléa mouvement de terrain classe l'intégralité du quartier de Pointe-à-Bacchus et la majeure partie des quartier de Bovis et de Bel-Air (mis à part les extrémités sud-ouest de ces quartiers : aléa moyen) en aléa fort mouvement de terrain (Illustration 17).

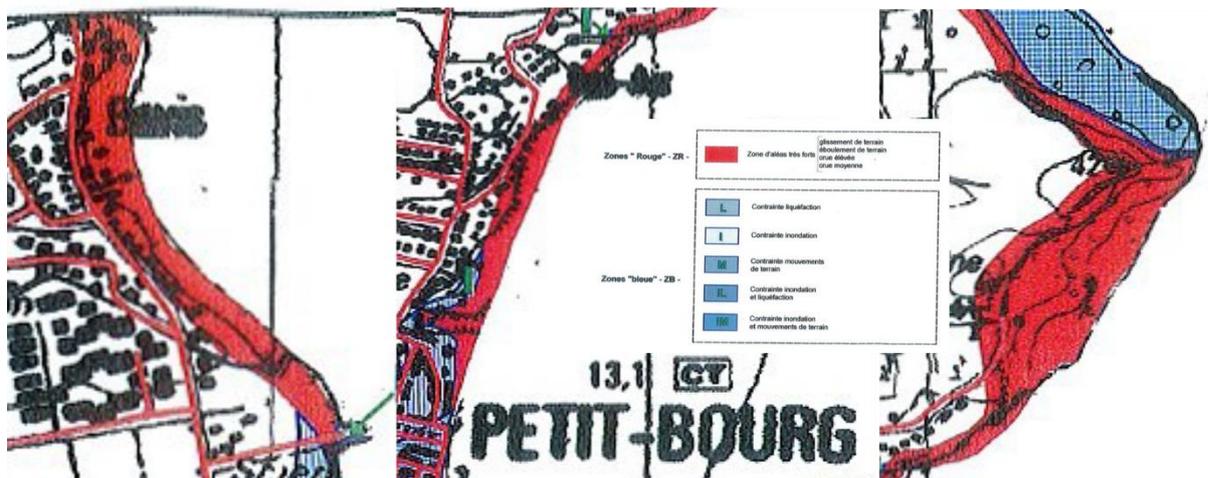


Illustration 17. Extrait du plan de zonage du premier PPRN de la commune de Petit-Bourg (1998) basé sur la cartographie de l'atlas communal des risques de Petit Bourg (BRGM, 1993).

3.1.2. Compléments d'études des risques à la demande de l'Agence des 50 pas géométriques de Guadeloupe (ANTEA, 2003 et 2005)

L'Agence des 50 pas géométriques a confié à ANTEA en 2003 et en 2005, deux études « multirisques » à l'échelle des quartiers de Bovis et de Pointe-à-Bacchus, visant à préciser les risques à l'échelle du 1/2 000 et à formuler si nécessaire des recommandations en terme d'aménagement pour la mise en sécurité des habitants.

a) Bovis

Lors de la précision cartographique des aléas naturels qu'ANTEA a mené en 2003 pour l'Agence des 50 Pas Géométriques sur le quartier de Bovis (Illustration 18) :

- Un aléa glissement de berge a été identifié au niveau du canal de Bovis ;
- Des aléas glissement de terrain et chutes de blocs ont été identifiés au niveau du talus côtier amenant à la définition d'une zone d'aléa très élevé dans la partie centrale - aval du quartier ;
- Le niveau d'aléa mouvement de terrain a été revu à la baisse sur la partie centrale - amont du quartier.

Cette étude recommande d'évacuer définitivement les bâtiments situés en zone d'aléa mouvements de terrain très élevé et élevé, à l'exception des maisons d'habitation présentes dans la zone d'aléa élevé associée aux glissements des berges du canal de Bovis où la mise en œuvre de confortement de berges peut s'envisager.

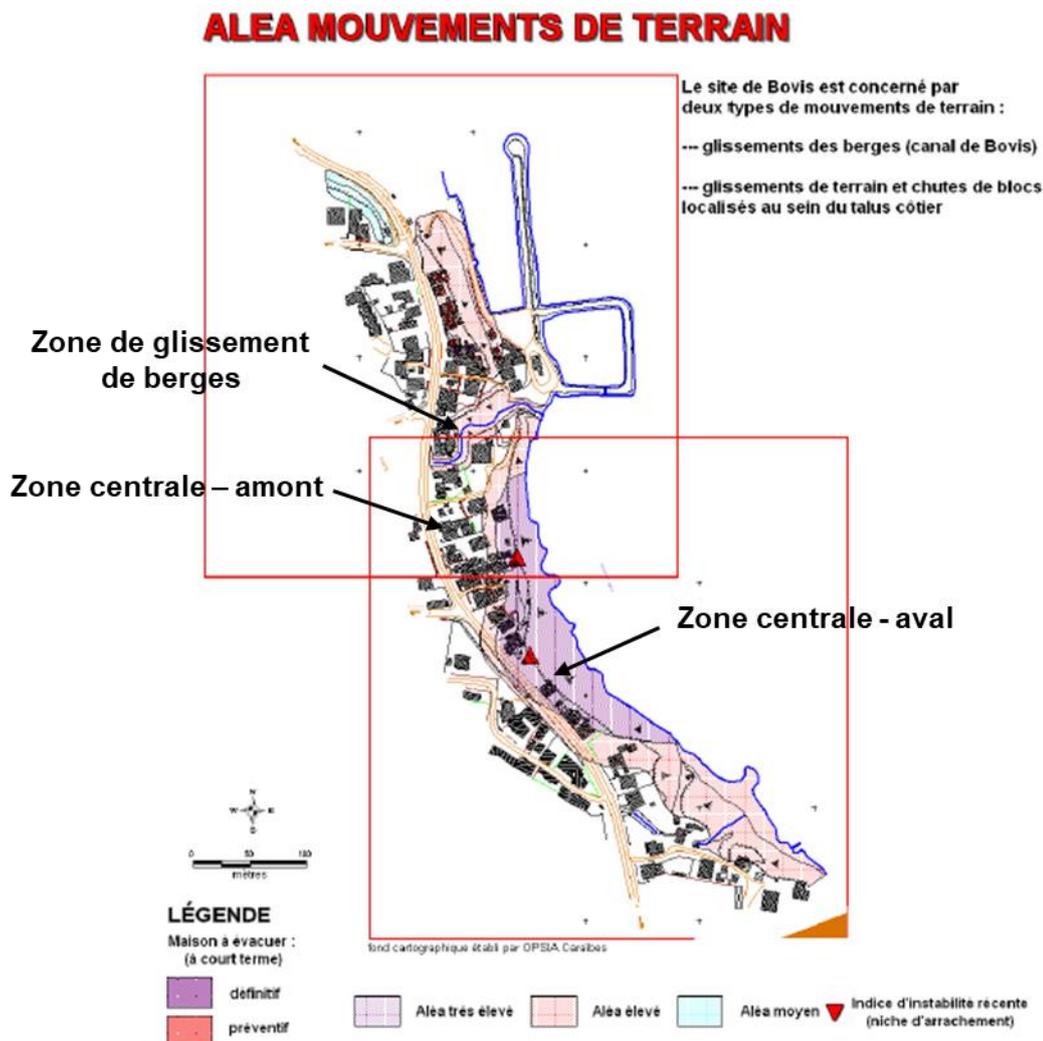


Illustration 18. Carte de l'aléa mouvement de terrain sur Bovis (ANTEA, 2003).

b) Pointe-à-Bacchus

Lors de la précision cartographique qu'ANTEA a mené en 2005 pour l'Agence des 50 Pas Géométriques (Illustration 19), la quantification de l'aléa mouvement de terrain a été revue à la baisse sur la partie aval du versant. Seule la partie amont, au pied de l'escarpement, a été maintenue en aléa fort.

ANTÉA (2005) justifiait le niveau d'aléa fort sur ce secteur par « *la forte probabilité d'apparition d'un phénomène naturel* » d'ampleur limitée à modérée et reconnaissait que l'intensité de l'aléa était vraisemblablement moins élevée que pour le quartier de Bel-Air. Il justifiait ce niveau d'aléa élevé par :

- La multiplicité des indices d'instabilités (niches d'arrachement) ;
- La présence de facteurs aggravants au déclenchement de glissements, notamment liés à l'anthropisation du versant (pas de gestion efficace des eaux de surface, terrassement en déblai du flanc de talus accentuant localement les pentes, défrichement incontrôlé du talus...).

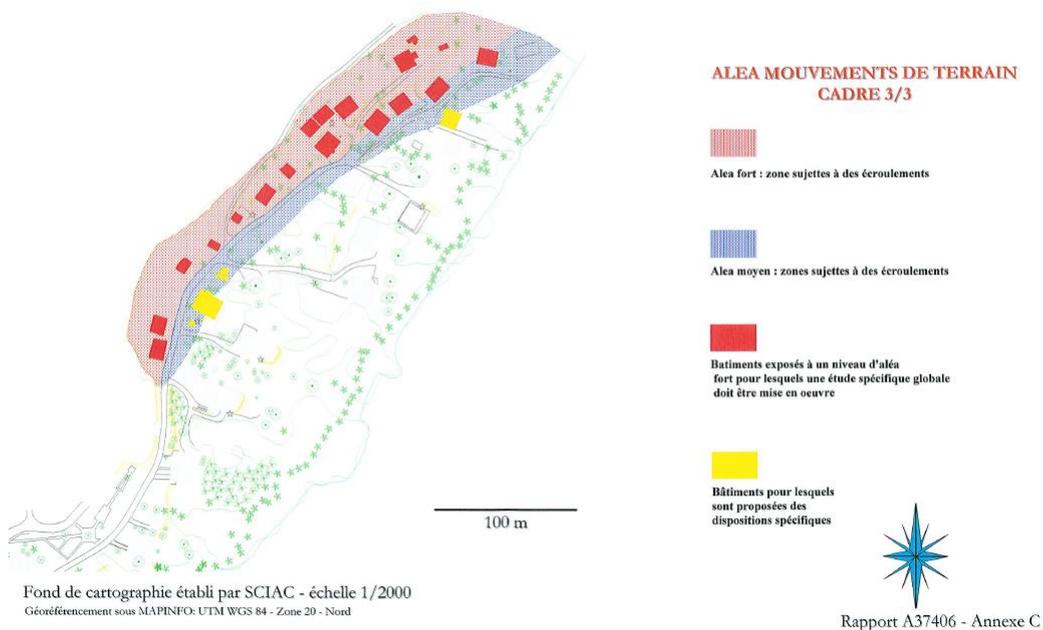


Illustration 19. Extrait de la carte de l'aléa mouvement de terrain sur Pointe-à-Bacchus (ANTEA, 2005).

3.1.3. Révision des Plans de Prévention des Risques Naturels (IMSRN, 2011)

En 2011, IMSRN a réalisé, dans le cadre de la révision des Plan de Prévention des Risques Naturels une nouvelle cartographie des aléas mouvement de terrain (Illustration 20) pour la commune de Petit-Bourg (IMSRN, 2011).

Au niveau des quartiers de Bel-Air et de Bovis, IMSRN (2011) a confirmé l'aléa fort mouvement de terrain du premier document PPRN au niveau de l'escarpement en affinant les limites amont (Illustration 20).

Au niveau du quartier de Pointe-à-Bacchus, IMSRN (2011) a modifié l'aléa initial du premier document PPRN en attribuant un niveau d'aléa moyen au versant dans sa partie centrale et en

ne conservant un niveau fort qu'au niveau de l'escarpement amont et le long d'une bande de quelques mètres de large au niveau du littoral (Illustration 20).

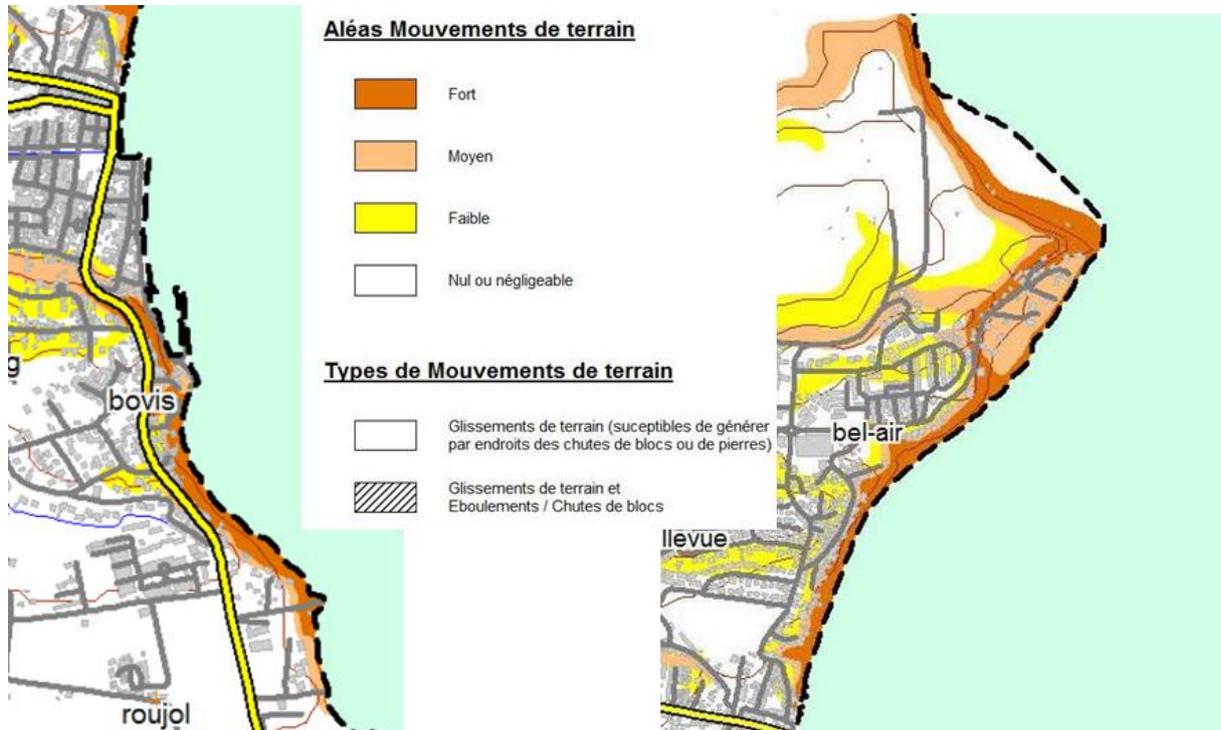


Illustration 20. Extrait de la carte de l'aléa mouvement de terrain au 1/20 000 sur Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus (IMSRN, 2011).

3.2. CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR BOVIS ET BEL-AIR

Sur la base des études historiques, des données géologiques et géomorphologiques obtenues sur le terrain au cours de cette étude, nous avons quantifié et qualifié deux typologies de mouvements de terrain à redouter sur les sites de Bovis et de Bel-Air :

- Les glissements de terrain d'ampleur limitée au sein des formations de pente ;
- Les glissements de terrain d'ampleur modérée à élevée au sein de la falaise littorale.

Glissements d'ampleur limitée des formations de pente (Bel-Air et Bovis)

Les colluvions de pied de pente décrites dans le § 2.2.4 sont peu consolidées et sujettes à des glissements provoqués essentiellement par l'action mécanique de la mer.



Illustration 21. Escarpements verticaux en pied de pente dans formations colluvionnaires associés à des glissements d'ampleur limitée – Bovis.

En effet, de nombreuses petites loupes de glissements ($< 100 \text{ m}^3$), marquées par des escarpements inframétriques subverticaux et des arbres déracinés, sont repérables le long de la falaise de Bovis et Bel-Air. Bien que de taille limitée, ces glissements ont visiblement endommagé plusieurs structures situées en bordure de mer comme en témoignent les vestiges d'un ponton déstructuré, les fondations d'un abri (Illustration 21) et de vieux poteaux béton.

Glissement d'ampleur modérée à élevée au sein de la falaise littorale (Bel-Air et Bovis)

Les quartiers de Bel-Air et de Bovis sont caractérisés par la présence d'une falaise subverticale pouvant atteindre jusqu'à 27 m de hauteur. Cette falaise est constituée à sa base par des conglomérats indurés pouvant atteindre jusqu'à 6-8 m d'épaisseur et sur lesquels se succèdent sur une grande partie de la falaise, pouvant atteindre 20 m par endroit, un faciès fortement altéré (isaltérite) qui évolue vers un faciès complètement altéré (allotérite).

