



Microzonage sismique du territoire de la collectivité d'Outre-Mer de Saint-Martin

Rapport final

BRGM/RP-62350-FR

novembre 2016



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Microzonage sismique du territoire de de la collectivité d'Outre-Mer de Saint- Martin

Rapport final

BRGM/RP-62350-FR
novembre 2016

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM
CONVENTION 2010-04/FPRNM

**Abad J., Bengoubou-Valérius M., Agastin L., Lemoigne B., Belvaux M., Vanoudheusden E., Bertil D,
Auclair S., Cochery R.**
Avec la collaboration de
Bayle E., Samyn K., Duhauvelle J.

Vérificateur :

Nom : Sedan O.

Date : 15/12/2016

Approbateur :

Nom : De La Torre Y.

Date : 17/01/2017

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots-clés :

Risque sismique, Microzonage sismique, Saint-Martin, Antilles, Effets de site, Liquéfaction, Vulnérabilité sismique.

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

Abad J., Bengoubou-Valérius M., Agastin L., Lemoigne B., Belvaux M., Vanoudheusden E., Bertil D., Auclair S., Cochery R., avec la collaboration de **Bayle E., Samyn K. et Duhauvelle J.** (2016) – Microzonage sismique du territoire de la collectivité d’Outre-Mer de Saint-Martin. Rapport final. BRGM/RP-62350-FR, 241p., fig. 115, tabl. 45, ann. 6.

Synthèse

Dans le cadre du Plan Séisme, programme national de prévention du risque sismique, il est prévu de doter les communes de Guadeloupe d'un microzonage sismique. Ce document a vocation à être pris en compte dans l'aménagement et la construction, par le biais notamment de l'outil réglementaire que constitue le Plan de Prévention des Risques Naturels (PPR).

Le présent rapport traite du microzonage sismique de la collectivité d'Outre-Mer de Saint-Martin. Il présente notamment les éléments de contexte, les données utilisées, la méthodologie suivie et les résultats à l'échelle régionale.

Ce travail est réalisé dans le cadre des actions de service public du BRGM (projet PSP11GUA13) et d'une convention de recherche et développement partagés avec la Préfecture de Guadeloupe, représentée par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (CONVENTION 2010-04/FPRNM).

La méthode retenue pour cette étude est cohérente avec d'une part, les méthodes développées et recommandées par l'AFPS en 1993 pour l'évaluation de l'aléa sismique local et d'autre part, avec les préconisations du guide PPR sismique rédigé par le ministère de l'Ecologie en 2002.

Outre le présent rapport de synthèse, les résultats sont fournis sous la forme de cartes d'aléa au 1/25 000^{ème} avec des zooms au 1/10 000^{ème} sur les zones les plus urbanisées pour une meilleure lisibilité des cartes. Ces cartes concernent ;

- Les zones de réponse sismique homogène (carte 1) ;
- Les zones susceptibles d'amplification topographique et les zones susceptibles de liquéfaction (carte 2) ;
- L'aléa mouvement de terrain (reprise du PPR existant) (carte 3) ;
- Les résultats du scénario de dommages sous forme de répartition des logements de catégorie d'importance II présentant un niveau de dommage D4 ou D5 (=effondrement partiel ou total en nombre - carte 4 - et en pourcentage - carte 5) ;
- La vulnérabilité sismique des secteurs d'habitation (carte 6).

Le spectre au rocher retenu dans cette étude a une accélération maximale horizontale de 0.24g (le plateau est situé entre 0.1 et 0.25 secondes, l'accélération au niveau du plateau est de 0.60g). Quelle que soit la période considéré, ce spectre présente un niveau plus bas que les spectres issus de la réglementation.

Cette étude de microzonage sismique met en évidence des effets de site importants (amplification du signal) avec des spectres plus pénalisants que les réglementaires pour les courtes périodes (bâtiments de petite hauteur), amplification non prise en compte par les spectres réglementaires. Au contraire, le spectre est systématiquement moins pénalisant pour les bâtiments de plus longue période (plus de 0.4s), qui correspond à des bâtiments de plus grande hauteur.

A noter que, compte-tenu que les spectres spécifiques calculés sont inférieurs aux spectres réglementaires pour les longues périodes, il appartient aux services compétents de rester au niveau réglementaire ou d'appliquer ces spectres spécifiques pour les nouvelles constructions.

On retient que les zones d'amplification du mouvement par effet de site topographique sont localisées au niveau de crêtes, de barres rocheuses ou de versants présentant une forte pente.

Aucun élément au cours de cette étude ne nous a conduits à modifier de façon importante les limites de zone proposées par le projet de PPR quant aux formations liquéfiables. Seules les limites entre les formations correspondant aux aléas faible et moyen ont été modifiées. De ce fait, le reste du territoire (non identifié par le projet de PPR comme présentant un aléa liquéfaction) voit son niveau d'aléa rester identique, à savoir négligeable.

Un scénario d'aléa régional a également été réalisé. Il permet d'obtenir une image du risque global de la collectivité de Saint-Martin, permettant de classer les différents quartiers les uns par rapport aux autres en faisant ressortir les endroits où le risque est le plus élevé. Seul le bâti résidentiel est traité, focalisant l'étude sur le risque direct encouru par la population. Ainsi, on constate que les zones à risque sont les centres-villes de Marigot, Grand Case et le Quartier d'Orléans (vulnérabilité élevée et forte densité de bâtiments). La zone de Sandy Ground se distingue comme la zone où le risque est le plus fort à cause de la confluence des enjeux, de la vulnérabilité et des effets de site lithologiques les plus élevées de la collectivité. La zone de Terres Basses semblerait moins à risque du fait de l'absence d'effet de site.

La prochaine étape faisant suite à cette étude de microzonage sismique du territoire de la collectivité de Saint-Martin serait de transposer les constats techniques en documents opposables aux tiers, ce qui permettrait d'adapter localement la réglementation nationale.

Sommaire

1. Introduction	15
2. Aléa sismique régional et mouvement sismique de référence au rocher	17
2.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE	17
2.1.1. Cadre géodynamique global	17
2.1.2. L'arc des petites Antilles	18
2.1.3. Sismicité au niveau des îles du Nord	20
2.2. MOUVEMENT SISMIQUE DE REFERENCE AU ROCHER.....	23
2.2.1. Méthodologie adoptée	23
2.2.2. Aléa sismique régional d'après l'étude probabiliste de GEOTER (Martin et al., 2002)	24
2.2.3. Désagrégation de l'aléa sismique probabiliste	25
2.2.4. Spectre de réponse au rocher.....	28
2.2.5. Choix des mouvements sismiques au rocher pour l'analyse des effets de site	34
3. Contexte géologique	39
3.1. DONNEES UTILISEES	39
3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL.....	42
3.2.1. Série volcanique et volcano-sédimentaire éocène (57Ma-38Ma)	42
3.2.2. Volcanisme et intrusion granodioritiques de l'oligocène (25-35Ma)	44
3.2.3. Formations récifales du miocène (10 – 1 Ma)	44
3.2.4. Formation plio-quaternaires et actuelles (FM).....	44
3.3. IDENTIFICATION DES DIFFERENTES COLONNES GEOLOGIQUES TYPES.....	45
3.3.1. Type 1 : Intrusions granodioritiques et dacitique (γ^4).....	46
3.3.2. Type 2 : Coulées de lave et brèches massives altérées.....	46
3.3.3. Type 3 : Coulées de laves peu altérées	46
3.3.4. Type 4: Calcaires ou alternance de marnes / calcaires	46
3.3.5. Type 5 : Tufs cinératiques et calcaires remaniés	46
3.3.6. Type 6 : Sables de cordon littoral et dépôts argilo-sableux	46
3.3.7. Type 7 : Colluvions de fond de vallée.....	47
3.4. ZONAGE GEOLOGIQUE PRELIMINAIRE	47
4. Effets de site lithologiques	49
4.1. ZONAGE GEOTECHNIQUE ET GEOPHYSIQUE	49
4.1.1. Méthodologie	49
4.1.2. Données géophysiques et géotechniques disponibles	49

4.1.3. Données géophysiques et géotechniques acquises lors de l'étude	49
4.1.4. Caractérisation des principales unités géomécaniques	52
4.1.5. Zonage géotechnique et géophysique	55
4.2. DÉTERMINATION DES SPECTRES DE RÉPONSE TENANT COMPTE DES CONDITIONS DE SITE	61
4.2.1. Méthodologie utilisée pour les simulations numériques 1D.....	62
4.2.2. Définition des colonnes de sol	62
4.2.3. Cartographie finale des effets de site et spectres de réponse associés ..	65
4.2.4. Comparaison entre spectres spécifiques et spectres réglementaires	71
4.3. DOMAINE D'APPLICATION DES SPECTRES SPÉCIFIQUES	75
4.4. DECOUPLAGE ENTRE ALEA LOCAL ET ALEA REGIONAL	75
5. Effets de site topographiques	77
5.1. DEFINITION	77
5.2. PRINCIPE DE LA REGLEMENTATION	77
5.3. EVOLUTION DE LA CONNAISSANCE ET DE LA REGLEMENTATION	78
5.4. CARTOGRAPHIE	79
6. Aléa liquéfaction	81
6.1. DÉFINITIONS	81
6.2. RÉGLEMENTATION ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	81
6.3. CONNAISSANCES PRÉALABLES A L'ÉTUDE.....	82
6.4. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE APPLIQUÉE DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE 82	
6.5. APPRÉCIATION DE LA SUSCEPTIBILITE QUALITATIVE DE LIQUÉFACTION	86
6.5.1. Conditions hydrogéologiques	86
6.5.2. Procédure d'évaluation	86
6.5.3. Analyse géologique préliminaire	87
6.5.4. Les sables des cordons littoraux.....	87
6.5.5. Les dépôts alluvionnaires sablo-graveleux de rivières	88
6.5.6. Les dépôts argilo-vaseux.....	89
6.5.7. Les argiles d'altération.....	89
6.5.8. Synthèse	90
6.6. ESTIMATION QUANTITATIVE DE LA SUSCEPTIBILITE À LA LIQUEFACTION SUR LES ZONES URBANISEES ET URBANISABLES	90
6.7. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIQUÉFACTION	92

6.8. PRÉCONISATIONS EN TERMES D'ÉTUDES DE SOL.....	92
7. Aléa mouvements de terrain.....	94
7.1. GENERALITES.....	94
7.1.1. Contexte général de l'étude	94
7.1.2. Typologie des mouvements de terrain	94
7.2. RESUME DU PPR MOUVEMENTS DE TERRAIN	95
8. Vulnérabilité du bâti	97
8.1. VULNERABILITE DES BATIMENTS DE CATEGORIE D'IMPORTANCE II A USAGE D'HABITATION	97
8.1.1. Délimitation des zones bâties homogènes	97
8.1.2. Visites de terrain	101
8.2. VULNERABILITE DES BATIMENTS DE CATEGORIE D'IMPORTANCE III ET IV 114	
8.2.1. Analyses existantes	114
8.2.2. Choix des bâtiments à visiter	116
8.2.3. Méthodologie	118
8.2.4. Résultats.....	119
9. Scénario de risque sismique	120
9.1. MÉTHODOLOGIE.....	120
9.1.1. Echelle de dommages	121
9.1.2. Choix du scénario et méthodologie	121
9.2. RÉSULTATS DES SCÉNARIOS.....	124
9.3. SYNTHÈSE	130
10. Conclusions générales	131
11. Bibliographie	135
12. Glossaire.....	141

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....	16
Figure 2 : Schéma structural de l'arc Caraïbes, d'après Stephan et al. (1990), Feuillet (2000), Taboada et al. (2000).....	18
Figure 3 : Coupe de la subduction à hauteur de Saint Martin (d'après Martin et al., 2002).....	19
Figure 4 : Tectonique de l'Arc antillais (Feuillet, 2000). Rectangle rouge : Saint-Martin et Saint- Barthélémy.....	20
Figure 5 : Principaux séismes dans la région de Saint-Martin/Saint-Barthélemy (intensité MSK \geq VI).	21
Figure 6 : Catalogue de sismicité instrumentale 1981-2011 pour les magnitudes $M_d \geq 3$ (1981- 1998 : catalogue Clément & Bernard, 2000 ; 1999-2005 : catalogue du Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA), 2006 -2011 : catalogue de l'OVSG diffusé par www.edusismo.org).....	22
Figure 7 : Catalogue de sismicité instrumentale 1981-2011 pour les magnitudes $M_d \geq 3$. Séismes à proximité de Saint Martin et Saint Barthélémy représentés en fonction de la magnitude.	23
Figure 8 : Modèle de zonage de Martin et al. (2002). A gauche subduction, à droite zones superficielles.	23
Figure 9 : Désagrégation pour une période de retour de 475 ans et une période spectrale de 0.2 seconde.....	26
Figure 10 : Désagrégation pour une période de retour de 475 ans et une période spectrale de 1.0 seconde.....	27
Figure 11 : Expression analytique du spectre de réponse élastique.....	30
Figure 12 : Spectre au rocher de référence. (en pointillés les spectres de séisme proche , en traits pleins les spectres de subduction ; en trait plein noir le spectre à retenir).	31
Figure 13 : Confrontation du spectre proposé avec les spectres issus de la réglementation	33
Figure 14 : Confrontation du spectre proposé avec les spectres issus des microzonages récents de Martinique et de Guadeloupe.....	34
Figure 15 : Accélérogrammes naturels sélectionnés et normalisés par rapport au PGA « cible ».36	
Figure 16 : Accélérogrammes réels modifiés correspondant au spectre au rocher.....	37
Figure 17 : Comparaison des spectres en vitesse des accélérogrammes naturels et naturels modifiés avec le spectre au rocher.	38
Figure 18 : Situation des sondages BSS, des études géotechniques et géophysique à disposition.	41
Figure 19 : Extrait de la carte géologique de Saint-Martin (Dagain et al. 1989).	42
Figure 20 : Ensembles géologiques de la collectivité de Saint-Martin.	48
Figure 2121 : Localisation des données géologiques, géophysiques et géotechniques disponibles sur la collectivité de Saint-Martin avant cette étude de microzonage.....	51
Figure 22 : Localisation des données géologiques, géophysiques et géotechniques acquises sur la collectivité de Saint-Martin dans le cadre de cette étude de microzonage.	51
Figure 23 : Zonage géotechnique et géophysique de la collectivité de Saint-Martin.	61
Figure 24 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM0.....	66

Figure 25 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM1.....	66
Figure 26 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM2.....	67
Figure 27 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM3.....	67
Figure 28 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM4.....	68
Figure 29 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM5.....	68
Figure 30 : Spectres de réponse spécifiques proposés pour les différentes classes d'effets de site lithologiques.	69
Figure 31 : Zonage spécifique des zones à effet de site lithologiques pour la collectivité de Saint-Martin.	70
Figure 32 : Forme du spectre de réponse élastique en accélération d'après la norme parasismique EC8 référencée NF EN 1998-1.....	71
Figure 33 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM0 sur la collectivité de Saint-Martin.	73
Figure 34 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM1 sur la collectivité de Saint-Martin.	73
Figure 35 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM2 sur la collectivité de Saint-Martin.	74
Figure 36 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM3 sur la collectivité de Saint-Martin.	74
Figure 37 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM4 sur la collectivité de Saint-Martin.	75
Figure 38 : Principe de calcul du coefficient τ pour l'évaluation des effets de site topographiques.	78
Figure 39 : Choix des profils pour le calcul du coefficient τ	78
Figure 40 : Zonage des effets de site topographiques possibles sur la collectivité de Saint-Martin.	80
Figure 41 : PPR Multirisques - Aléa liquéfaction	85
Figure 42 : Principe des critères de susceptibilité à la liquéfaction.....	87
Figure 43: Aléa mouvements de terrain (reprise du PPRN de Saint-Martin)	96
Figure 44 : Exemple d'une zone de centre-ville à Saint-Martin (en violet).....	98
Figure 45 : Polygone d'habitat collectif identifié à Saint-Martin (en vert).	99
Figure 46 : Exemple de lotissement à Saint-Martin (en bleu).	100
Figure 47 : Exemple d'habitat disparate à Saint-Martin (en jaune).	100
Figure 48 : Distribution des 116 zones de bâti homogène sur la collectivité de Saint-Martin... ..	101
Figure 49 : Représentation des quatre étapes du « pointage » d'un bâtiment.	102
Figure 50 : Localisation des 162 bâtiments « pointés » (étoiles jaunes) dans les zones de bâti homogène.	103
Figure 51 : Présentation des 11 zones de bâti homogène dans lesquelles un itinéraire a été réalisé (en vert).....	104

Figure 52: Exemples des maisons "traditionnelles" prédominant dans les quartiers d'habitat dispersé de Saint-Martin.....	105
Figure 53: Exemples de lotissements anciens et grandes villas dans les quartiers d'habitat dispersé à Saint-Martin.....	106
Figure 54: Structures sur pilotis en bord de mer à Sandy Ground.....	107
Figure 55 : Représentation schématique des pilotis.....	107
Figure 56 : Effondrement du RdC lors du séisme de Boumerdès en Algérie en 2003.....	108
Figure 57: Exemples de structures en port-à-faux à Saint-Martin.....	108
Figure 58: Modification des polygones suite à la visite de terrain.....	109
Figure 59 : Localisation des bâtiments visités à Saint Martin.....	117
Figure 60 : Classification des dégâts selon l'Échelle Macrosismique Européenne.....	121
Figure 61 : Coefficients d'amplification du plateau du spectre en accélération utilisés pour la prise en compte des effets de site topographiques.....	123
Figure 62 : Coefficients d'amplification du plateau du spectre en accélération utilisés pour la prise en compte des effets de site lithologiques.....	123
Figure 63 : Intensités macrosismiques sur Saint-Martin calculées avec Armagedom pour une accélération régionale constante de 0.24g tenant compte des effets de site lithologiques et topographiques.....	124
Figure 64 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommage D4 D5 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	125
Figure 65 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommage D4 D5 par îlots de construction homogène. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	126
Figure 66 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D4 D5 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	126
Figure 67 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages D0 D1 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	127
Figure 68 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D0 D1 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	128
Figure 69 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages D2 D3 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	128
Figure 70 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D2 D3 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.....	129
Figure 71 : Dispositif H/V utilisé en Martinique : à gauche : la station d'acquisition CityShark et à droite : le sismomètre tridimensionnel Lennartz 5 secondes.....	146
Figure 72 : Localisation des mesures H/V réalisées pendant l'étude, classées par type de réponse. (Note : Les mesures H/V pré-existantes sont aussi sur la figure, mais n'ont pas été étiquetées.).....	149
Figure 73 : Implantations des bases SASW sur l'île de Saint-Martin sur fond de carte géologique.....	164
Figure 74 : Etablissement de la résistance au sol grâce aux caractéristiques in-situ (essai de pénétration statique et essai de pénétration standard) – extraits de l'article NCEER.....	180
Figure 75 : Coefficient d'atténuation de la contrainte r_d en fonction de la profondeur, selon Seed and Idriss (1971) et la courbe approximée par l'équation (Eq. 2).....	181
Figure 76 : Classification des dégâts selon l'Echelle Macrosismique Européenne.....	193

Figure 77 : Fonctions d'appartenances liées aux quantités EMS98 « peu/few », « beaucoup/many » et « la plupart/most ».	197
Figure 78 : Valeurs plausibles et possibles pour chaque classe de vulnérabilité. Indices de vulnérabilité et courbes de vulnérabilité semi empiriques	197
Figure 79 : Fonctions d'appartenance des indices de vulnérabilité.	197
Figure 80 : Fonctions de vulnérabilité semi-empiriques moyennes par typologie.	198
Figure 81 : Exemple de distribution de dommages.	203
Figure 82 : Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Division en 6 zones de zoom.	209
Figure 83: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 1 : Marigot	210
Figure 84: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 2 : Sandy-Ground	211
Figure 85: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 3 : Terres Basses	211
Figure 86: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 4 : Grand-Case	212
Figure 87: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 5 : Baie Orientale	213
Figure 88: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 6 : Quartier d'Orléans	213
Figure 89 : Façade frontale de l'aile gauche (partie ancienne). Trumeaux aux extrémités, portiques avec possibles poteaux courts au centre.	221
Figure 90 : Façade frontale partie centrale. Etage supérieur transparent.	221
Figure 91 : Joint non PS entre les parties nouvelle et ancienne dans la section centrale du bâtiment.	222
Figure 92 : Poutres en acier de la partie nouvelle (aile droite) du bâtiment.	222
Figure 93 : Façade frontale, tour du clocher sur le toit.	229
Figure 94 : Façade latérale avec contreforts.	229
Figure 95 : Façade postérieure, contrefort longitudinale et partie à l'abandon	230
Figure 96 : Ossature en bois du toit.	230
Figure 97 : Façade frontale	237
Figure 98 : Panneau annonçant que le bâtiment est un abri cyclonique	237
Figure 99 : Gravure montrant l'église dans son état originale.	238
Figure 100 : Vue intérieure. Arcs le long de la nef.	238
Figure 101 : Vue extérieure. Saillie du transept et adaptation à la pente. Tour du clocher.	239
Figure 102 : Façade frontale du CCI	246
Figure 103 : Plan du site.	246
Figure 104 : Vue postérieure du complexe, on y aperçoit la séparation entre les deux bâtiments à gauche de l'escalier	247
Figure 105 : Exemple de fissure dans les remplissages intérieurs	247
Figure 106 : Vue latérale, angle interne de la forme en L, grand nombre d'ouvertures	253
Figure 107 : Vue postérieure, mur en béton armé adapté à la pente	253
Figure 108 : Vue intérieure, plancher en bois et endommagements d'humidité	254
Figure 109 : Pourcentage de bâtimets en état de dommages D0-D1	263
Figure 110 : Pourcentage de bâtimets en état de dommages D2-D3.	264

Figure 111 : Pourcentage de bâtiments en état de dommages D4-D5	265
Figure 112 : Nombre de bâtiments en état de dommages D0-D1	266
Figure 113 : Nombre de bâtiments en état de dommages D2-D3	267
Figure 114 : Nombre de bâtiments en état de dommages D4-D5	268

Liste des tableaux

Tableau 1. Spectre d'aléa uniforme de Saint-Martin (coordonnées 63.08°W, 18.10°N).....	25
Tableau 2 : Spectre d'aléa uniforme de Saint-Barthélemy (coordonnées 62.84°W, 17.90°N). ..	25
Tableau 3 : Spectre d'aléa uniforme de communes de Martinique	25
Tableau 4 : Séismes de référence.....	28
Tableau 5 : Modèles d'atténuation pour les séismes de subduction.....	29
Tableau 6 : Modèles d'atténuation pour les séismes crustaux superficiels	30
Tableau 7 : Caractéristiques du spectre de réponse à retenir.	31
Tableau 8 : Expressions analytiques du spectre de réponse élastique au rocher horizontal affleurant préconisé pour les Antilles par la réglementation Eurocode 8.	32
Tableau 9 : Expressions analytiques du spectre de réponse élastique au rocher horizontal affleurant issu de la réglementation PS92.	32
Tableau 10 : Critères retenus pour la sélection des accélérogrammes.	35
Tableau 11 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.	36
Tableau 12 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels-modifiés choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.	37
Tableau 13 : Caractéristiques de la colonne de la zone 1.	63
Tableau 14 : Caractéristiques de la colonne de la zone 2.	63
Tableau 15 : Caractéristiques de la colonne de la zone 3.	63
Tableau 16 : Caractéristiques de la colonne de la zone 4.	63
Tableau 17 : Caractéristiques de la colonne de la zone 5.	64
Tableau 18 : Caractéristiques de la colonne de la zone 6.	64
Tableau 19 : Caractéristiques de la colonne de la zone 7.	64
Tableau 20 : Caractéristiques de la colonne de la zone 8.	64
Tableau 21 : Caractéristiques de la colonne de la zone 9.	65
Tableau 22 : Paramètres des spectres de réponse élastique par classe d'effets de site lithologiques pour la collectivité de Saint-Martin.....	69
Tableau 23 : Correspondance entre classe d'effets de site lithologiques et types de sol selon les CP-MI Antilles (2004).	71
Tableau 24 : Correspondance entre le zonage spécifique et les classes de sol EC8.	72
Tableau 25 : Liste de reconnaissances CPTu sur Saint-Martin.	90
Tableau 26 : Valeur de l'indice global de liquéfaction I_L pour chaque sondage pénétrométrique	92

Tableau 27 : Les principaux types de bâtiments rencontrés sur la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.	110
Tableau 28 : Conversion entre la présomption de vulnérabilité et les classes de vulnérabilité EMS98 utilisée pour la présente étude.....	115
Tableau 29 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d’établissements publics de Saint-Maryin selon les CPER.	115
Tableau 30 : Résumé des caractéristiques des bâtiments visités dans la collectivité de Saint-Martin.	119
Tableau 31 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages Di par type de quartier.	129
Tableau 32 : Pourcentages de bâtiments présentant un degré de dommages Di par zones d’intensité.....	130
Tableau 33 Localisation (WGS84) des mesures H/V.....	148
Tableau 34 : Localisation (WGS84) des bases SASW	163
Tableau 35 : Type de bâtiment selon EMS98 et identification de leur comportement sismique par classes de vulnérabilité.....	195
Tableau 36 : Matrices de typologie Risk-EU et indices de vulnérabilité	199
Tableau 37 : Processus de traitement des données disponibles.....	200
Tableau 38 : Score pour le facteur de vulnérabilité V_m des bâtiments en acier et béton armé.	201
Tableau 39 : Score pour le facteur de vulnérabilité V_m des bâtiments en maçonnerie.	201
Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (ini.) ..	204
Tableau 41 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d’établissements publics de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.	257
Tableau 42 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d’écoles de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.....	259
Tableau 43 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc de lycées de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.....	260
Tableau 44: Dommages aux bâtiments de catégorie d’importance II en pourcentage et en nombre.	269
Tableau 45 : Dommages aux logements en pourcentage et en nombre absolu par quartier... ..	273

Liste des annexes

Annexe 1 Méthode et résultats H/V.....	145
Annexe 2 Méthode et résultats SASW	161
Annexe 3 Définitions et méthodes pour les calculs de l’aléa liquéfaction	177
Annexe 4 Vulnérabilité du bâti de catégorie d’importance II	190
Annexe 5 Fiches de vulnérabilité des visites de terrain	214
Annexe 6 Vulnérabilité du bâti des catégories d’importance III et IV.....	255
Annexe 7 Scénario de risque	261

Liste des cartes (hors texte)

Carte 1 : Effets de site lithologiques

Carte 2 : Scénario de dommages : bâtiments de catégorie d'importance II/ Nombre de logements en D4-D5 (effondrement partiel ou total)

Carte 3 : Scénario de dommages : bâtiments de catégorie d'importance II/ Pourcentage de logements en D4-D5 (effondrement partiel ou total)

Carte 4 : zones susceptibles de présenter un effet de site topographique et zones susceptibles de liquéfier

Carte 5 : Aléa Mouvement de terrain

Carte 5 : distribution des typologies constructives et indices de vulnérabilité correspondants

1. Introduction

L'île de Saint-Martin (figure 1) est située au Nord de l'Arc des Petites Antilles, au niveau de l'arc ancien de la zone de subduction de la plaque Amérique sous la plaque Caraïbes (figure 2). Les mouvements de plaque associés à cette tectonique active sont responsables d'une activité sismique importante au niveau des Antilles. De ce fait, Saint-Martin est exposée à un fort aléa sismique et se trouve en zone de sismicité forte du zonage sismique de France (article D. 563-8-1 du code de l'environnement).

L'évaluation de l'aléa sismique est un préalable à toute étude de risque sismique. Elle permet d'évaluer les mouvements sismiques de référence à prendre en compte dans le cadre d'un microzonage sismique et d'orienter les schémas de développement urbain en intégrant les contraintes liées à l'aléa sismique.

Ce travail est réalisé dans le cadre des actions de service public du BRGM (projet PSP11GUA13) et d'une convention de recherche et développement partagés avec la Préfecture de Guadeloupe représentée par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (CONVENTION 2010-04/FPRNM).

L'approche adoptée suit les recommandations formulées par l'Association Française du Génie Parasismique dans son guide pour la réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993).

La première partie du rapport rappelle les caractéristiques principales de l'aléa sismique régional, en accordant une attention particulière au contexte sismotectonique local, objet du chapitre 2.1.

Dans une seconde partie, à partir des données de sondages géologiques et géotechniques initialement disponibles et de ceux réalisés dans le cadre de cette étude, ainsi qu'avec l'appui des méthodes d'investigation géophysique H/V et SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), une synthèse géotechnique permet de déterminer les caractéristiques géomécaniques des formations et d'établir des colonnes de sol représentatives des configurations de site rencontrées sur la collectivité de Saint-Martin. Le calcul des mouvements sismiques de référence tenant compte des conditions locales de site ainsi définies conduit à la cartographie et la quantification des **effets de site lithologiques** (chapitre 4) **et topographiques** (chapitre 5).

L'analyse des effets induits traite de la **liquéfaction** (chapitre 6). Cet aléa est évalué et cartographié selon la méthodologie préconisée par l'AFPS, à partir des facteurs de prédispositions (critères des Règles PS 92), à savoir essentiellement la granulométrie et les propriétés mécaniques des formations rencontrées. Cet aléa concerne plus particulièrement les formations sableuses des zones côtières. Un résumé des aléas relatifs au **mouvement de terrain** (chapitre 7) est réalisé, reprenant les résultats des études préalables. Aucune nouvelle analyse à ce sujet n'est faite dans ce rapport.