En effet, de nombreuses traces de glissements (plusieurs centaines de m^3 à quelques milliers de m^3), marquées par des escarpements subverticaux à verticaux de plusieurs mètres, des arbres déracinés, des fondations de maisons mises à nues et des dépôts de pentes en pied de falaise sont repérables le long de la falaise de Bovis et Bel-Air. Ces glissements ne semblent affecter que les formations altérées à très altérées (isaltérite et allotérite) conduisant à la rupture brutale de la tête de falaise (Illustration 22).

ANTEA (2003) mentionne des « indices d'instabilité relevés sur le terrain qui témoignent d'une ancienne zone glissée de « grande extension » qui s'organise en tête de talus suivant une ancienne niche d'arrachement courbe dont le linéaire est de l'ordre de 120 mètres. D'après la géométrie de la structure et par rétrocalage, les quantités de matériaux mobilisées par cette structure au cours du temps (soit par des petits événements périodiques, soit par un événement ponctuel brutal) sont de l'ordre de 25.000 m^3 . ».

L'observation d'orthophotographies historiques (© IGN) permet de déterminer que cette zone glissée de « grande extension » (ANTEA, 2003) existait déjà dans les années 1950 (premières photos historiques disponibles). Cependant, les observations montrent que depuis, la tête de falaise au niveau de ce glissement a subi un recul de l'ordre de plusieurs mètres jusqu'à la dizaine de mètres. La comparaison entre les tracés de la tête de falaise interprétés à partir des orthophotographies (© IGN) datant de 1989 (juste après le passage d'Hugo, délimitation assez nette de la rupture de pente) et de 2017, montre un recul sur tout le linéaire, plus ou moins

important selon les secteurs (entre 1 et 11 m), ainsi que la disparition de certains bâtis, situés entre les deux tracés de la tête de falaise (Illustration 23).



Illustration 22. Evidence de glissement de la partie supérieure de la falaise ayant entraîné un recul de la tête de falaise entre 8 et 10 m – Quartier Bovis.

Cette comparaison montre la réactivation récente de ce glissement de « grande extension » sous la forme (1) de glissements d'ampleur modérée à élevée (plusieurs centaines de m³ à quelques milliers de m³ – intensité d'un ou deux ordre(s) de grandeur inférieure au glissement de « grande extension ») associés à des reculs de la tête de falaise d'une dizaine de mètre (traits rouges marquant des reculs entre 8 et 11 m - Illustration 23) et (2) d'érosion régressive chronique de la tête de falaise entre ces glissements (traits bleus marquant des reculs de 1 à 3 m - Illustration 23).

La susceptibilité à l'instabilité de cette falaise est d'abord conditionnée par la nature géologique des formations la constituant et résultant de l'altération de formations conglomératiques (isaltérite 1 et allotérite 1) et la circulation d'eau à l'intérieur de ces formations (localement des horizons plus humides, des résurgences d'eau, ...). L'anthropisation de la tête de falaise (surcharge exercée par les habitations, mauvaise gestion des eaux usées qui sont rejetées directement dans le talus, l'absence (ou le dysfonctionnement) de réseau de récupération et d'évacuation des eaux de ruissellement qui s'échappent directement dans le talus, la présence de la RN 2001 qui constitue une surface de ruissellement préférentielle, ...) est le principal facteur aggravant.

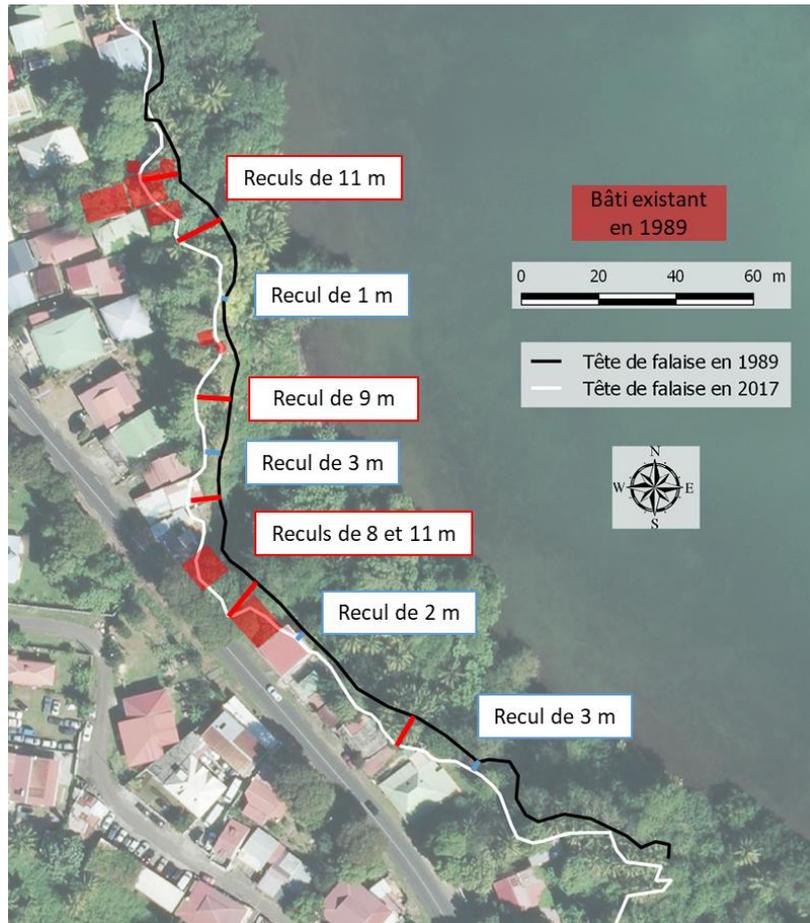


Illustration 23. Recul de la tête de falaise interprété d'après l'analyse d'orthophotographies (© IGN) entre 1989 et 2017 ainsi que la disparition de certains bâtis (BD ORTHO 2017 – © IGN).



Illustration 24. Niche d'arrachement en tête de falaise (à gauche) ayant provoqué le recul de la tête de falaise (à droite) – Quartier Bel-Air.

L'action de la mer est ici considérée comme un facteur aggravant secondaire, d'une part parce que la partie basse de la falaise est constituée des formations conglomératiques peu ou pas altérées, d'autre part parce que cette partie basse de la falaise est « protégée » à certains endroits par des formations colluvionnaires et enfin, principalement à Bovis, une zone de

mangrove s'est développée (ou survit) au pied de la falaise littorale et limite, à certains endroits, les effets de l'action de la mer.



Illustration 25. Exemple de maison menacée par le glissement de la partie supérieure de la falaise (à gauche) et de maison endommagée et abandonnée (à droite) - Quartier Bel-Air.

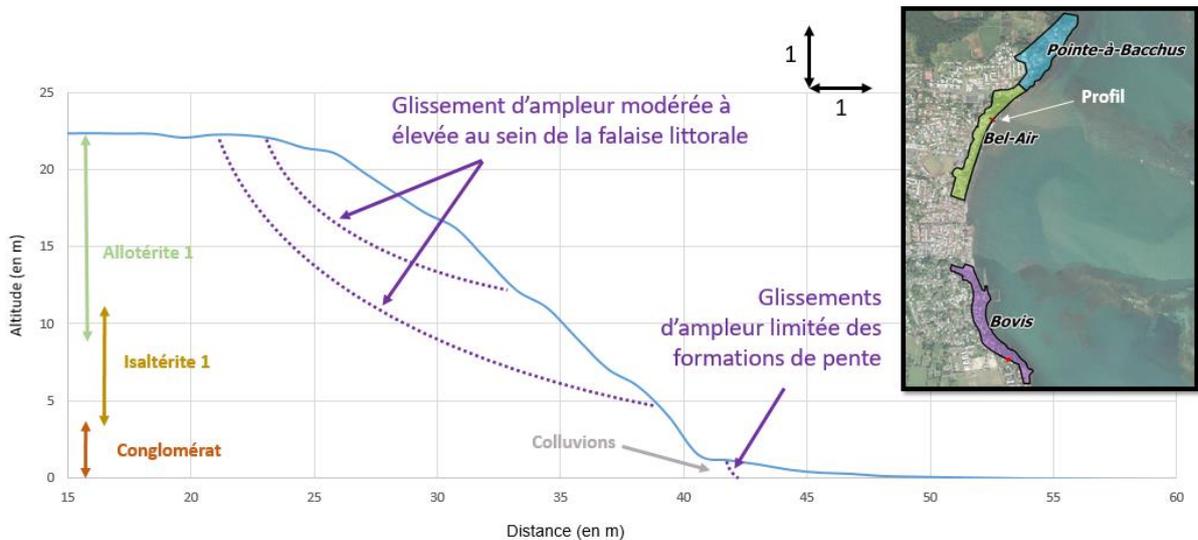


Illustration 26. Représentation schématique des différents mouvements de terrain identifiés au niveau de la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air. Le profil en long est extrait des données Litto 3D (© IGN-SHOM 2013) perpendiculairement à la falaise de Bel-Air.

Les mouvements de terrain attendus (Illustration 26) présentent une cinétique soudaine et rapide et se traduisent par deux conséquences à prendre en compte :

- le « recul » lié à un glissement qui concerne les enjeux situés en amont de la zone de rupture ;
- la « propagation » des glissements redoutés qui concerne les enjeux situés en aval de la zone de rupture.

- Le recul brutal de la tête de falaise de plusieurs mètres à une dizaine de mètres (Illustration 22 et Illustration 24). Plusieurs habitations ont déjà été endommagées par ce recul (sous-cavage, déchaussement des fondations, ...), certaines ont déjà été détruites (Bel-Air) et d'autres ont été abandonnées (Bovis et Bel-Air). Plusieurs habitations, toujours habitées, sont menacées à court terme (Illustration 25) ;
- La propagation des masses glissées en aval de la zone de rupture. Dans ce contexte précis de la falaise littorale de Bovis et de Bel-Air, les zones de propagation terminent en mer, sans qu'il n'y ait d'enjeux identifiés en aval. Nous avons fait le choix de prendre le trait de côte de référence pour déterminer la limite avale de ces zones de propagation.

3.3. CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN SUR POINTE-A-BACCHUS

3.3.1. Etude de stabilité du versant

Afin d'apprécier la stabilité du versant actuel et d'identifier notamment sa susceptibilité vis-à-vis d'un « grand » glissement (plusieurs dizaines à centaines de milliers de mètres cubes), une étude de stabilité a été réalisée sur le versant tel qu'on l'imagine avant le déclenchement du « grand » glissement supposé (rétro-analyse) pour identifier, au préalable, les conditions statiques qui expliqueraient que l'ensemble du versant ait glissé à cette époque de manière à évaluer ensuite la stabilité du versant actuel pour ces mêmes conditions mécaniques.

3.3.2. Caractéristiques des calculs de stabilité

Ces analyses de stabilité ont été menées à l'aide du logiciel Talren 5 (édité par Terrasol), sur trois profils présentés sur l'illustration 27, avec les caractéristiques et hypothèses de calcul suivantes :

- Méthode de Bishop ;
- En condition statique et pseudo-statique² ;
- Pour des surfaces de rupture circulaires ;
- A long terme (conditions drainées) ;
- Les coefficients partiels des données terrains sont de 1.

Les facteurs permanents qui interviennent sur la stabilité sont :

- La profondeur d'un substratum stable ;
- La caractéristique mécanique des terrains, soit la cohésion c' , l'angle de frottement φ' et le poids volumique γ . Sur ce point, le versant est constitué entièrement de coulées ponçues altérées qui se présentent en surface par des allotérites décrites comme un « limon et argile limoneuse peu plastique ». L'horizon susceptible d'être affecté par ce grand glissement pourrait correspondre à une partie moins altérée (isaltérites) Plusieurs valeurs du poids volumique (γ) et de paramètres c' et φ' ont été testées (Table 3) pour parcourir les fourchettes de valeur données par les différentes études géotechniques réalisées à proximité pour ces niveaux d'altération similaires (cf. § 2.4).

² La gravité est affectée d'un coefficient d'accélération horizontal et vertical

	γ (kN.m ⁻³)	ϕ' (°)	c' (kPa)
Hypothèse 1	16	25	15
Hypothèse 2	17	25	15
Hypothèse 3	17	25	5
Hypothèse 4	17	25	10
Hypothèse 5	17	20	10
Hypothèse 6	17	30	10

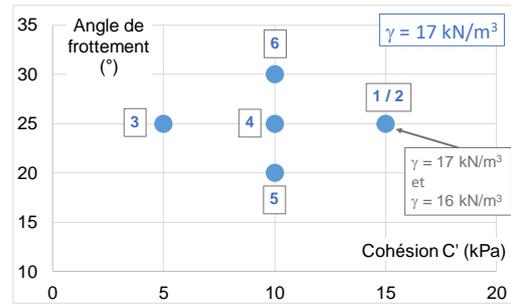


Table 3. Les six hypothèses prises en compte concernant les caractéristiques mécaniques.

Les facteurs déclenchants qui interviennent ensuite sur la stabilité sont l'accélération sismique et le niveau piézométrique. Nous effectuerons des calculs pour des hypothèses favorables : sans accélération sismique et avec un niveau piézométrique positionné à un niveau minimal en continuité avec le niveau de la mer. Les coefficients de sécurité obtenus seront donc des valeurs qui ne pourront qu'être réduites avec des conditions hydrogéologiques plus défavorables ou la prise en compte d'une accélération horizontale par exemple.



Illustration 27. Profils étudiés sur le site de Pointe-à-Bacchus.

Le choix de ces hypothèses favorables est réalisé dans l'optique d'une hiérarchisation des scénarios de rupture ; à terme, une analyse de sensibilité sur les facteurs de déclenchement pourrait être proposée, pour justifier notamment de la pertinence d'un suivi de la zone soumise aux glissements.

3.3.3. Identification des conditions statiques compatibles avec le déclenchement du « grand » glissement de versant suspecté

L'objectif est d'identifier les conditions statiques qui expliqueraient que l'ensemble du versant ait glissé à l'époque, de manière à évaluer ensuite la stabilité du versant actuel pour ces mêmes conditions mécaniques. Un profil topographique a été reconstitué en reliant l'escarpement actuel à la bathymétrie.

En l'absence de sondages ou de caractérisation du sous-sol, il subsiste une forte incertitude sur l'épaisseur des terrains mobilisables (c'est-à-dire : profondeur du substratum stable), paramètre pourtant le plus discriminant. Plusieurs calculs ont donc été lancés avec une configuration fixée des paramètres mécaniques (hypothèse 2) pour identifier la sensibilité de la profondeur du substratum pour des configurations hydrogéologiques optimistes (cf. Annexe 1).

Pour mémoire la valeur du coefficient de sécurité (F_s) détermine le caractère stable / instable de la pente considérée (Philipponnat & Hubert, 2004) :

- $F_s < 1$: glissement pratiquement inévitable ;
- $F_s > 1,5$: pente toujours stable ;

Entre ces deux valeurs s'étend un domaine où il existe un risque de rupture, d'autant plus grand que F_s diminue.

	γ (kN.m ⁻³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Coeff Séc Minimal	Cercle critique
Hyp.a prof. 10 m	17	25	15	1.40	Mi-Versant
Hyp.b prof. 20 m				1.39	Ensemble versant
Hyp.c prof. 30 m				1.35	Ensemble versant

Table 4. Coefficients de sécurité obtenus sur le profil C pour différents scénarios de paramètres de profondeur du substratum en condition hydrogéologique basse.

On constate que, quand le substratum est peu profond (une dizaine de mètres), un glissement de pied de versant est plus probable qu'un glissement de l'ensemble du versant, ce qui serait compatible seulement avec un glissement emboîté initié en pied de versant, mécanisme identifié au § 3.1.2.b) . La configuration où les coefficients de sécurité sont les plus faibles (1,3-1,4), correspond à une épaisseur de terrain mobilisé d'une vingtaine de mètres ce qui correspond à un substratum situé à plus de 20 m de profondeur. Pour la suite, il a été retenu une profondeur du substratum de 30 m pour envisager les deux mécanismes identifiés au § 3.1.2.b).

	γ (kN.m ⁻³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Coeff Séc Minimal Glissement de Versant compatible avec l'escarpement amont	Coeff Séc Minimal Tout Glissement
Hypothèse 1	16	25	15	1.33	1.32
Hypothèse 2	17	25	15	1.35	1.35
Hypothèse 3	17	25	5	1.20	1.12
Hypothèse 4	17	25	10	1.28	1.25
Hypothèse 5	17	20	10	1.03	1.01
Hypothèse 6	17	30	10	-	1.49

Table 5. Coefficients de sécurité obtenus sur le profil C avant rupture historique pour différents scénarios de paramètres mécaniques pour une profondeur du substratum de 30 m en condition hydrogéologique basse.

Plusieurs hypothèses sur les paramètres mécaniques ont été conduites pour évaluer celles compatibles avec un glissement d'ensemble du versant limité par l'escarpement sommital observé en amont. La Table 5 présente les résultats en condition hydrogéologique basse.

En conclusion :

- Vu la valeur des coefficients de sécurité obtenus, l'occurrence passée d'un grand glissement reste tout à fait crédible sur ce versant sachant que les conditions piézométriques considérées ici sont sécuritaires et que les calculs sont menés en conditions statiques ;
- La profondeur du substratum supérieure à 20 m et les paramètres mécaniques de l'hypothèse 5 sont les configurations pour lesquelles un grand glissement est le plus probable ;
- Ces études de stabilité permettent également d'estimer la taille du ou des grands glissement(s) susceptible(s) d'avoir été déclenché(s) à l'époque. La surface de rupture aurait atteint une centaine de mètres de longueur ce qui correspond à un volume de 100 000 m³ à 200 000 m³ et déboucherait sous le niveau marin.

3.3.4. Etude de stabilité du versant actuel

Pour évaluer la stabilité du versant actuel, les études de stabilité ont été conduites sur le profil C avec la profondeur du substratum de 30 m et les hypothèses de caractéristiques mécaniques les plus crédibles (hypothèse 5).

	γ (kN.m ⁻³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Coeff Séc Minimal Glissement de Versant	Coeff Séc Minimal Tout Glissement
Hypothèse 2	17	25	15	1,48	1,49
Hypothèse 4	17	25	10	1,40	1,16
Hypothèse 5	17	20	10	1,13	0,98

Table 6. Coefficient de sécurité sur le profil C actuel pour différents jeux de caractéristiques mécaniques en condition hydrogéologique basse.

Il en ressort que l'escarpement amont a un coefficient de sécurité faible (atteignant 0.98 pour l'hypothèse 5), le plaçant en limite de stabilité et confirmant qu'il soit particulièrement sensible à des glissements de terrain (Illustration 28).

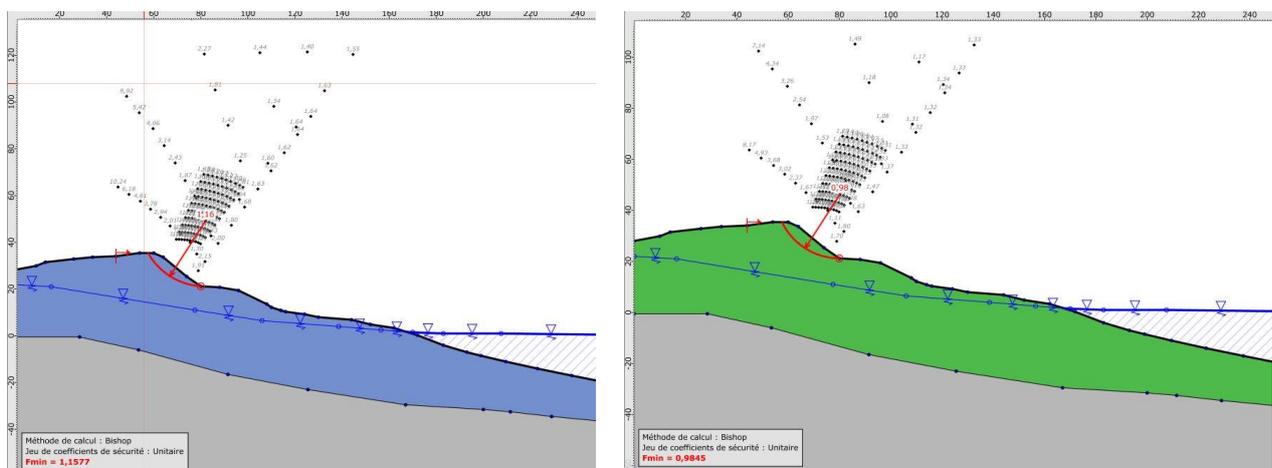


Illustration 28. Coefficients de sécurité concernant l'escarpement amont : coefficient de 1,16 à gauche pour l'hypothèse 4 ($c'10$, $\Phi'25$, $G17$) et de 0,98 à droite, pour l'hypothèse 5 ($c'10$, $\Phi'20$, $G17$) . Profondeur de toit d'une trentaine de mètres et condition hydrogéologique basse.

Le glissement de versant ne peut être totalement exclu puisque, pour les conditions mécaniques les plus défavorables (hypothèse 5), il atteint un minimum de 1.13, en condition hydrogéologique basse et sans tenir compte d'une sollicitation sismique. Toute augmentation du niveau hydrostatique aura tendance à diminuer encore ce coefficient de sécurité.

3.3.5. Conclusion concernant l'aléa mouvement de terrain sur Pointe-à-Bacchus

Les résultats obtenus restent limités par certaines hypothèses fortes émises (notamment sur le niveau piézométrique et la géométrie du versant). Des essais en laboratoire permettraient d'affiner les valeurs des paramètres mécaniques et un sondage carotté équipé d'un piézomètre permettrait de mieux contraindre l'épaisseur de terrain potentiellement mobilisable et la dynamique piézométrique du versant.

Quoi qu'il en soit, les coefficients de sécurité obtenus montrent que trois types de mouvements de terrain sont susceptibles de se déclencher sur Pointe-à-Bacchus, décrits dans les paragraphes suivants.

Glissement superficiel d'ampleur limitée sur le versant

Des loupes de glissements de taille plus limitée ont été repérées au sein et en pied du versant de Pointe-à-Bacchus dans les formations argileuses rouges (allotérites 2). Ces glissements atteignent des volumes jusqu'à quelques dizaines de m³. Ces indices (Illustration 29) paraissent superficiels mais ils pourraient également être associés à un mouvement d'ensemble ou à un ancien glissement de versant (§ 3.3.3 et § 3.3.4).



Illustration 29. Indices de glissements superficiels au niveau de la mer, au pied du versant.

Leur déclenchement est provoqué soit par les variations de pentes très localisées (associées à des travaux de terrassement, par exemple), soit par l'action mécanique de la mer.

Glissement d'ampleur modérée de l'escarpement subvertical (Pointe-à-Bacchus)

Les escarpements subverticaux, situés en amont du quartier de Pointe-à-Bacchus sont voués à évoluer pour reprendre à terme un profil d'équilibre. Vu la nature argilo-limoneuse des terrains (allotérite 2), on s'attend à des glissements. Ces escarpements mesurent entre 5 m (au sud-est) et 25 m (au nord) (Illustration 31).

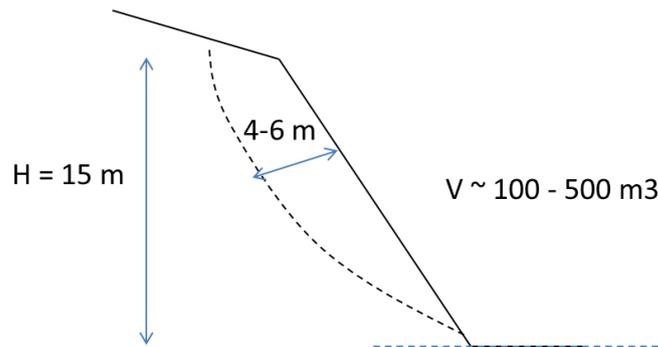


Illustration 30. Schéma d'une rupture du talus amont d'ampleur modérée, d'un volume de 100 à 500 m³.

La rupture du talus amont peut survenir à tout instant et tout le long du talus. Cette instabilité d'ampleur modérée est estimée entre 100 et 500 m³ selon la hauteur de l'escarpement induisant des reculs de la tête de versant de l'ordre de 4 à 6 m (Illustration 30). Ce phénomène à dynamique rapide se propagera probablement en aval.

La distance de propagation des ces glissements d'ampleur modéré est plus importante que la simple extension du bourrelet de pied ; les matériaux déstabilisés se propagent généralement sous forme de coulée. On choisira de traiter la propagation de ces glissements de la même façon que le phénomène de coulée comme décrit par Nachbaur et al. (2019).

La distance de propagation est couramment appréciable par le principe classique de la ligne d'énergie (Heim, 1932). L'approche utilisée dans cette étude et décrite par Nachbaur et al. (2019) pour caractériser la distance de propagation de ces glissements intègre les critères suivants :

- L'analyse de la nature géologique des formations, des épaisseurs et/ou volumes mobilisables ;
- L'évaluation de la valeur de l'angle β de la ligne d'énergie. Sur la base des données en Martinique (contexte analogue), Nachbaur et al. (2019) retiennent une valeur de l'angle β entre 27 et 18° pour des volumes allant de 100 à 10 000 m³.



Illustration 31. Evidences de glissements de terrain d'ampleur modérée au niveau de l'escarpement sub-vertical amont du glissement de grande ampleur affectant le quartier de Pointe-à-Bacchus.

Glissement de versant d'ampleur élevée à très élevée (Pointe-à-Bacchus)

L'ensemble de la zone d'étude de Pointe-à-Bacchus impliquant des terrains plus en retrait par rapport au littoral, est menacée par des glissements de terrain d'une plus grande envergure. La pente du versant varie entre 30° et 45° et présente un dénivelé qui atteint une vingtaine de mètres à l'extrémité est de la zone d'étude (ANTÉA, 2005).



Illustration 32. Loupe de glissement en aval de la route (à gauche) et glissement superficiel dans le versant (à droite) – Quartier Pointe-à-Bacchus.

De nombreux indices de glissement de terrain (poteau électrique penché, loupe de glissement comme celle présentée dans l'illustration 32), évoqués par ANTÉA dès 2005, sont repérables sur le terrain. Comme évoqué dans le paragraphe précédent, bien qu'ils paraissent superficiels (le plus important mobilise un volume compris entre un et quelques dizaines de m³) ces indices pourraient également suggérer un mouvement d'ensemble ou, marquer l'activité d'un ancien

glissement de versant limité par l'escarpement de plusieurs mètres localisé en tête de versant (Illustration 32). Outre ces loupes localisées, aucun indice d'activité d'ensemble n'a été observé pour le moment.

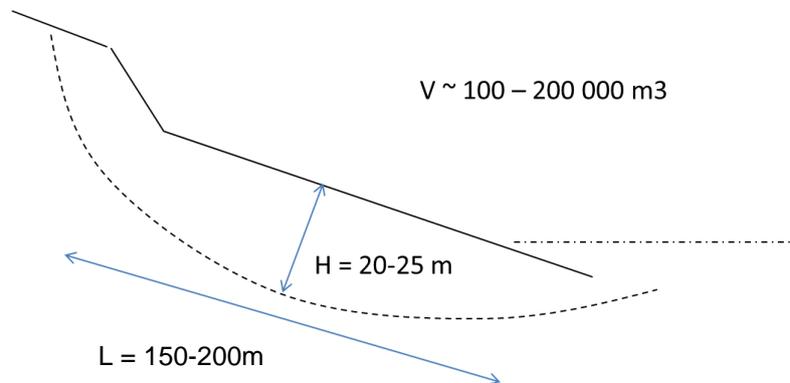


Illustration 33. Schéma d'un glissement de versant d'ampleur élevée à très élevée, d'un volume de 100 000 à 200 000 m³.

Les formations en place sont des allotérites caractérisées par des unités argilo-limoneuses de couleur rouge-ocre (allotérite 2) provenant de l'altération des formations volcaniques (isaltérite 2). Les formations en place apparaissent un peu plus indurées en pied de versant (au niveau de la plage) et de plus en plus altérées au fur et à mesure que l'on progresse vers le sommet (ANTÉA, 2005 et cette étude). Une étude géotechnique de type G11 (IMSRN, 2009) a confirmé la présence de limons et d'argiles limoneuses peu plastiques sur quelques mètres (profondeur des sondages) sur ce secteur Pointe-à-Bacchus.

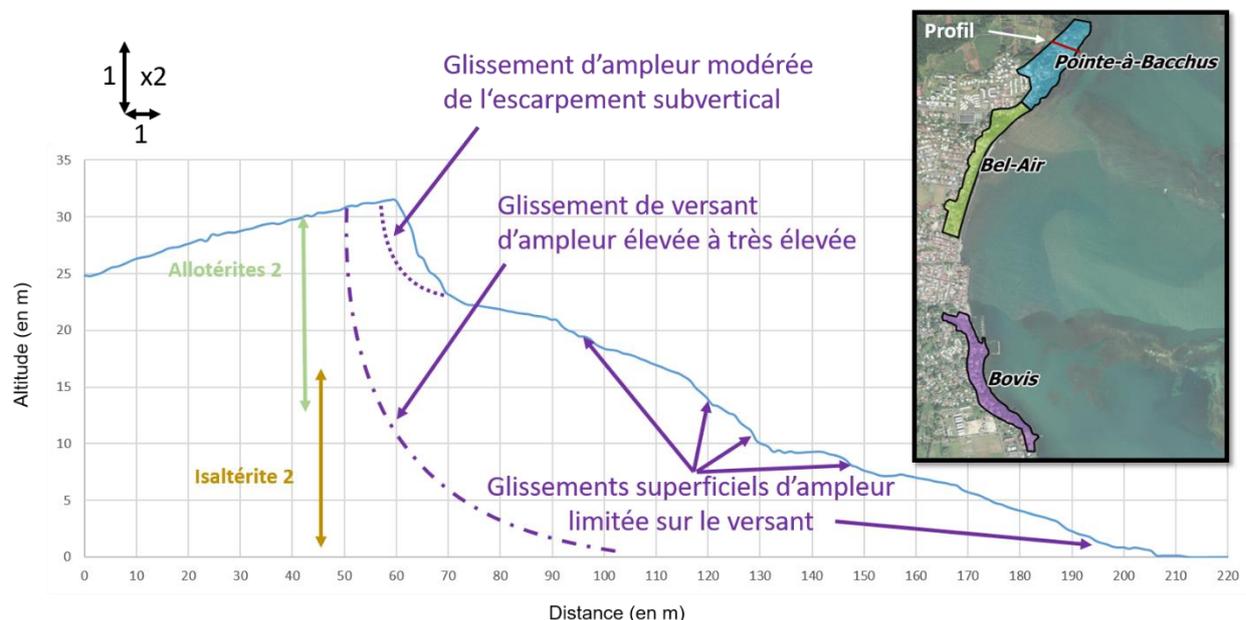


Illustration 34. Représentation schématique des différents mouvements de terrain identifiés à Pointe-à-Bacchus le long d'un profil extrait des données Litto 3D (© IGN-SHOM 2013).

Un exemple de ce type de glissement est celui d'Arnouville, situé à moins de 2 kilomètres au nord de la Pointe-à-Bacchus. Connu depuis 1977, ce glissement a connu de nombreuses périodes de réactivation (2001, 2003, 2004, 2005) provoquant des dégâts sur plusieurs constructions : garage,

terrasses et murs endommagés, fondations déchaussées, ...). Le versant serait le siège d'un glissement plan de grande ampleur, avec possiblement, plusieurs plans de rupture, jusqu'à 20 m de profondeur qui se prolongeraient en mer jusqu'à une distance difficile à préciser (ANTEA, 1992). Les formations glissées sont des argiles rouges bariolées dont l'épaisseur atteint une trentaine de mètres au maximum (BRGM, 1991). Ces argiles reposent sur un substratum lui-même argilisé en masse, qui affleure au niveau de la mer au nord du secteur, avec un léger pendage vers l'ouest, c'est-à-dire à l'opposé du sens du glissement. Les terrains argileux glissent en direction de la mer, sapés par l'action de la mer. Les rejets d'eau et les terrassements liés à l'urbanisation du secteur ainsi que les écoulements d'eau lors des épisodes pluvieux aggravent le phénomène.