Enfin, une étude de la **vulnérabilité** par typologie du bâti rencontré dans les différents quartiers (chapitre 8) de l'île permet d'évaluer les probabilités de dommages sur ces secteurs pour un **scénario de risque** correspondant à un aléa régional qui s'exprime par une valeur d'accélération constante sur la zone d'étude (chapitre 9).

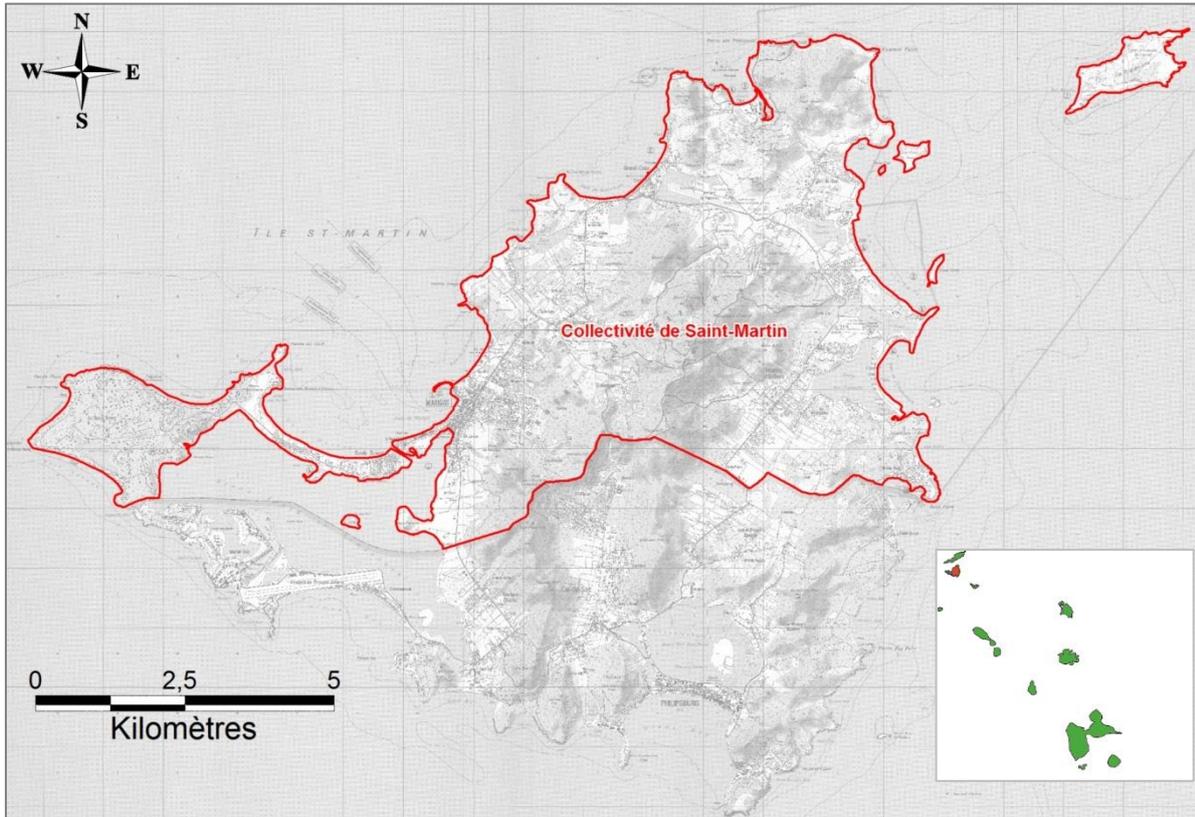


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

2. Aléa sismique régional et mouvement sismique de référence au rocher

2.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE

Le contexte sismotectonique responsable de la sismicité au niveau de Saint-Martin, s'explique en premier lieu par la localisation de cette région au sein du contexte géodynamique global de l'arc insulaire des Petites Antilles. Nous ne reprenons ici que les grandes lignes du contexte géodynamique et tectonique.

2.1.1. Cadre géodynamique global

Les îles de Saint Martin et Saint Barthélémy se situent au niveau de la plaque Caraïbe (Figure 2). Cette plaque tectonique de la lithosphère terrestre couvre :

- la majeure partie de la mer des Caraïbes et les îles de la Jamaïque, d'Hispaniola, de Porto Rico et des Petites Antilles ;
- le Honduras, le Salvador, le Nicaragua et le Nord du Costa Rica.

La plaque Caraïbe est en contact avec 4 grandes plaques tectoniques : Nord-Amérique, Sud-Amérique, Nazca et des Cocos.

Les zones de contact avec les autres plaques correspondent à des frontières décrochantes et convergentes, avec des secteurs de transitions convergence-décrochement complexes.

Le mouvement continu de la plaque Caraïbe (mouvement relatif de l'ordre de 2 cm/an par rapport à la plaque Nord Amérique) induit une sismicité fréquente et de magnitude parfois élevée (nombreux séismes de magnitude supérieure à 7) sur des bandes relativement larges.

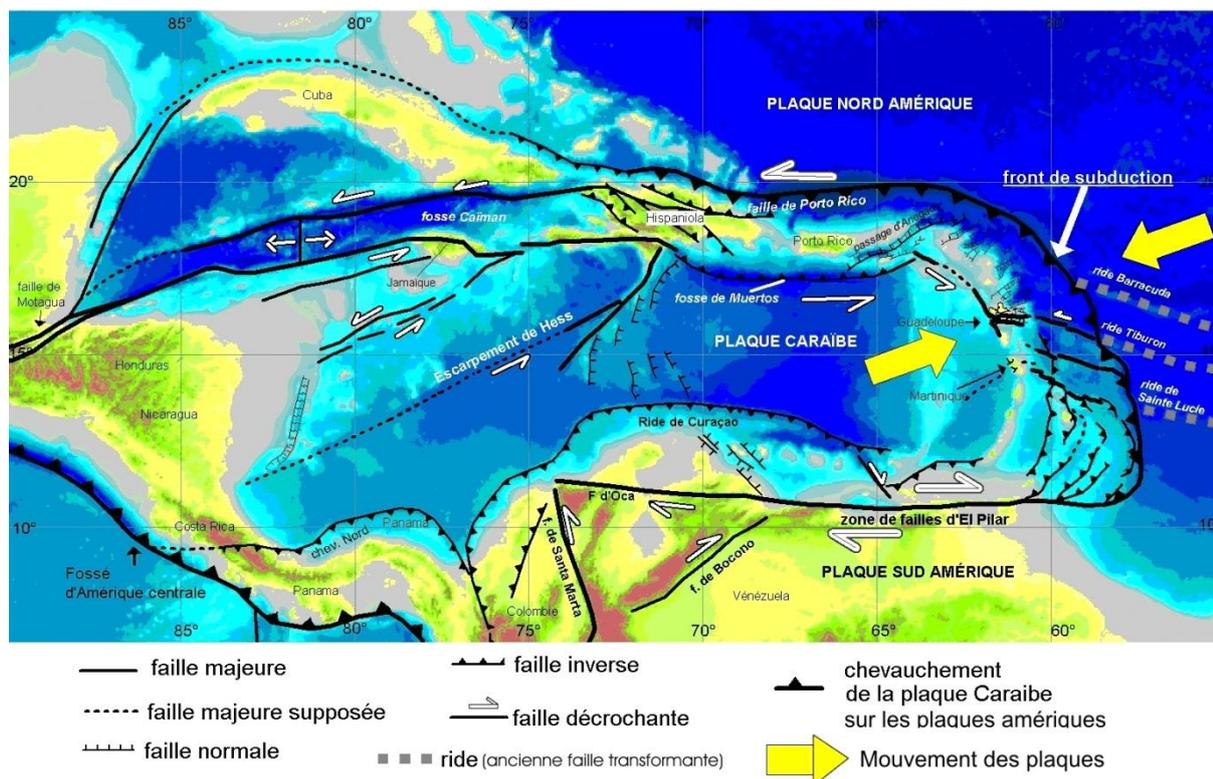


Figure 2 : Schéma structural de l'arc Caraïbes, d'après Stephan et al. (1990), Feuillet (2000), Taboada et al. (2000).

2.1.2. L'arc des petites Antilles

L'île de Saint-Martin appartient à l'arc des Petites Antilles. Ce dernier résulte de la subduction des plaques nord et sud Américaine sous la plaque Caraïbe dans une direction nord-est - sud-ouest, à la vitesse d'environ 2 cm/an. Il se situe sur la bordure nord-est de la plaque Caraïbe. Il est constitué d'une vingtaine d'îles principales. Il dessine une courbe de 850 km de longueur et de 450 km de rayon de courbure. Il s'étend depuis la marge continentale sud-américaine (Zone de faille d'El Pilar au Venezuela oriental) jusqu'au passage d'Anegada qui marque la limite actuelle avec les Grandes Antilles (plate-forme de Porto Rico et des îles Vierges).

La convergence actuelle des plaques est non seulement marquée au niveau de l'arc des Petites Antilles par une activité volcanique importante (Soufrière Hills de Montserrat, Soufrière de Guadeloupe, montagne Pelée de Martinique) mais aussi par une intense activité sismique, notamment dans la partie nord de l'arc.

Certains séismes se produisent à l'interface de la subduction entre les plaques américaines et caraïbe. Le séisme du 8 février 1843, le plus fort connu dans l'Arc (magnitude estimée proche de 8, intensité IX en Guadeloupe et Antigua) est probablement dû à cette tectonique.

D'autres séismes, plus superficiels (foyer à moins de 50 km de profondeur et épïcêtre localisé à plusieurs dizaines de kilomètres à l'ouest du front de subduction), ont lieu dans la plaque chevauchante caraïbe. Ils sont dus au jeu des failles qui découpent la plaque caraïbe (séismes intraplaques caraïbes). Le séisme du 21 novembre 2004, de magnitude 6,3, localisé entre les îles de la Dominique et des Saintes dans l'archipel de la Guadeloupe, est lié au rejeu de l'une d'entre elles.

Le front de subduction principal est recoupé par des rides océaniques (rides de Barracuda, Sainte Lucie, Tiburon, Figure 4) qui correspondent vraisemblablement à d'anciennes failles transformantes liées à l'ouverture de l'Océan Atlantique. Ces rides ont une influence sur la structure actuelle de la zone de subduction.

Ainsi, jusqu'à 50 à 60 km de profondeur, le pendage de la plaque subductée Amérique sous la plaque Caraïbe est de 25°W au nord de la ride de Sainte Lucie, tandis qu'au sud de la ride, le plan de subduction a une pente de seulement 10° à 15°W. (Godefroy *et al.*, 1990 et 1991 ; Martin *et al.*, 2002) (Figure 3).

Entre 60 km et 150 km de profondeur environ, l'angle de plongement de la plaque Amérique sous la plaque Caraïbe s'accroît puisqu'il atteint entre 50 et 60°W (50°W sous Saint-Martin, Figure 3).

Au-delà de 150 km de profondeur débute la fusion partielle de la plaque subductée, à l'origine des ascensions magmatiques de l'arc des Petites Antilles.

Coupe 1

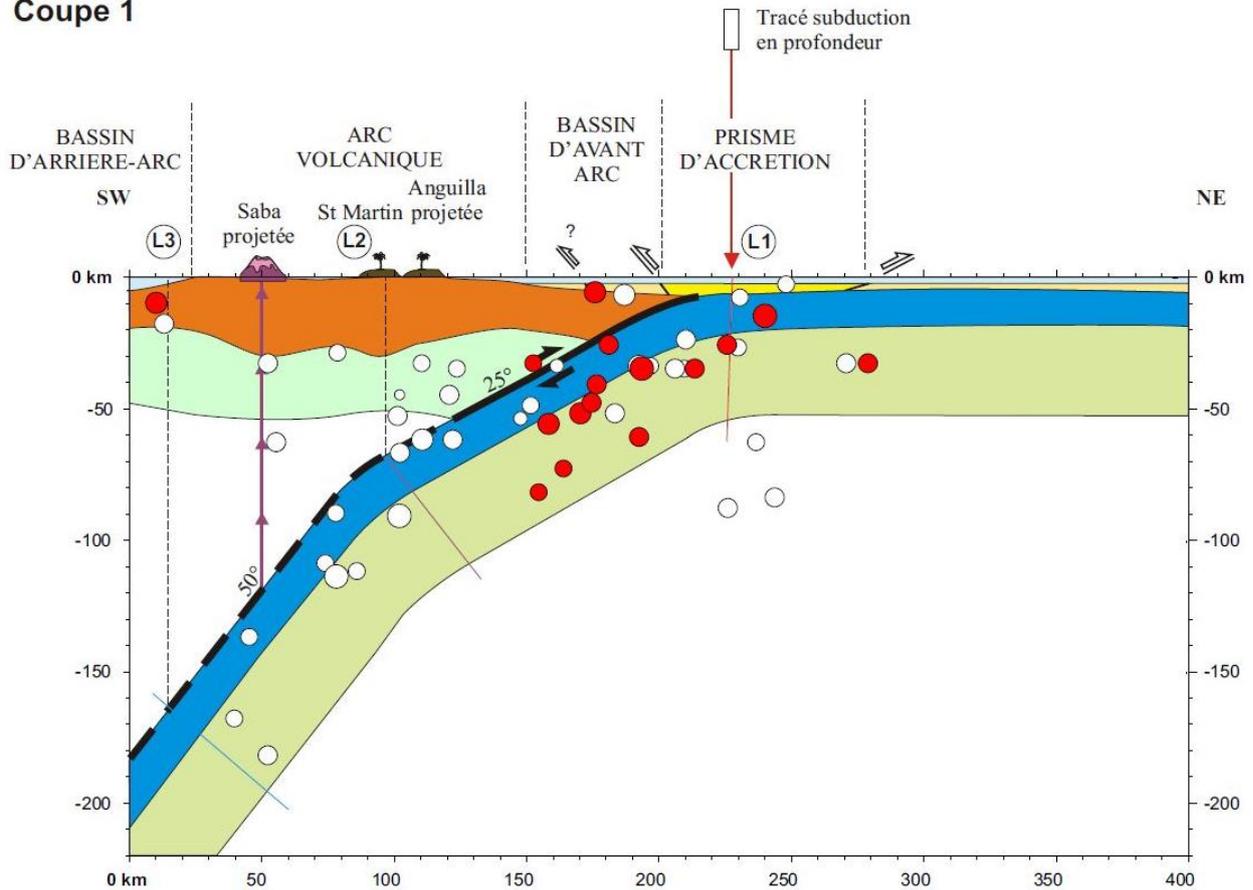


Figure 3 : Coupe de la subduction à hauteur de Saint Martin (d'après Martin *et al.*, 2002).

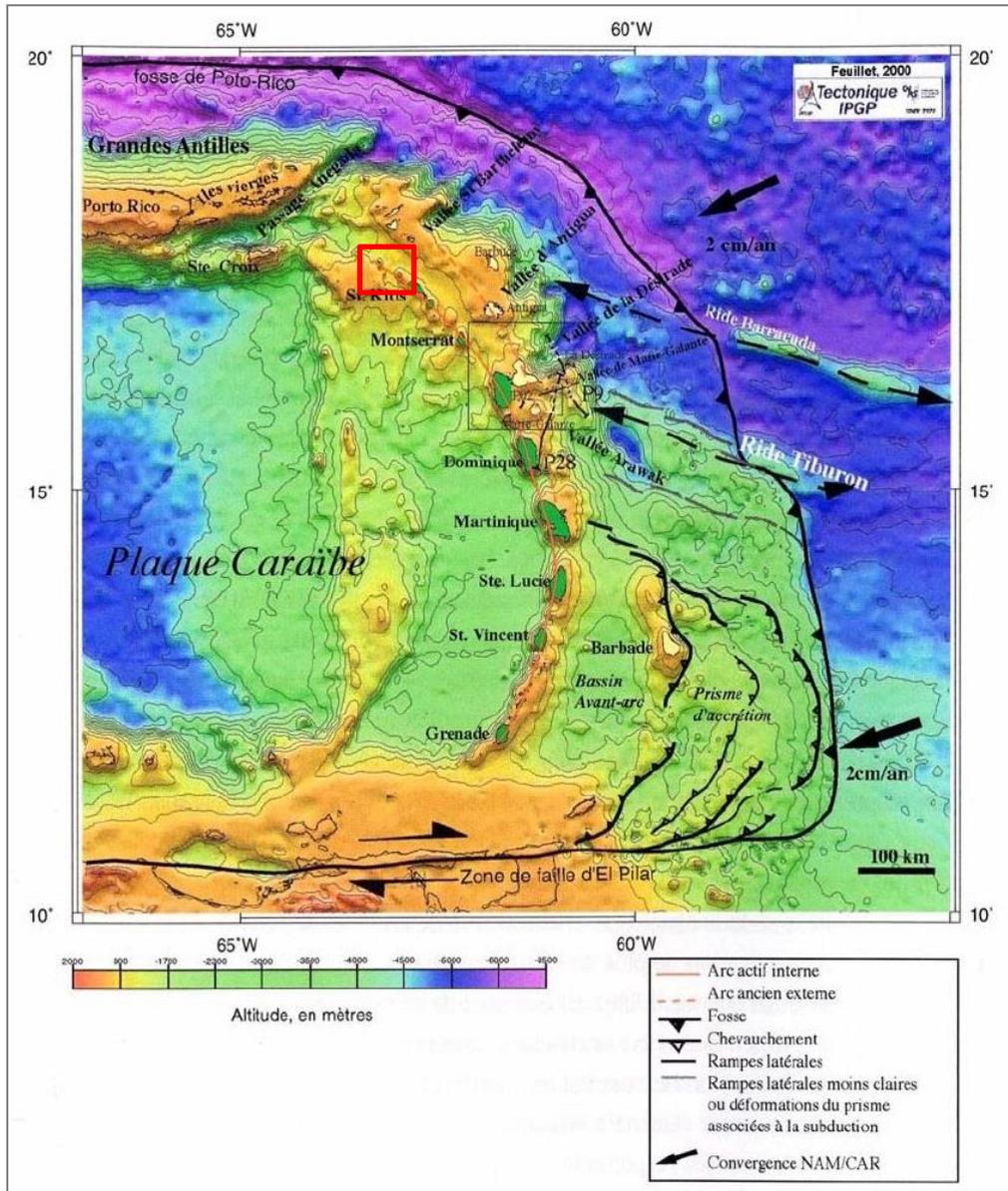


Figure 4 : Tectonique de l'Arc antillais (Feuillet, 2000). Rectangle rouge : Saint-Martin et Saint-Barthélemy.

2.1.3. Sismicité au niveau des îles du Nord

Sismicité historique

Les principaux séismes historiques de la région sont reportés sur la Figure 5 d'après la base de données SISFRANCE. Il n'y a pas de séismes fortement destructeurs connus dont l'épicentre serait situé à proximité immédiate des îles Saint-Martin ou Saint-Barthélemy. Le plus proche serait le séisme du 9 Septembre 1848 mais il y a très peu d'informations sur cette secousse. L'épicentre se situerait vers Saint-Eustache (au Nord de Saint-Kitts) et une intensité VI-VII serait observée à Saint-Martin. On ne connaît pas l'intensité sur Saint-Barthélemy. Le dernier séisme destructeur est celui du 8 Octobre 1974, au Nord d'Antigua avec quelques dommages observés à Saint-Barthélemy (intensité VI) et largement ressenti à Saint-Martin (intensité V). Le séisme du 8 février 1843 (Magnitude 8 entre Antigua et la Guadeloupe) a été ressenti avec une

intensité VI à Saint Barthélemy et V à Saint Martin. Notons enfin le séisme des îles Vierges du 18 Novembre 1867 (à plus de 200 km des îles) avec une intensité V-VI à Saint Barthélemy et V à Saint Martin.

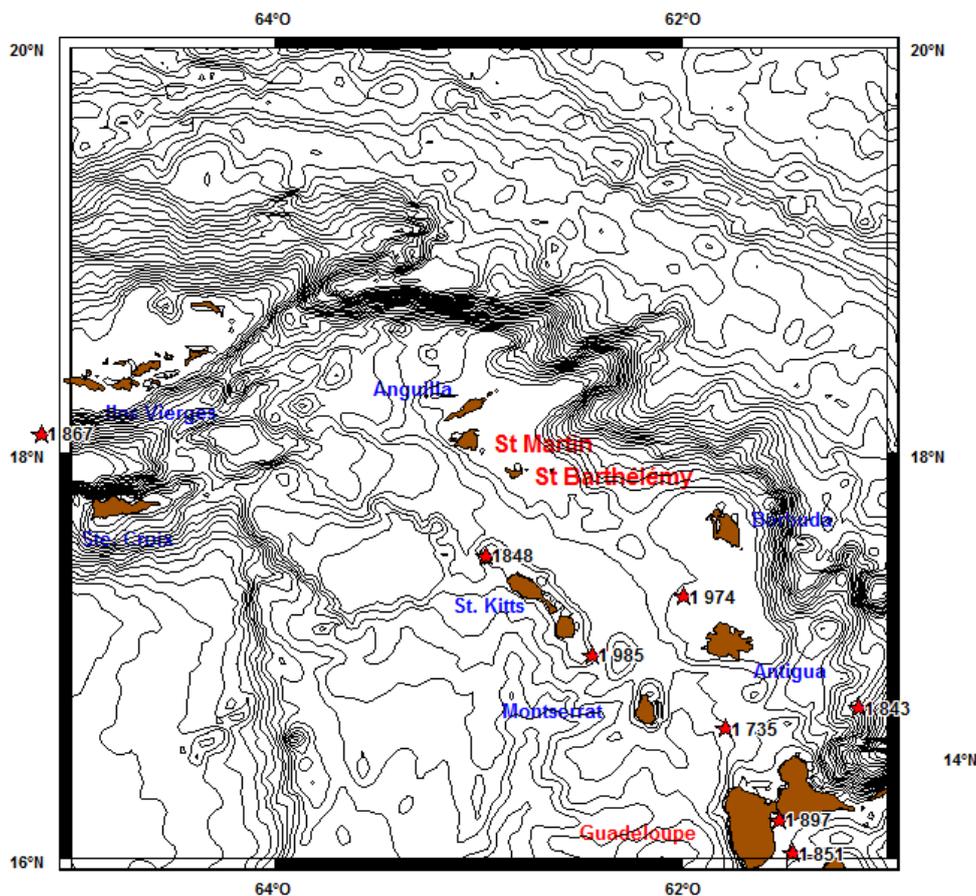


Figure 5 : Principaux séismes dans la région de Saint-Martin/Saint-Barthélemy (intensité MSK \geq VI).

Sismicité instrumentale

La sismicité instrumentale pour la période 1981-2011 est représentée sur la Figure 6 en fonction de la répartition en profondeur et sur la Figure 7 pour la répartition en magnitude. Il y a peu de sismicité observée par rapport à d'autres zones de l'arc comme au Nord des îles Vierges ou entre Montserrat et Barbuda. On recense seulement 27 séismes de magnitude supérieure à 3 en 30 ans dans un rayon de 50 km, (Figure 7) dont seulement 8 sont superficiels (profondeur < 30km).

Seuls 2 séismes ont une magnitude supérieure à 5.0 : 27/10/1990, $M_d=5.2$ à 48 km de profondeur et 18 novembre 1990, $M_d=5.1$ à 114 km de profondeur). Ils correspondent à des séismes profonds au niveau de la plaque de subduction.

Les séismes superficiels les plus forts à proximité sont ceux du 01/08/1993 et du 21/04/1994 ($M_d=4.8$). Mais, trop éloignés des côtes, ils ne sont pas signalés comme ressentis.

Jusqu'aux années les plus récentes, le réseau sismique en place ne permettait pas d'avoir un seuil de détection élevé et les localisations étaient peu précises. La sismicité observée est faible et diffuse. On ne peut dire actuellement si cette sismicité faible correspond à une zone intermédiaire entre deux zones de forte sismicité (Iles Vierges au Nord, et Arc entre Barbuda et

Guadeloupe au Sud) ou si cette sismicité faible est liée à un gap sismique (zone d'accumulation d'énergie qui ne s'est pas encore dissipée sous forme de fort séisme). Ainsi malgré cette sismicité relativement plus faible que sur d'autres portions de l'Arc, le contexte sismo-tectonique régional indique qu'on doit néanmoins considérer ces îles dans une zone de sismicité forte.

Le modèle de zonage utilisé dans l'étude Martin et al. 2002 (Figure 8) pour l'aléa sismique de la France Métropolitaine et des Antilles Françaises reflète ces observations de sismicité plus faible mais prend en compte les possibilités de séismes forts en fixant des magnitudes maximales possibles élevées. Saint-Martin et Saint-Barthélemy se situent dans la zone superficielle SMSB (magnitude maximale 6.5 à 7.3) et au-dessus des zones de subductions SMA2 (plaque plongeante avec M_{\max} de 5.8 à 6.3) et SMA3 (zone de contact interplaque avec M_{\max} de 6.5 à 7.0). (Figure 8).

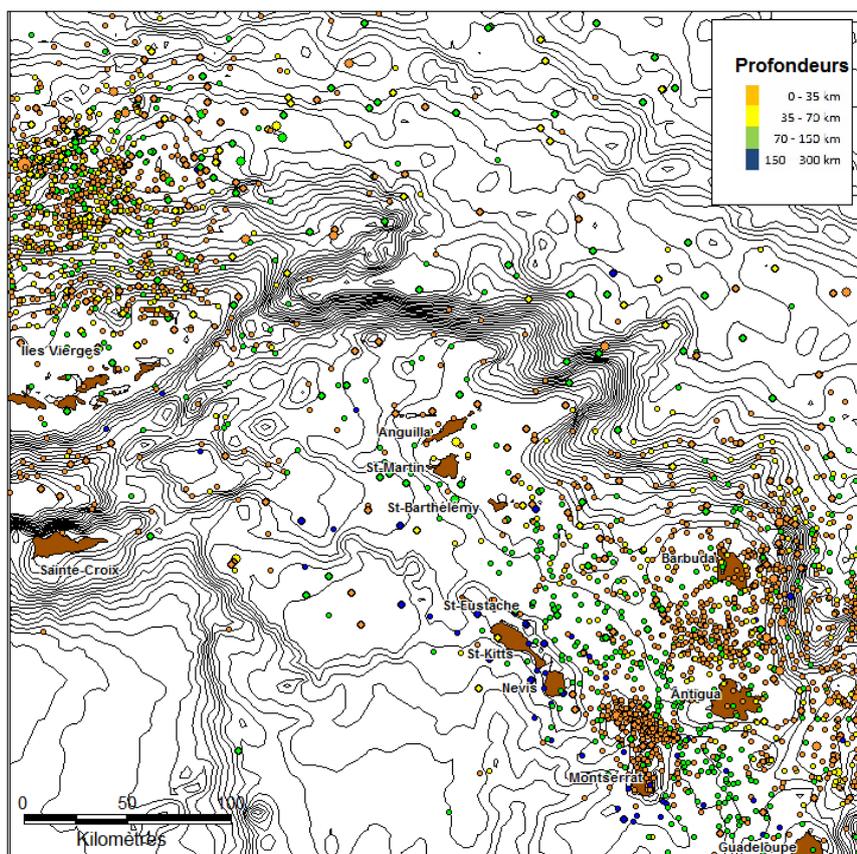


Figure 6 : Catalogue de sismicité instrumentale 1981-2011 pour les magnitudes $M_d \geq 3$ (1981- 1998 : catalogue Clément & Bernard, 2000 ; 1999-2005 : catalogue du Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA), 2006 -2011 : catalogue de l'OVSG diffusé par www.edusismo.org).

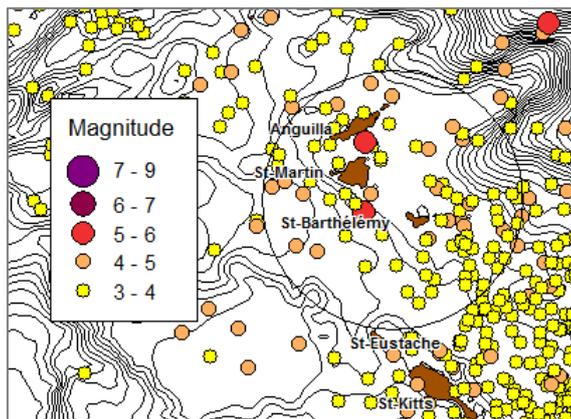


Figure 7 : Catalogue de sismicité instrumentale 1981-2011 pour les magnitudes $M_d \geq 3$. Séismes à proximité de Saint Martin et Saint Barthélemy représentés en fonction de la magnitude.