Le déclenchement d'un glissement de versant d'ampleur élevée à très élevée (de l'ordre de 100 000 m³ à 200 000 m³) est moins probable mais dans l'état actuel des connaissances, il ne peut être totalement écarté. Vu la masse en mouvement et le confinement hydraulique en pied, les déformations attendues en surface suite à une rupture seront progressives ; un départ brutal sans indice précurseur n'est pas retenu.

3.4. SYNTHÈSE DES TYPOLOGIES DES MOUVEMENTS DE TERRAIN REDOUTES SUR LES SITES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS

Sur la commune de Petit-Bourg, les mouvements de terrain attendus sont essentiellement de type glissement de terrain, vu la nature des terrains. La Table 7 précise leurs caractéristiques.

Type de mouvement de terrain	Nature des terrains	Pointe-à-Bacchus	Bel-Air	Bovis
Glissements d'ampleur limitée	Colluvions de pente	X (sur le versant depuis la base du talus amont jusqu'au littoral)	X (en pied de pente)	
Glissements d'ampleur modérée à élevée	Formations altérées	X (talus amont)	X (partie supérieure de la falaise : isaltérite et allotérite)	
Glissement d'ampleur élevée à très élevée	Formations altérées	X (l'ensemble de la zone)		-

Table 7. Synthèse des configurations possibles sur le littoral de la commune de Petit-Bourg.

4. Définition des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines

4.1. RAPPEL SUR LE CONTEXTE LEGISLATIF

4.1.1. Loi Letchimy

La loi Letchimy (n° 2011-725 du 23 juin 2011) est définie comme une loi « portant dispositions particulières relatives aux quartiers d'habitat informel et à la lutte contre l'habitat indigne dans les départements et régions d'Outre-mer ».

Dans ce texte, l'article 6 stipule que « l'autorité administrative ayant ordonné la démolition de locaux à usage d'habitation édifiés sans droit ni titre dans une zone exposée à un risque naturel prévisible menaçant gravement des vies humaines peut verser une aide financière visant à compenser la perte de domicile aux occupants de bonne foi à l'origine de l'édification de ces locaux si les conditions suivantes sont remplies »

4.1.2. Décret relatif à la partie réglementaire du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique

L'article R. 561-2 du code de l'environnement (Décret n° 2014-1635 du 26 décembre 2014, article 4) précise que :

- « I. Le préfet engage la procédure d'expropriation à la demande des ministres chargés, respectivement, de la prévention des risques majeurs, de la sécurité civile et de l'économie.
- II. Le dossier soumis à l'enquête publique « en application de l'article R. 112-5 du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique » est complété par **une analyse des risques** décrivant les phénomènes naturels auxquels les biens sont exposés, et permettant d'apprécier l'importance et la gravité de la menace qu'ils présentent pour les vies humaines au regard notamment **des critères suivants** :
 - o 1° Les circonstances de temps et de lieu dans lesquelles le phénomène naturel est susceptible de se produire ;
 - o 2° L'évaluation des délais nécessaires à, d'une part, l'alerte des populations exposées et, d'autre part, leur complète évacuation.
- III. Cette analyse doit également permettre de vérifier que les autres moyens envisageables de sauvegarde et de protection des populations s'avèrent plus coûteux que les indemnités d'expropriation. »

4.1.3. Loi d'actualisation du droit de l'Outre-mer

L'article 28 de la loi d'actualisation du droit des Outre-mer (n° 2015-1268 du 14 octobre 2015) d'actualisation du droit des Outre-mer, complète les articles L. 5112-5 et L. 5112-6 du code général de la propriété des personnes publiques par un alinéa ainsi rédigé :

« La cession du terrain à des personnes privées ne peut être effectuée lorsque la construction est située dans une zone exposée à un risque naturel grave et prévisible menaçant des vies humaines. »

Bien qu'à l'origine, l'exposition aux risques naturels ne constitue pas un critère législatif fondant la régularisation foncière de cette zone des 50 pas géométriques, l'État a eu pour doctrine constante d'en tenir compte. Les dossiers de régularisation sont instruits au regard du zonage des aléas du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) et les demandes associées à des habitations situées dans une zone d'aléa fort du PPRN (zone rouge) ne sont pas régularisables.

Or, un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines ne serait pas directement et systématiquement assimilable à un aléa fort tel qu'il est caractérisé dans le cadre des Plan de Prévention des Risques Naturels. L'instruction des dossiers de régularisation des habitations situées dans la zone des 50 pas géométriques de Guadeloupe ne peut plus considérer que les dossiers doivent être instruits au regard de la zone d'aléa fort du PPR (zone rouge), mais doivent être instruits au regard de la zone exposée à un risque naturel grave et prévisible menaçant des vies humaines.

4.2. DEFINITION THEORIQUE D'UN RISQUE NATUREL GRAVE ET PREVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES (NACHBAUR ET AL., 2015)

Dans le cadre d'une étude réalisée pour le compte de la DEAL Guadeloupe en appui à l'Agence des 50 pas géométriques de Guadeloupe (Nachbaur et al., 2015), le BRGM a mis au point une méthodologie permettant de définir pour chaque construction et sur la base de différents critères (nature de la construction, occupants, environnement externe, typologie des phénomènes, ...), si la vie humaine de ces habitants est gravement menacée ou pas. Cette étude avait, entre autres, pour objectif de tester l'applicabilité de la loi Letchimy vis-à-vis des aléas mouvements de terrain et inondation.

Les différents critères (danger, intensité des effets, cinétique des phénomènes, exposition des personnes, vulnérabilité des personnes, ...) pris en compte pour la caractérisation d'un risque de mouvement de terrain grave et prévisible menaçant les vies humaines sont décrits en détail par Nachbaur et al. (2015).

En résumé, un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines implique :

- L'existence d'une « menace pour l'homme » évoquant d'abord le caractère dangereux d'un événement, soit dans notre cas, l'existence d'un phénomène naturel grave et prévisible ;
- L'existence d'une « menace » signifiant également qu'il existe des « indices qui laissent prévoir quelque chose de dangereux », soit que la probabilité d'occurrence de l'événement est non nulle ;
- L'existence d'une « menace pour l'homme » évoquant par ailleurs, l'exposition de l'homme à cette menace ;
- Le fait que la menace soit « grave » qualifiant donc le niveau de la menace pour l'homme, et donc l'intensité des effets de l'événement redouté.

Ainsi, une « menace grave » correspond à une menace ayant des conséquences irréversibles sur la vie humaine.

Notons aussi que la gravité d'un évènement est usuellement déterminée par la combinaison de trois des quatre paramètres qui caractérisent le risque :

- l'intensité du phénomène, sachant que l'intensité est fonction de l'ampleur du phénomène (faibles conséquences pour la vie humaine, dégâts importants au bâti, mise en péril de la sécurité des personnes, destruction quasi-totale au bâti, fatal aux personnes présentes sur le lieu) ;
- la valeur des enjeux exposés au phénomène ;
- la vulnérabilité des enjeux face à l'intensité du phénomène, sachant que la vulnérabilité (ou fragilité) concerne la capacité de résistance d'un élément matériel (constructions, ouvrages, etc.) ou non (comportement humain, organisation des secours, etc.) vis-à-vis d'une agression donnée.

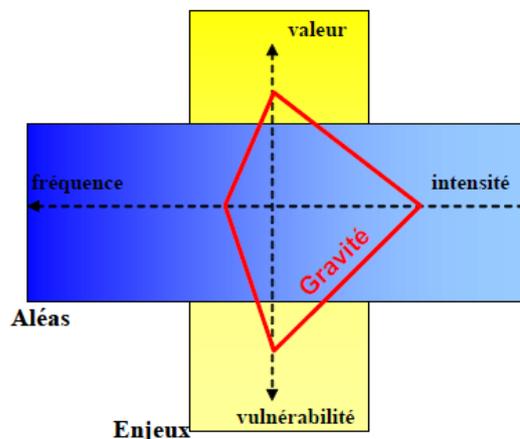


Illustration 35. Schéma explicatif de la notion de gravité (source : MEDDAD).

Cette notion de risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines n'intègre pas, ou peu, la notion de fréquence ou de période de retour (Illustration 35), ce qui la différencie d'un aléa tel qu'il est défini dans les Plans de Prévention des Risques Naturels. Elle s'entend en considérant la survenue instantanée d'un évènement naturel grave et prévisible à un instant « t » en mettant davantage l'accent sur la notion d'intensité des effets du phénomène et sa gravité vis-à-vis de la vie humaine.

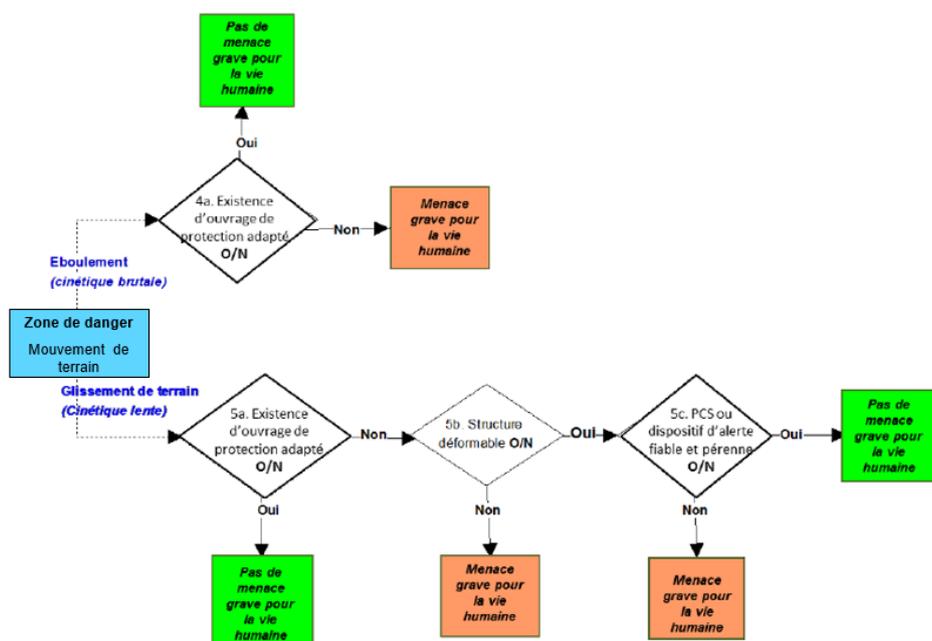


Illustration 36. Logigramme permettant d'identifier les conditions nécessaires à la caractérisation d'un risque de mouvement de terrain grave et prévisible menaçant les vies humaines (« Menace grave pour la vie humaine ») en fonction de la cinétique (brutale ou lente) du phénomène redouté (modifié d'après Nachbaur et al., 2015).

Le logigramme (Illustration 36), repris d'après Nachbaur et al., 2015, explicite la procédure proposée pour identifier les bâtiments présentant un risque de mouvement de terrain grave et prévisible menaçant les vies humaines. Les rectangles bleus correspondent aux données d'entrée. Les critères (losanges blancs) s'enchaînent séquentiellement et *in fine*, aboutissent à un rectangle rouge pour indiquer une situation de menace grave pour les vies humaines ou à un rectangle vert pour indiquer l'absence de menace grave.

4.3. CARACTÉRISATION DU RISQUE DE MOUVEMENT DE TERRAIN GRAVE ET PREVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES

4.3.1. Différents types de mouvement de terrain redoutés

Le terme générique de mouvement de terrain englobe, en réalité, plusieurs phénomènes naturels qui n'ont pas les mêmes effets et pas la même cinétique. Chacun de ces phénomènes a une cinétique spécifique distinguant leur dangerosité et la possibilité de mise en sécurité des populations. Pour les mouvements de terrain, c'est ce critère qui est retenu comme le plus significatif pour identifier des menaces graves sur les vies humaines.

A partir de cette définition on distinguera alors :

- les mouvements de terrain soudain, dangereux ET à cinétique rapide (Chutes de blocs, Eboulement de falaise, ...) ne permettant pas le déploiement de mesures de sécurité ;
- les mouvements de terrain peu dangereux ET/OU à cinétique lente (glissement de terrain lent, tassement) permettant le déploiement de dispositif d'alerte et des mesures de sécurité.

Nous avons caractérisé précédemment (§ 3.2 Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain sur Bovis et Bel-Air et § 3.3 Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain sur Pointe-à-Bacchus) et synthétisé dans la Table 2, les différents types de mouvement de terrain sur les différents sites d'études de Petit-Bourg (Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus) :

- **Des glissements d'ampleur limitée des formations de pente** : dans les colluvions de pente observés en pied de versant sur les sites de Bovis et de Bel-Air. La **probabilité d'occurrence** de ces phénomènes est jugée **forte** notamment par la nature des formations géologiques peu consolidées et l'exposition à l'action mécanique de la mer ; l'**intensité** est jugée **faible**, avec des volumes mobilisables entre quelques m³ à quelques dizaines de m³ ;
- **Des glissements superficiels d'ampleur limitée sur le versant** de Pointe-à-Bacchus, dans des formations argileuses rouges. La **probabilité d'occurrence** de ces phénomènes est jugée **moyenne à forte** notamment par la nature des formations géologiques (allotérite) et l'exposition à l'action mécanique de la mer du pied de versant ; l'**intensité** est jugée **faible**, avec des volumes mobilisables entre quelques m³ à quelques dizaines de m³ ;
- **Des glissements d'ampleur modérée à élevée au sein de la falaise littorale sur les sites de Bel-Air et de Bovis**, caractérisés par une cinétique soudaine et rapide et qui se traduisent par le recul brutal de la tête de falaise de plusieurs mètres à une dizaine de mètres dans des formations altérées à très altérées. La **probabilité d'occurrence** de ces phénomènes est jugée **forte** notamment par la nature des formations géologiques (isaltérite et allotérite), par l'épaisseur de ces formations pouvant atteindre jusqu'à 20 m par endroits, par les fortes pentes et les très nombreuses évidences d'instabilités observées sur le terrain ; l'**intensité** est jugée **modérée à élevée**, avec des volumes mobilisables allant de plusieurs centaines de m³ à plusieurs milliers de m³ ;
- **Des glissement d'ampleur modérée de l'escarpement subvertical sur le site de Pointe-à-Bacchus**, caractérisés par une cinétique soudaine et rapide et qui se traduisent par le recul

brutal de la tête de falaise de plusieurs mètres (de l'ordre de 4 à 6 m) dans des formations argileuses. La **probabilité d'occurrence** de ces phénomènes est jugée **forte** notamment par la nature des formations géologiques (allotérite), par l'épaisseur de ces formations pouvant atteindre jusqu'à 25 m, par les fortes pentes et par les très nombreuses évidences d'instabilités observées sur le terrain ; l'**intensité** est jugée **modérée**, avec des volumes mobilisables allant de la centaine de m³ à plusieurs centaines de m³.

- **Un glissement d'ampleur élevée à très élevée de l'ensemble du versant de Pointe-à-Bacchus**, caractérisé par une cinétique lente dans des formations argileuses. La **probabilité d'occurrence** de ce phénomène est jugée **faible** en l'état actuel des connaissances mais il ne peut être totalement écarté, notamment par la nature des formations géologiques (allotérite), par la morphologie globale du versant (trace d'un ancien glissement de versant) et par les très nombreuses évidences d'instabilités superficielles d'ampleurs limitées observées sur tout le versant. L'**intensité** est jugée **élevée à très élevée**, entre plusieurs dizaines de milliers de m³ et quelques centaines milliers de m³ potentiellement mobilisables en cas de réactivation de ce glissement.

4.3.2. Caractérisation du risque de mouvement de terrain grave et prévisible

Les différents mouvements de terrain pouvant se produire sur les secteurs de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus ont été décrits dans les § 3.2 et § 3.3 et synthétisés dans le §4.3.1. Il s'agit de glissements d'ampleurs variables et se produisant dans des colluvions ou des formations altérées (allotérite 1 et 2 et isaltérite 1).