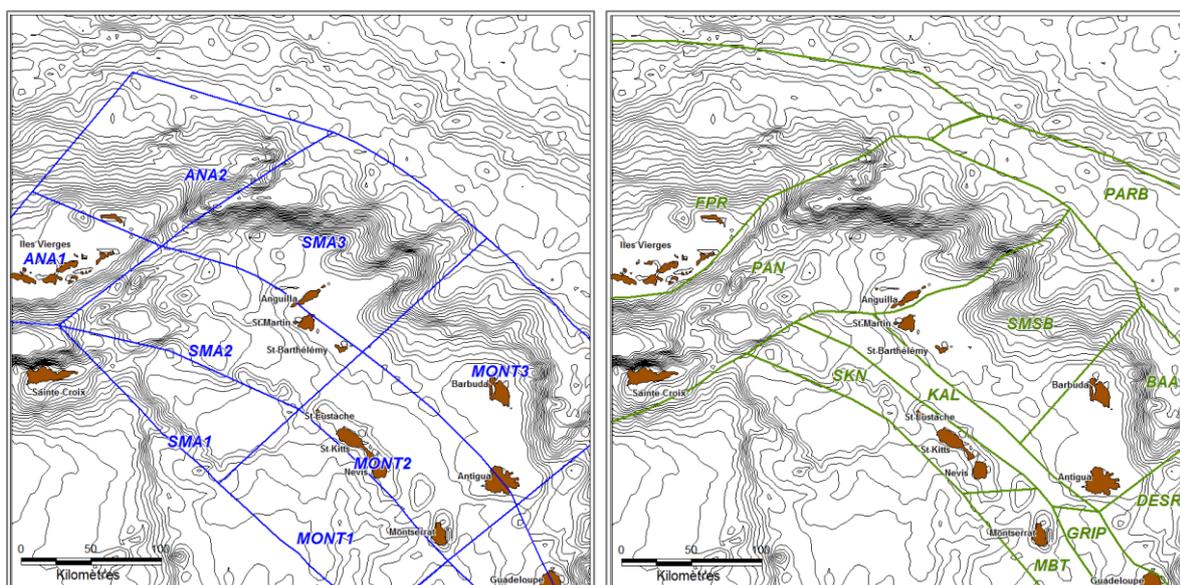


Figure 8 : Modèle de zonage de Martin et al. (2002). A gauche subduction, à droite zones superficielles.

2.2. MOUVEMENT SISMIQUE DE REFERENCE AU ROCHER.

2.2.1. Méthodologie adoptée

D'après le guide de réalisation des PPR sismique (Fabriol et Garry, 2002), la détermination de l'aléa sismique régional à prendre en compte dans le cadre du microzonage et donc du mouvement sismique de référence peut se faire de la manière suivante : **Le niveau C se caractérise, entre autres, par la définition optionnelle d'un séisme de référence propre au périmètre d'étude à partir d'une approche déterministe ou probabiliste. La méthodologie suivie est comparable à celle utilisée pour les installations classées « à risque spécial ». Le spectre de réponse au rocher du séisme de référence est calculé à l'aide d'une ou plusieurs lois d'atténuation du signal sismique en fonction de la distance. Le bureau d'étude doit expliquer les procédures suivies.**

Le mouvement sismique de référence qui sert à l'analyse des effets de site est évalué ici à partir d'une approche probabiliste et comporte les quatre étapes suivantes :

1. L'aléa sismique régional du périmètre d'étude est défini à partir de l'étude d'aléa probabiliste de GEOTER (Martin *et al.*, 2002).
2. La désagrégation de l'aléa sismique pour une période de retour de 475 ans et pour les périodes spectrales de 0.2 et 1.0 seconde permet d'identifier le ou les séismes de référence propres au périmètre d'étude.
3. Un spectre de réponse au rocher est calculé à partir de ces séismes de référence et de plusieurs relations d'atténuation choisies parmi les plus récentes et adaptées au contexte sismotectonique régional. Ce spectre est comparé aux spectres forfaitaires réglementaires et à ceux des autres études de microzonage sismique des Antilles Françaises pour vérifier la cohérence avec ce qui a déjà été proposé sur d'autres communes de Guadeloupe ou Martinique.
4. Pour l'analyse des effets de site, on recherche des accélérogrammes représentatifs du mouvement sismique au rocher défini par les séismes de référence de l'étape 2 et le PGA correspondant au spectre de réponse retenu à l'étape 3. On sélectionne des accélérogrammes naturels se rapprochant le plus de ces critères et des accélérogrammes modifiés dont les spectres sont calés sur le spectre de réponse retenu.

2.2.2. Aléa sismique régional d'après l'étude probabiliste de GEOTER (Martin et al., 2002)

En 2002, le bureau d'étude GEOTER a réalisé, pour le compte du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), une étude d'aléa probabiliste couvrant l'ensemble du territoire français. Cette étude a servi de base à la carte nationale d'aléa sismique transposée en zonage sismique règlementaire dans la réglementation de construction parasismique en vigueur basée sur les règles EC8.

Cette étude (Martin et al. ,2002) propose pour les Antilles un spectre uniforme d'aléa pour une période de retour de 475 ans et des accélérations spectrales de 0, 0.2, 0.5 et 1 seconde. Le spectre est calculé sur une grille de points espacés de 0.1° répartis sur l'ensemble de l'Arc Antillais. Les incertitudes sur les paramètres d'activité sismique et les modèles sont pris en compte avec une représentation du spectre de valeurs médianes et des percentiles 25% et 75 %.

Pour Saint-Martin et Saint-Barthélemy, les accélérations spectrales du spectre d'aléa uniforme sont représentées sur le Tableau 1 et le Tableau 2. Les différences de niveaux d'aléa sont faibles, l'aléa à Saint Barthélemy est 6% plus élevé que celui de Saint-Martin. Du fait de ce faible écart, nous ne considérons qu'un **seul mouvement sismique de référence au rocher, considérant l'aléa le plus élevé : celui de Saint Barthélemy.**

Période (s)	Accélération médiane (cm/s ²)	Accélération percentile 25% (cm/s ²)	Accélération percentile 75% (cm/s ²)
0	207	191	225
0.2	515	461	566
0.5	250	225	277
1	105	94	120

Tableau 1. Spectre d'aléa uniforme de Saint-Martin (coordonnées 63.08°W, 18.10°N).

Période (s)	Accélération médiane (cm/s ²)	Accélération percentile 25% (cm/s ²)	Accélération percentile 75% (cm/s ²)
0	219	201	237
0.2	547	486	611
0.5	265	240	292
1	114	101	126

Tableau 2 : Spectre d'aléa uniforme de Saint-Barthélemy (coordonnées 62.84°W, 17.90°N).

La valeur de PGA qu'on considère est faible pour une zone de sismicité 5 (219 cm/s² au lieu de 300 cm/s² pour le zonage réglementaire) Ces niveaux d'aléa sismique au rocher sont cependant comparables à ceux qu'on peut observer sur des communes de Martinique sur lesquels des microzonages sismiques ont été effectués récemment (Tableau 3).

Période (seconde)	Trois-Ilets (cm/s ²)	Rivière-Salée (cm/s ²)	Le François (cm/s ²)	Le-Vauclin (cm/s ²)	St Joseph (cm/s ²)
0.00	202	207	217	228	204
0.20	519	532	556	570	524
0.50	254	260	274	284	257
1.00	114	116	122	127	114

Tableau 3 : Spectre d'aléa uniforme de communes de Martinique

A noter aussi qu'une récente étude d'aléa sismique probabiliste de l'arc Antillais (Bozzoni et al., 2011) donne un aléa à 475ans de 0.3-0.32g à la hauteur des îles du Nord. Cette différence s'explique en partie par un modèle de zonage plus simple dans cette étude que dans celle de Martin et al. (2002) : la baisse d'activité sismique observée autour des îles du Nord n'est pas prise en compte dans une zone spécifique.

2.2.3. Désagrégation de l'aléa sismique probabiliste

Pour le choix d'une source sismique de référence à utiliser pour le calcul de l'aléa régional, nous souhaitons savoir s'il faut prendre en compte une source superficielle proche (distance inférieure à 10 km) ou une source plus lointaine (notamment sur le plan de subduction). La désagrégation de l'aléa sismique probabiliste consiste à décomposer l'aléa sismique calculé en différentes combinaisons de magnitude/distance, de manière à évaluer la contribution de chaque type de source à l'aléa sismique pour un certain niveau d'accélération.

La désagrégation à 0.2 seconde de période spectrale permet de savoir quels types de sources contribuent le plus à produire l'accélération du plateau du spectre en accélération. Tandis que la désagrégation à 1.0 seconde est plus sensible aux sources de fortes magnitudes et aux sources lointaines. Aussi, nous effectuons cette analyse pour ces deux périodes spectrales pour voir les différences éventuelles de contribution qui peuvent apparaître.

Le calcul de désagrégation est effectué avec le code de calcul Crisis version 2003 (Ordaz et al., 2003), le modèle de sources et les paramètres d'activité sismique issus de l'étude GEOTER (Martin et al., 2002). L'aléa sismique probabiliste est calculé sur le point de référence défini au paragraphe 2.2.2. et pour la période de retour de 475 ans. Les zones sources contributives sont illustrées sur la Figure 8.

Les résultats pour les périodes spectrales de 0.2 s et 1 s respectivement, sont présentés sur la Figure 9 et la Figure 10.

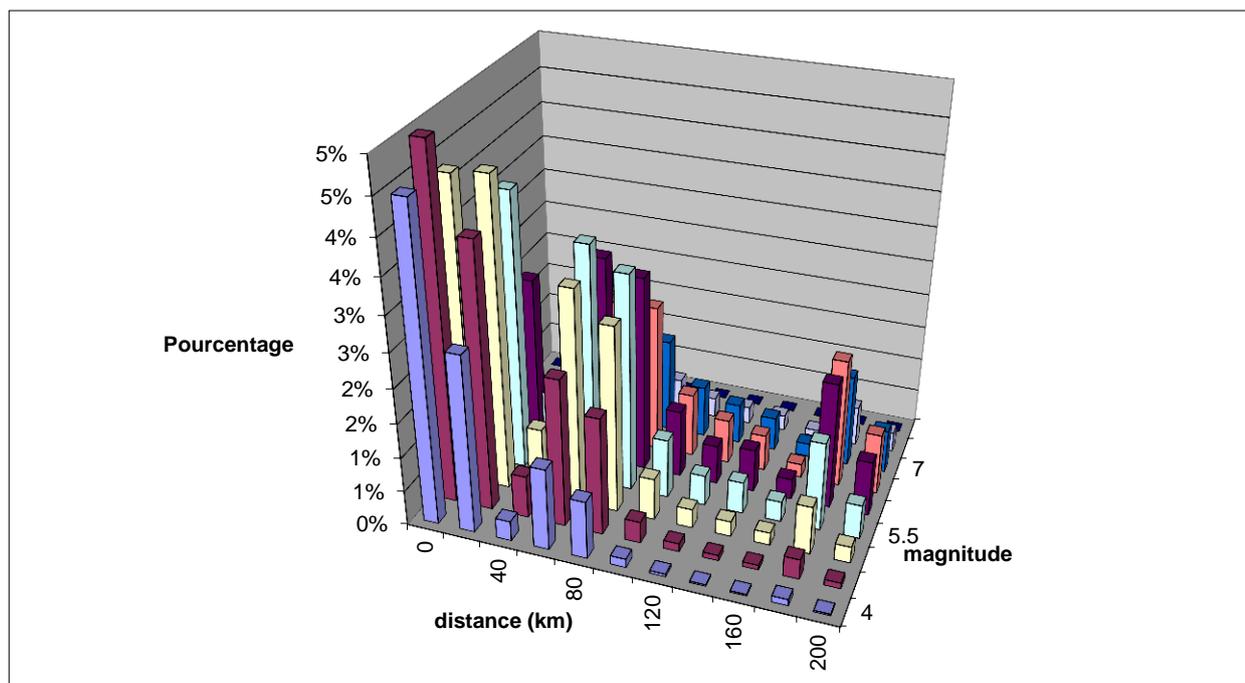


Figure 9 : Désagrégation pour une période de retour de 475 ans et une période spectrale de 0.2 seconde.

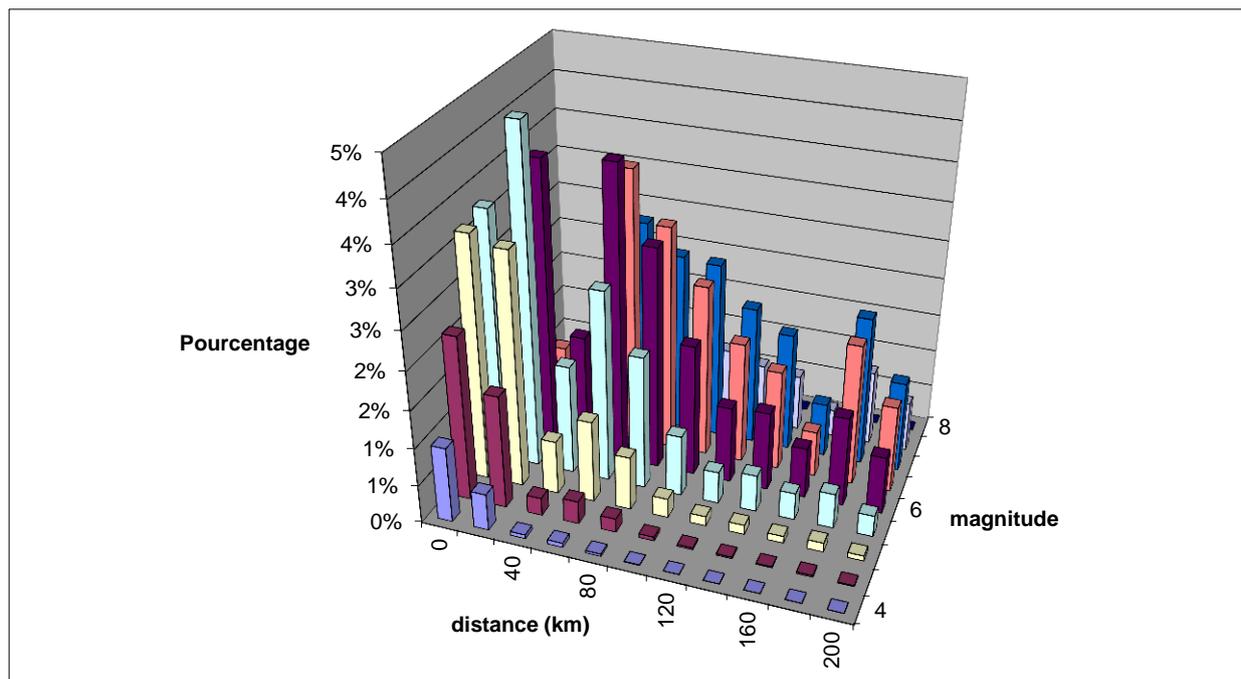


Figure 10 : Désagrégation pour une période de retour de 475 ans et une période spectrale de 1.0 seconde.

Pour les deux périodes spectrales, la répartition des contributions des couples magnitude/distance à l'aléa sismique montre deux modes principaux : des sources lointaines (avec un pic pour les distances entre 60 et 100 km de distance) et des sources proches (distances inférieures à 40 km). Ces deux pics représentent à eux seuls 70% de la contribution totale des sources pour 0.2s (37% pic proche, 33% pic lointain), 54 % de la contribution totale des sources pour 1.0s (27% pic proche et 27% pic lointain). L'analyse par zone source (et non plus par couple magnitude/distance) indique que la contribution lointaine est dominée par les sources de subductions (notamment MONT2).

Pour les séismes de référence, on doit donc considérer 2 sources distinctes :

- **un séisme proche à moins de 20 km** : Mw 5.5-6.0 à 20 km hypocentral (dans zone superficielle SMSB)
- **un séisme lointain à plus de 60 km** hypocentral et Mw 6.0-6.5 (dans zone MONT2 intraslab).

Concernant les profondeurs, le séisme proche peut se situer à une profondeur moyenne de 10 km. Pour le séisme de subduction, la source se situe dans la partie supérieure de la plaque plongeante vers 55 km de profondeur (Figure 3).

Une analyse plus détaillée de la désagrégation montre que les accélérations de référence à 0.2s et 1.0s sont atteintes avec ces séismes de scénarios à au moins **un écart-type au-dessus de la valeur médiane** donnée par les relations d'atténuation, en raison de la prise en compte des incertitudes sur ces relations dans le calcul d'aléa sismique probabiliste.

En résumé, les séismes de référence à prendre en compte sont ceux du Tableau 4.

Séisme lointain			Séisme proche		
(subduction intraplaque plongeante)			(superficiel)		
Magnitude Mw		6.5	Magnitude Mw		6.0
Profondeur focale (km)		55	Profondeur focale (km)		10
Distance focale (km)		60	Distance focale (km)		20

Tableau 4 : Séismes de référence.

2.2.4. Spectre de réponse au rocher

Relations d'atténuations utilisées

Le calcul des spectres de réponse est entrepris au rocher horizontal affleurant, pour des conditions standard de sols, c'est-à-dire sans atténuation ni amplification du mouvement du sol.

Pour ces calculs spectraux, il est nécessaire d'utiliser des relations d'atténuation adaptées au contexte sismotectonique local. Or, il n'existe pas de relations empiriques spécifiques au contexte de subduction antillais. Les données accélérométriques antillaises sont encore peu nombreuses et couvrent des gammes de magnitudes et distances trop étroites. Douglas et al. (2006) et Douglas & Mohais (2009) ont comparé les données observées avec les relations d'atténuations les plus couramment utilisées. Aucune de ces relations ne donnent de bonnes corrélations avec les données. Pour les sources sismiques de subduction, les corrélations reposent sur encore moins de données que les sources superficielles.

Etant donné qu'il n'existe pas de modèles empiriques pour évaluer le mouvement fort aux Antilles, il faut choisir des modèles dérivés des autres régions de subduction où il existe des réseaux accélérométriques (Japon, Mexique, Amérique du Sud, nord-ouest Amérique du Nord, Nouvelle Zélande et Taiwan...). Afin de saisir les incertitudes épistémiques dans l'évaluation de mouvements forts, il faut choisir plusieurs modèles pour donner une gamme des spectres qui couvre la gamme possible aux Antilles. Pour cette étude, nous avons sélectionné ces six modèles empiriques récents qui sont dérivés des milliers des accélérogrammes par les méthodes de régression modernes :

- Atkinson & Boore, 2003 (ab03) ;
- Kanno et al., 2006 (ketal06) ;
- Lin & Lee, 2008 (ll08) ;
- McVerry et al., 2006 (metal06) ;
- Youngs et al., 1997 (yetal97) ;
- Zhao et al., 2006 (zetal06).

Les principales caractéristiques et domaines de validité de ces relations sont résumés dans le Tableau 5.

Modèle d'atténuation	Région	Nombre d'enregistrements	Nombre d'événements	Gamme de magnitude	Echelle de magnitude	Gamme de distance (km)	Echelle de distance ¹	Mécanisme ²
Atkinson & Boore (2003) <i>ab03</i>	Zones de subduction	1200	43	5.5≤M≤8.3	M _w	11≤R<550	R _{rup}	F, B
Kanno et al. (2006) <i>ketal06</i>	Japon + Californie	8899	181	5.0≤M≤8.2	M _w	1<R<450	R _{rup}	A
Lin & Lee (2008) <i>ll08</i>	NE Taiwan + 10 étrangers	4244+139	44+10	4.1(6.0)≤M≤7.3 (8.1)	M _w (M _L)	15≤R≤630	R _{hypo}	F, B
McVerry et al. (2006) <i>metal06</i>	Nouvelle-Zélande	224	51	5.1≤M≤7.1	M _w	6≤R≤400	R _{JB}	C, F, B
Youngs et al. (1997) <i>yetal06</i>	Zones de subduction + Monde	479	164	5.0≤M≤8.2	M _w (M _s , m _b)	8.5≤R≤550	R _{rup} R _{hypo}	F, B
Zhao et al. (2006) <i>zetal06</i>	Japon, Iran, Ouest USA	4726	269	4.0≤M≤8.0	M _w	0≤R≤200	R _{rup}	C, F, B

Tableau 5 : Modèles d'atténuation pour les séismes de subduction.

Pour les sources proches, nous utiliseront la relation Berge-Thierry et al. (2003) qui est la référence principale dans l'étude Martin et al. (2002) et les relations Boore & Atkinson (2008), Campbell & Bozorgnia (2008), Chiou & Young (2008) utilisées par l'USGS pour l'aléa sismique des Grandes Antilles (Porto Rico, Hispaniola).

Les principales caractéristiques et domaines de validité de ces relations sont résumés dans le Tableau 6.

Modèle d'atténuation	Région	Nombre d'enregistrements	Nombre d'événements	Gamme de magnitude	Echelle de magnitude	Gamme de distance (km)	Echelle de distance ³	Mécanisme ⁴
----------------------	--------	--------------------------	---------------------	--------------------	----------------------	------------------------	----------------------------------	------------------------

¹ R_{rup} : distance à la rupture, R_{JB} : plus courte distance à la projection de la faille en surface, R_{hypo} : distance hypocentrale

² ** F : interplaque, B : intraplaque plongeante, C : crustal superficiel, A : tout mécanisme

³ R_{rup} : distance à la rupture, R_{JB} : plus courte distance à la projection de la faille en surface, R_{hypo} : distance hypocentrale

⁴ ** F : interplaque, B : intraplaque plongeante, C : crustal superficiel, A : tout mécanisme

Berge-Thierry et al. (2003) <i>btetal03</i>	Europe et Moyen Orient + Californie	802 + 163	130 + 8	4.0 (5.8) ≤ M ≤ 7.9 (7.4)	M _s (M _w)	4 ≤ R ≤ 330	R _{hypo}	Non spécifié
Boore & Atkinson (2008) <i>ba08</i>	Monde	1574	58	4.3 ≤ M ≤ 7.9	M _w	0 ≤ R ≤ 280	R _{JB}	A
Campbell & Bozorgnia (2008) <i>cb08</i>	Monde	1561	64	4.3 ≤ M ≤ 7.9	M _w	0 ≤ R ≤ 200	R _{rup}	A
Chiou & Youngs (2008) <i>cy08</i>	Monde	1950	125	4.3 ≤ M ≤ 7.9	M _w	0 ≤ R ≤ 200	R _{rup}	A

Tableau 6 : Modèles d'atténuation pour les séismes crustaux superficiels

Spectre de réponse retenu

Il est illustré sur la Figure 12. L'expression analytique du spectre de réponse élastique est présentée dans le Tableau 7 et la Figure 11.

Le spectre de réponse en accélération $Re(T)$ est défini de la façon suivante :

Branche AB : $RE(T) = RA + (RM-RA) (T/TB)$

Branche BC : $RE(T) = RM$

Branche CD : $RE(T) = RM (TC/T)$

Branche DE : $RE(T) = RM (TC/T) (TD/T)$

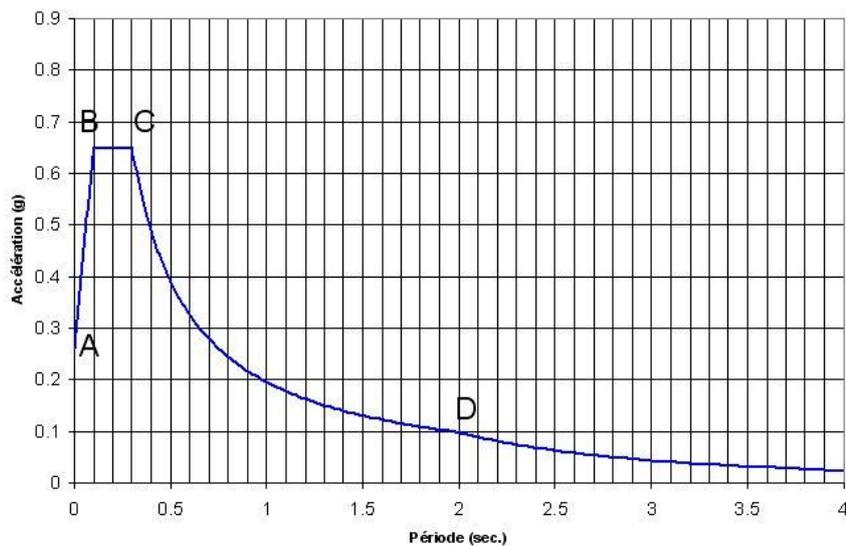


Figure 11 : Expression analytique du spectre de réponse élastique

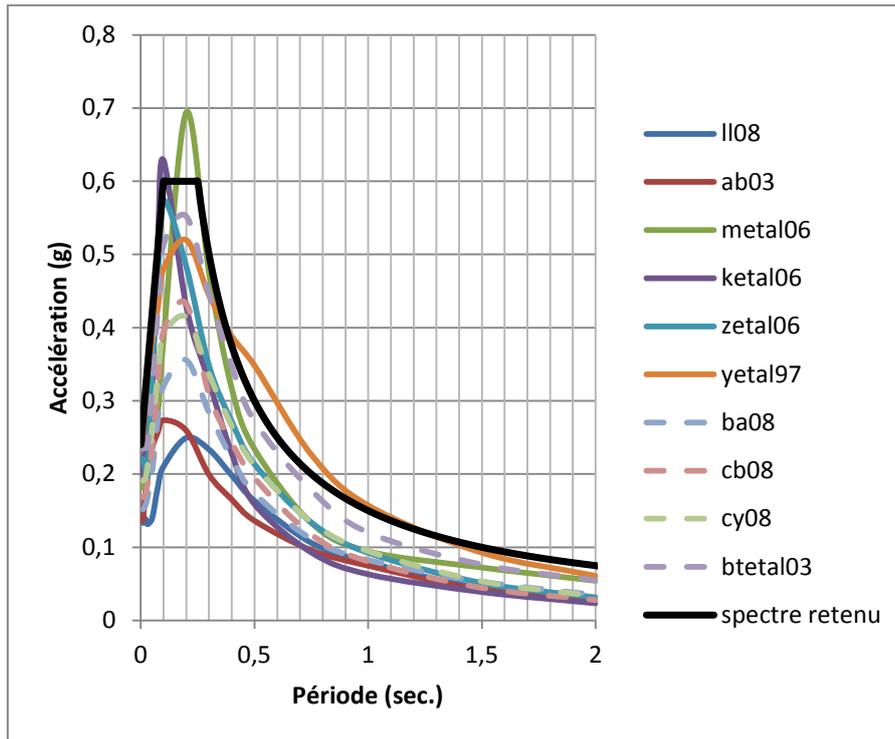


Figure 12 : Spectre au rocher de référence. (en pointillés les spectres de séisme proche , en traits pleins les spectres de subduction ; en trait plein noir le spectre à retenir).

RA (g)	RM (g)	TB (sec.)	TC (sec.)	TD (sec.)
0.24	0.60	0.1	0.25	2.0

Tableau 7 : Caractéristiques du spectre de réponse à retenir.

L'accélération maximale horizontale est de 0.24 g. Le plateau est situé entre les périodes 0.1 et 0.25 seconde. L'accélération au niveau du plateau est 0.60 g.

Confrontation avec la réglementation

La France dispose depuis le 24 octobre 2010 d'une nouvelle réglementation parasismique, entérinée par la parution au Journal Officiel des décrets 2010-1254 et 2010-1255 sur le nouveau zonage sismique national et d'un arrêté du 22 octobre 2010 fixant les règles de construction parasismique à utiliser pour les bâtiments sur le territoire national. Ces textes permettent l'application de nouvelles règles de construction parasismique telles que les règles Eurocode8. Ces nouveaux textes réglementaires sont en vigueur de manière obligatoire à compter du 1er mai 2011.

Ces nouvelles règles préconisent des spectres normalisés à caler à l'accélération maximale adaptée à la zone d'étude.

Les Antilles françaises sont situées en zone de sismicité 5 (aléa fort) pour laquelle l'accélération maximale à prendre en compte est 3 m/s^2 . Pour un sol de type A c'est-à-dire constitué de rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant, et d'une manière générale avec $V_{s,30} > 800 \text{ m/s}$, les expressions analytiques du spectre de réponse élastique sont les suivantes (Tableau 8) :

Gamme de période (secondes)	Expression analytique (g)
$0 \leq T \leq 0,15$	$S(T) = 0,3 + (3T)$
$0,15 \leq T \leq 0,4$	$S(T) = 0,75$
$0,4 \leq T \leq 2$	$S(T) = 0,3/T$
$2 \leq T \leq 4$	$S(T) = 0,6/T^2$

Tableau 8 : Expressions analytiques du spectre de réponse élastique au rocher horizontal affleurant préconisé pour les Antilles par la réglementation Eurocode 8.

Les anciennes règles PS92

Avec l'ancienne réglementation reposant sur les règles PS92, l'accélération maximale de la zone d'aléa fort est égale à 0,35 g, les expressions analytiques du spectre de réponse élastique sont les suivantes (Tableau 9) :

Gamme de période (secondes)	Expression analytique (g)
$0 \leq T \leq 0,15$	$S(T) = 0,35 + (3,5T)$
$0,15 \leq T \leq 0,3$	$S(T) = 0,875$
$0,3 \leq T \leq 2,5$	$S(T) = 0,2625/T$

Tableau 9 : Expressions analytiques du spectre de réponse élastique au rocher horizontal affleurant issu de la réglementation PS92.

Le spectre proposé ainsi que les spectres réglementaires issus de la réglementation basée sur l'Eurocode 8 et des PS92 sont reportés sur la Figure 13.