La méthode décrite au § 4.2 aboutit à une caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines basée sur la nature, la cinétique et le danger d'un phénomène de mouvement de terrain. La première étape avant de dérouler le logigramme est de caractériser la zone de « danger », la zone où le risque de mouvement de terrain est grave et prévisible et à l'intérieur de laquelle on qualifiera en fonction de la méthode décrite précédemment (Nachbaur et la., 2015) la menace pour la vie humaine.

Pour qualifier l'emprise de la zone présentant un risque naturel grave et prévisible (ou zone de « danger ») associée à ces mouvements de terrain, des scénarios de référence ont été définis, prenant en compte l'intensité du phénomène et son impact sur les bâtis présents en tête de falaise (pour Bovis et Bel-Air) ou en pied de talus (pour Pointe-à-Bacchus).

Dans le cas des glissements superficiels d'intensités faibles, qu'il s'agisse des glissements dans les formations de pente à Bovis ou à Bel-Air ou des glissements sur le versant de Pointe-à-Bacchus, et même si la probabilité d'occurrence peut être forte (indices historiques et actuels), ces phénomènes semblent avoir un impact assez limité sur les enjeux identifiés, ce qui devrait permettre le déploiement de mesures de sécurité pour les personnes occupant ces zones (alerte des populations et évacuation si nécessaire). Ces phénomènes ne seront pas pris en compte dans la caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines :

- ➔ Pour les sites de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus, il n'y a pas d'enjeux directement affectés ou à très court terme par ces phénomènes observés en pied de versant dans la zone littorale. A terme, sur Bovis et Bel-Air, le recul associé à ces glissements superficiels pourrait devenir un facteur aggravant pour le déclenchement des glissements d'intensités modérée à élevée des falaises littorales de Bovis et de Bel-Air.
- ➔ Pour le site de Pointe-à-Bacchus, aucun impact sur les bâtis en relation avec des glissements superficiels d'intensités faibles dans le versant n'a pu être observé.

Dans le cas du glissement de l'ensemble du versant, à Pointe-à-Bacchus, il s'agit d'un phénomène d'intensité élevée à très élevée (volume important de l'ordre de la centaine de milliers de m³, sur une zone représentant l'ensemble du quartier de Pointe-à-Bacchus (> 60 000 m²) avec une probabilité d'occurrence faible puisqu'il n'a pu être établi que ce glissement de versant était ou avait été actif récemment. En l'état actuel des connaissances, et en dehors de signes de réactivation, ce phénomène ne sera pas pris en compte dans la caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines.

- ➔ Toutefois au vu de l'intensité du phénomène redouté et de l'impact potentiel sur le quartier de Pointe-à-Bacchus (glissements d'ampleur faible à modérée, ouverture de fissures dans les murs des bâtiments, détérioration des réseaux (routes, canalisations, ...), ... jusqu'à la destruction complète du quartier), une étude complémentaire pour affiner notre connaissance de ce phénomène de grande ampleur et caractériser son évolution probable, avec la mise en place d'un réseau de suivi (capteurs inclinométriques et extensométriques, relevés GPS Différentiel, suivi piézométrique, ...), nous paraît indispensable.

Dans le cas des glissements d'ampleur modérée à élevée (escarpement à Pointe-à-Bacchus et falaise littorale à Bovis et Bel-Air), dans des formations altérées (Isaltérite 1) à très altérées (Allotérite 1 et 2), la cinétique rapide (rupture brutale et soudaine), la probabilité d'occurrence élevée et l'intensité modérée à élevée (volume mobilisable entre plusieurs centaines de m³ et plusieurs milliers de m³), la présence de nombreuses habitations en tête de falaise (Bovis et Bel-Air) ou en pied de talus (Pointe-à-Bacchus) entraînent une dangerosité importante de ce phénomène vis-à-vis des vies humaines.

Pour caractériser les zones présentant un risque de mouvement de terrain grave et prévisible (ou zones de « danger »), deux conséquences des phénomènes considérés sont prises en compte (Illustration 37) :

- le « recul » lié à un glissement qui concerne les enjeux situés en amont de la zone de rupture ;
- la « propagation » des glissements redoutés qui concerne les enjeux situés en aval de la zone de rupture.

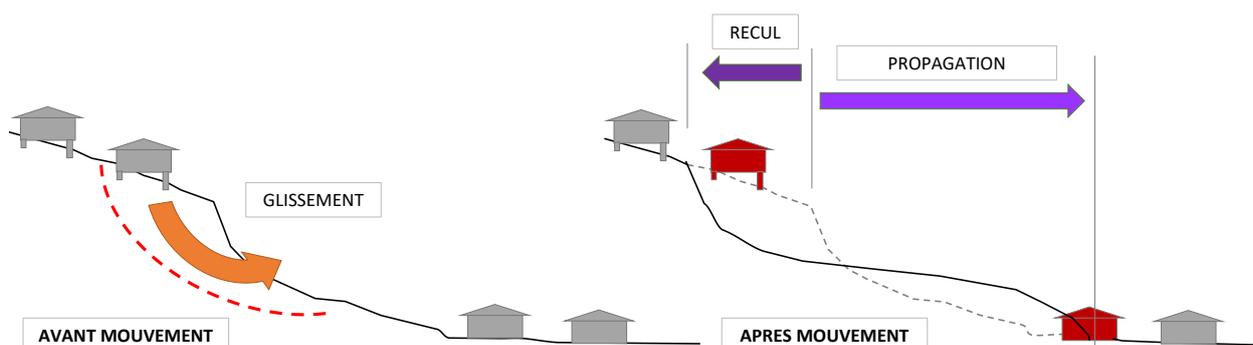


Illustration 37. Menaces graves pour la vie humaine en cas de glissement de terrain : impacts redoutés

Pour caractériser ces phénomènes de recul et de propagation sont retenus comme principaux critères :

- Pour les deux phénomènes :
 - o La nature et l'épaisseur des formations géologiques instables (isaltérites 1 et allotérites 1 et 2) ;

- La quantité très importante d'indices d'instabilités : plus d'une cinquantaine sur Bovis et Bel-Air depuis 50 ans sur la base des observations des orthophotographies historiques (© IGN) ;
- La pente des terrains ;
- Pour le phénomène de recul de la tête de falaise, en cohérence avec nos observations, le recul de la ligne de crête en cas de glissement peut être estimé à une fois l'épaisseur des formations affectées par le glissement. Cette quantification repose notamment sur :
 - Les observations de terrain décrites lors des différentes études de risques sur les sites d'études (BRGM, 1993 ; ANTEA, 2003 et 2005 ; IMSRN, 2011) et celles réalisées au cours de cette étude entre 2016 et 2019. Notamment celle d'un glissement récent (estimé entre 600 m³ et 800 m³) qui s'est produit en 2017 sur la pointe Bovis (Illustration 39), entraînant un recul de la tête de falaise de 8 m, sur une largeur d'environ 10 m. Ce glissement s'est produit sur l'ensemble de la falaise, d'une hauteur d'environ 10 m, dans les formations altérées caractérisées auparavant (allotérite 1 et isaltérite 1) ;
 - Les interprétations faites sur le recul de la tête de falaise par analyse des orthophotographies aériennes, notamment à Bovis (Chapitre 3.2 et Illustration 23) ;
- Pour le phénomène de propagation du glissement en aval, la distance de propagation est appréciée par le principe de la ligne d'énergie. Cette approche a été valorisée en Martinique récemment pour le cadrage méthodologique de réalisation des PPR Mouvement de terrain (Nachbaur *et al.*, 2019). Ont été pris en compte :
 - L'analyse de la nature géologique des formations sur la base des observations de terrain ;
 - L'analyse morphologique du versant (courbures, replats, ...) sur la base des observations de terrain ;
 - La caractérisation des volumes mobilisables ;
 - L'évaluation de la valeur de l'angle β de la ligne d'énergie. Pour le site de Pointe-à-Bacchus, les valeurs d'angles retenues pour la cartographie ont été de 19° à 26°. A titre d'exemple, le glissement de la Pointe Bovis (Illustration 39) fournit une valeur d'angle de l'ordre de 19° (H = 10 m ; L = 32 m). Ces valeurs sont cohérentes avec celle avec décrites dans la littérature (e.g., Corominas, 1996 ; Nachbaur *et al.*, 2019).

Dans ce contexte précis de la falaise de Bovis et de Bel-Air, les zones de propagation terminent en mer, sans qu'il n'y ait d'enjeux identifiés en aval. Nous avons fait le choix de prendre le trait de côte de référence pour déterminer la limite avale de ces zones de propagation.

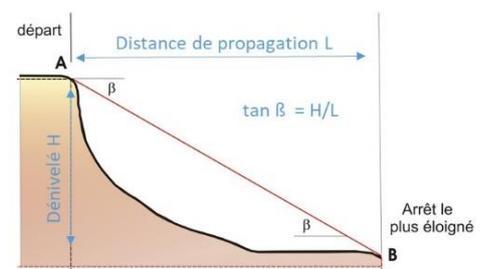
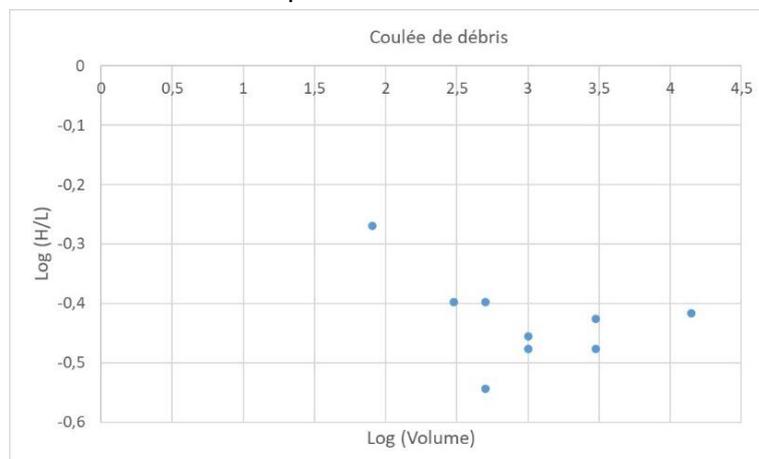


Illustration 38 : Relation empirique entre le volume de la masse glissée et l'angle de la ligne d'énergie ($\beta = \text{ArcTan}(H/L)$) : application aux coulées de débris martiniquaises.



Illustration 39. Caractérisation d'un glissement récent (2017) sur toute la hauteur de la falaise (10 m) entraînant un recul de près de 8 m de la tête de falaise – Bovis.

5. Application aux sites d'études de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus

5.1. CARACTERISATION DES HABITATIONS SUR LES SITES D'ETUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS

L'identification du bâti exposé pour les sites d'étude de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus s'appuie sur une analyse des différentes bases des données disponibles :

- La base de données de l'IGN : BD TOPO datant de 2013 ;
- Une étude de la CANBT de 2014 réalisée par ACSES, Diver Cité, Caraïbes Paysages, C2R et QualiStat : Etude de programmation sur la relocalisation des activités et des biens dans les secteurs littoraux de la CANBT – secteurs de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus à Petit-Bourg ;
- L'ortho-photographie de l'IGN datant de 2017 ;
- Une étude de la SEMSAMAR de 2017 réalisée par URBIS dans le cadre de la Maîtrise d'Œuvre Urbaine et Sociale de la RHI ;
- Des compléments ponctuels et non exhaustifs apportés par le BRGM lors des différentes phases de reconnaissances de terrain

Cette synthèse du bâti permet d'avoir une vision générale de l'occupation des sols sur les sites d'étude mais reste à affiner et à actualiser en 2019. Certains de ces bâtiments sont des ruines, d'autres sont à l'abandon et potentiellement de nouveaux ont pu être construits et occupés. Ce travail est en cours par les services de l'Etat.

5.2. REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DU RISQUE MOUVEMENT DE TERRAIN GRAVE ET PREVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES SUR LES SITES D'ETUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS

La falaise littorale à Bovis et Bel-Air et l'escarpement amont de Pointe-à-Bacchus sont considérés comme des zones de danger ou présentent un risque de mouvement de terrain grave et prévisible, sur toute leur hauteur (Pointe-à-Bacchus) ou presque (prise en compte des formations conglomératiques en pied de falaise à Bel-Air (entre 2 et 3 m d'épaisseur) et Bovis (entre 4 et 8 m d'épaisseur) qui ne semblent pas affectées par les glissements).

Pour prendre en compte les reculs de la tête de falaise associés au scénario de référence, une bande supplémentaire est prise à partir de la tête de l'escarpement (données Litto3D actualisées par nos observations de terrain) dont la largeur dépend de l'épaisseur des formations altérées pouvant être mises en jeu lors d'un glissement de terrain brutal avec une cinétique rapide d'ampleur modérée à élevée.

Les Illustration 40, Illustration 41 et Illustration 42 permettent de représenter ces zones de risque naturel grave et prévisible sur les trois sites d'études en fonction de la hauteur de la falaise (polylignes de couleurs différentes en fonction de l'altitude de la tête de falaise) et de l'épaisseur des formations mobilisables (allotérites et isaltérites) reconnue sur le terrain (chiffres noirs avec un contour blanc).

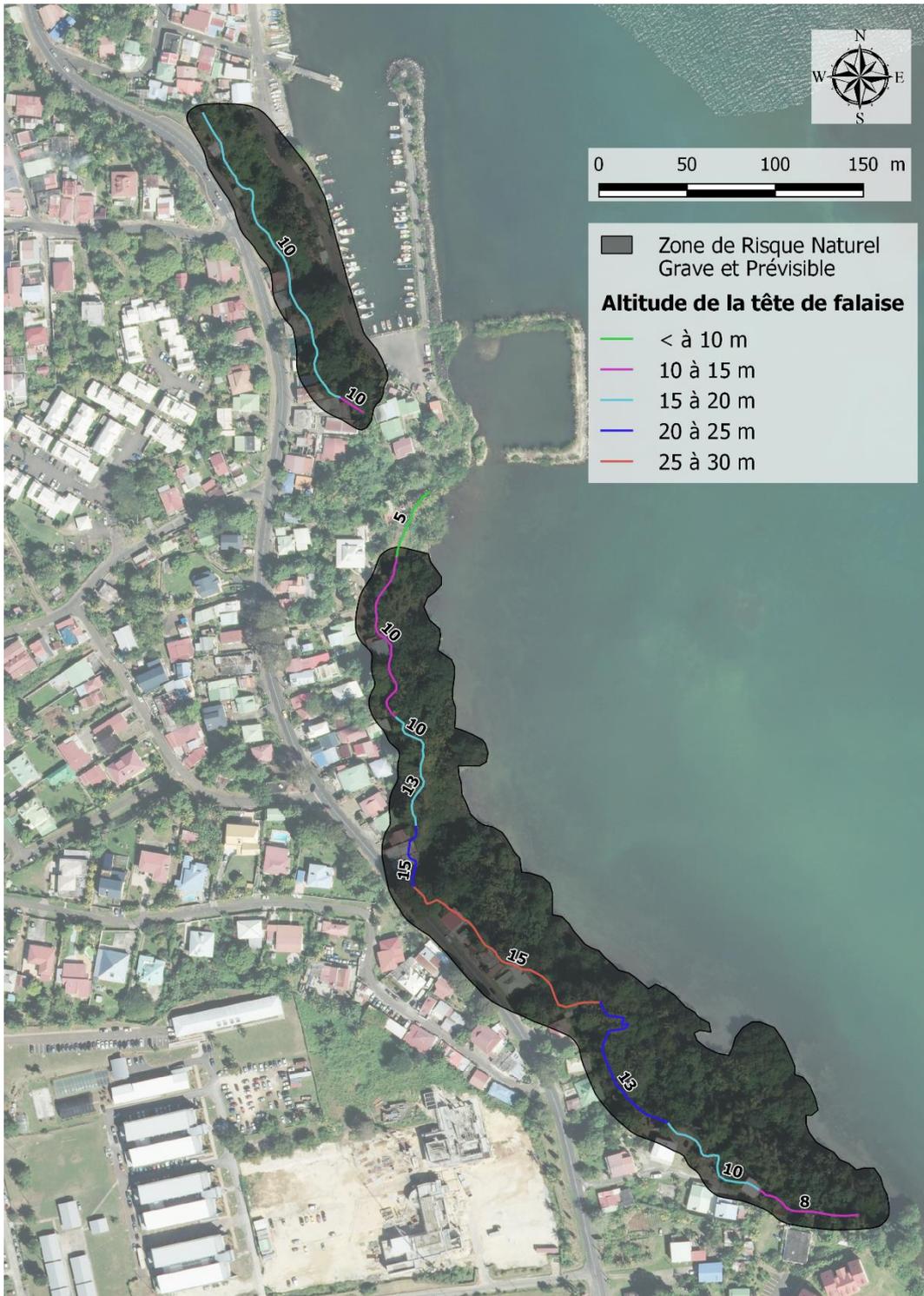


Illustration 40. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible (emprise grise) sur le site de Bovis en fonction de l'altitude de la tête de falaise (polyligne multicolore) et de l'épaisseur des formations mobilisables (chiffres).