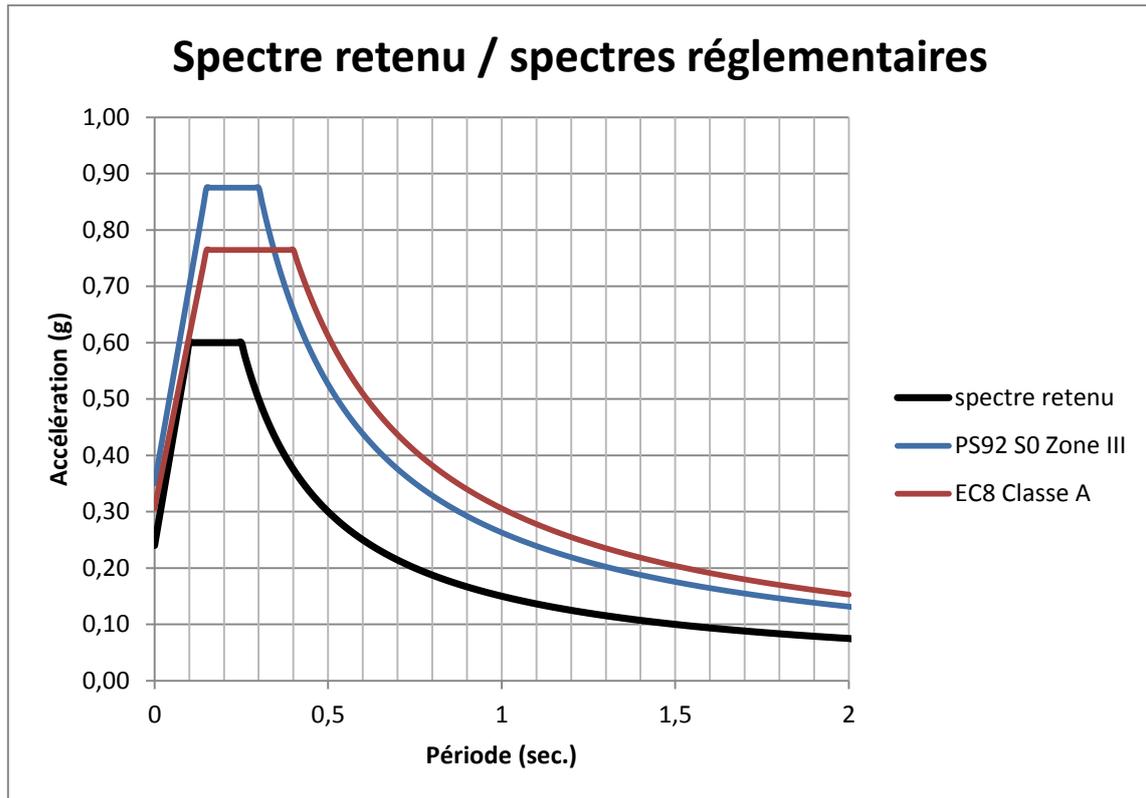


Figure 13 : Confrontation du spectre proposé avec les spectres issus de la réglementation

Quelle que soit la période considérée, le spectre retenu dans le cadre de la présente étude a un niveau plus bas que les spectres issus de la réglementation.

Dans cette étude, nous proposons une accélération PGA 0.24 g issue de l'étude de l'aléa sismique régional. Cette valeur est inférieure au niveau d'accélération forfaitaire de 0.30 g (Eurocode 8) ou 0.35 g (PS92), car ces derniers correspondent à des niveaux forfaitaires définis par la puissance publique dans les réglementations PS92 puis Eurocode 8 (niveaux d'accélération conservatifs).

Confrontation avec les spectres d'autres microzonages récents sur les Antilles

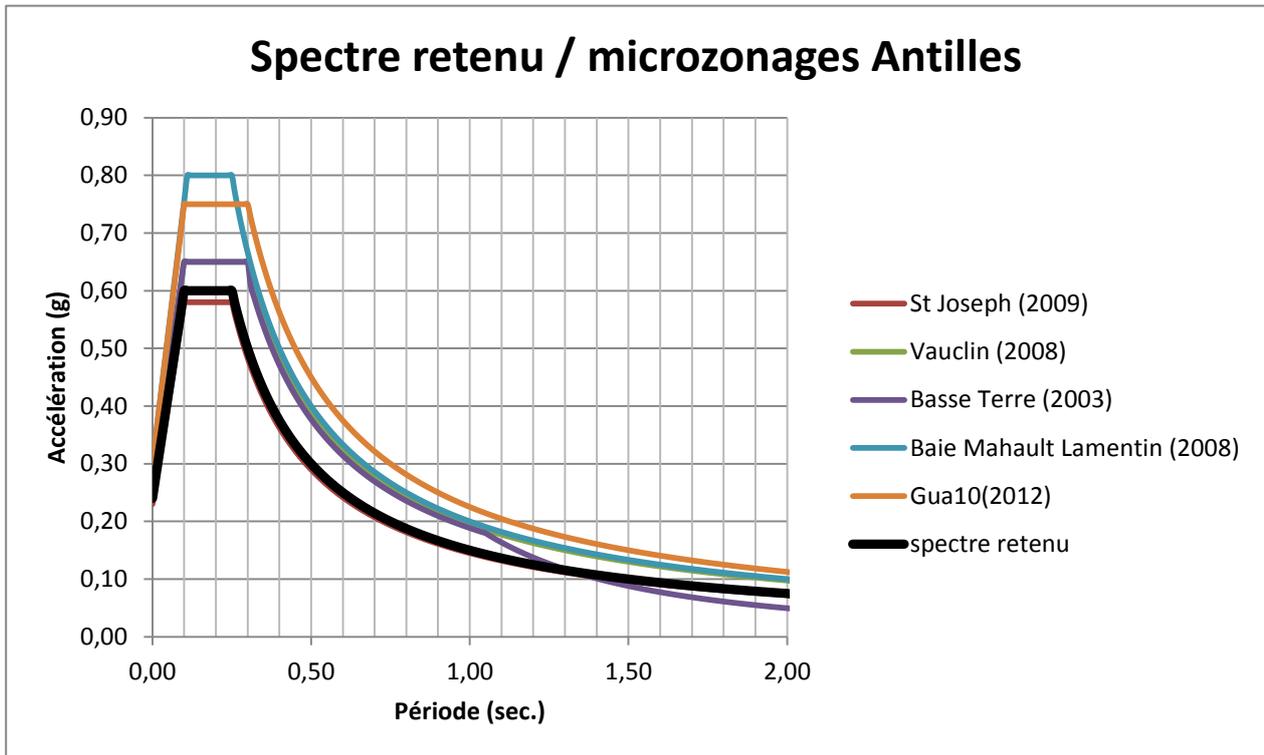


Figure 14 : Confrontation du spectre proposé avec les spectres issus des microzonages récents de Martinique et de Guadeloupe.

Plusieurs spectres de référence au rocher sont proposés pour les microzonages sismiques récents de Guadeloupe suivant une méthodologie similaire (Basse-Terre, Mompelat et al., 2003 ; Baie-Mahault-Lamentin, Bertil et al., 2009 ; microzonages de 10 communes de Guadeloupe, Bengoubou-Valérius et al., 2012) et de Martinique (Vauclin, Trinité, le Robert ; Bertil et al., 2008 ; Saint Joseph, Bertil & Auclair, 2009).

La Figure 14 compare le spectre retenu (en noir) avec ceux des microzonages cités ci-dessus. Le spectre retenu est parmi les plus bas, correspondant aux zones les moins actives de l'arc. Il est proche de celui de Saint-Joseph en Martinique.

2.2.5. Choix des mouvements sismiques au rocher pour l'analyse des effets de site

Une fois le spectre de référence au rocher horizontal affleurant construit, il est nécessaire de choisir des accélérographes représentant au mieux ce spectre de référence pour le calcul des effets de site lithologiques. Ces accélérographes sont ensuite utilisés comme mouvement sismique d'entrée dans les simulations numériques 1D décrites dans le chapitre 4. Pour la présente étude, nous avons choisi deux accélérographes naturels et deux accélérographes issus de la modification de signaux naturels.

a) Choix des accélérogrammes

Nous avons d'abord recherché, dans les bases de données mondiales, deux accélérogrammes réels issus de séismes ayant des caractéristiques proches du spectre au rocher retenu dans le cadre de la présente étude, et correspondant respectivement aux caractéristiques de la source proche et de la source lointaine. Les caractéristiques des séismes réels ainsi retenus sont décrites dans le Tableau 11.

Remarque : la recherche de signaux réels consiste à sélectionner des signaux dans des bases de données de mouvements forts. Pour cela, il est nécessaire de définir les caractéristiques physiques du séisme de référence (mécanisme au foyer, magnitude et distance focale). Les accélérogrammes sont alors choisis selon les critères suivants ($M = M_w$; $d = d_{\text{focale}}$) :

- magnitude telle que $M_{\text{séisme cible}} - 0.5 < M < M_{\text{séisme cible}} + 0.5$;
- distance telle que $d_{\text{séisme cible}} / 2 < d < d_{\text{séisme cible}} * 2$;
- PGA le plus proche possible du PGA du « séisme cible » ;
- spectre de réponse le plus proche possible du spectre du « séisme cible ».

Les critères retenus pour cette recherche sont reportés dans le Tableau 10.

Source proche ($M_w=6.0$, $d_{\text{focale}}=20$ km)	Source lointaine ($M_w=6.5$, $d_{\text{focale}}=60$ km)
$5.5 < M_w < 6.5$	$6.0 < M_w < 7.0$
profondeur _{cible} = 10 km	profondeur _{cible} = 55 km
$10 \text{ km} < d_{\text{focale}} < 40 \text{ km}$	$30 \text{ km} < d_{\text{focale}} < 120 \text{ km}$
PGA _{cible} = 0.24 g	PGA _{cible} = 0.24 g

Tableau 10 : Critères retenus pour la sélection des accélérogrammes.

Les accélérogrammes naturels sont ensuite normalisés par rapport au PGA « cible » donné par le spectre de réponse pour le SMS (0.24 g). Ces accélérogrammes sont représentés sur la Figure 15.

En complément de ces accélérogrammes, deux accélérogrammes naturels ont été modifiés à l'aide du logiciel RspMatch 2005 (Hancock *et al.*, 2006).

Pour cela, nous avons tout d'abord réitéré la recherche précédente de manière à extraire deux nouveaux accélérogrammes naturels correspondant à chacune des deux sources considérées (proche et lointaine) : les caractéristiques de ces séismes sont décrites dans le Tableau 12. Le logiciel RspMatch 2005 procède ensuite à leur modification de manière à ce que leurs spectres de réponse soient compatibles avec le spectre cible correspondant défini pour le rocher horizontal affleurant.

Cette méthode basée sur les travaux de Lilhanand et Tseng (1988) permet, dans la plupart des cas, de préserver le caractère non-stationnaire de l'accélérogramme de référence. Elle consiste à ajuster l'accélérogramme dans le domaine temporel en lui ajoutant des ondelettes de manière à ce que le spectre ainsi calculé respecte le spectre cible pour toute la gamme de fréquence considérée en maintenant des séries temporelles réalistes en vitesse et en déplacement.

Les accélérogrammes naturels modifiés déterminés grâce à RspMatch 2005 sont présentés sur la Figure 15.

	Date	Séisme	M_w	Profondeur (km)	d_{focale} (km)	Station
N1	22/12/1990	Piedras Negras (Costa-Rica)	6.0	7	22	San Jose-Hatillo
N2	26/05/2003	Miyagi (Japon)	7.0	70	80	Ichinoseki

Tableau 11 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.

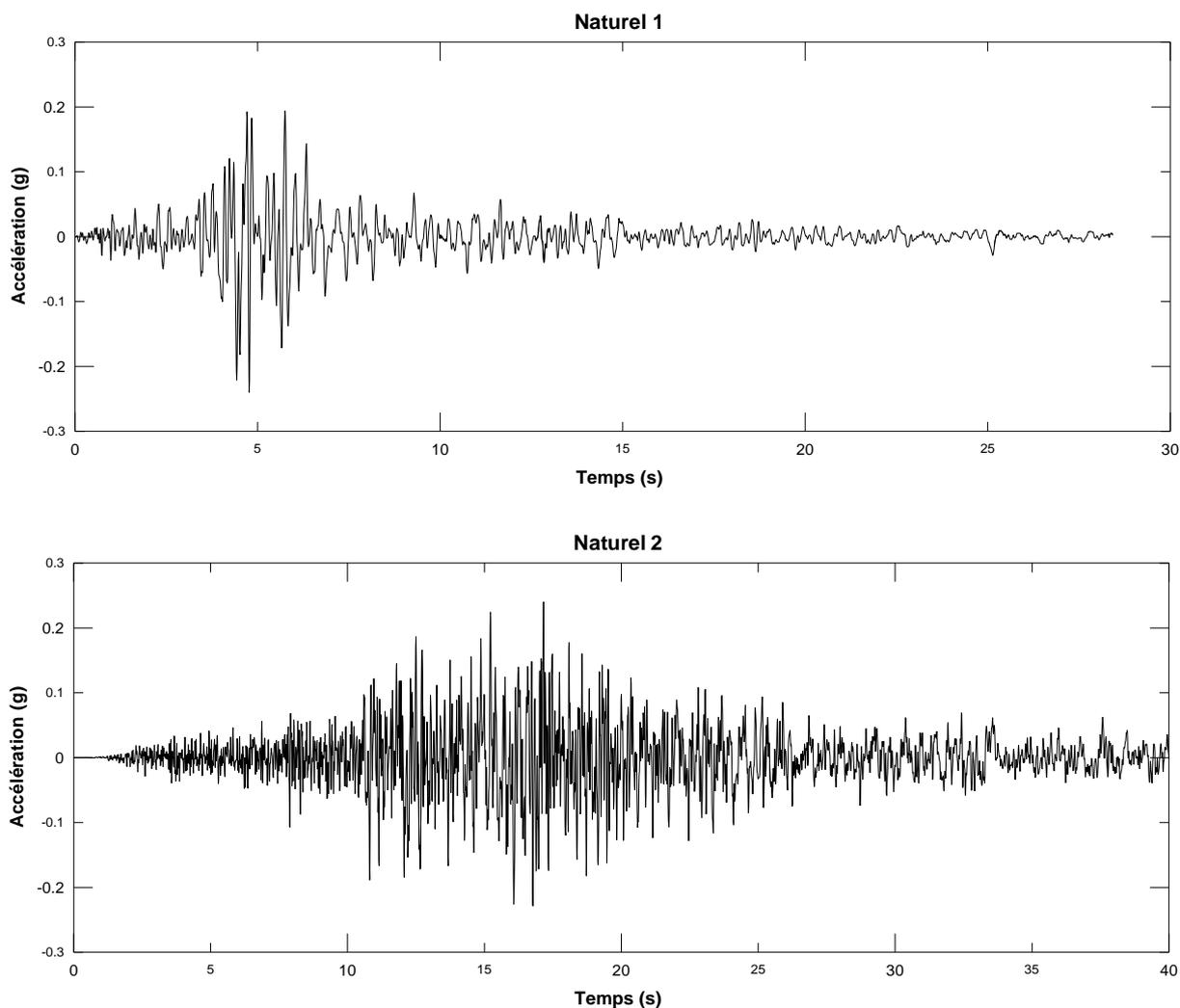


Figure 15 : Accélérogrammes naturels sélectionnés et normalisés par rapport au PGA « cible ».

	Date	Séisme	M_w	Profondeur (km)	d_{focale} (km)	Station
M1	10/10/1986	San Salvador (Salvador)	5.8	8	11	San Salvador-Hotel Sheraton
M2	31/05/1978	Chorrera (Nicaragua)	6.6	49	60	Corinto-Administration Building

Tableau 12 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels-modifiés choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.

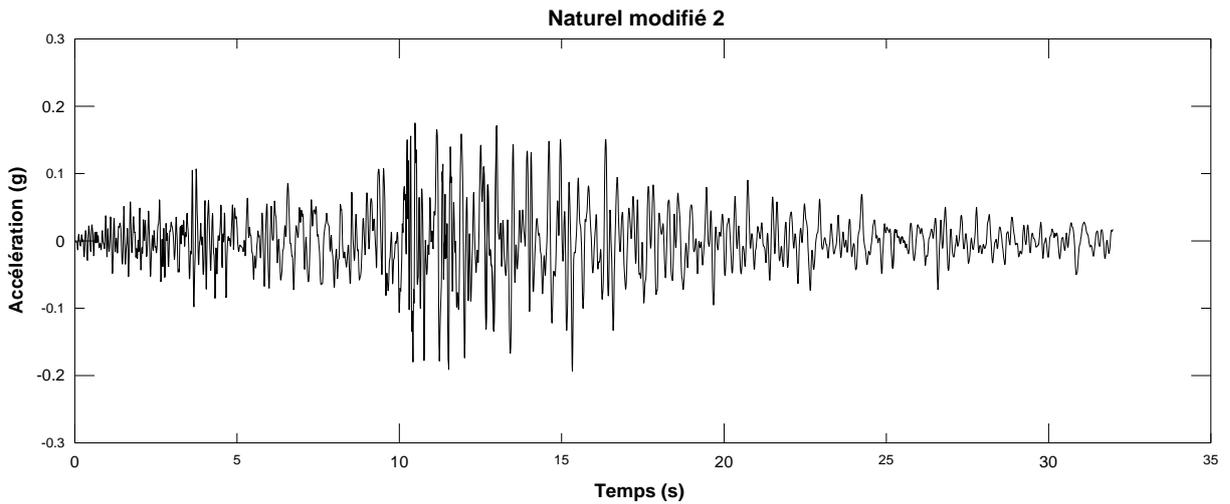
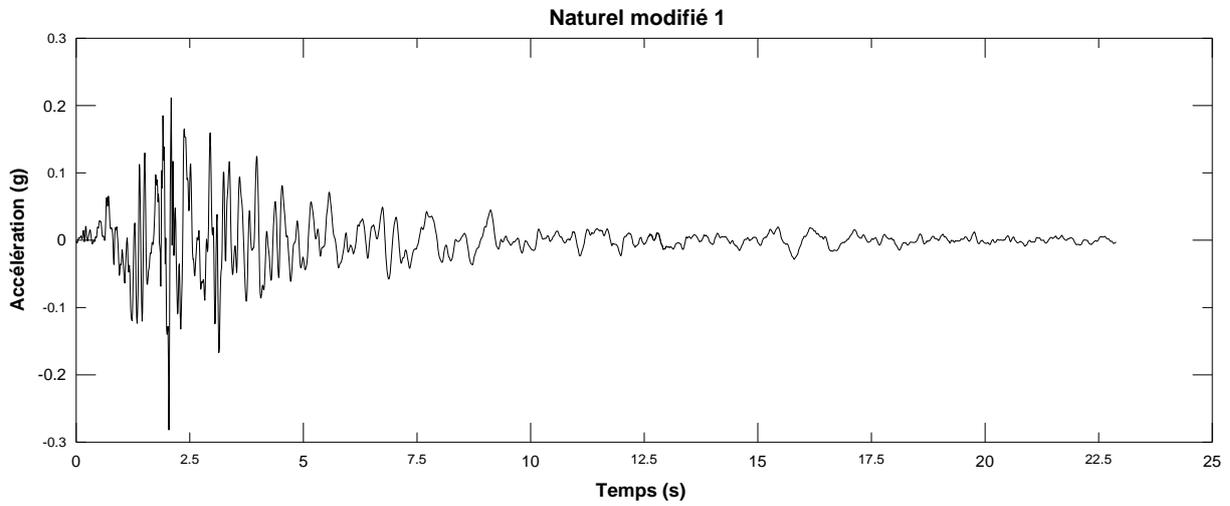


Figure 16 : Accélérogrammes réels modifiés correspondant au spectre au rocher.

b) Comparaison avec le spectre au rocher horizontal affleurant

Les spectres de réponse des deux accélérogrammes réels et des deux accélérogrammes réels modifiés, sont comparés avec le spectre de réponse « cible » (spectre de référence retenu au rocher horizontal affleurant) sur la Figure 17 pour validation.

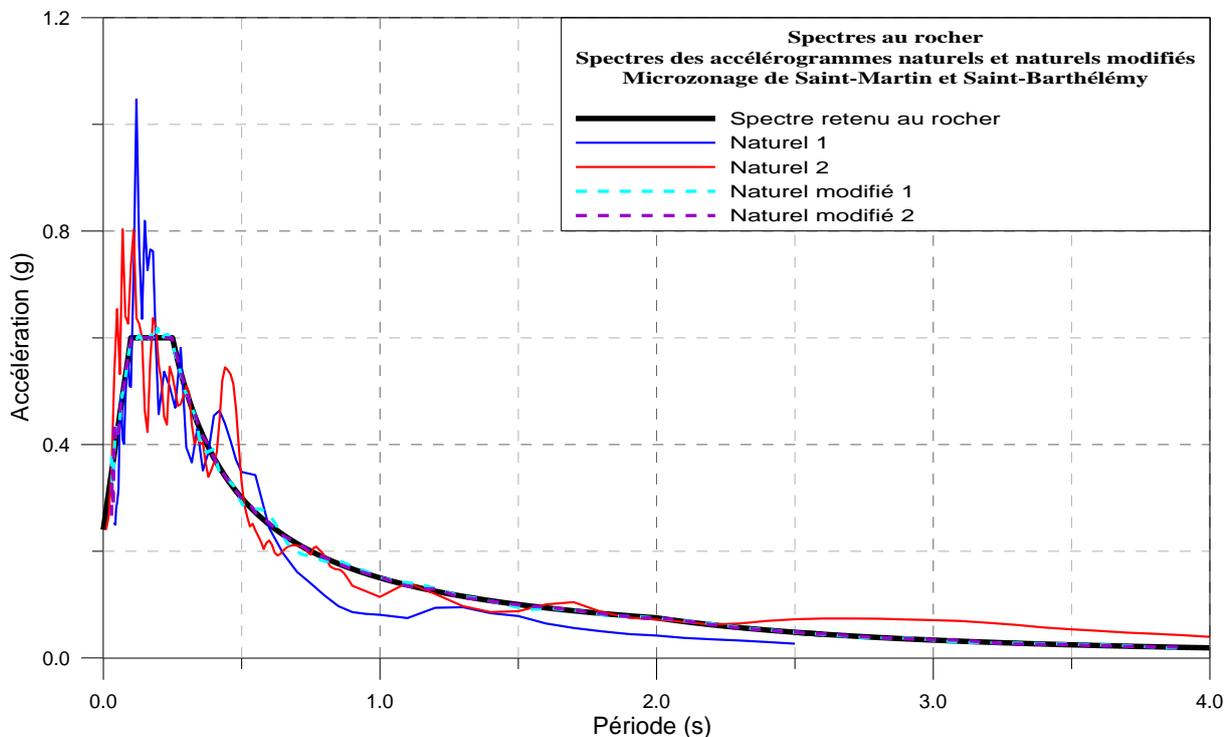


Figure 17 : Comparaison des spectres en vitesse des accélérogrammes naturels et naturels modifiés avec le spectre au rocher.

3. Contexte géologique

Une fois le mouvement sismique au rocher défini, la prochaine étape du travail consiste à analyser le contexte géologique à l'échelle du microzonage pour l'étude des effets de site lithologiques et de l'aléa liquéfaction.

3.1. DONNEES UTILISEES

Le contexte géologique général est défini sur la base de la carte géologique à 1/50 000 et de sa notice (Dagain et al, 1989), de 19 rapports du BRGM Guadeloupe et de rapports fournis par le bureau d'étude IMSRN traitant de la collectivité de Saint-Martin. Une partie de sondages de ces études était recensée dans la Banque nationale de données du Sous-Sol (BSS) soit plus de 50 forages existants au 25/06/2012. La densité de sondages recensés en BSS est particulièrement faible sur l'île : 36 sondages sont disponibles sur le territoire de la collectivité de Saint-Martin, ainsi que 40 autres données moins pertinentes pour cette étude (par exemple des sondages hydrologiques). Ces documents fournissent localement des indications sur la nature des terrains, sur leur comportement géomécanique, sur la présence de nappe d'eau souterraine, etc.

L'analyse de ces données nous renseigne sur les conditions géologiques particulières de l'île de Saint-Martin. Les études et sondages disponibles sont concentrés sur les parties basses et urbanisées (Marigot, Anse des sables, aéroport) ainsi qu'à l'est de la péninsule de Terres Basses qui a fait l'objet de prospection minière dans les années 1970. Saint-Martin ayant la particularité de présenter une forte variabilité spatiale tourmentée par une histoire géodynamique complexe, les informations disponibles sont limitées et il faudra s'appuyer principalement sur les observations de la géologie de surface qui ont été faites lors de reconnaissances de terrain en mars 2012 dans le cadre de ce projet.

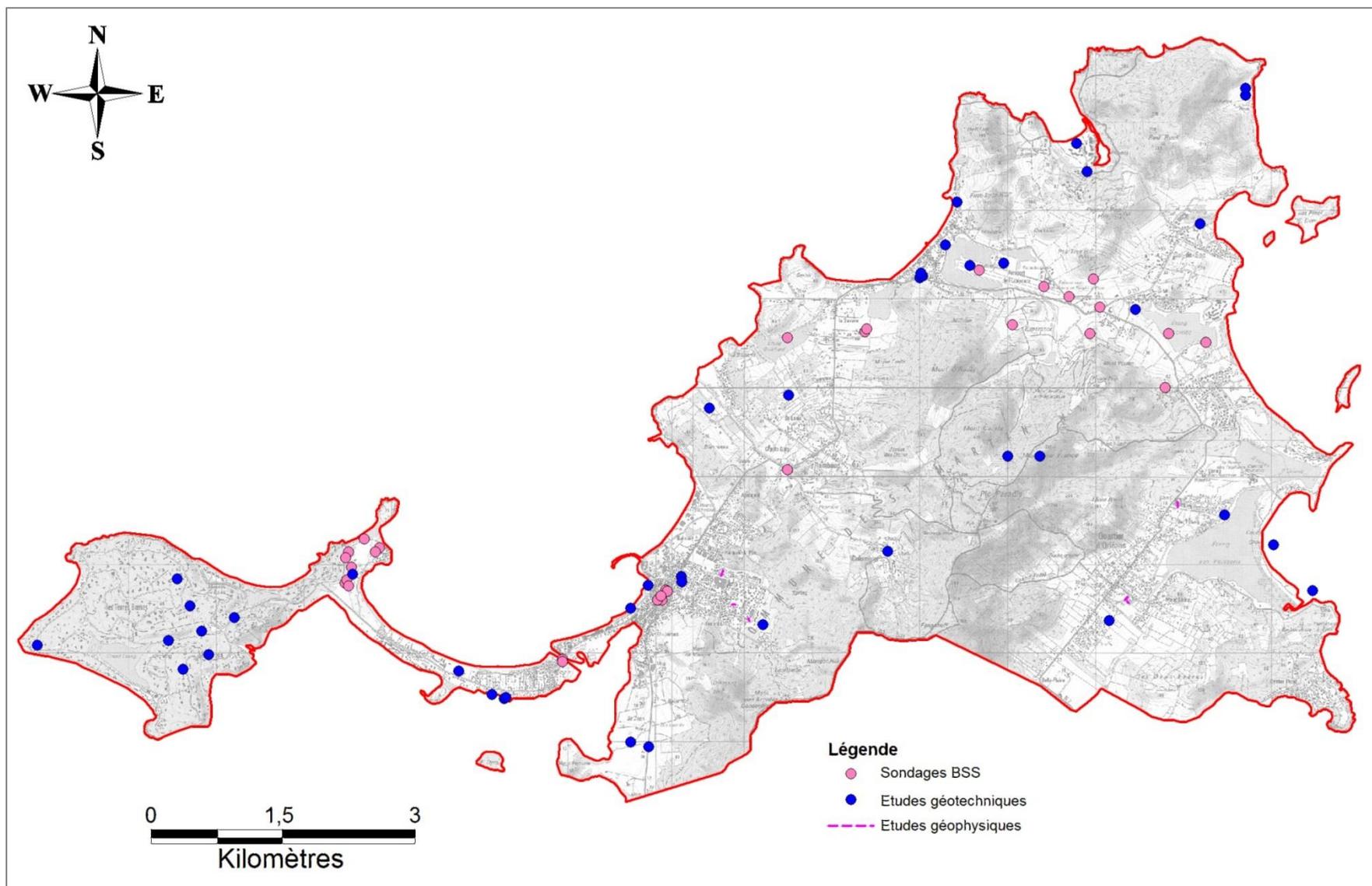


Figure 18 : Situation des sondages BSS, des études géotechniques et géophysique à disposition.

3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

L'île de Saint-Martin est considérée comme le jalon septentrional de l'arc externe aussi appelée Antilles calcaires (« ancien et inactif ») des Petites Antilles. Elle est constituée d'une série volcanique et sédimentaire éocène (57Ma-38Ma) recoupée par un complexe plutonique d'âge oligocène (25-35Ma). La longue période d'interruption du volcanisme d'arc et de sédimentation calcaire serait imputable à une collision entre l'arc-volcanique « ancien » et une lithosphère océanique trop épaisse pour subduquer, entraînant le basculement de l'île et mettant à l'affleurement les formations éocène. Ces formations sont frangées au nord-est (îlot Tintamarre) et à l'ouest (péninsule des Terres Basses) par des dépôts calcaires miocènes.

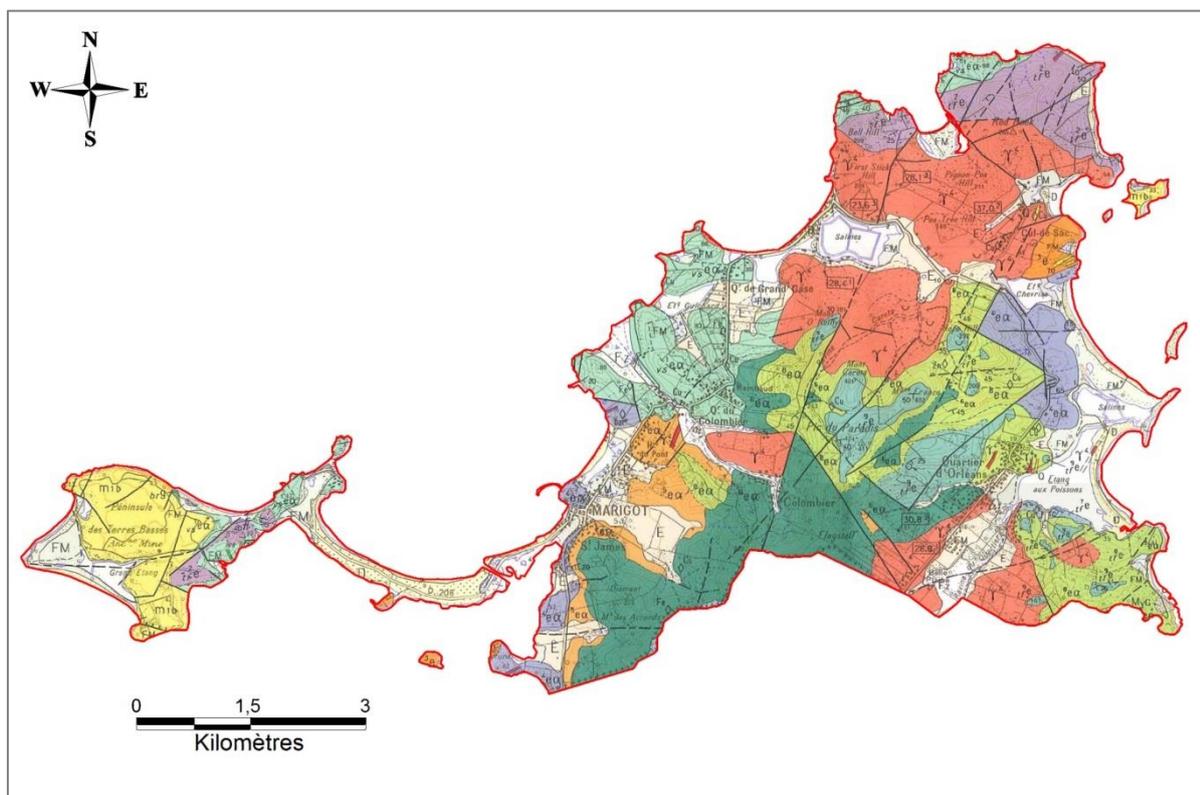


Figure 19 : Extrait de la carte géologique de Saint-Martin (Dagain et al. 1989).

3.2.1. Série volcanique et volcano-sédimentaire éocène (57Ma-38Ma)

Elle débute à l'Eocène inférieur, entre 57 et 55 Ma, pour se terminer à l'Eocène supérieur basal, vers 40-38 Ma. C'est la série sédimentaire volcanique (volcanisme sous-marin) et sédimentaire éocène la plus développée des Antilles. Elle est appelée formation de la Pointe Blanche (s.l.). Cette unité prend la forme d'un monoclinial avec un pendage moyen de 30° vers le SSE. Son épaisseur est estimée de 2 000 à 3 000 m.

Ces formations ont subi des transformations métasomatiques (modifications minéralogiques liées à des circulations hydrothermales). Ce phénomène s'explique par le métamorphisme thermal au contact des intrusions magmatiques qui suivront, mais peut-être aussi par l'enfouissement de ces formations géologiques entraînées le long du plan de subduction lors de la collision. S'ajouterait alors un métamorphisme d'enfouissement. Ces transformations rendent

les roches très résistantes à l'érosion (roches cornéennes). Pour cela, elles constituent les plus hauts sommets de l'île.

Cette série est décrite sur la base de critères lithologiques en 10 formations distinctes.

(vs¹ea) Formation de la pointe Arago volcano-sédimentaire à dominante andésitique:

Tufs et hyaloclastites fines à grossières, en bancs décimétriques à métriques localement recoupés par des petites intrusions dioritiques et des dykes.

(tf²e) Formations d'Easter Point. Tufs à cendres volcaniques à quartz

Elle constitue l'encaissant nord du pluton dioritique de Grand'Case

Succession de barres de tufs hyaloclastitiques d'abord grossiers et hétérogènes et de nombreux blocs et lapilli de dacite à hornblende et quartz. Au milieu de la série, calcaire recristallisé par métamorphisme de contact.

Affleure au nord-est de l'île (Grand'Case, Easter Point et Cul de Sac).

(3e) Formation de la colline Nettlé:

Alternance de marnes calcaires et grès

Tufs sombres fortement métamorphisés finement lités

Dans le secteur de Simsonbay l'épaisseur de la formation est estimée à 600m

(4ea) Formation des andésites de Marigot, appareil éruptifs coulées de laves massives et brèches volcaniques

Volcanisme primaire sous forme de coulée, de neck, des brèches phréatomagmatiques, des dykes et des sills,

Épaisseur estimées entre 100 et 300m.

Large distribution à la base du Pic Paradis

(5ea) Formation de Kool Hill (partie inférieure), alternance de bancs calcaires et de niveaux marneux

Tufs cendreaux de teinte sombre, non métamorphisés

Alternance de bancs métriques de marnes verdâtres et de calcaires volcanoclastiques verdâtres

(6ea) Formation du Mont des Accors:

Ensemble de dômes-coulées constituée d'andésite porphyrique à amphibole cumulative et quartz xénomorphe (hydrothermal) omniprésent. À proximité des intrusions roche transformées en cornéennes. Cette formation constitue l'armature des monts des accords

(tf7e) Formation de Kool Hill (partie supérieure), Tufs à cendres volcaniques et calcaires

Tufs hyaloclastites andésitique recouvert de brèche phréatomagmatique

Se présente sous forme d'un chaos de roche débité par l'érosion

(8ea, tf8e) Formation de Red Pond Bay:

Nouvelle séquence de volcanisme acide sous formes d'hyaloclastites, de coulées massives d'andésite porphyrique et de brèches phréatomagmatiques (type maar). Des bancs calcaires métriques gris s'intercalent entre ces brèches de maar.

(tf9e) Formation de Pointe Blanche (ss.):

Tufs fins de cendres volcaniques et calcaires (tuffitique et turbiditique) sous forme d'une alternance de bancs réguliers d'épaisseurs pluridécimétrique de teinte claire et de granulométrie fine et de pendage de l'ordre de 10 à 15°. L'épaisseur de cette formation est d'environ 200m.

La silicification générale de la formation lui donne un aspect dit « chertto-tuffitique ».

(10e) Formation de Kool Bay Alternance de grès, calcaires et marnes

Cette formation n'est pas présente sur la partie française de l'île.

3.2.2. Volcanisme et intrusion granodioritiques de l'oligocène (25-35Ma)

L'activité volcanique reprend suite au basculement vers le SSE de la série éocène. Celle-ci est principalement marquée par des intrusions granodioritiques. Ces intrusions (**Y'**) affleurent au sud de l'île. Le pluton de Phillipsburg est une lame intrusive de 600m à 800m de large orienté NNE-SSW. La roche est altérée en grosses boules et apparaît déprimée dans le paysage des crêtes aiguës de cornéennes. Au nord de Saint-Martin, le pluton de Grand-Case est topographiquement plus haut et apparaît plus riche en xénolites. Ces deux entités sont du même âge (~30Ma) et ont pour origine le même magma primitif.

Le volcanisme associé à ces intrusions est limité à quelques affleurements à la base des falaises de Baie Rouge (**Brg**) sous forme de dépôt pyroclastiques (nuées ardentes et brèches de maar).

Le métamorphisme thermique associé à ces intrusions a transformé les roches antérieures à l'échelle régionale.

3.2.3. Formations récifales du miocène (10 – 1 Ma)

Une longue période d'érosion a succédé l'épisode magmatique, sauf à l'ouest et au sud-ouest, recouverts par la transgression oligo-miocène qui met en place des roches carbonatées fossilifères caractéristiques des eaux chaudes en discordance sur les formations antérieures. La série miocène a une extension relativement large, puisqu'elle correspond à un intervalle stratigraphique allant du Miocène inférieur terminal (17,5 Ma) au Miocène terminal (5,5 Ma). Elle est subdivisée en deux formations :

- la formation de Terres-Basses (m1b) constitue les reliefs à l'ouest et l'île de Tintamarre et l'îlet Pinel à l'est. Les hautes falaises de Terres-Basses sont attribuées au Miocène inférieur et représentant la partie supérieure d'une série miocène épaisse de 300 m. Elle se présente sous forme de bancs massifs plurimétriques transgressifs sur l'assise de l'Eocène supérieur
- La formation de Cupecoy (m2-3), déposée entre 12 Ma et 5,5Ma est une série carbonatée de 80m d'épaisseur formant un vaste synclinal en contact tectonique avec la formation des Terres-Basses.

3.2.4. Formation plio-quaternaires et actuelles (FM)

Celles-ci sont représentées par des récifs soulevés. Ces formations sont notamment identifiées sur la côte atlantique au niveau de l'îlot Caye Verte et de la Baie Orientale. Les phénomènes d'altération (karstification) ont donné à ces roches un aspect déchiqueté.

On note aussi la présence de grès de plages (sables coquillers cimentés par de la calcite) présent en banc discontinu d'épaisseurs variables et de texture tendre s'effritant sous le doigt.

Les formations d'alluvions fluviales sont très limitées sur l'île du fait de bassin versant étroit et d'un climat tropical plutôt aride et un réseau hydrique limité.

Les formations détritiques plus ou moins cimentées (éboulis) de pieds de pentes sont fréquentes à Saint-Martin et constituent parfois des formations d'épaisseur importante en fond de vallée.

Les plages et les cordons littoraux (**D**) sont nombreux à Saint-Martin. Il s'agit de sable coquilliers avec localement une fraction volcano-sédimentaire.

Les plages sableuses sont souvent de surfaces limitées et encadrées par des éperons rocheux. Et reposent généralement sur des grès de plage.

Les lagunes sont principalement des golfes isolés de la mer par des cordons sableux et comblés ou en voie de comblement lent par les apports fluviaux. Les dépôts y sont une vase argilo-sableuse fine (**FM**).

3.3. IDENTIFICATION DES DIFFERENTES COLONNES GEOLOGIQUES TYPES

Sur la base de la carte géologique, des données de la BSS, des études géotechniques réalisées localement, de l'interprétation morpho-sédimentaire, complétées par des observations relatives au terrain affleurant, **différentes colonnes décrivant la nature et l'épaisseur de la couverture superficielle et la nature du substratum ont été individualisées.**

La nature des terrains du sous-sol a été déterminée à partir de la carte géologique et des données de forages profonds. L'épaisseur probable de la couche d'argile d'altération et de colluvions a été estimée à partir de la carte des pentes et des ruptures de pentes décelées sur les cartes topographiques. Il est par exemple considéré que les fortes épaisseurs d'argile se trouveront en bas de pente où les particules ont tendance à s'accumuler ; a contrario, lorsque les pentes augmentent, l'épaisseur diminue. D'après la littérature, le coefficient d'équilibre des altérites argileuses est de l'ordre de 37° . Au-delà de cette valeur, la roche est vraisemblablement sub-affleurante. Dans la mesure du possible, ces considérations sont ponctuellement validées par des données de sondages.

À défaut de modèle numérique de terrain, le présent zonage géologique n'est pas basé sur l'analyse des pentes pour estimer l'épaisseur des formations superficielles. Toutefois, la confrontation des données disponibles à Saint-Martin permet d'apporter des informations complémentaires relatives aux formations superficielles.

Dans le présent rapport, on adopte une classification récente des types d'argiles d'altération, favorisée pour sa facilité d'application sur le terrain (Wyns et al., 2004; Dewandel et al., 2006). Elle distingue en deux unités les altérites : lorsque la structure de la roche mère est toujours identifiable, le faciès sera nommé isaltérite ; si la formation géologique est totalement argilisée et que l'on ne distingue plus la structure initiale de la roche, on parlera d'allotérite. Cette nuance est importante en termes de sismologie où elle conditionne la réponse du sol.

Les données de la BSS recensées sur le territoire de la collectivité de Saint-Martin sont très inégalement réparties, les observations ponctuelles de la géologie de surface ont souvent été extrapolées à l'échelle de la formation géologique. Ces levés ne peuvent cependant pas rendre compte avec précision, des variations latérales de l'altération au sein d'une même unité géologique.

Ainsi, 7 colonnes décrivant la nature et l'épaisseur formations superficielles et du sous-sol ont été individualisées.

3.3.1. Type 1 : Intrusions granodioritiques et dacitique (Y')

Il s'agit d'une roche plutonique de texture microgrenue de couleur grise, diaclasée et fréquemment recoupée par des filons décimétriques à plurimétriques d'aplite. Cette formation géologique s'altère et se débite en grosses boules caractéristiques et peut être arénisée sur plusieurs mètres d'épaisseur. Le toit du substratum rocheux se situe vers 40 mètres.

3.3.2. Type 2 : Coulées de lave et brèches massives altérées

Cet ensemble géologique type correspond à une isaltérite provenant d'une lave andésitique massive peu altérée (4e α , 8e α , 6e α , Tf2e). Ainsi le sondage de la BSS (129ZZ0006), à l'est du Mont Vernon, montre une isaltérite (à blocs relativement sains) sous une faible épaisseur de terrain de couverture (1m).

Au sud du Marigot, le sondage 1130ZZ0029 expose 7 m d'alluvions sur une andésite altérée, celle-ci devenant saine vers 11m.

À Terres-Basses, les sondages 1130ZZ0001 et 1130ZZ0002 montrent plus de 10 m d'allotérites d'une dacite porphyrique que l'on retrouve jusqu'à au moins 200m de profondeur. Cette formation est considérée comme une isaltérite.

3.3.3. Type 3 : Coulées de laves peu altérées

Cet ensemble géologique type correspond à la formation andésitique (8e α) se présentant généralement peu altérée à l'affleurement. Les épaisseurs des formations superficielles sont supposées faibles sur l'ensemble de l'aire de la formation géologique 8e α .

3.3.4. Type 4: Calcaires ou alternance de marnes / calcaires

Cet ensemble géologique type se caractérise par des formations de calcaires récifaux en bancs décimétriques à métriques contenant des éléments volcanoclastiques (3e, M1b). Ces formations peuvent être affectées par des phénomènes karstiques.

3.3.5. Type 5 : Tufs cinératiques et calcaires remaniés

Cet ensemble géologique type se caractérise par des formations volcano-sédimentaires (niveaux calcaires ou marneux alternant avec des niveaux hyaloclastitiques ou cendreaux) claires à grains fins en lits centimétriques, localement fossilifère, parfois remaniés (tubidites) et diaclasés (vs1e α , tf9e).

3.3.6. Type 6 : Sables de cordon littoral et dépôts argilo-sableux

Cet ensemble géologique type regroupe les sables de plages ainsi que les dépôts d'anciennes lagunes comblées (FM, D). Ces terrains se caractérisent par une alternance de couches sableuses et sablo-argileuses avec parfois de niveaux tourbeux. Le toit du substratum rocheux se situe vers 20 mètres.

3.3.7. Type 7 : Colluvions de fond de vallée

Cet ensemble géologique type concerne les zones recouvertes d'éboulis ou de colluvions (E). Cette configuration se retrouve en pied de morne et dans l'axe des ravines ou des anciennes ravines aujourd'hui comblées (bourg du Marigot, dépression entre Grand-Case et la Baie Orientale). L'épaisseur de cette formation superficielle varie de 2 à 10 mètres sur un substratum varié.

3.4. ZONAGE GEOLOGIQUE PRELIMINAIRE

Selon les différentes colonnes de sol établies précédemment, le zonage préliminaire de la collectivité de Saint-Martin a été réalisé à partir du traitement sous SIG des données suivantes :

1. Carte géologique vectorisée à 1/50 000 du BRGM
2. Données ponctuelles sur la géologie (études géotechniques, rapports BRGM, sondages BSS)
3. Cartes topographiques numérisées à 1/25 000 de l'IGN
4. Points d'observation géolocalisés.

Les contours initiaux sont ceux de la carte géologique. Chaque formation géologique est attribuée, au regard des données de forages et des observations de terrains, à un ensemble géologique type. Dès lors que les sondages ou les levés de terrain ne sont pas explicités, c'est qu'ils sont en accord avec la formation géologique. Toutefois, l'analyse de ces informations a conduit localement à ajuster les contours donnés par la carte géologique. Ces modifications sont détaillées par la suite.

L'échelle de précision est de l'ordre du 1/25000, c'est-à-dire l'échelle de la carte topographique, bien que les documents de travail aient été réalisés à 1/10 000.

Dans la Figure 20 nous présentons les principaux ensembles géologiques identifiées sur Saint-Martin.

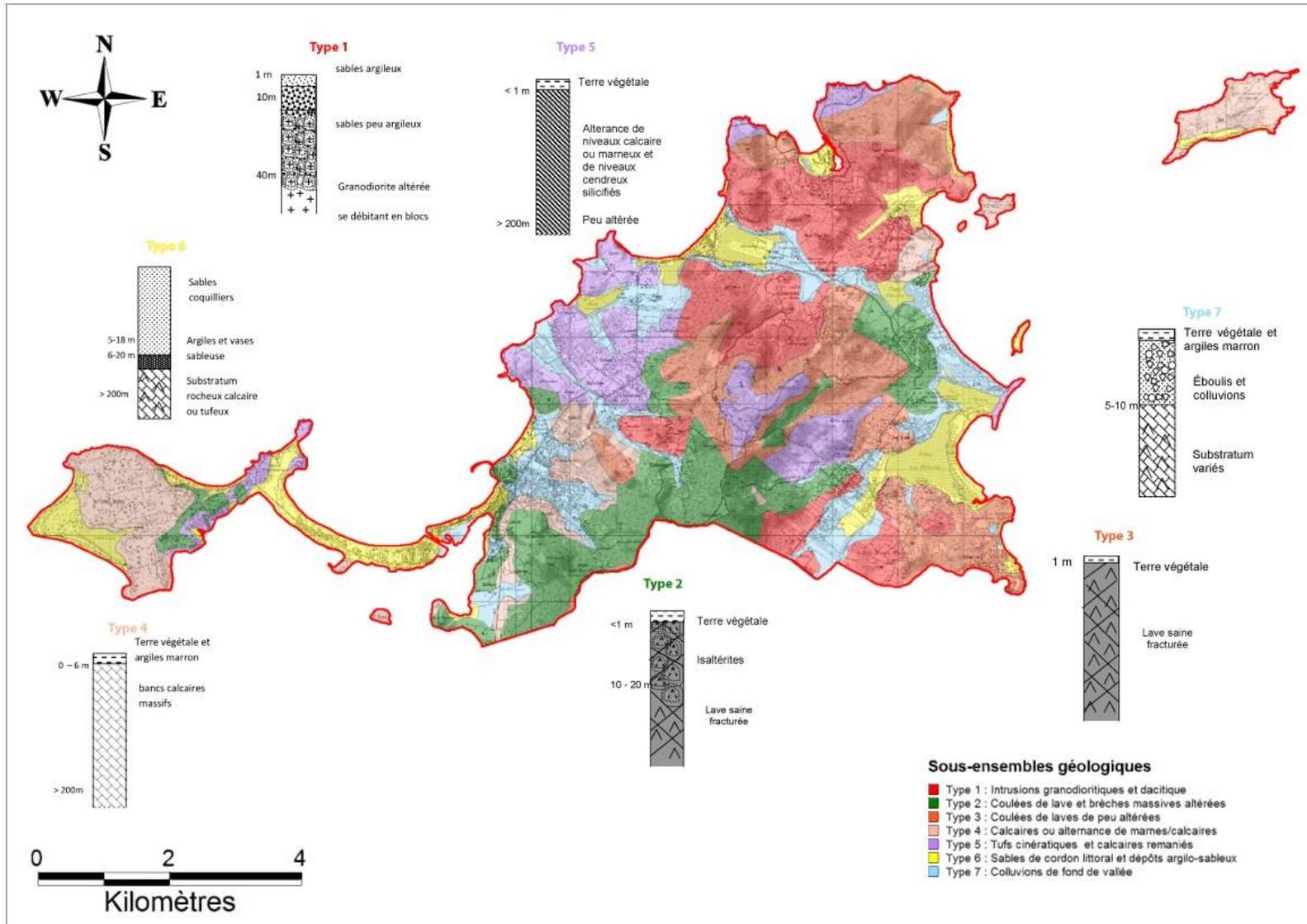


Figure 20 : Ensembles géologiques de la collectivité de Saint-Martin.

4. Effets de site lithologiques

4.1. ZONAGE GEOTECHNIQUE ET GEOPHYSIQUE

4.1.1. Méthodologie

Le zonage consiste à identifier et cartographier les zones présentant des caractéristiques géologiques, géomécaniques, et une réponse sismique homogènes pour évaluer, en chaque zone, des mouvements sismiques adaptés aux conditions locales.

Ce zonage se fait en plusieurs étapes :

- compilation et analyse des données géologiques, géophysiques et géotechniques existantes, décrits dans le chapitre précédent ;
- prospections géophysique et géotechnique pour compléter les données existantes, le référencement de l'ensemble des reconnaissances est donné en rapport d'annexe ;
- définition des zones homogènes ;
- pour chaque zone, définition d'une ou plusieurs colonnes de sol représentatives ;
- pour chaque zone, calcul des réponses sismiques associées à partir du spectre de référence au rocher horizontal affleurant défini à partir de l'aléa sismique régional et des colonnes de sol type définies précédemment.

Ce chapitre décrit la définition des zones homogènes et les colonnes de sol représentatives associées à chaque zone. Le calcul des spectres de réponse spécifiques pour chaque zone et le regroupement éventuel de zones pour obtenir le zonage sismique final sont décrits dans le chapitre suivant.

4.1.2. Données géophysiques et géotechniques disponibles

Mesures H/V

Les mesures H/V (ou « H sur V bruit de fond ») permettent de détecter les zones susceptibles de présenter des effets de site lithologiques, et d'en définir les fréquences de résonance. Cette méthode est décrite en annexe 1.

Seize campagnes de mesures H/V (méthode décrite en Annexe 1), permettant de détecter les zones susceptibles de présenter des effets de site lithologiques, étaient disponibles sur la collectivité de Saint-Martin en début d'étude. Il s'agissait des mesures réalisées par l'entreprise IMSRN pour le compte de l'Association des Maires de Guadeloupe dans le cadre de l'évaluation du risque sismique des établissements scolaires guadeloupéens. Entre six et sept mesures ont été respectivement réalisées sur le site des écoles maternelles et primaires de la collectivité. Les sites de ces mesures sont localisés sur la figure 21..

4.1.3. Données géophysiques et géotechniques acquises lors de l'étude

En complément de l'analyse géologique et géotechnique réalisée à partir des données existantes (chapitre 3), il est apparu nécessaire d'effectuer des mesures géophysiques et géotechniques afin de définir, vis-à-vis de l'évaluation des effets de site, l'épaisseur des

formations rencontrées et la vitesse de propagation des ondes de cisaillement V_S au sein de celles-ci.

Concernant les mesures géophysiques, deux techniques ont été mises en œuvre : la méthode SASW (Spectral Analysis of Surface Waves, décrite en Annexe 2), qui permet de définir ponctuellement un profil de vitesse V_S , et la méthode H/V (décrite en Annexe 1), qui permet de définir la fréquence de résonance d'un site.

La méthode SASW permet de déterminer les vitesses de propagation des ondes de cisaillement V_S dans les premières dizaines de mètres du sous-sol. Les vitesses V_S sont estimées à différentes profondeurs ; on parle alors communément de profils de vitesse V_S ou de profils SASW.

Ainsi, 92 points de mesures H/V et 24 profils SASW ont été réalisés sur la collectivité de Saint-Martin (Figure 22). Chaque fois que la configuration du terrain le permettait, des mesures H/V ont été effectuées à proximité des sites de profils SASW, facilitant ainsi les interprétations croisées des données.

Une campagne de mesures géotechniques *in situ* et en laboratoire a également été réalisée afin de vérifier certains points de l'analyse géologique initiale, et d'étudier le phénomène de liquéfaction. Au total, les sondages suivants ont été réalisés :

- 16 sondages au pénétromètre statique avec mesure de la pression intersitelle,
- 5 sondages destructifs.

Les essais en laboratoire suivants ont également été réalisés :

- 13 mesures de teneur en eau pondérale ;
- 13 mesures du poids volumique ;
- 13 mesures de la valeur au bleu de méthylène ;
- 13 analyses granulométriques et sédimentométrique ;
- 3 mesures de limites d'Atterberg.

L'ensemble des mesures géophysiques et géotechniques réalisées lors du microzonage de Saint Martin sont localisées sur la Figure 22.

Les résultats obtenus sont intégralement repris dans l'annexe technique. En particulier, l'analyse globale des mesures H/V est présentée en Annexe 1.

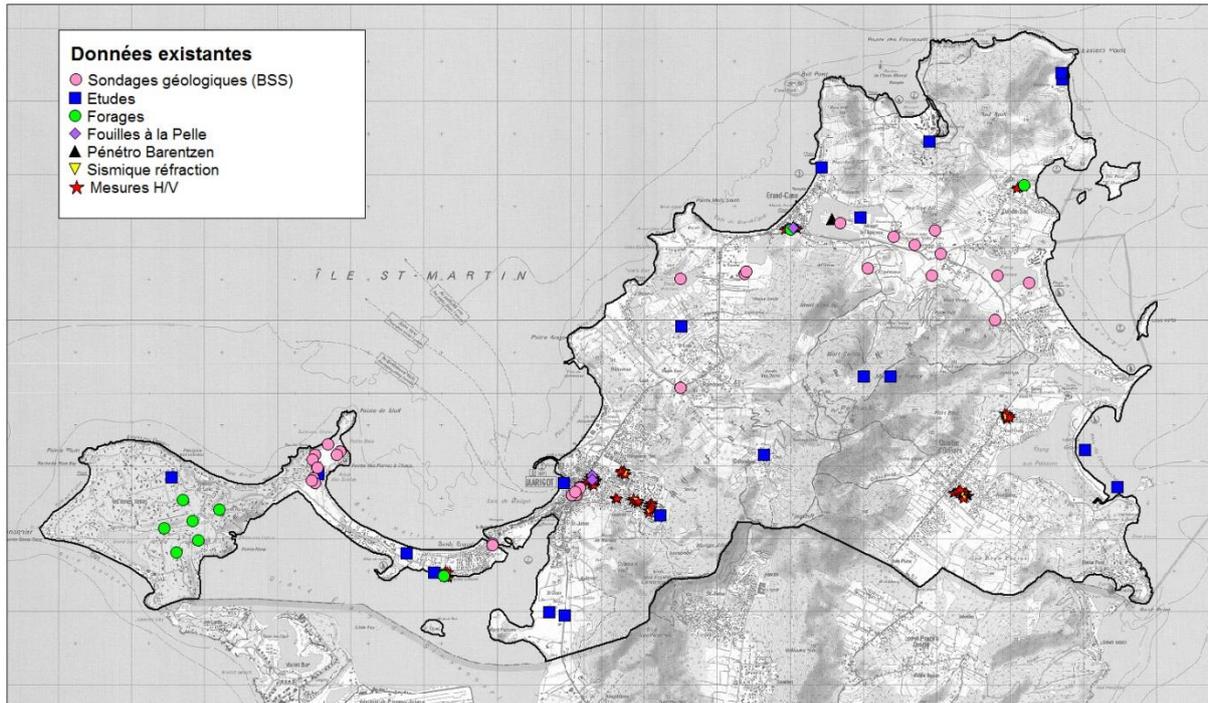


Figure 21 : Localisation des données géologiques, géophysiques et géotechniques disponibles sur la collectivité de Saint-Martin avant cette étude de microzonage.

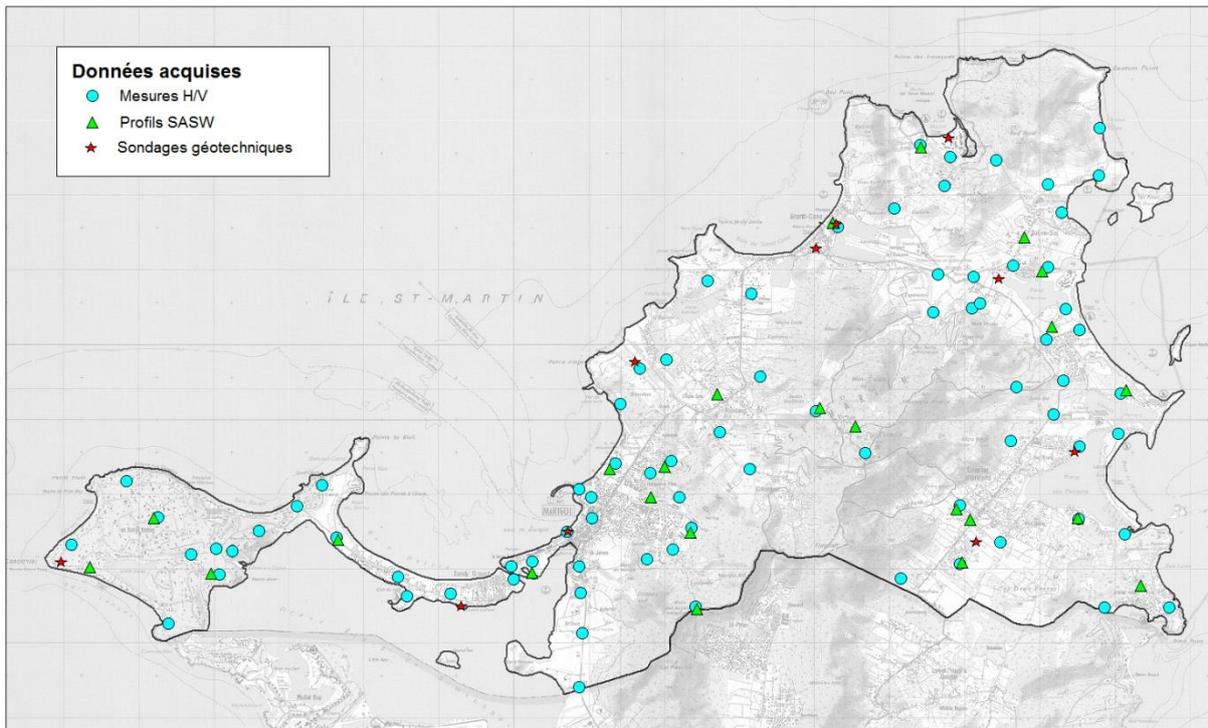


Figure 22 : Localisation des données géologiques, géophysiques et géotechniques acquises sur la collectivité de Saint-Martin dans le cadre de cette étude de microzonage.