Illustration 41. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible (emprise grise) sur le site de Bel-Air en fonction de l'altitude de la tête de falaise (polyligne multicolore) et de l'épaisseur des formations mobilisables (chiffres).

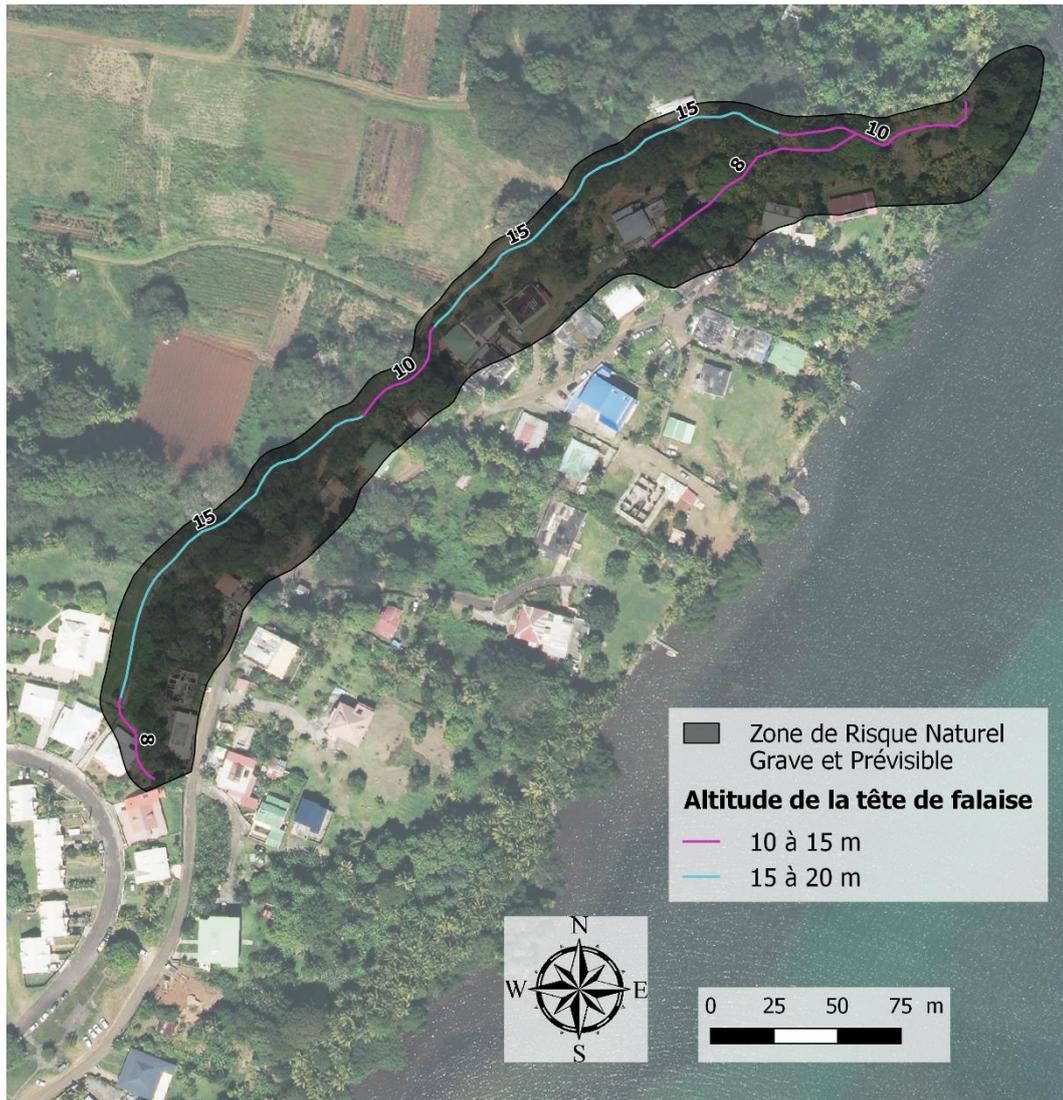


Illustration 42. Cartographie du risque de mouvement de terrain grave et prévisible (emprise grise) sur le site de Pointe-à-Bacchus en fonction de l'altitude de la tête de falaise (polyligne multicolore) et de l'épaisseur des formations mobilisables (chiffres).

5.3. CARACTERISATION DU RISQUE NATUREL GRAVE ET PREVISIBLE MENAÇANT LES VIES HUMAINES SUR LES SITES D'ETUDES DE BOVIS, BEL-AIR ET POINTE-A-BACCHUS

La méthodologie définie par Nachbaur et al. (2015) et présentée par un logigramme de décision dans l'illustration 36 a été utilisée pour caractériser le risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur les sites d'étude de Bel-Air, de Bovis et de pointe-à-Bacchus.

Le logigramme de l'illustration 36 a été appliqué à l'ensemble des bâtiments situés dans l'emprise de la zone présentant un risque mouvement de terrain grave et prévisible (zone de danger – Illustration 40 Illustration 41 et Illustration 42).

Pour ce type de phénomène (soudain avec une cinétique brutale), les délais nécessaires à, d'une part, l'alerte des populations exposées et, d'autre part, leur mise à l'abri ou leur complète

évacuation, ne peuvent pas être pris comme compte. La déclinaison des critères de décision pour caractériser la menace pour la vie humaine se résume à la présence ou non d'ouvrage de protection adapté.

Comme il n'existe pas (pour le moment) d'ouvrage de protection adapté pour réduire le phénomène de glissement d'ampleur modérée à élevée, l'ensemble des bâtiments présents dans ces zones de danger est considéré comme présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant la vie humaine.

Les Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45 représentent, sous forme cartographique, les habitations concernées par un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, sur les sites d'études de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

Par souci de hiérarchisation, il a été souhaité de différencier, à l'intérieur des habitations concernées par un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, celles qui sont intégralement présentes dans la zone de danger ou qui recoupent largement celle-ci (en violet), de celles qui ne recoupent que partiellement la zone de danger (rouge). Les critères de sélection proposés ont été déterminés sur la base des observations de terrain (observations de bâtiments avec 4 m de profondeur de sous-cavage), des incertitudes inhérentes à notre méthodologie (positionnement de la tête de falaise, estimation du recul de la tête de falaise, précision sur l'emprise des habitations, ...) et en accord avec le comité de pilotage du projet :

- Au-delà de 50 % de la surface du bâti en zone de danger : bâti largement exposé (violet - Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45) ;
- Au-delà d'une pénétration de plus de 4 m de la limite de la zone de danger dans l'emprise du bâti : bâti largement exposé (violet - Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45) ;
- Entre 0 et 50 % de la surface du bâti en zone de danger : bâti en partie exposé (rouge - Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45) ;
- Entre 0 et 4 m de pénétration de la limite de la zone de danger dans l'emprise du bâti : bâti en partie exposé (rouge - Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45) ;
- Autrement : bâti non exposé (pas représenté - Illustration 43, Illustration 44 et Illustration 45).

En gris, sont représentés les annexes et bâtis de stockage/dépôt.

Sur le site d'étude de Bovis, **43 bâtis** présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 10 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 7 ne sont que partiellement exposés.

Sur le site d'étude de Bel-Air, **34 bâtis** présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 5 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 9 ne sont que partiellement exposés.

Sur le site d'étude de Pointe-à-Bacchus, **14 bâtis** présentent un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines dont un n'est que partiellement exposé.



Illustration 43. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Bel-Air.

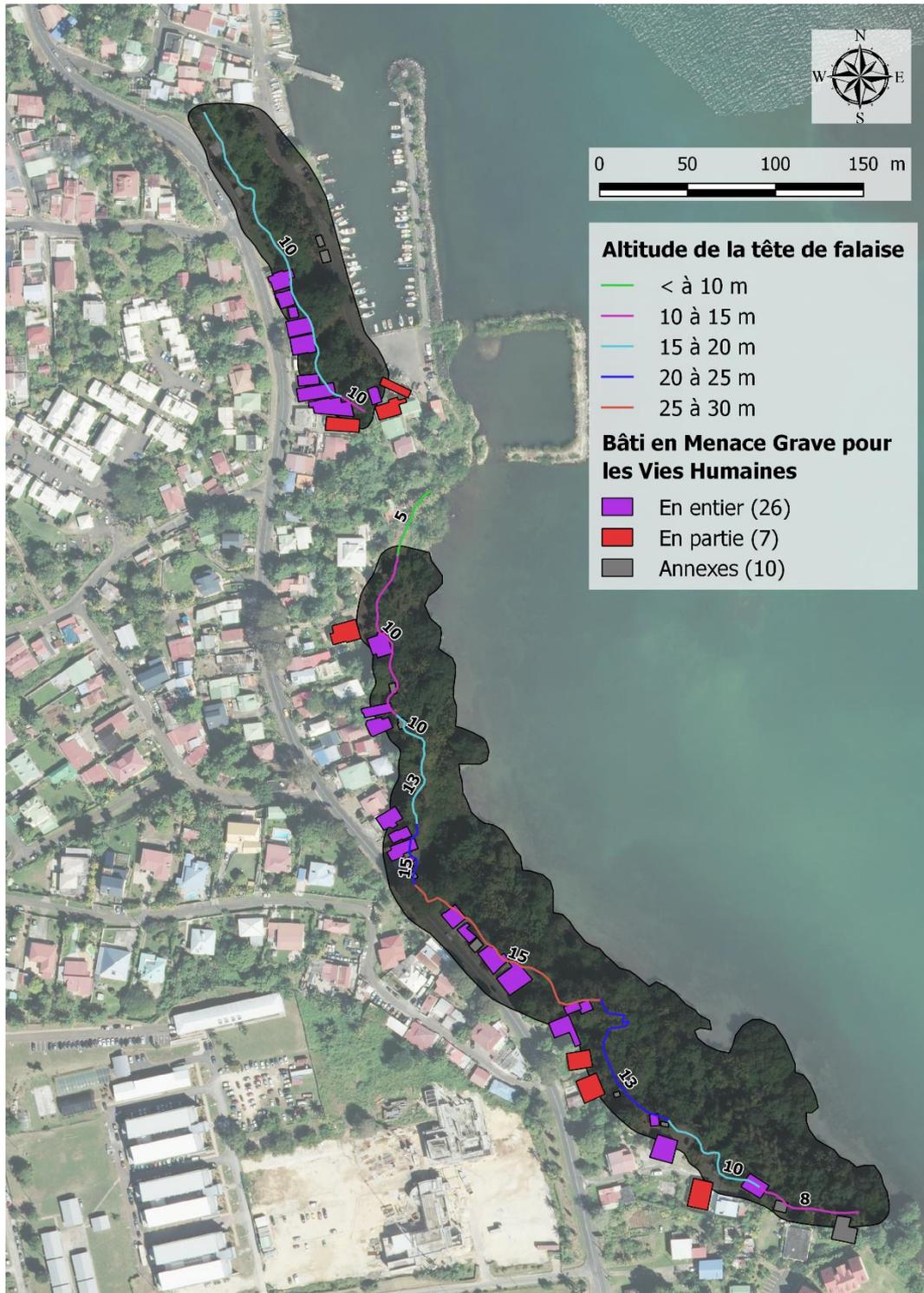


Illustration 44. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Bovis.

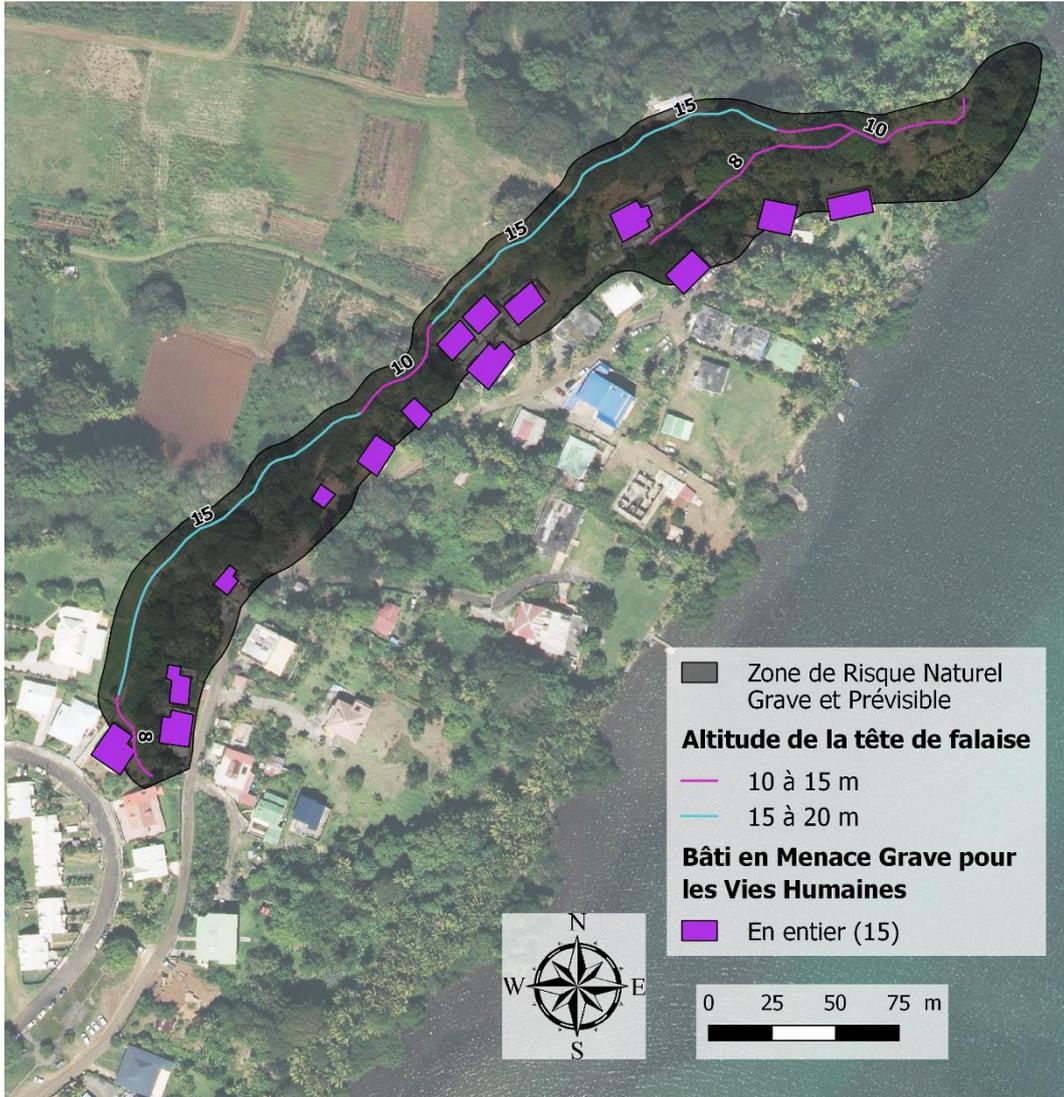


Illustration 45. Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur le site d'étude de Pointe-à-Bacchus.

6. Conclusion

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, le ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie a lancé, en 2012, auprès des collectivités locales intéressées, un appel à projet « relocalisation spatiale des activités et des biens fortement exposés dans les territoires à risques littoraux ».

La commune de Petit-Bourg avec la Communauté d'Agglomération du Nord Basse-Terre (CANBT) et, en collaboration avec l'Agence des 50 pas géométriques de la Guadeloupe (AG50), est la seule collectivité d'Outre-mer à avoir été retenue avec un projet concernant les quartiers de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

Le BRGM a été sollicité par la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de Guadeloupe (DEAL Guadeloupe) pour :

1. Caractériser les zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines au sens des lois Letchimy (2011) et d'actualisation du droit de l'Outre-mer (ADOM) (2015) pour l'aléa mouvement de terrain sur les secteurs de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus ;
2. Identifier et évaluer des stratégies de gestion des risques sur le long terme pour le quartier de Pointe-à-Bacchus.