4.1.4. Caractérisation des principales unités géomécaniques

L'analyse conjointe de toutes les données géologiques, géotechniques et géophysiques, permet la caractérisation des formations, et la détermination des paramètres géomécaniques nécessaires à l'étude des effets de site lithologiques.

Les formations superficielles

D'après la carte géologique (Figure 19), les formations superficielles présentes sur la zone d'étude peuvent être regroupées en trois types :

- les dépôts d'alluvions sablo-graveleux dans les ravines et rivières, qui deviennent argilo-vaseux autour des étangs par les processus de stagnation ;
- les dépôts marins des cordons littoraux ;
- les laves ou calcaires altérés issues de l'altération climatique des formations géologiques qui recouvrent le substratum dans les territoires de l'intérieur.

Les dépôts alluviaux

Les lits des différentes rivières de l'île de Saint-Martin sont recouverts de dépôts d'alluvions sableux. En amont, dans les vallées au relief plus prononcé, on trouve en surface des éboulis graveleux ou des sables contenant des blocs rocheux de petite taille ; en profondeur la taille des blocs augmente et les sables se mélangent avec les argiles d'altération de la roche mère. En aval, aux embouchures des ravines et autour des nombreuses lagunes, les mécanismes particuliers liés à la stagnation de l'eau créent une zone de transition avec l'installation d'une couche supérieure additionnelle contenant des vases organiques et des débris végétaux. On observe tout particulièrement cette augmentation du contenu vaseux au Marigot, et dans les zones plus plates de la ville à mesure que l'on se rapproche de côte. Ceci est cohérent avec la définition même d'un marigot : une extension d'eau stagnante qui s'évapore pendant la saison sèche, similaire à un marais. Bien que l'on ne retrouve plus d'eau stagnante au Marigot, le sous-sol de la zone témoigne de ce passé.

On trouve ces formations (Figure 20) :

- dans la grande vallée entre Hope Hill et Pea-Tree Hill, qui s'étend vers l'est jusqu'à l'Etang Chevrise et vers l'ouest le long de l'Aéroport de l'Espérance jusqu'à Grand Case ;
- le long de la Ravine du Colombier ;
- recouvrant la majeure partie de Marigot ;
- dans la dépression autour de l'Etang aux Poissons, occupée par le Quartier d'Orléans et bornée par la vallée de Grand Fond au nord et la Ravine du Quartier au sud.

Aucun essai pressiométrique concernant les formations sableuses et sablo-graveleuses en fond de vallée n'est recensé à Saint Martin dans la BSS. Par contre, deux essais pressiométriques sont disponibles pour les vases lacustres. Ils décrivent le bord du Grand Etang de Simsonbaai, sous le pont de Sandy Ground, et sont référencés dans la BSS sous les identifiants 1130zz0027 et 1130zz0028 (Référence : Rapport BRGM RR-37164-FR). Ils donnent les valeurs suivantes pour les argiles d'étang :

- module pressiométrique $E_M = 3,5$ à 9 MPa
- pression limite $p_l = 0,5$ à $1,0$ MPa.

Les essais d'identification réalisés lors de la campagne de mesures BRGM sur 2 échantillons de lagune (argiles sableuses) ont donné respectivement les valeurs suivantes :

- teneur en eau : 33 et 42 %
- poids volumiques humides : 1,4 et 1,6 t/m³
- limites d'Atterberg :
 - o Wp = 23 % et 26%
 - o IP = 34% et 26%

Les essais d'identification réalisés lors de la campagne de mesures BRGM sur 1 échantillon de fond de vallée (éboulis graveleux) ont donné les valeurs suivantes :

- teneur en eau : 17 %
- poids volumique humide : 1,9 t/m³

Les profils SASW réalisés dans les zones de dépôts montrent des vitesses de propagation des ondes de cisaillement très faibles en surface, de l'ordre de 200 m/s, indifféremment pour les couches d'éboulis sablo-graveleux et pour les couches vaseuses. Les couches inférieures où les sables se mélangent avec des argiles d'altération présentent des valeurs de vitesse plus proches de 400 m/s. L'allure des mesures H/V varie en fonction de la distance à la côte, avec des pics de résonance à très hautes fréquences (au-delà de 10-12 Hz) pour les terrains plus en amont et des pics vers 4 Hz pour les terrains plus en aval.

Toutes ces données sont cohérentes et indiquent des sols de faible résistance mécanique.

Les cordons littoraux

L'une des caractéristiques géographiques les plus marquantes de l'île de Saint-Martin sont ses longues plages sableuses. Ces longs bras de plages protègent des lagunes et étangs et reçoivent du sable déposé par les marées. Ceci explique que l'on rencontre en surface une couche de sable très propre d'environ une dizaine de mètres d'épaisseur, recouvrant une couche d'argile vaseuse issue de la lagune. Plus en amont, dans les zones supralittorales, cette première couche de sable présente parfois des débris argileux, rocheux ou végétaux.

On trouve ces formations sableuses :

- le long de la Baie Nettle, à Sandy Ground, comme le nom l'indique ;
- à Marigot, le long des Baies de Marigot et de la Potence ;
- au nord de l'île le long de la Baie de Grand-Case et à l'anse Marcel ;
- tout le long de la côte ouest de l'île, notamment aux Baies Orientale et de l'Embouchure ;
- autour des Terres Basses, dans les Baies Longue, rouge et aux Prunes.

Une étude géotechnique réalisée sur le secteur de l'Anse des Sables (Référence : Rapport BRGM R-30043-ANT-4S-89) présente des profils pressiométriques dans ces formations, indiquant les paramètres suivants :

- module pressiométrique du sable E_M entre 1.5 et 3.5 MPa, allant jusqu'à 6 MPa dans les sables avec contenu argileux ;
- pression limite $p_l = 0.1$ à 0.25 MPa, montant à 0.45 MPa dans les sables argileux.

Les essais d'identification réalisés lors de la campagne de mesures BRGM (6 échantillons) ont donné les valeurs suivantes :

- teneur en eau naturelle de 12 à 32 % ;
- poids volumiques humides entre 1,6 et 1,8 t/m³.

Les profils SASW correspondant à cette zone montrent des vitesses de propagation des ondes de cisaillement très faibles, autour des 250 m/s, qui montent légèrement à 300 m/s dans la couche inférieure d'argile vaseuse. Les mesures H/V témoignent de pics de résonance très marqués entre 4 et 6Hz.

Ces données sont cohérentes avec les valeurs attendues pour un cordon littoral antillais.

Les argiles issues d'altération et les laves altérées

En dehors des zones alluviales et côtières, le territoire est couvert par une couche hétérogène de formations issues de l'altération des laves et calcaires formant le substratum sain. Le degré d'altération varie avec l'historique lithogène des différents terrains, mais en général il diminue avec la profondeur. Ainsi, la couche supérieure peut être formée par des laves complètement argilisées, alors que dans les couches inférieures on retrouve des laves et tufs argilisés de transition. Néanmoins, on retrouve sur Saint-Martin également des terrains où l'altération en surface n'est pas très prononcée et les affleurements rocheux sont communs. De plus, il est souvent difficile de différencier dans les rapports de la BSS les laves plus fortement altérées et les argiles ; la distinction dépend souvent de l'avis du géologue.

Pour les laves massives, l'altération a lieu au niveau des réseaux de fissures et de fractures existantes. Certaines hyaloclastites en position de fonds de dépressions mal drainées sont souvent totalement argilisées, alors que d'autres en talus de route conservent un aspect rocheux. Sur Saint-Martin, on retrouve le degré d'altération plus prononcé dans les vallées et dans les territoires de basse altitude, en bord de mer, où des couches de lave argilisée sont souvent recouvertes par les alluvions sableuses décrits ci-dessus. Sur le reste de la zone, dans les territoires en amont, l'altération est souvent plus limitée, la roche étant fracturée ou diaclasée sous forme de blocs de grande taille avec des argiles ou des sables remplissant les fissures.

Les profils SASW permettent d'évaluer les vitesses des ondes de cisaillement Vs dans ces terrains. Celles-ci restent dans la plupart des cas entre 500 et 800 m/s, cette dernière étant la valeur qui correspond à la roche saine, mais peuvent descendre jusqu'à 200 ou 300 m/s dans les profils qui présentent des inversions de vitesses importantes. Les mesures H/V donnent des pics de résonance surtout dans le domaine des fréquences élevées (entre 12 et 15 Hz), mais pour des sols particulièrement altérés, on peut observer des pics de résonance à environ 4 Hz.

Les essais d'identification réalisés lors de la campagne de mesures BRGM (1 échantillon) ont donné les valeurs suivantes :

- teneur en eau naturelle de 18 % ;
- poids volumiques humides : 2,0 t/m³.

Les essais pressiométriques du Pont du Sandy-Ground référencés ci-dessus (points BSS 1130zz0027 et 1130zz0028, Réf. : RR-37164-FR) donnent aussi des valeurs pour les couches de lave altérée qui se trouvent sous le cordon littoral. Néanmoins, s'agissant des terrains sous-marins, l'historique physico-chimique est très différent des terrains exposés à l'air et ces valeurs ne peuvent donc pas être jugées représentatives. La première couche – qualifiée de « roche altérée » – présente des valeurs qui l'inscrivent dans les sols de résistance moyenne des anciennes règles PS 92 (l'Eurocode 8 n'offre pas des classes de sol corrélées avec des essais pressiométriques) :

- module pressiométrique $E_M = 8,4$ à 14 MPa ;
- pression limite $p_l = 1,27$ à $1,74$ MPa.

Ensuite, une couche qualifiée de « roche saine » présente les valeurs suivantes :

- module pressiométrique $E_M = 20$ à 36 MPa ;
- pression limite $p_l = 2,8$ à $3,4$ MPa.

Bien que ces valeurs l'inscrivent dans les sols de très bonne résistance moyenne, celles-ci sont insuffisantes pour assimiler cette couche à un substratum volcanique rocheux. On peut néanmoins s'attendre à ce que ces valeurs continuent à augmenter en profondeur à mesure que le degré d'altération diminue, pour finalement retrouver un niveau où les laves peuvent être véritablement considérées comme « saines ».

Le substratum volcanique

Le substratum volcanique est constitué de différentes formations (pour une description détaillée, voir chapitre 3) appartenant principalement à la « formation de la Pointe Blanche ».

A Saint-Martin, les affleurements rocheux sont communs dans les parties les plus escarpées de l'île. Ces formations présentent généralement un état d'altération faible à modéré en surface sur des épaisseurs d'une dizaine de mètres. On retrouve souvent des épisodes de roche plus altérée intercalés avec de la roche saine, donnant lieu à des inversions de vitesse dans les mesures SASW réalisées. Les mesures H/V montrent généralement soit une absence d'effet de site, soit des fréquences de résonance très élevées, au-delà de 10 Hz, fréquences probablement bien plus élevées que celles des bâtiments.

Les formations en place peuvent être assimilées au substratum sismique quand :

- la vitesse des ondes de cisaillement V_s est supérieure à 800 m/s ;
- ou quand les essais pressiométriques montrent un module supérieur à 100 MPa et une pression limite supérieure à 5 MPa.

Il n'a pas été possible de trouver des essais pressiométriques qui montrent ces propriétés dans la BSS.

Néanmoins, la campagne de mesures SASW réalisée par le BRGM place le rocher dans les premiers 5 à 15 mètres sur la plupart de l'île, avec l'exception des zones présentant des dépôts alluviaux importants, où le rocher n'a pas pu être identifié directement. Dans ces cas, l'interface altération / formation en place est déterminée à partir des valeurs des fréquences de résonance f_0 des mesures H/V, lorsque celles-ci semblent significatives.

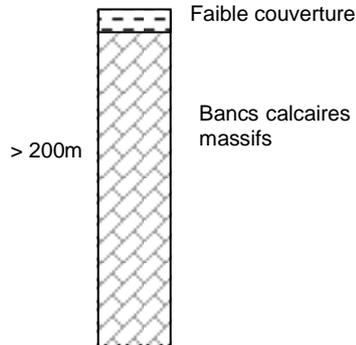
4.1.5. Zonage géotechnique et géophysique

Une fois les ensembles géologiques définis et les mesures géophysiques réalisées, l'étape suivante du travail consiste à réaliser le zonage. Il s'agit de rassembler les zones homogènes en termes de géologie et géotechnique (nature et épaisseur des dépôts superficiels, caractéristiques mécaniques) et de réponse sismique (fréquences de résonance, voir annexe 1).

Les numéros des mesures H/V et SASW cités dans les descriptions des colonnes sont reportés sur les Tableaux 1 et 2 des Annexes 1 et 2.

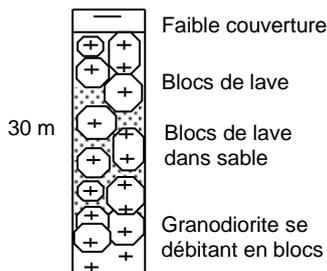
Sur la collectivité de Saint-Martin, l'analyse des données géologiques, géotechniques et géophysiques nous a amené à considérer 10 zones types (Figure 23) pour l'étude des effets de site sur la commune. Ces zones sont décrites ci-dessous, avec pour chaque zone, une représentation schématique en colonne de sol type (dans leur version préliminaire, c'est-à-dire avant confrontation des résultats des calculs avec les mesures sur le terrain).

Zone 0



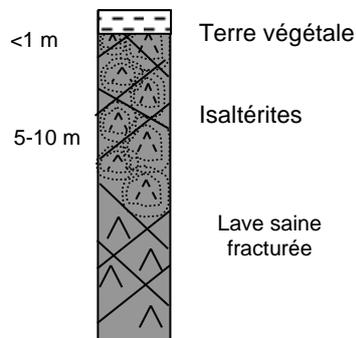
La Zone 0 correspond à la partie la moins altérée du sous-ensemble géologique 4. Elle se retrouve uniquement aux Terres Basses. La mesure SASW B9 témoigne de vitesses bien supérieures à 800 m/s sur les premiers 10 mètres. Les mesures H/V y confirment l'absence d'amplification. De ce fait, cette zone a été assimilée au rocher et aucune colonne n'y a été attribuée.

Zone 1



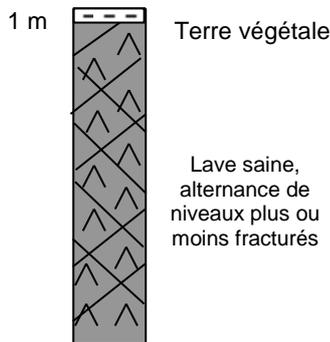
La Zone 1 est présente principalement dans les zones escarpées situées des deux côtés de l'Aéroport de l'Espérance, englobant First-Stick Hill, Pea-Tree Hill et Pigeon-Hill. On retrouve ce terrain également au sud du Quartier d'Orléans, aux Deux Frères. Cette zone, correspondant en grande majorité au sous-ensemble géologique 1, se caractérise par une structure en blocs de lave décimétriques enrobés d'un terrain sableux sur une cinquantaine de mètres de profondeur. Les profils SASW B12 et B14 indiquent des V_s très élevées, allant de 500 m/s à 1400 m/s avec la profondeur. Les mesures H/V indiquent soit une absence d'amplification, soit une faible réponse au-delà des 12 Hz.

Zone 2



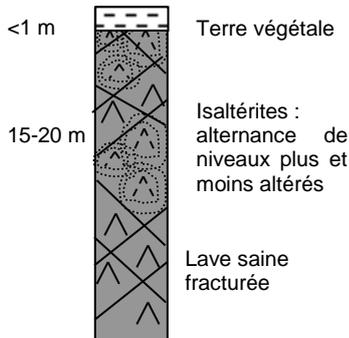
La Zone 2 correspond aux laves fracturées que l'on trouve à l'est du territoire, entre Hope Hill et la Baie Orientale, ainsi qu'au niveau de la colline du Fort St Louis à Marigot. Il s'agit d'une partie du sous-ensemble géologique 2 où le degré d'altération est plus faible : le profil SASW B15 montre bien qu'après une couche de moins de 5 mètres d'isaltérites avec une V_s de 600 m/s, on retrouve un substratum rocheux assez sain. Les mesures H/V dans cette zone sont inexploitable.

Zone 3



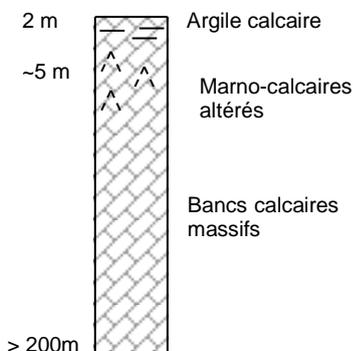
On trouve la Zone 3, qui correspond au sous-ensemble géologique 3, au nord de l'île des deux côtés de l'Anse Marcel, au sud-est entre Oyster Pond et le Mont Saline et au centre à Hope Hill et autour du Pic Paradis. Les profils SASW B10, B21 et B22 réalisés dans la zone, présentent des inversions de vitesse notables sur la première dizaine de mètres, allant de 200 m/s à 700 m/s, vraisemblablement liées à l'alternance de laves plus ou moins altérées et/ou fracturées. Les mesures H/V correspondant réalisées à proximité de ces profils indiquent des pics nets à 10 Hz et 16,5Hz, témoignant d'un matériau assez dur.

Zone 4



La Zone 4 correspond aux parties du sous-ensemble géologique 2 présentant une altération plus importante des laves. On trouve ces terrains principalement le long de la moitié ouest de la frontière avec la partie néerlandophone de l'île. Le Mont de Marigot et le Mont Diamant y sont notamment rattachés. Une extension de cette zone est également présente aux Terres Basses. De manière similaire à la Zone 3, on retrouve dans les profils SASW réalisés dans cette zone (B7 et B17) une suite d'inversions de vitesse importantes sur une quinzaine de mètres avec des changements brusques entre des portions à 200-300 m/s et des portions à 800 m/s. L'hétérogénéité géographique de la zone 4 a motivé la création de deux colonnes présentant les deux types d'inversions de vitesse constatés sur les profils SASW. Seule la colonne la plus pénalisante correspondant au profil B17 a ensuite été prise en compte. Les mesures H/V ne détectent quant à elles pas de fréquence de résonance.

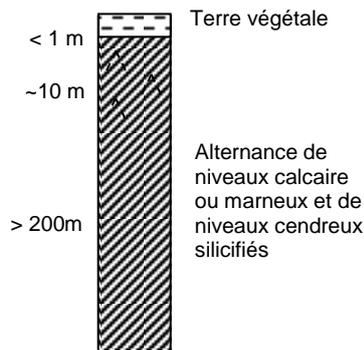
Zone 5



La Zone 5 englobe les secteurs présentant des niveaux d'altération plus élevés du sous-ensemble géologique 4. Il s'agit ici surtout des formations calcaires et marno-calcaires entourant Marigot et formant la majorité de l'Îlet Pinel et de l'île Tintamarre. Les profils SASW correspondants, B3, B4, B13 et B23, indiquent des V_s dans les parties altérées autour de 400 m/s et montrent tous un gradient de vitesse avec la profondeur. Les profils diffèrent cependant sur les deux premiers mètres, où deux profils (B3, B23) montrent une couche de vitesse lente à 250 m/s et les deux autres (B4, B13) une couche de vitesse très élevée (800 m/s). Les mesures H/V montrent dans le premier cas un plateau large qu'il est difficile d'interpréter en termes de fréquences de résonance, pendant que dans le deuxième cas il y a deux pics nets à

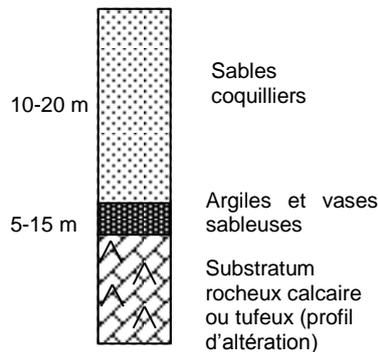
12 Hz et 16Hz. Dû à la proximité géographique des mesures, il n'est pas possible de subdiviser la Zone 5 et deux hypothèses, avec une couche dure ou molle en surface ont été testés, retenant finalement la couche molle comme le cas plus conservateur.

Zone 6



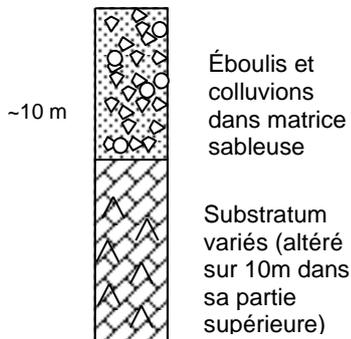
On trouve la Zone 6 au cœur du territoire, au Pic Paradis et à la Montaigne France, ainsi qu'à l'ouest, des deux côtés de l'embouchure de la Ravine du Colombier. Elle correspond au sous-ensemble géologique 5 et se caractérise par une roche métamorphique à niveaux alternants calcaires et cendreux. Une faible altération donnant une V_s de 600 m/s est observée sur la première dizaine de mètres, comme le montre le profil SASW B2. Le profil B11, également réalisé au sein de la zone 6, a pour sa part été écarté du fait de vitesses aberrantes en regard des terrains en place. La mesure H/V associée n'a quant à elle pas pu être exploitée.

Zone 7



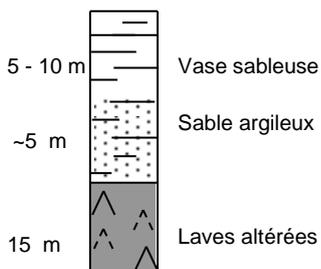
La Zone 7 correspond au cordon littoral de Saint-Martin, présentant de 10 à 20 mètres de sables de plage surmontant une couche de terrain argilo-sableux avant d'arriver au substratum rocheux. Cette zone, correspondant au sous-ensemble géologique 6, se trouve principalement le long de la côte de l'île, aux baies Orientale et de l'Embouchure, ainsi qu'à Grand-Case, Marigot et Sandy Ground. Les caractéristiques géomécaniques du sable ont empêché les profils SASW B6 et B16 de fournir des informations en profondeur et le substratum rocheux n'a pas pu être atteint : des vitesses entre 250 m/s et 300 m/s sur les premiers 20 mètres surmontent une couche d'épaisseur indéterminée avec une vitesse de propagation de 500 m/s, supposée correspondre à un substratum altéré. Cependant, les mesures H/V indiquent une fréquence de résonance entre 4.5 Hz et 6 Hz, ce qui permettra de préciser la profondeur des interfaces de la colonne de sol type.

Zone 8



La Zone 8 correspond au sous-ensemble géologique 7 (colluvions de fonds de vallée). On trouve cette zone au niveau de la Ravine de Colombier, dans la vallée entre Hope Hill et Pea-Tree Hill. Elle occupe également une grande partie de Marigot et du Quartier d'Orléans. Les profils SASW B18, B19 et B20 qui caractérisent cette zone se trouvent tous dans la dépression du Quartier d'Orléans, mais ils illustrent bien la progression des augmentations de V_s auxquelles l'on peut s'attendre sur le restant de la zone. On peut ainsi identifier la couche de colluvions avec des vitesses entre 200 et 400 m/s recouvrant un substratum altéré marqué par des vitesses atteignant 500 m/s à 800 m/s en fonction du niveau d'altération. Le substratum situé en dessous de la couche de colluvions varie selon les sous-ensembles géologiques qui entourent les différentes ravines, mais du fait du faible degré d'altération des matériaux calcaires et volcaniques dans la plupart du territoire c'est la couche de colluvions qui est dominante sur l'effet de site. Ceci est confirmé par les fréquences de résonance H/V plutôt homogènes observées dans la zone avec des pics nets entre 12-14 Hz et vers 18Hz.

Zone 9



La Zone 9 correspond souvent à des zones de transition entre les sous-ensembles géologiques 6 et 7, où le terrain présente des caractéristiques ne correspondant ni aux sables propres du cordon littoral ni aux colluvions sablo-graveleuses des fonds de vallée. On inclut dans cette zone les fonds de plage et les territoires entourant les nombreux étangs du territoire, ainsi que les terrains qui ont pu clairement être identifiés comme ayant été gagnés sur la mer. Par rapport aux Zones 7 et 8, la Zone 9 se caractérise par une couche épaisse de vase sableuse (vitesse de 200 m/s sur 7 mètres environ), surmontant une couche de sables argileux (vitesse de 350 m/s) avant de retrouver un profil d'altération du substratum similaire à celui des Zones 7 et 8. On trouve ces terrains à Marigot, au Quartier d'Orléans et dans toute la zone de l'Aéroport Espérance. Les profils SASW B1 et B5 ont été pris comme base pour l'élaboration de la colonne de sol type (le profil B24 en diffère sensiblement). Un fort effet de site est attendu pour cette zone, comme en témoignent les mesures H/V y ayant été réalisées, et qui présentent des pics de résonance nets bien limités entre 3.5 Hz et 4Hz.

Synthèse du zonage

Les 10 zones géotechniques (n° 0 à 9) sont cartographiées sur la Figure 23. Ce zonage s'appuie sur l'analyse des mesures géophysiques H/V présentées sur la Figure 22.

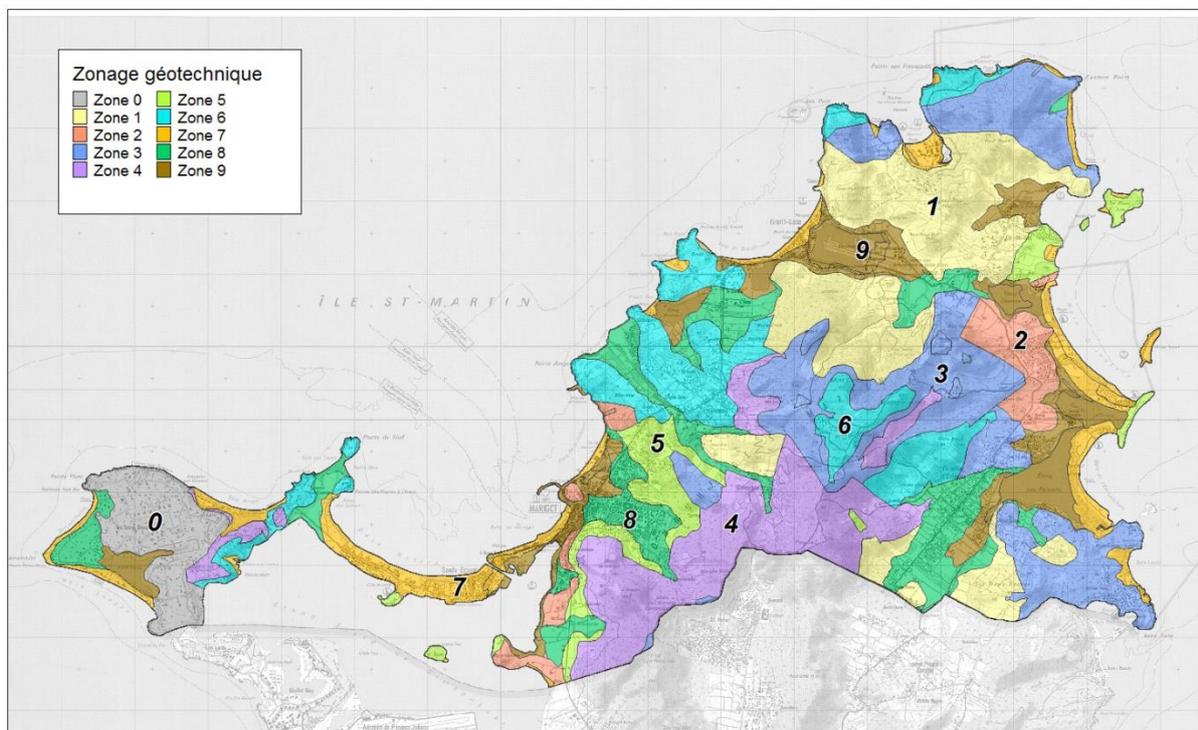


Figure 23 : Zonage géotechnique et géophysique de la collectivité de Saint-Martin.

4.2. DÉTERMINATION DES SPECTRES DE RÉPONSE TENANT COMPTE DES CONDITIONS DE SITE

Ce chapitre décrit le travail réalisé pour définir une ou plusieurs colonnes de sol représentatives de chaque zone du zonage géotechnique préliminaire (Figure 23), puis pour calculer les réponses sismiques associées, à l'aide de simulations numériques 1D combinant, le spectre de référence au rocher défini à partir de l'aléa sismique régional et les colonnes de sol type définies précédemment.

Les réponses sismiques des différentes zones géotechniques sont ensuite comparées entre elles pour procéder à des regroupements si elles s'avèrent similaires. Cette étape permet de définir un nombre limité de classes de sol ayant une réponse sismique homogène pour aboutir au zonage sismique final.

Pour chaque zone sismique (ou classe de sol), on définit alors un spectre de réponse spécifique unique tenant compte des effets de site lithologiques et qui pourra être utilisé par la suite lors de la rédaction du PPR sismique.

4.2.1. Méthodologie utilisée pour les simulations numériques 1D

Lorsque les conditions de site sont différentes des conditions au rocher, il faut utiliser des méthodes permettant de les représenter de la manière la plus réaliste possible. Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle de sol linéaire équivalent implanté dans le logiciel *CyberQuake* (Modaressi *et al.*, 1997).

La colonne de sol représentative du terrain en place doit être décrite par la lithologie des horizons (sols cohérents, sols frottants ou rocher), la stratigraphie (séquence et épaisseur) et les caractéristiques géomécaniques des horizons.

Les formations lithologiques sont caractérisées par des valeurs moyennes telles que leur poids volumique. La vitesse des ondes P, la vitesse des ondes S, et les courbes $G(\gamma)/G_{\max}$ et $D(\gamma)$ sont des caractéristiques dynamiques des sols, nécessaires à la simulation du comportement d'une colonne de sol sous sollicitation sismique. Les courbes $G(\gamma)/G_{\max}$ et $D(\gamma)$ caractérisent la variation du module de cisaillement normalisé (G/G_{\max}) et du coefficient d'amortissement (D) du matériau en fonction de la distorsion en cisaillement cyclique γ_c . Elles sont utilisées pour prendre en compte le comportement non-linéaire des matériaux rencontrés.

Dans cette étude, les courbes $G(\gamma)/G_{\max}$ et $D(\gamma)$ sont issues de la littérature :

- Kokusho (1980) pour les sables et graves,
- Darendeli (2001) pour les argiles.

Les colonnes de sol ainsi décrites sont utilisées avec le logiciel *CyberQuake* (Modaressi *et al.*, 1997) pour calculer leur réponse à une sollicitation sismique au rocher. Comme mouvement au substratum, on applique quatre accélérogrammes (2 réels et 2 synthétiques) ayant une réponse spectrale proche du spectre spécifique retenu dans le cadre de l'étude. Leurs caractéristiques en magnitude, distance et PGA sont similaires au séisme de référence (paragraphe 2.2). Le choix de ces quatre accélérogrammes est décrit dans le chapitre 2.

Finalement, le logiciel simule la réponse sismique de la colonne de sol soumise à sa base à ces quatre accélérogrammes.

4.2.2. Définition des colonnes de sol

Pour chacune des dix zones décrites dans le chapitre précédent, nous donnons ici la description exacte des paramètres mécaniques des colonnes utilisées pour les simulations numériques. Chaque colonne est décrite de la façon suivante :

- épaisseur des couches ;
- type de formation ;
- vitesse des ondes S dans chaque couche ;
- vitesse des ondes P dans chaque couche ;
- poids volumique de chaque couche ;
- courbes $G(\gamma)/G_{\max}$ et $D(\gamma)$ utilisées pour la prise en compte du comportement non-linéaire des matériaux rencontrés : le nom de la courbe indique le type de relation utilisée (Kokusho, 1980 ou Darendeli, 2001), l'indice de plasticité retenu (IP) et la contrainte effective totale retenue (σ_v , en kPa).

Le travail de simulation consiste notamment à faire varier les paramètres des colonnes de sol afin d'obtenir la réponse sismique la plus proche possible des mesures H/V réalisées sur le terrain.

Colonne zone 1

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/γ
Sable à boules	2-3	700	1310	1800	Kokusho80 ; σ _v =20 kPa
Sable à petits blocs	2-5	500	935	1800	Kokusho80 ; σ _v =50 kPa
Blocs dans tuf sableux	-	1400	2619	2000	-

Tableau 13 : Caractéristiques de la colonne de la zone 1.

Colonne zone 2

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/γ
Isaltérites	4	600	1122	1900	Darendeli – Ip15 ; σ _v =25 kPa
Lave rocheuse	-	1000	1871	2000	-

Tableau 14 : Caractéristiques de la colonne de la zone 2.

Colonne zone 3

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/γ
Lave altérée	1	300	561	1800	Darendeli – Ip30 ; σ _v =25 kPa
Lave fracturée	2	700	1310	1800	Darendeli – Ip30 ; σ _v =25 kPa
Lave fracturée	2	200	374	1800	Darendeli – Ip30 ; σ _v =100 kPa
Lave fracturée	2.5	500	935	1800	Darendeli – Ip30 ; σ _v =100 kPa
Lave fracturée	2.5	700	1310	1800	Darendeli – Ip30 ; σ _v =100 kPa
Lave saine	-	900	1685	2000	-

Tableau 15 : Caractéristiques de la colonne de la zone 3.

Colonnes zone 4

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/γ
Isaltérites	2	700	1310	1900	Darendeli – Ip15 ; σ _v =100 kPa
Isaltérites	3.5	200	374	1900	Darendeli – Ip15 ; σ _v =100 kPa
Isaltérites	4	1300	2432	1900	Darendeli – Ip15 ; σ _v =100 kPa
Isaltérites	4.5	400	748	1900	Darendeli – Ip15 ; σ _v =100 kPa
Lave saine	-	800	1500	2000	-

Tableau 16 : Caractéristiques de la colonne de la zone 4.

Colonne zone 5

Formation	Epaisseur	V _s	V _p	ρ	Courbe G-D/γ
-----------	-----------	----------------	----------------	---	--------------

	(m)	(m/s)	(m/s)	(kg/m ³)	
Argile calcaire	2	250	470	1900	Darendeli – Ip15 ; $\sigma_v=25$ kPa
Marno-calcaire altéré	5	400	750	1900	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=100$ kPa
Calcaire dur	-	1000	1870	2000	-

Tableau 17 : Caractéristiques de la colonne de la zone 5.

Colonne zone 6

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/ γ
Tufs cinératiques et calcaires remaniés	8	600	1122	1900	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=100$ kPa
Laves saines	-	1000	1871	2000	-

Tableau 18 : Caractéristiques de la colonne de la zone 6.

Colonnes zone 7

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/ γ
Sable de plage	5	250	468	1700	Kokusho80 ; $\sigma_v=20$ kPa
Sable de plage	5	250	468	1600	Kokusho80 ; $\sigma_v=100$ kPa
Argile sableuse avec débris	10	300	561	1600	Kokusho80 ; $\sigma_v=400$ kPa
Calcaire/Lave altéré en argile raide	5	500	935	1800	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=400$ kPa
Lave saine	-	800	1500	2000	-

Tableau 19 : Caractéristiques de la colonne de la zone 7.

Colonne zone 8

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/ γ
Eboulis graveleux	2	200	374	1900	Kokusho80 ; $\sigma_v=20$ kPa
Eboulis graveleux	2	300	561	1900	Kokusho80 ; $\sigma_v=50$ kPa
Blocs dans argile sableuse	4	400	748	1700	Darendeli – Ip15 ; $\sigma_v=100$ kPa
Lave altérée	2	500	935	1800	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=100$ kPa
Lave altérée	5	600	1122	1800	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=100$ kPa
Lave altérée	4	700	1310	1800	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=400$ kPa
Substratum	-	800	1500	2000	-

Tableau 20 : Caractéristiques de la colonne de la zone 8.

Colonne zone 9

Formation	Epaisseur (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	ρ (kg/m ³)	Courbe G-D/ γ
Vase sableuse	7	200	374	1400	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=25$ kPa
Sable argileux	4	350	655	1800	Kokusho80 ; $\sigma_v=100$ kPa

Laves altérées	7	400	748	1600	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=400$ kPa
Laves altérées	7	500	935	1600	Darendeli – Ip30 ; $\sigma_v=400$ kPa
Lave saine	-	800	1500	2000	-

Tableau 21 : Caractéristiques de la colonne de la zone 9.

4.2.3. Cartographie finale des effets de site et spectres de réponse associés

Pour chacune des zones décrites précédemment et dont les colonnes de sol type ont été définies dans le paragraphe précédent, un spectre de réponse à 5 % d'amortissement (valeur préconisée pour le bâti courant dans les règles parasismiques françaises et européennes EC8) a été calculé pour les quatre accélérogrammes définis dans le paragraphe 2.2.

Les spectres de réponse spécifiques à chaque zone ont ensuite été reportés sur un seul graphique pour évaluer leur ressemblance et effectuer des regroupements de zones en cas de réponses sismiques équivalentes.

Cela nous a permis de définir 6 classes d'effets de site lithologiques pour l'ensemble de la zone d'étude :

- Classe StM0 : rocher et pseudo-rocher (laves ou calcaires) (zone 0) ;
- Classe StM1 : rocher hétérogène d'altération faible à moyenne ou altération en boules (zones 1, 2 et 6) ;
- Classe StM2 : sols d'altération ou colluvions (zone 3, 4 et 8) ;
- Classe StM3 : calcaires peu altérés (zone 5) ;
- Classe StM4 : cordons de plage (zone 7) ;
- Classe StM5 : vases sableuses d'anciennes lagunes (zone 9).

Pour chaque classe, un spectre de réponse spécifique a été proposé, en tâchant de respecter au mieux un calage autour de la moyenne des différents spectres de réponse calculés.

Les Figure 24 à Figure 29 donnent les spectres de réponse à 5% d'amortissement calculés pour chaque classe de sol, ainsi que le spectre spécifique proposé. Les sigles M1, M2, N1 et N2 représentent respectivement la réponse calculée pour la zone à l'accélérogramme Modifié 1, l'accélérogramme Modifié 2, l'accélérogramme Naturel 1 et l'accélérogramme Naturel 2. Ces spectres de réponse élastique sont donnés en accélération en fonction de la période par souci d'homogénéité avec la représentation des spectres forfaitaires nationaux.

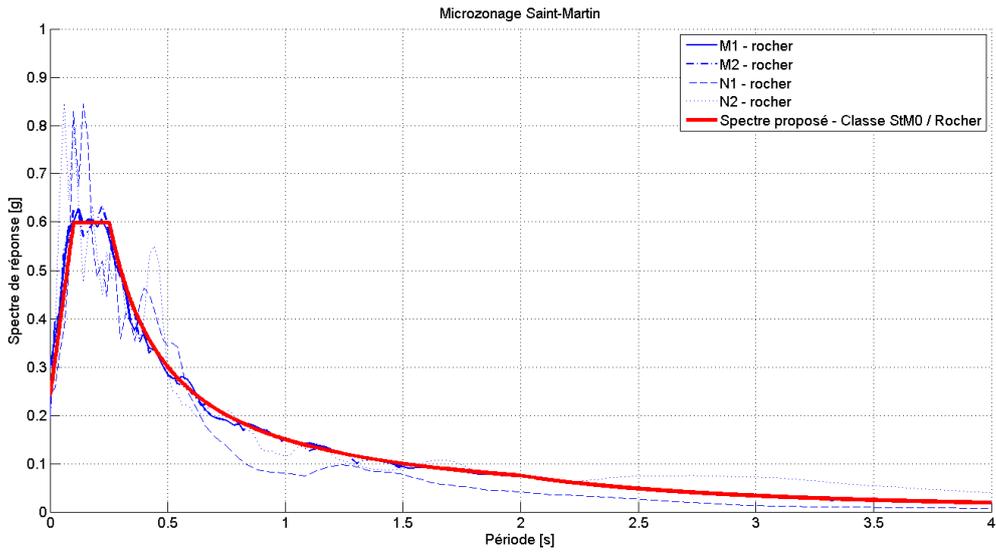


Figure 24 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM0.

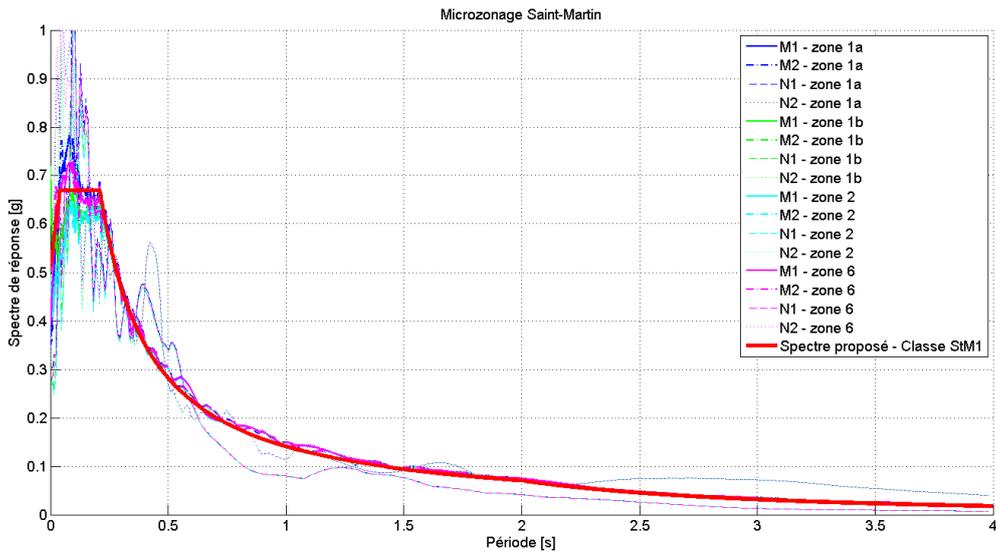


Figure 25 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM1.

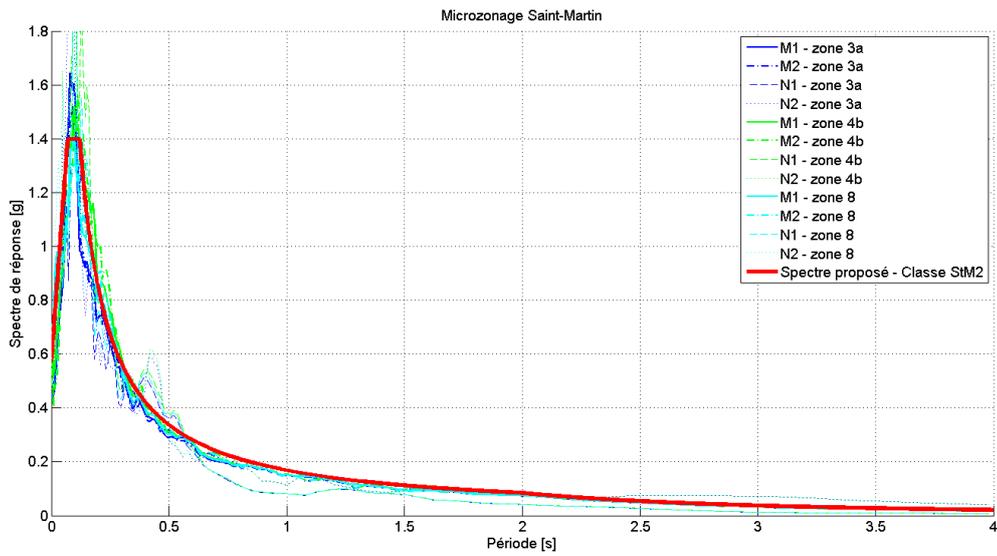


Figure 26 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM2.

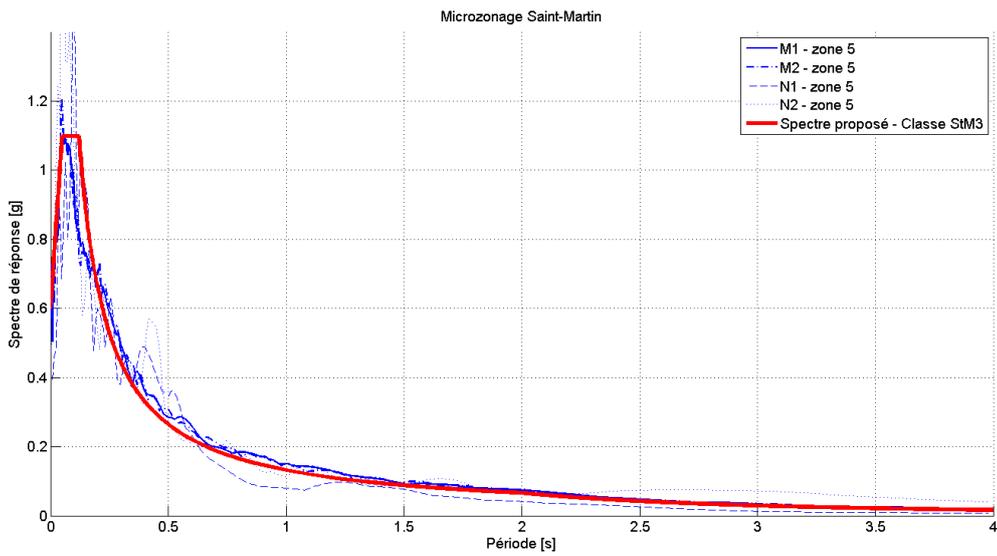


Figure 27 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM3.

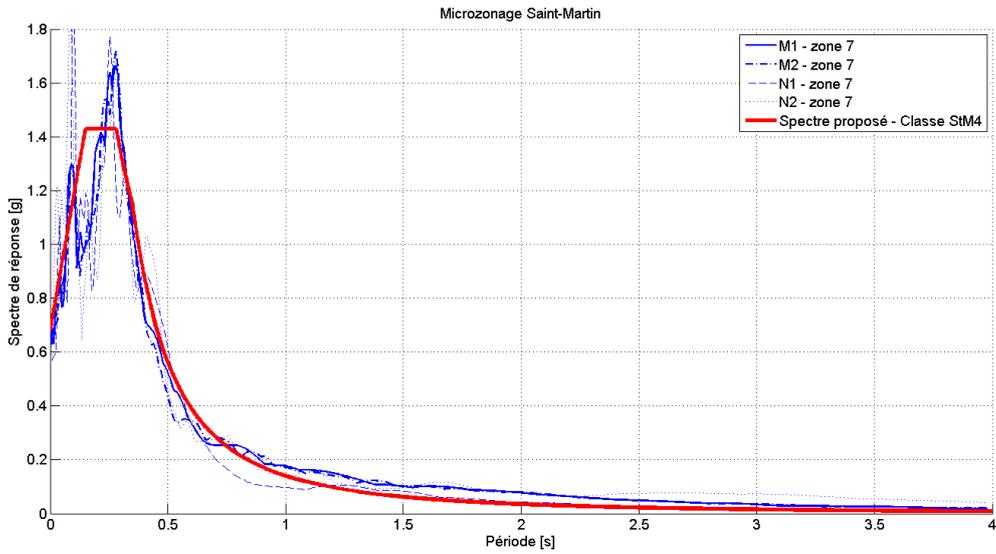


Figure 28 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM4.

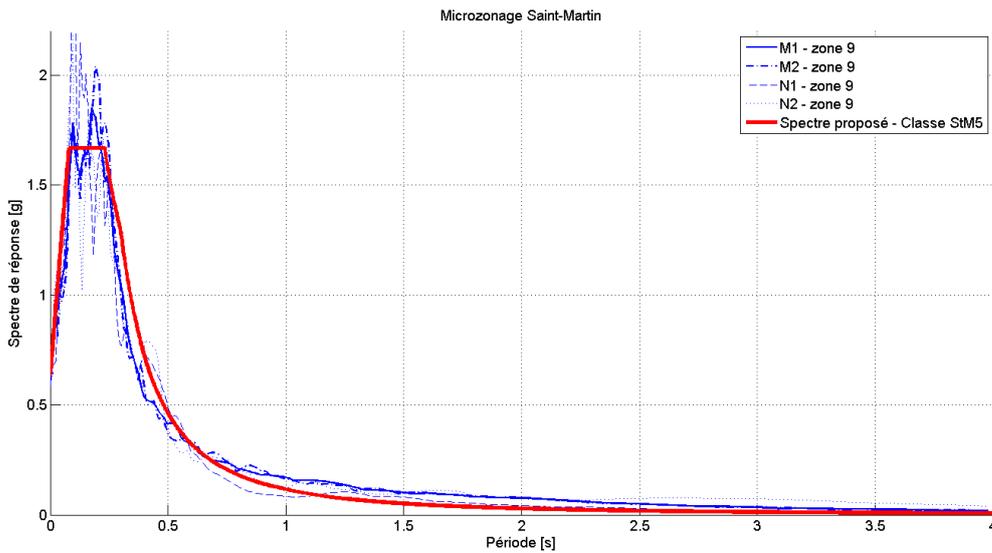


Figure 29 : Spectres de réponse calculés et spectre de réponse spécifique proposé pour la classe StM5.

Les spectres spécifiques tenant compte des effets de site lithologiques et la cartographie finale correspondante sont représentés sur les Figure 30 et Figure 31.

Le Tableau 22 donne, pour les bâtiments de catégorie d'importance II, les paramètres permettant de reconstruire les spectres de réponse en accélération et de trouver analytiquement la valeur de l'accélération spectrale pour toute valeur de la période. Nous avons utilisé pour cela les formes de spectres du type de celles préconisées dans les EC8 (Figure 32).

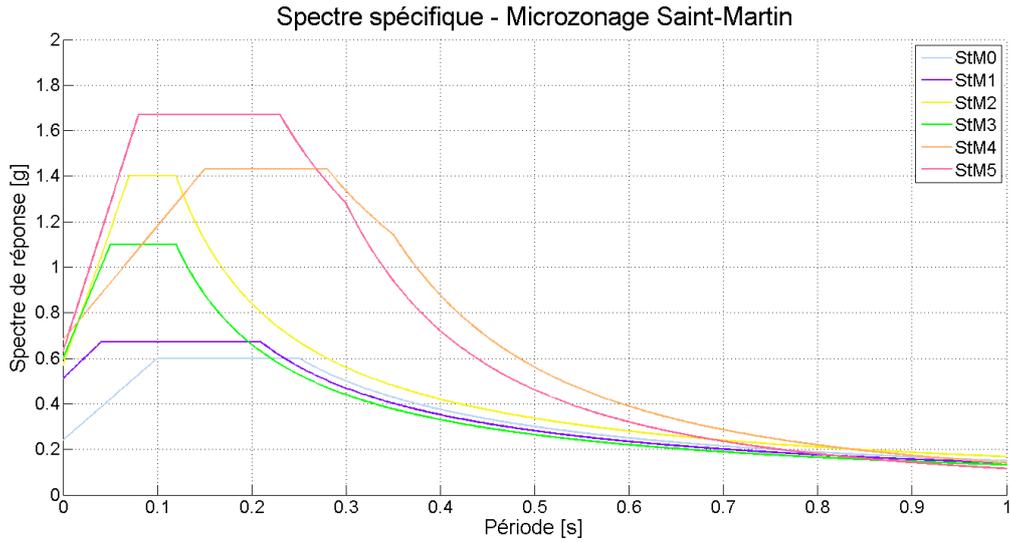


Figure 30 : Spectres de réponse spécifiques proposés pour les différentes classes d'effets de site lithologiques.

Zone / Classe d'effets de site lithologiques	R_A (g) (PGA)	R_M (g) (Plateau en accélération)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
StM0	0.24	0.6	0.10	0.25	2.00
StM1	0.51	0.67	0.04	0.24	2.00
StM2	0.57	1.40	0.07	0.12	2.00
StM3	0.60	1.10	0.05	0.12	2.00
StM4	0.68	1.43	0.15	0.28	0.35
StM5	0.63	1.67	0.08	0.23	0.30

Tableau 22 : Paramètres des spectres de réponse élastique par classe d'effets de site lithologiques pour la collectivité de Saint-Martin

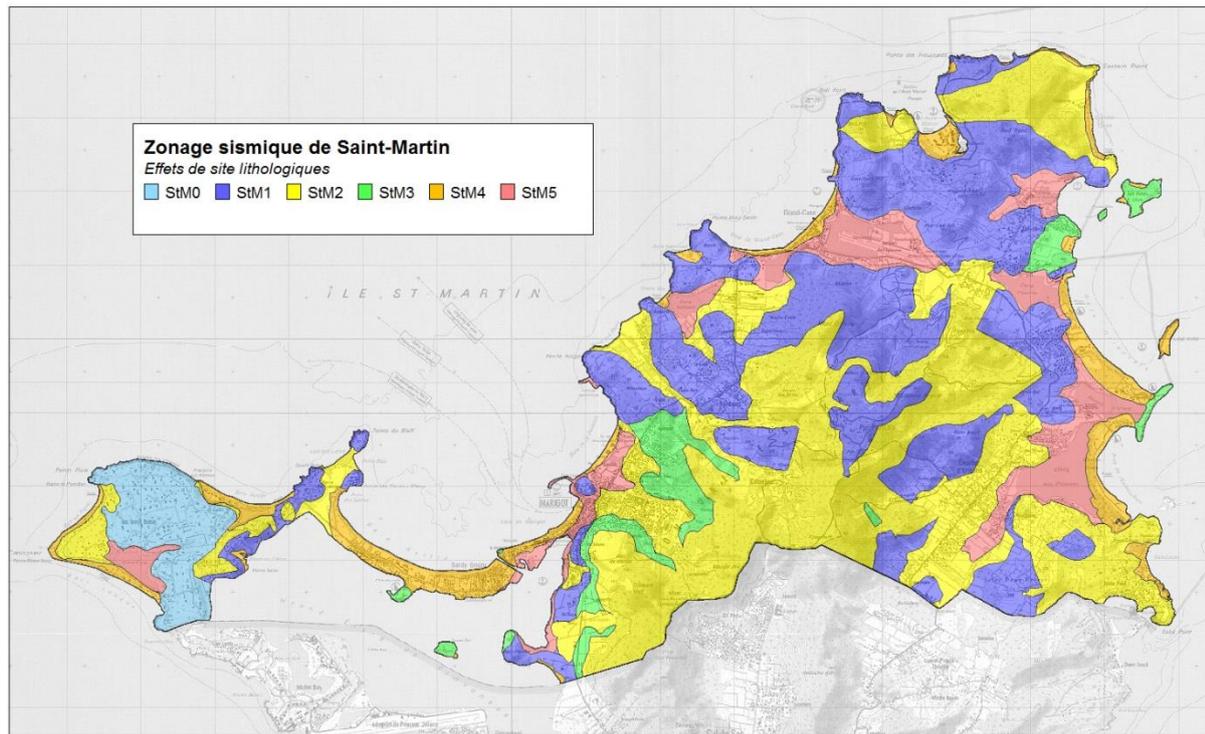


Figure 31 : Zonage spécifique des zones à effet de site lithologiques pour la collectivité de Saint-Martin.

Un spectre de réponse est entièrement déterminé par l'accélération à période nulle (ou pga pour « Peak Ground Acceleration ») définie par le paramètre RA, les valeurs de période du début et fin de plateau en accélération (T_B et T_C) et la valeur au point d'inflexion du spectre T_D (Figure 32) :

- pour $0 \leq T \leq T_B$, $S_E(T) = RA + (RM - RA) * T/T_B$;
- pour $T_B \leq T \leq T_C$, $S_E(T) = RM$;
- pour $T_C \leq T \leq T_D$, $S_E(T) = RM * T_C / T$;
- pour $T_D \leq T \leq 4s$, $S_E(T) = RM * T_C * T_D / T^2$.

Pour faciliter l'application des résultats obtenus en termes d'effets de site lithologiques pour la construction des maisons individuelles, la correspondance entre les classes d'effets de site lithologiques du tableau précédent et les types de sols du guide de construction parasismique CP-MI Antilles (AFPS, 2004) est indiquée dans le Tableau 23, **à titre indicatif**.

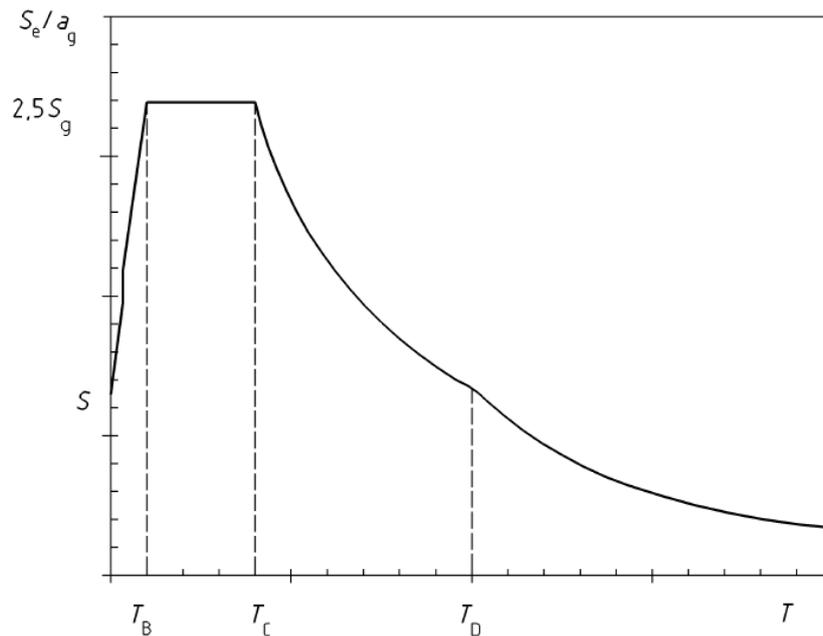


Figure 32 : Forme du spectre de réponse élastique en accélération d'après la norme parasismique EC8 référencée NF EN 1998-1.