La susceptibilité à l'instabilité des falaises de Bovis et de Bel-Air est d'abord conditionnée par la nature géologique des formations la constituant et la présence d'eau souterraine à l'intérieur de ces formations. L'anthropisation de la tête de falaise, l'absence (ou le dysfonctionnement) de réseau de récupération et d'évacuation des eaux de ruissellement, la présence de la RN 2001 qui constitue une surface de ruissellement préférentielle, ...) sont les principaux facteurs aggravants. L'action de la mer n'est finalement considérée que comme un facteur aggravant secondaire. Pour le quartier de Pointe-à-Bacchus, l'aléa recul du trait de côte a été caractérisé mais n'affecte pas les zones urbanisées (Annexe 3).

La caractérisation des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines au sens des lois Letchimy (2011) et d'actualisation du droit de l'Outre-mer (ADOM) (2015) pour les quartiers de Bovis, de Bel-Air et de Pointe-à-Bacchus ne repose donc que sur une analyse de l'aléa mouvement de terrain.

L'application de la méthodologie développée par le BRGM et décrite par Nachbaur et al. (2015) permet de caractériser :

- Sur le site d'étude de Bovis, 43 bâtis présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 10 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 7 ne sont que partiellement exposés.
- Sur le site d'étude de Bel-Air, 34 bâtis présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines, dont 5 correspondraient à des annexes/garages/entrepôts et dont 9 ne sont que partiellement exposés.
- Sur le site d'étude de Pointe-à-Bacchus, 14 bâtis présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines dont un n'est que partiellement exposé.

L'article R. 561-2 du code de l'environnement recommande de faire une analyse économique pour s'assurer que « *les moyens envisageables de sauvegarde et de protection des populations s'avèrent bien plus coûteux que les indemnités d'expropriation* ».

Pour le site de Bovis et pour la majeure partie du site de Bel-Air (73 habitations présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines dont la très grande majorité sont occupées sans droits ni titres), les moyens envisageables de protection de la population (reprofilage de la falaise côtière de 20 m de haut en moyenne sur un linéaire de près de 1 400 m) paraissent difficilement compatibles avec les enjeux considérés, aussi bien d'un point de vue impact environnemental et paysager que d'un point de vue financier.

Pour le site de Pointe-à-Bacchus (14 habitations présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines) et dans la partie nord du quartier de Bel-Air (4 habitations présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines), des travaux de sauvegarde et de protection de la population (confortement ou reprofilage de la falaise et du talus, amélioration de la gestion des eaux usées et de ruissellement, ...) pourraient a priori être envisagés pour réduire l'aléa et/ou l'exposition des populations et ne plus menacer les vies humaines.

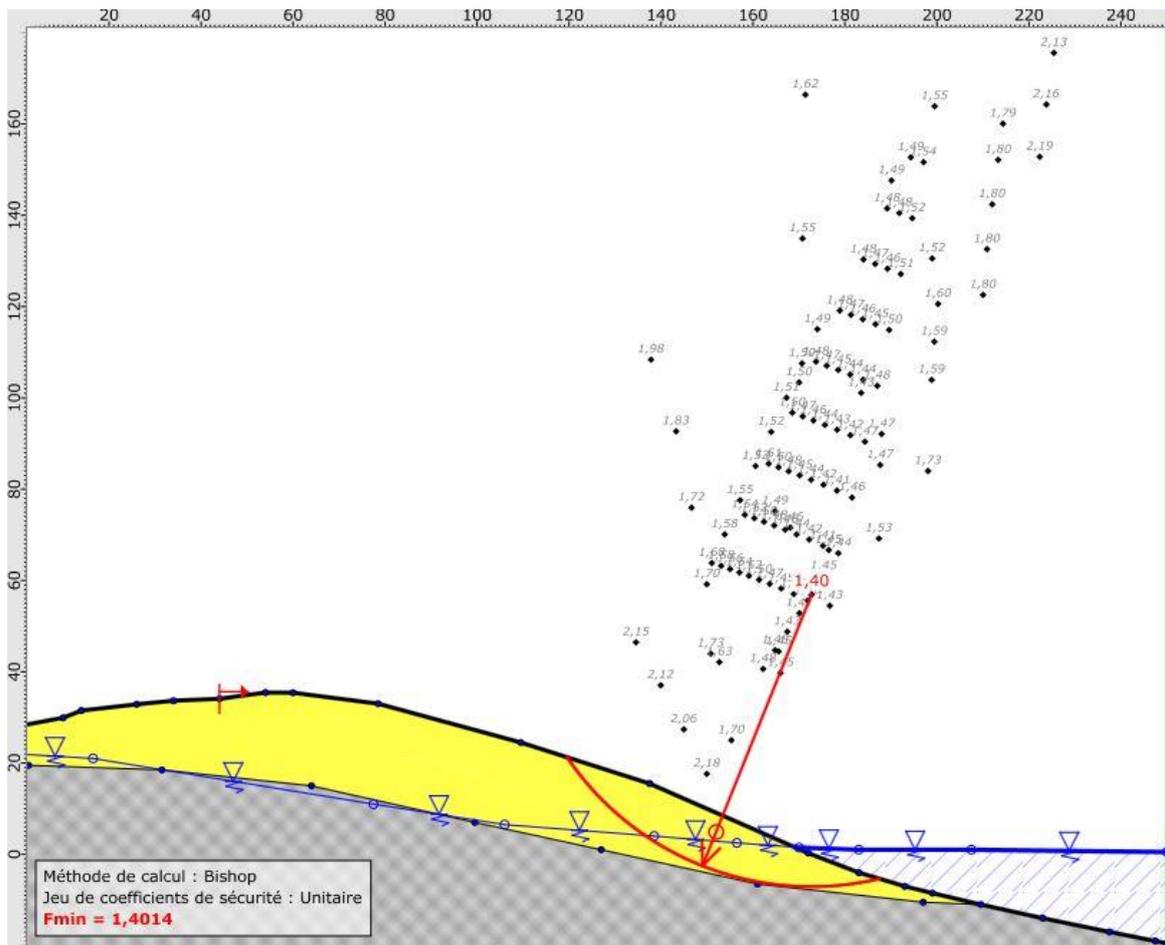
Dans cette logique, un second rapport (Herivaux et Legendre, 2019) faisant suite celui-ci et se focalisant sur le quartier de Pointe-à-Bacchus, présente différentes trajectoires d'adaptation face aux risques naturels et quantifie, pour chacune d'entre elles, leurs implications économiques sur le long-terme. Dans ce rapport, des solutions de réduction de l'aléa pour le quartier de Pointe-à-Bacchus sont proposées et chiffrées, à l'ordre de grandeur près.

A noter que les éléments présentés dans ces deux rapports ne constituent qu'une aide à la décision et ne présument pas des choix qui seront faits par les gestionnaires. En outre, une analyse technique et économique fine de la mise en œuvre des solutions choisies restera à mener.

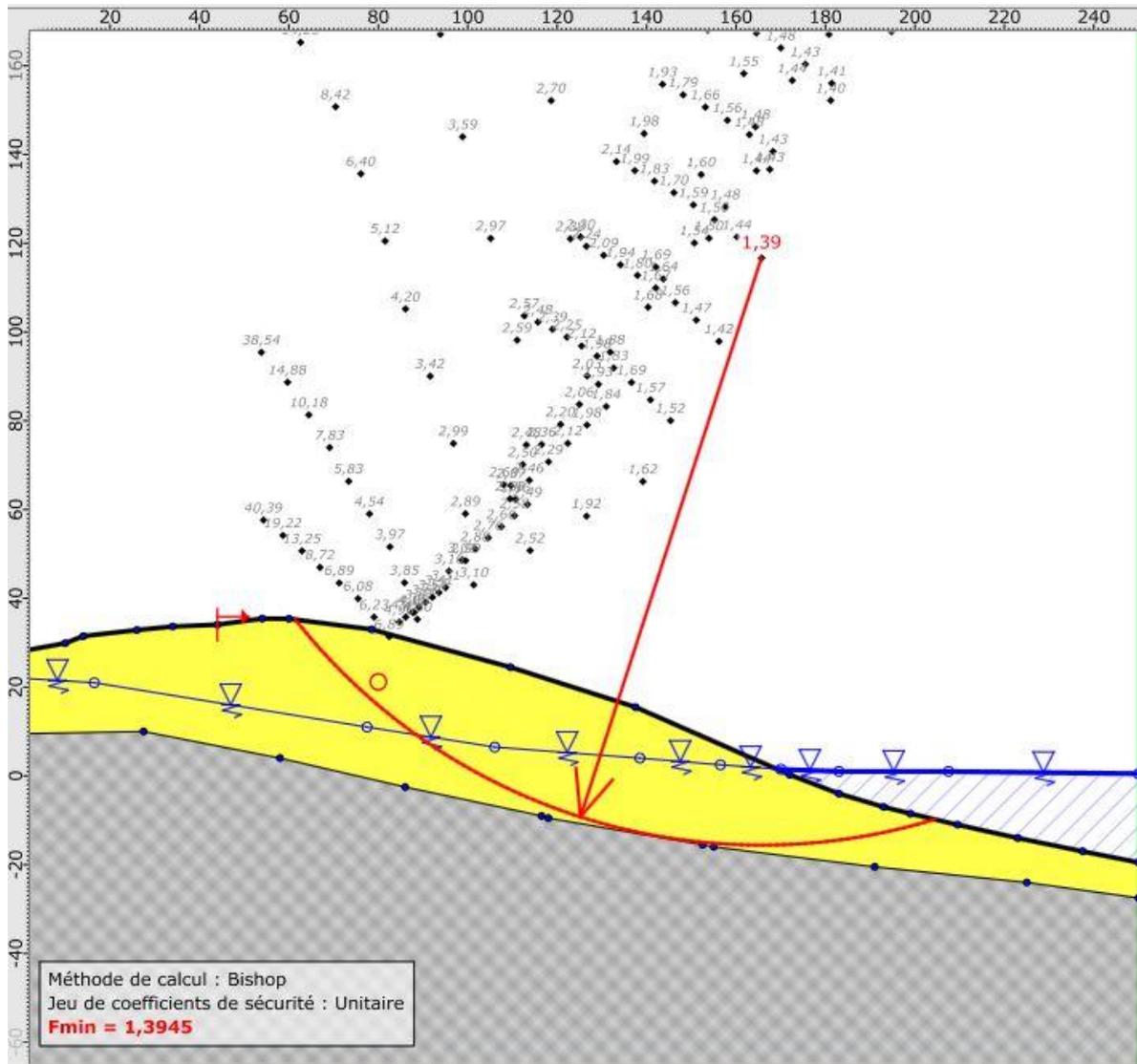
7. Bibliographie

- ANTEA (2002) Arnouville sur mer – Etude de stabilité commune de Petit-Bourg (Guadeloupe). Rapport ANTEA A 02092
- ANTEA (2003) Etude des risques naturels : Quartier Bovis, Commune de Petit-Bourg – Guadeloupe. Rapport A 32052 Octobre 2003
- ANTEA (2005) Etude des risques naturels : Quartier Bel-Air - Pointe-à-Bacchus. Rapport A37406 Juillet 2005
- BRGM (1991) Etude de zonage des aléas naturels sur le secteur d'Arnouville et sur le bassin versant de la ravine de onze heures. Département de la Guadeloupe. Commune de Petit-Bourg. Rapport BRGM R 33551 ANT 4S 91. Septembre 1991
- CANBT (2014a) Etude de programmation sur la relocalisation des activités et des biens dans les secteurs littoraux de la CANBT : secteurs de Bovis et Pointe-à-Bacchus à Petit-Bourg. Phase 1 – Relocalisation et besoins. Communauté d'agglomération du Nord Basse-Terre, Commune de Petit-Bourg
- CANBT (2014b) Etude de programmation sur la relocalisation des activités et des biens dans les secteurs littoraux de la CANBT : secteurs de Bovis et Pointe-à-Bacchus à Petit-Bourg. Sommier d'enquêtes. Communauté d'agglomération du Nord Basse-Terre, Commune de Petit-Bourg
- Corominas, J. (1996) The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 33:260–271.
- Herivaux C., Legendre Y. (2019) Implications économiques de trajectoires d'adaptation aux risques littoraux sur le long terme. Application au secteur Pointe-à-Bacchus, Petit Bourg (Guadeloupe). Rapport final. BRGM/RP-68928-FR.
- IMSRN (2009) *Rapport de présentation*. Etudes des sols, Secteur Belair à Pointe à Bacchus commune de Petit-Bourg. Juillet à Septembre 2009
- IMSRN (2011) Plan de prévention des risques aléas littoraux – inondations –mouvements de terrain commune de petit-bourg. Rapport 2011/m2/971/0047
- Nachbaur A., Lombard M., Lacquement F., Reninger PA., Thiery Y., Roulle A. (2019) Définition d'une méthodologie pour la révision de la cartographie d'aléa mouvement de terrain en Martinique. Rapport BRGM/RP-69150-FR
- Samper, A., Quidelleur, X., Lahitte, P., Mollex, D. (2007) Timing of effusive volcanism within the whole Basse Terre Island (Guadeloupe, F.W.I.) from new K-Ar Cassignol-Gillot Ages. *Earth Planet. Res. Lett.* 258, 175–191.
- Terrier M., Graillat A., Durand F. (1993) Atlas communal des risques de Petit-Bourg, Guadeloupe. RR-37168-FR

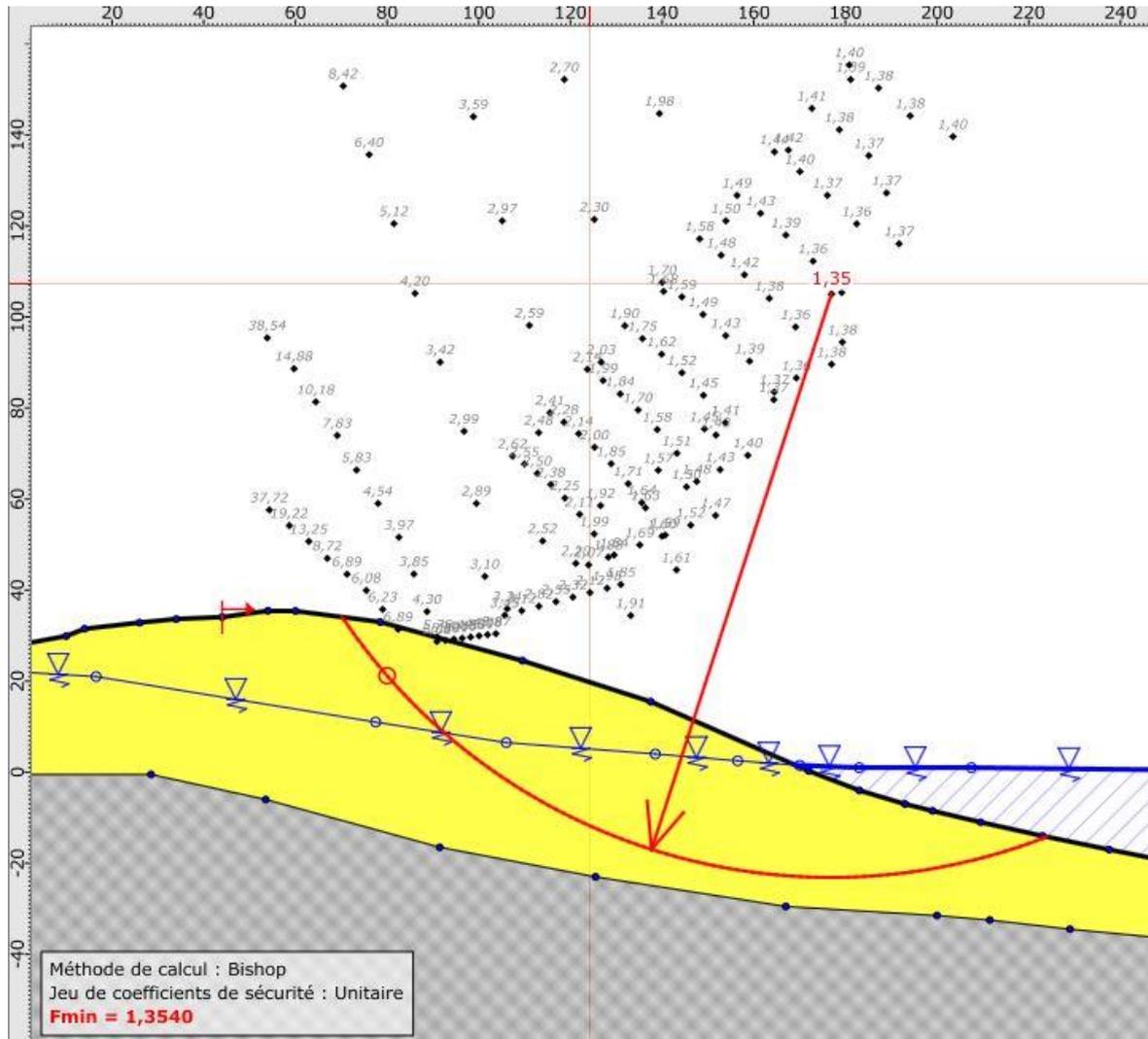
Annexe 1 : Résultats des calculs de stabilité sur le versant reconstitué avant glissement



Coefficient de stabilité minimale pour une profondeur de toit d'une dizaine de mètres et hypothèse 2 (c'15, Phi'25, G17)



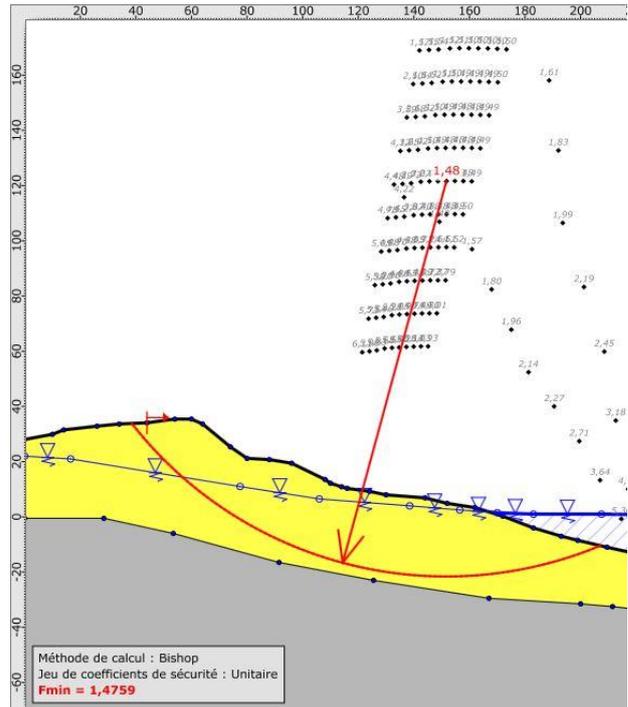
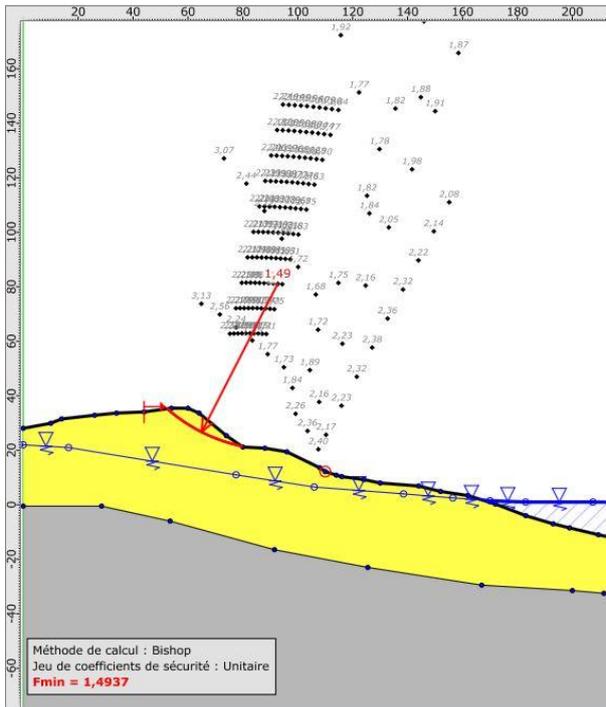
Coefficient de stabilité minimale pour une profondeur de toit d'une vingtaine de mètres et hypothèse 2 (c'15, Phi'25, G17)



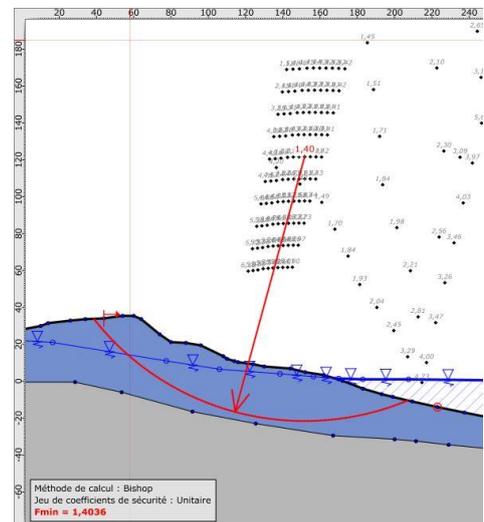
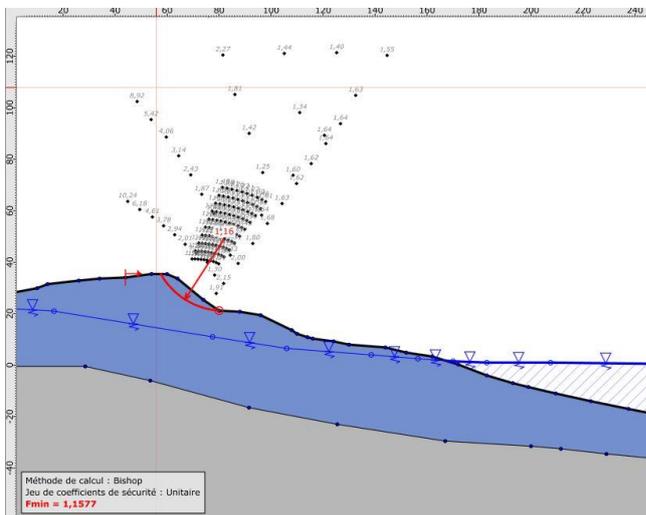
Coefficient de stabilité minimale pour une profondeur de toit d'une trentaine de mètres et hypothèse 2 (c'15, Phi'25, G17)

Annexe 2 : Résultats des calculs de stabilité sur la pente actuelle pour une profondeur de toit d'une trentaine de mètres

Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur trois secteurs de Petit-Bourg

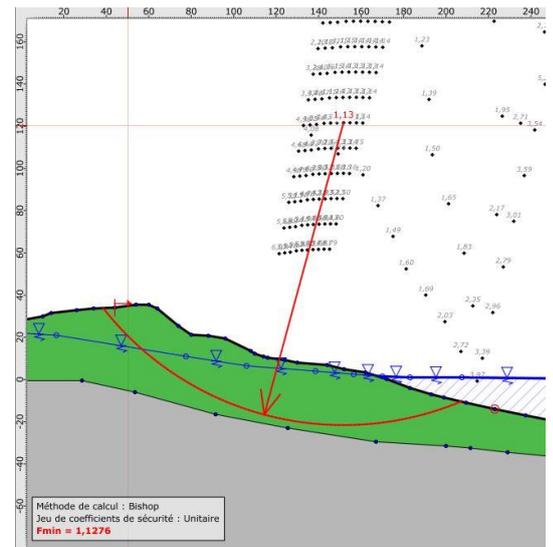
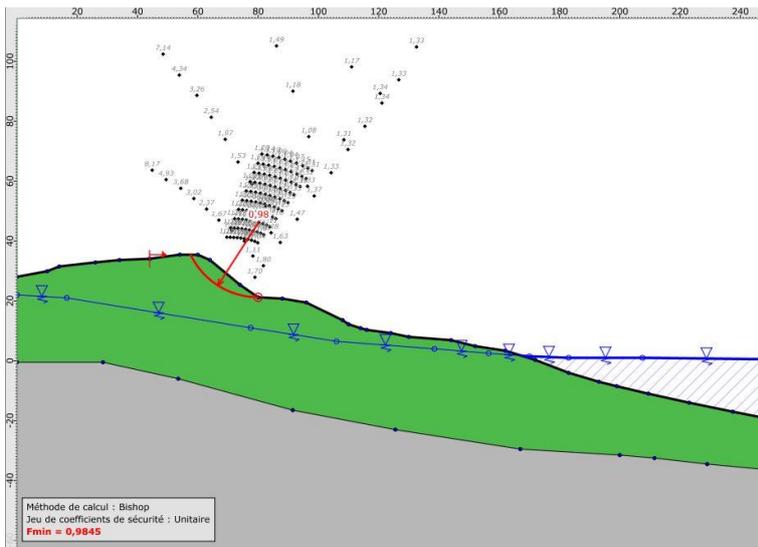


Coefficient de sécurité minimale pour l'hypothèse 2 (c'15, Phi'25, G17) pour un glissement modéré (à gauche) et pour un glissement de versant (à droite)



Coefficient de sécurité minimale pour l'hypothèse 4 (c'10, Phi'25, G17) : pour un glissement modéré (à gauche) et pour un glissement de versant (à droite)

Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines sur trois secteurs de Petit-Bourg



Coefficient de sécurité minimale pour l'hypothèse 5 (c'10, Phi'20, G17) : pour un glissement modéré (à gauche) et pour un glissement de versant (à droite)

Annexe 3: Caractérisation de l'aléa recul du trait de côte sur Pointe-à-Bacchus

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres, de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. Ce phénomène résulte généralement d'une perte de matériaux (sable, galets, vase, roches) sous l'effet de l'érosion marine induite par des processus côtiers (houles et courants), combinée parfois à des actions continentales sur les falaises côtières et pouvant se traduire, ou non, par un recul ou une avancée du trait de côte.

Le littoral du quartier de Pointe-à-Bacchus, se caractérise par une côte basse rocheuse meuble, avec une certaine densité de végétation, vraisemblablement un reliquat de mangrove comme cela s'observe toujours directement au nord de Pointe-à-Bacchus.

1. Méthodologie

En mai 2014, le Guide Méthodologique « Plan de Prévention des Risques Littoraux » est édité par la DGPR. Suite aux retours d'expérience de Xynthia, la méthodologie proposée pour caractériser la zone d'aléa de recul du trait de côte, consiste à projeter sur 100 ans le recul moyen annuel, chronique auquel s'ajoute la prise en compte d'un recul extrême provoqué par un évènement tempétueux majeur³.

Ainsi, la largeur de la zone d'aléa « recul du trait de côte » L_r s'écrit :

$$L_r = 100.T_x + L_{max} \quad (1)$$

Avec T_x , le taux de recul moyen annuel et L_{max} , la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur pour le cas des côtes basses meubles.

Notre approche pour caractériser la susceptibilité du littoral de Pointe-à-Bacchus à l'érosion repose sur :

- 1- les résultats de l'analyse diachronique de l'évolution historique du trait de côte entre 1950 et 2013 issus du projet : « Morphodynamique du littoral guadeloupéen. Phase 1 – Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte : évaluation historique du trait de côte guadeloupéen » (Guillen et al., 2017) pour caractériser le taux de recul moyen annuel : T_x
- 2- une analyse à dire d'expert sur la base des observations historiques pour caractériser la valeur du recul du trait de côte ponctuel consécutif à un évènement tempétueux majeur : L_{max} .

Caractérisation du taux de recul moyen annuel T_x

La méthodologie utilisée repose sur la digitalisation de la position du trait de côte à partir d'images aériennes et satellitaires à différentes dates (1950, 1998, 2004, 2010 et 2013). La photo-interprétation de ces images permet d'identifier la position du trait de côte à une date donnée (Illustration a). Pour ce faire, des marqueurs reproductibles dans le temps et dans l'espace ont été définis : le pied de falaise en côte rocheuse, la limite de végétation en côte sableuse, le pied des structures de protection pour les côtes aménagées et le front de mangrove.

³ Le guide méthodologique de 1997 intègre un L_{max} dans les côtes à falaises, mais ne demande pas d'intégrer les « reculs ponctuels possibles consécutifs à un évènement exceptionnel » pour les côtes basses meubles (Garry *et al.*, 1997).

Dans cette même étude (Guillen et al., 2017), un calcul statistique est effectué par le biais du logiciel *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) (Thieler et al, 2009) à partir des traits de côtes digitalisés afin d'en déterminer le recul ou l'avancée pour une période de temps donnée, le long de transects espacés tous les 50 m sur le littoral. Le taux de variation annuel moyen obtenu s'exprime en mètres par an (Illustration b). À partir de ces données, trois grandes classes de dynamique sont distinguables : (1) celles en recul, (2) celles qui sont soit à l'équilibre, soit situées dans la marge d'incertitudes, et (3) celles en avancée. Les seuils d'équilibre dynamique et/ou de marge d'incertitudes sont définis à $+0.25$ m/an et à -0.25 m/an.





Illustration b. Taux de variation annuel moyen du trait de côte sur le littoral de Pointe-à-Bacchus. Les transects caractérisés par des valeurs entre -0.32 m/an et -0.25 m/an (rouge) marquent un recul significatif, ceux entre -0.25 m/an et +0.25 m/an sont non significatifs et/ou à l'équilibre car dans la marge d'incertitudes (orange clair, jaune et bleu clair) et ceux entre +0.25 m/an et 0.43 m/an marquent une avancée significative.

Caractérisation de la valeur du recul du trait de cote ponctuel consécutif à un évènement tempétueux majeur : L_{max}

L'analyse des données historiques disponibles sur les impacts en terme d'érosion du littoral des différents phénomènes cycloniques montre que le littoral du le Grand-Cul-de-Sac-Marin est peu exposé à la houle. L'impact que pourrait avoir un évènement tempétueux majeur sur le recul du trait de cote reste très limité. A dire d'expert, cette valeur L_{max} est contrainte entre 0 et 5 m.

2. Conclusion concernant l'aléa recul du trait de côte sur Pointe-à-Bacchus

Le littoral au niveau de la zone d'étude de Pointe-à-Bacchus à Petit-Bourg est peu exposée au recul du trait de côte.

L'interprétation des images aériennes et satellitaires à différentes dates (1950, 1998, 2004, 2010 et 2013) montrent une dominance des phénomènes d'avancée du trait de côte (83 % du linéaire côtier de la zone). Cette avancée est de faible amplitude (< 15 m entre 1950-2013) et peu significative car dans la gamme d'incertitude de la méthodologie employée (15 m soit 0.25 m/an – Guillen et al., 2017) mais peut ponctuellement atteindre 30 m au sud-ouest et au nord-est de la zone (Illustration a).

Le seul secteur qui présente un recul du trait de côte est lié à différents aménagements réalisés sur ces secteurs et notamment de déboisement et la construction d'un ponton. Ce recul est de faible amplitude (< 10 m entre 1950 et 2013) et peu significatif car dans la gamme d'incertitude de la méthodologie employée (15 m soit 0.25 m/an – Guillen et al., 2017).

Selon le Guide Méthodologique « Plan de Prévention des Risques Littoraux », la largeur de la zone d'aléa « recul du trait de côte » L_r s'écrit $L_r = 100.T_x + L_{max}$.

Pour le littoral de Pointe-à-Bacchus, le taux de recul moyen annuel (T_x) est considéré pour l'ensemble de la zone comme nul et le recul extrême provoqué par un événement tempétueux majeur (L_{max}) est de 5 m. La largeur de la zone d'aléa fort « recul du trait de côte » L_r est donc de 5 m. **Aucun enjeu n'est présent dans cette zone d'aléa fort recul du trait de côte hormis un ponton (Illustration c).**



Illustration c. Cartographie de l'aléa recul du trait de côte pour le littoral de Pointe-à-Bacchus



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 Guadeloupe
ZAC Colin
La Lézarde
97170 – Petit-Bourg – Guadeloupe
Tél. : 05 90 41 35 53