Classe d'effets de site lithologiques	Type de sols (selon les CP-MI Antilles)
StM0	F9
StM1	F8
StM2	F4/F5
StM3	F6
StM4	F3
StM5	F1/F2

Tableau 23 : Correspondance entre classe d'effets de site lithologiques et types de sol selon les CP-MI Antilles (2004).

4.2.4. Comparaison entre spectres spécifiques et spectres réglementaires

Une comparaison des spectres spécifiques avec les spectres réglementaires français a également été menée. Pour cela, nous avons calculé la valeur du paramètre $V_{s,30}$ ⁵ à partir des colonnes des différentes zones décrites dans le Tableau 13 au Tableau 20. Puis, pour chacune des 7 classes d'effets de site lithologiques, nous avons associé une ou plusieurs classes de sol EC8 (NF-EN 1998-1) en fonction des valeurs de $V_{s,30}$ obtenues (Tableau 24).

⁵ Le paramètre $V_{s,30}$ correspond à la vitesse moyenne des ondes S dans les 30 premiers mètres de profondeur. Si

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

l'on considère N couches d'épaisseur h et de vitesse V d'ondes S, ce paramètre est défini comme suit :

Classe d'effets de site lithologiques	Zones correspondantes	Valeurs de $V_{S,30}$ (m/s)	Classes EC8 correspondantes
StM0	0	800 à 1000	A
StM1	1, 2 et 6	830 à 1180	A
StM2	3, 4 et 8	510 à 640	E / S2
StM3	5	690	E
StM4	7	340	C
StM5	9	360	S1

Tableau 24 : Correspondance entre le zonage spécifique et les classes de sol EC8.

Alors que plusieurs classes de sol EC8 sont représentées sur Saint-Martin, il apparaît clairement une variabilité significative des spectres spécifiques proposés dans le cadre du présent microzonage, y-compris lorsque pour les zones associées à une même classe EC8 (StM0 et StM1 ; StM2 et StM3). Cela illustre l'intérêt principal du microzonage : cette étude permet de mieux prendre en compte la variabilité des réponses sismiques qu'un zonage basé sur les seules classes réglementaires EC8, et permet également l'attribution de spectres spécifiques aux zones de classes S1 et S2, pour lesquelles aucun spectre forfaitaire réglementaire n'est défini.

Les Figure 33 à Figure 36 montrent que, pour les zones à effets de site lithologiques (Classes StM1 à StM4), le spectre spécifique est systématiquement plus pénalisant que le spectre forfaitaire réglementaire de la classe EC8 correspondante, sur les courtes périodes (inférieures à 0,3-0,5 s). Au contraire, le spectre spécifique est systématiquement moins pénalisant pour les plus longues périodes (supérieures à 0,4-0,6 s) que le spectre réglementaire. Concrètement, cela implique que les spectres proposés dans cette étude sont plus pénalisants que les spectres de la réglementation nationale pour les bâtiments à courte période propre (bâtiments de petite hauteur – période inférieure à 0,7 s) et moins pénalisants pour les bâtiments à plus longue période propre (bâtiments de grande hauteur – période supérieure à 0,7 s).

A noter également que la zone StM5 n'a pas pu faire l'objet de cette comparaison avec la réglementation pour la raison qu'il n'existe pas de spectre réglementaire pour les sols de classe S1.

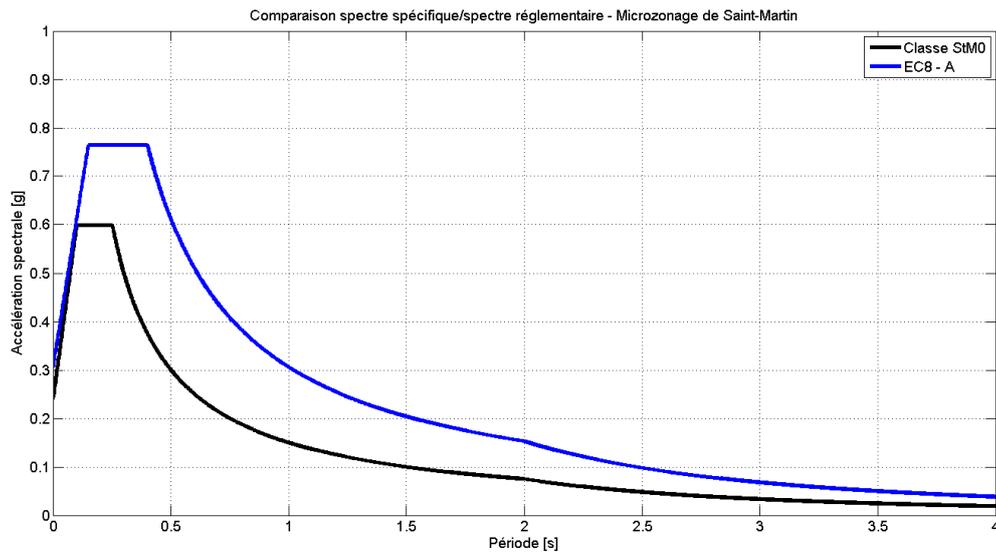


Figure 33 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM0 sur la collectivité de Saint-Martin.

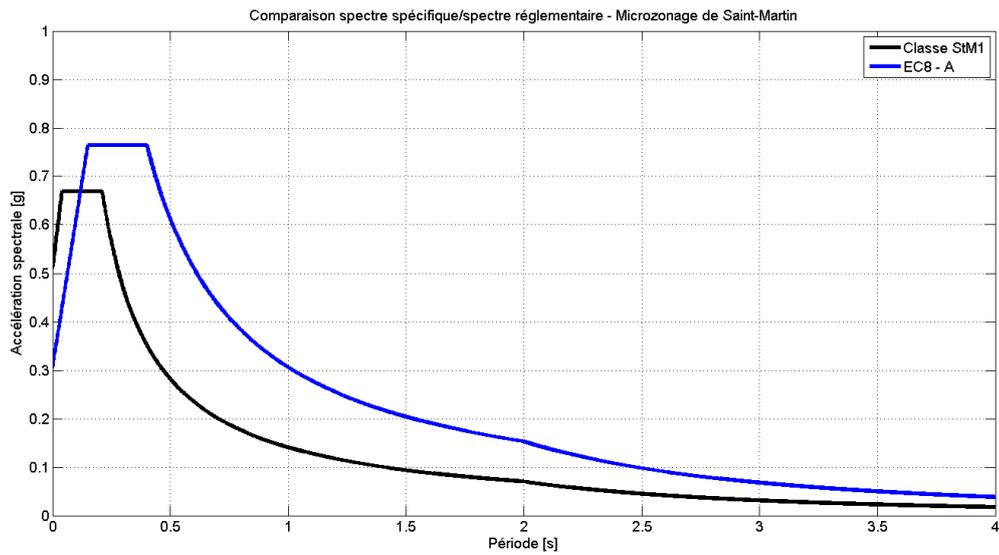


Figure 34 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM1 sur la collectivité de Saint-Martin.

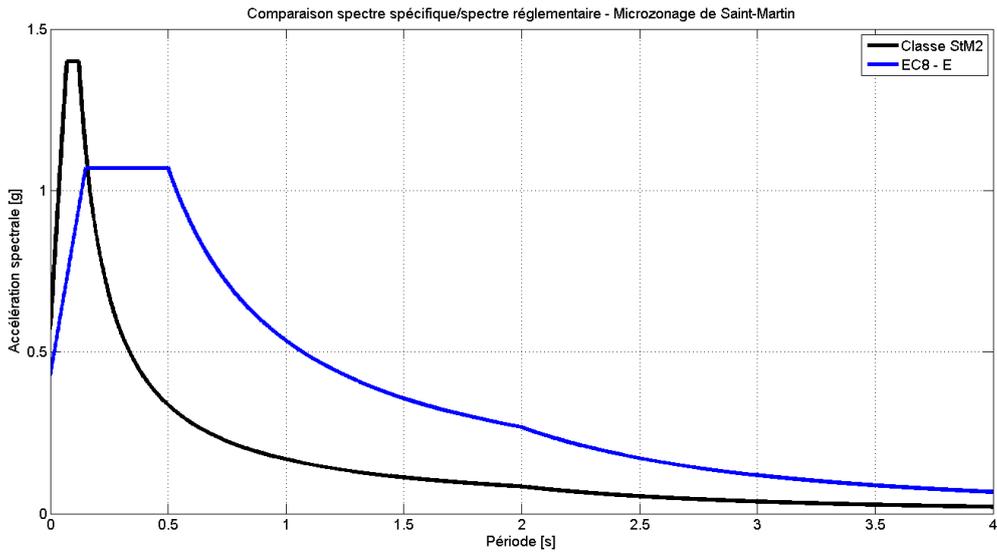


Figure 35 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM2 sur la collectivité de Saint-Martin.

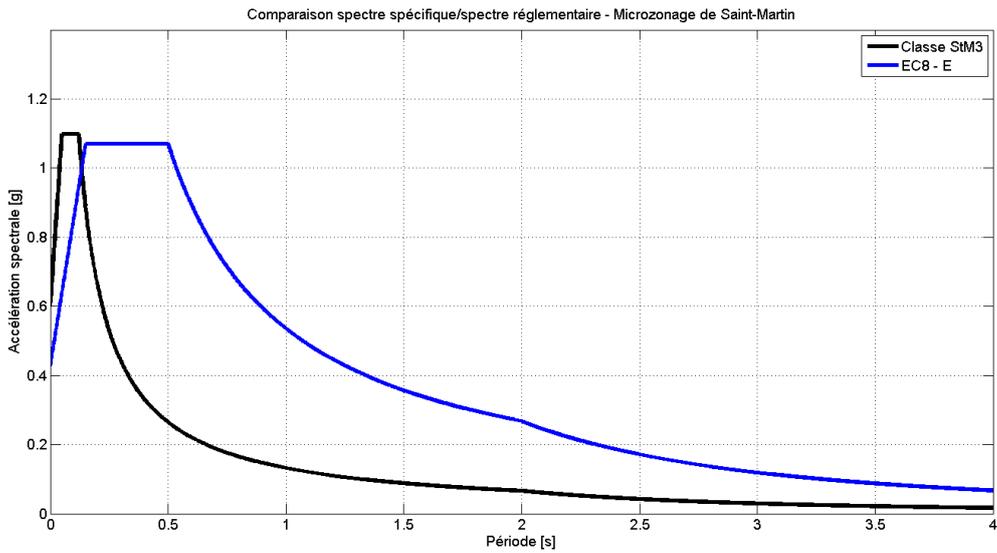


Figure 36 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM3 sur la collectivité de Saint-Martin.

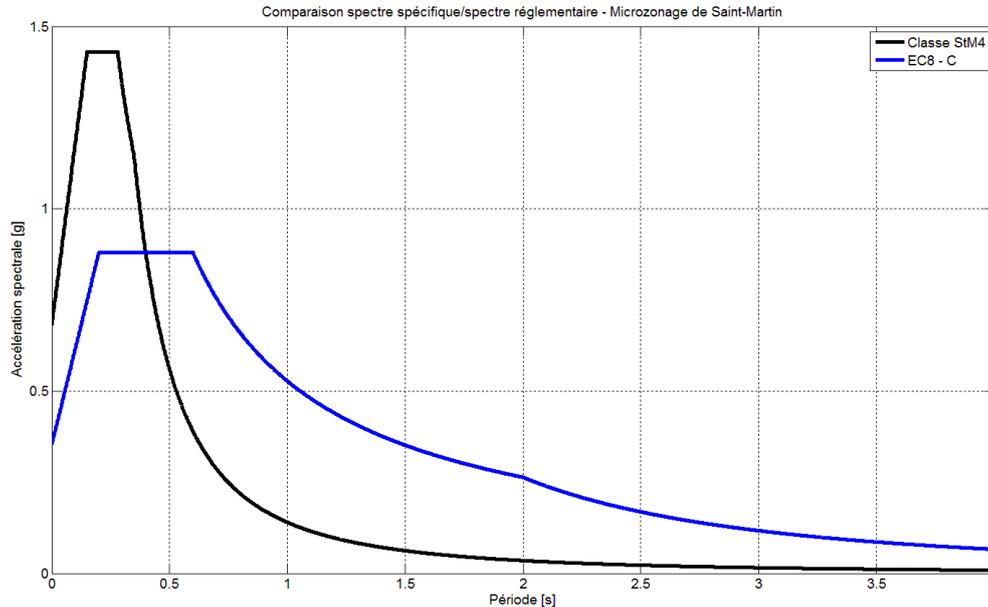


Figure 37 : Comparaison entre spectre spécifique et spectre EC8 pour la classe StM4 sur la collectivité de Saint-Martin.

4.3. DOMAINE D'APPLICATION DES SPECTRES SPÉCIFIQUES

Cette étude de microzonage sismique met en évidence des effets de site importants (amplification du signal) avec des spectres plus pénalisants que les réglementaires pour les courtes périodes (bâtiments de petite hauteur), amplification non prise en compte par les spectres réglementaires. Au contraire, le spectre est systématiquement moins pénalisant pour les bâtiments de plus longue période (plus de 0.4s), qui correspond à des bâtiments de plus grande hauteur.

A noter que, compte-tenu que les spectres spécifiques calculés sont inférieurs aux spectres réglementaires pour les longues périodes, il appartient aux services compétents de rester au niveau réglementaire ou d'appliquer ces spectres spécifiques pour les nouvelles constructions.

Ces spectres ont été établis indépendamment de la catégorie d'importance des bâtiments. Il convient de les multiplier par un coefficient d'importance pour obtenir les valeurs à appliquer aux bâtiments. Les coefficients d'importance ont été définis dans l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ». Ainsi, on retiendra un coefficient d'importance de 1 pour un bâtiment de catégorie d'importance II, de 1,2 pour la catégorie d'importance III et de 1,4 pour la catégorie d'importance IV.

4.4. DECOUPLAGE ENTRE ALEA LOCAL ET ALEA REGIONAL

L'un des objectifs initiaux était de réfléchir à une solution pour rendre le résultat de « l'aléa local » indépendant de « l'aléa régional » préconisé. L'idée était de pouvoir recalculer facilement les spectres de réponse tenant compte des effets de site lithologiques en cas de modification du niveau d'agression régionale (par exemple en cas de changement de la

réglementation nationale ou si les autorités publiques décident de niveaux d'agression sismique à prescrire dans un PPR).

La réflexion sur ce découplage a donc été menée dans le cadre de l'étude de microzonage sismique de 10 communes de Guadeloupe (étude menée pratiquement dans les mêmes délais et dont les conclusions devaient servir pour la présente étude). Les conclusions ont ainsi montré qu'une restitution sous forme de « fonction de site » ne pouvait être retenue.

La prise en compte de modifications modérées de niveaux d'agression sismique au niveau de l'aléa régional (modification du pga ou de la valeur du plateau d'accélération sans modification des périodes définissant le plateau et la décroissance du spectre au rocher) semble envisageable.

Néanmoins dans le contexte d'aléa fort des Antilles, les problèmes de non-linéarité sont présents et peuvent modifier considérablement la réponse du sol sous sollicitation sismique selon le niveau d'agression considéré.

Le découplage entre aléa régional et aléa local est complexe dans ce contexte de forte sismicité et nécessite des investigations plus approfondies.

5. Effets de site topographiques

5.1. DEFINITION

On a constaté que, tous facteurs étant apparemment égaux par ailleurs, certaines configurations topographiques pouvaient entraîner des amplifications notoires d'un signal sismique, entraînant une augmentation locale de l'intensité du tremblement de terre. Il s'agit de zones de rupture de pente, de crête, de bordure de plateau, de sommet.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de méthode validée ou de modèle opérationnel permettant une évaluation des amplifications du signal sismique liées à la topographie.

Toutefois, les règles parasismiques PS-92 (et également les EC8) tiennent compte de ces effets par l'application d'un coefficient multiplicateur d'amplification pour les ouvrages se trouvant dans les situations topographiques listées précédemment.

Ce coefficient τ (Tau) varie entre 1 (pas d'augmentation des accélérations des spectres de dimensionnement) et 1,4 (majoration de 40 % des accélérations). Il est obtenu à l'aide de formules empiriques basées sur l'analyse de profils topographiques bidimensionnels. Bien que la prise en compte des effets topographiques soit similaire dans les règles parasismiques PS-92 et EC8, le calcul du coefficient τ est décrit de façon plus explicite dans les règles PS-92. Nous nous sommes donc appuyés, dans ce chapitre, sur les règles PS-92.

5.2. PRINCIPE DE LA REGLEMENTATION

Le principe du calcul du coefficient τ est le suivant (d'après les règles PS92).

Si l'on considère une arête B délimitant un versant aval de pente l (tangente de l'angle de pente) et un versant amont de pente i (Figure 38), et si :

- $H \geq 10$ m (H étant la hauteur de l'arête au-dessus de la base du relief) ;
- $i \leq l/3$;

Alors le coefficient τ prend la valeur :

- $\tau = 1$ pour $l-i \leq 0,40$;
- $\tau = 1+0,8(l-i-0,4)$ pour $0,40 \leq l-i \leq 0,90$;
- $\tau = 1,40$ pour $l-i \geq 0,90$.

l et i sont pris en valeur algébrique.

Sur le tronçon BC du versant amont défini par la longueur b de sa projection horizontale (exprimée en mètres) :

$$b = \text{minimum de } 20 \times l \text{ ou de } (H+4)/10$$

La valeur de τ fait l'objet d'un raccordement linéaire entre les valeurs 1 et le long des tronçons AB et CD de longueur :

- $a = AB = H/3$;
- $c = CD = H/4$.

Enfin, τ prend la valeur 1 à l'aval du point A et à l'amont du point D.

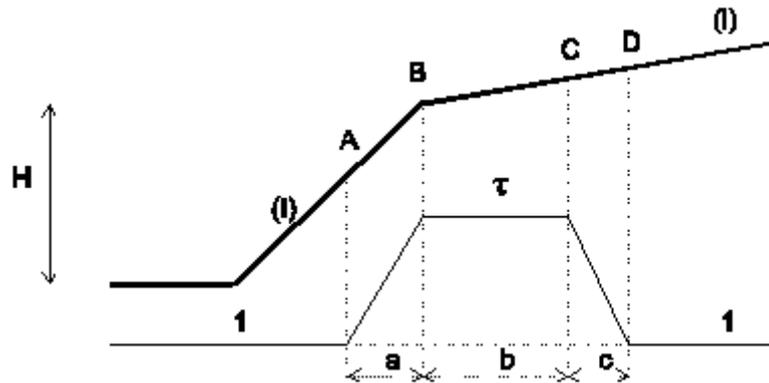
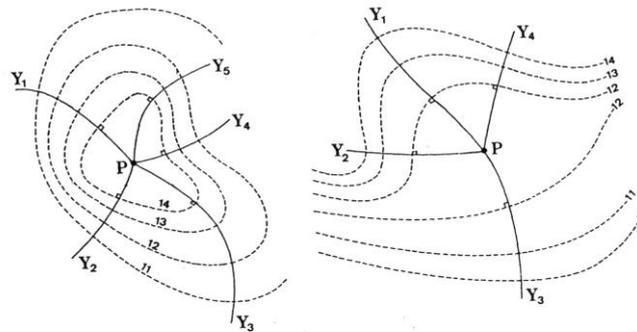


Figure 38 : Principe de calcul du coefficient τ pour l'évaluation des effets de site topographiques.

La détermination de H laisse une certaine part à l'appréciation. À titre indicatif, on peut considérer comme base du relief le point en dessous duquel la pente générale du site devient inférieure à 0,4.

La Figure 39 montre, pour un point de calcul, les différents profils sur lesquels il est possible de calculer le coefficient τ . On voit que selon le profil pris en compte, la valeur de τ va pouvoir varier sensiblement. C'est le profil le plus défavorable qui doit être utilisé pour le calcul.



Le profil à considérer est le plus défavorable des profils composites $Y_i P Y_j$.

Figure 39 : Choix des profils pour le calcul du coefficient τ .

5.3. EVOLUTION DE LA CONNAISSANCE ET DE LA REGLEMENTATION

Les résultats des campagnes de mesures (sismographes, vélocimètres, accéléromètres) ont été parfois en contradiction avec ceux qui étaient attendus.

Lors du récent séisme du Salvador en 2001, des zones affectées par des effets de site topographiques ont été identifiées. Le calcul a posteriori du coefficient des règles PS92 (avec

les données topographiques disponibles) s'est avéré dans certains cas en contradiction avec les observations.

La modélisation du phénomène reste donc encore largement du domaine de la recherche et le coefficient défini dans les règles parasismiques n'est pas satisfaisant du point de vue théorique. En outre, sa valeur est étroitement liée à la précision des données topographiques utilisées pour le calcul.

Malgré tout, l'application des règles parasismiques PS92 et EC8 impose l'emploi du coefficient τ pour la construction d'ouvrages.

5.4. CARTOGRAPHIE

Dans le cadre d'une cartographie à l'échelle communale ou supérieure, les profils ne peuvent être multipliés indéfiniment. Il est donc nécessaire d'adapter ces règles. Par conséquent, sur le territoire étudié, les effets de site topographiques sont représentés par un zonage binaire du coefficient, c'est-à-dire en distinguant les zones sans amplification (coefficient égal à 1) de celles où une modification du signal est possible (coefficient supérieur à 1).

Ce coefficient a été calculé en tout point du territoire d'étude par le programme *SUPER* du BRGM, qui reprend le principe de calcul des règles PS92 françaises, et calcule la valeur de τ en chaque maille du modèle numérique de terrain (MNT). Pour ce faire, nous avons considéré en premier lieu le MNT au pas de 50 mètres élaboré par interpolation des points de restitution photogrammétrique réalisé par la société OPSIA en 2006 sur les secteurs urbanisés de Saint-Martin. Dans un second temps, et afin de compléter les calculs ainsi réalisés sur les secteurs non-urbanisés de la commune, nous avons traduit en MNT au pas de 50 mètres les courbes de niveaux à 5 mètres transmises par la DEAL.

Les zones d'amplification du mouvement par effet de site topographique sont localisées au niveau de crêtes, de barres rocheuses ou de versants présentant une forte pente.

Compte tenu de l'ensemble de ces remarques et afin de tenir compte de l'effet topographique comme préconisé par le Guide Méthodologique des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) Risques Sismiques (2002), nous préconisons de fixer un facteur multiplicatif forfaitaire $\tau = 1.4$ sur les mouvements sismiques définis sous la forme de spectres en accélération pour toutes les zones concernées par une amplification topographique selon la démarche proposée. La cartographie des zones susceptibles de présenter un effet de site topographique se faisant de façon qualitative (nous ne distinguons pas les différentes valeurs du coefficient τ puisque celui-ci ne correspond pas à une estimation physique du phénomène), nous préconisons volontairement le facteur multiplicatif le plus pénalisant pour tenir compte de l'effet topographique.

Les différentes zones susceptibles de présenter un effet de site topographique sont présentées sur la Figure 40.

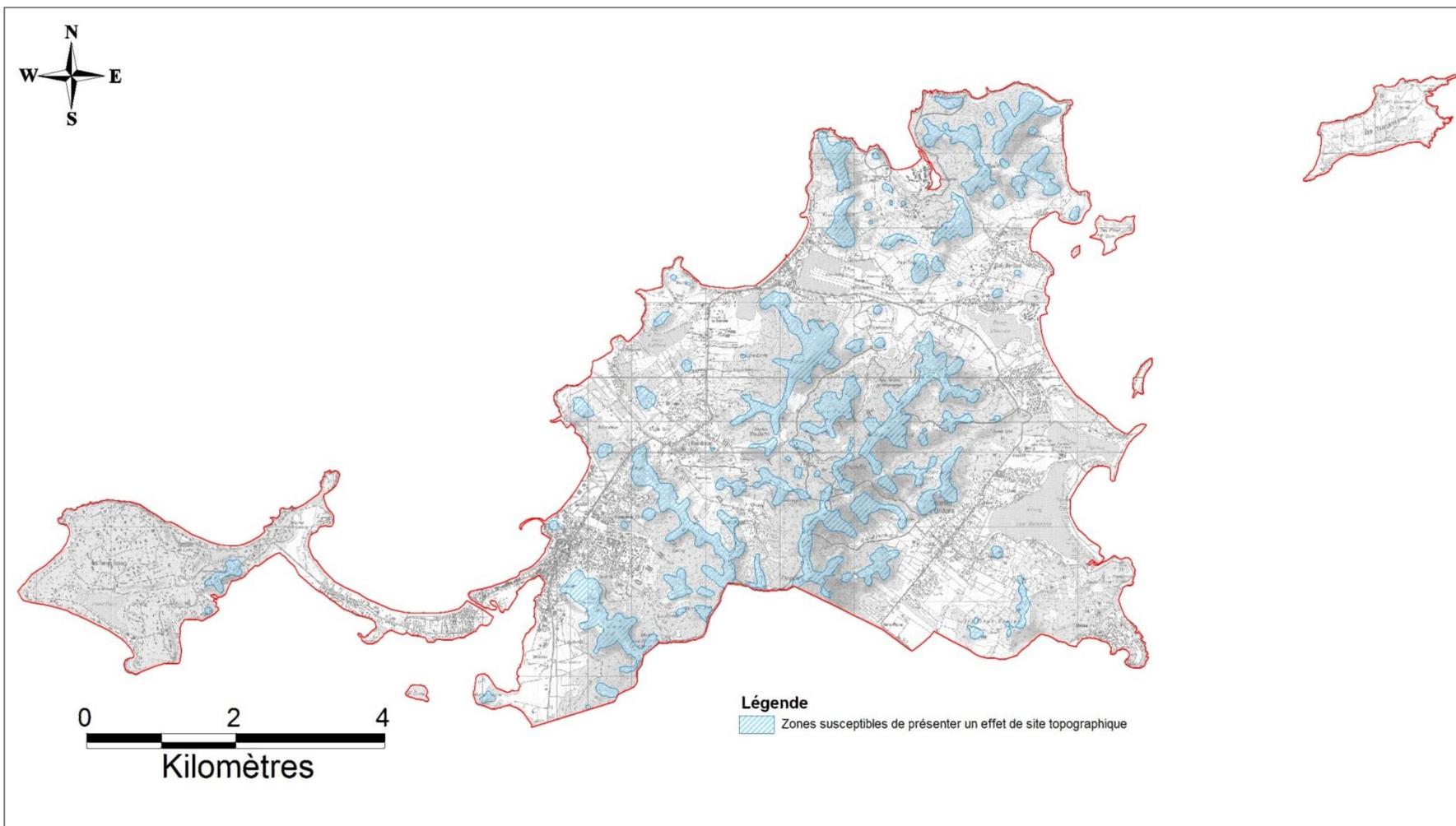


Figure 40 : Zonage des effets de site topographiques possibles sur la collectivité de Saint-Martin.

6. Aléa liquéfaction

6.1. DÉFINITIONS

En géotechnique, on appelle liquéfaction le processus de modification de l'état d'un sol, le faisant passer d'une consistance solide et stable au repos, à un état liquide et instable lors d'une sollicitation dynamique. De manière plus spécifique, la transformation de l'état solide à l'état liquide étudiée dans le cadre du présent rapport se fait par augmentation de la pression interstitielle, lors d'un chargement cyclique consécutif à un séisme.

L'augmentation de la pression interstitielle a pour conséquence une diminution des contraintes effectives régnant dans le sol et donc une diminution de sa résistance au cisaillement qui, à l'état ultime, peut devenir nulle : le sol passe alors à l'état liquide.

Comme l'indique l'Eurocode EC8-5 paragraphe 4.1.4, « une évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction doit être effectuée lorsque le sol de fondation comprend des couches étendues ou des lentilles épaisses de sable lâche, avec ou sans fine silteuses ou argileuses, au-dessous du niveau de la nappe phréatique, et lorsque ce niveau est proche de la surface du sol ».

6.2. RÉGLEMENTATION ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

En France, les documents de référence et les normes en vigueur pour l'évaluation du risque de liquéfaction, et plus particulièrement pour la réalisation de microzonages sismiques, sont les suivants :

- AFPS, 1993 – Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique
- Norme NF P06-013 (DTU) : règles PS 92. Valable jusqu'au 01/01/2014.
- Norme NF EN 1998-5 : Eurocode 8, partie 5. Valable depuis mars 2010.

Par ailleurs, pour les Antilles, l'AFPS a édité un guide pour les maisons individuelles : « *Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles - Guide CPMI Antilles* » - Recommandations AFPS - tome IV – nouvelle édition 2004. Ce guide reprend en partie et simplifie les règles PS92 pour les projets de « petite » taille tels que les maisons individuelles.

L'ensemble du cadre réglementaire parasismique est résumé sur une plaquette éditée par le ministère : « *La nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1er mai 2011* », (MEDDTL – DGA, édition janvier 2011).

Notons également la parution du guide technique de l'AFPS présentant les « *procédés d'amélioration et de renforcement de sol sous actions sismiques* ». Ce guide complète et précise l'Eurocode 8 pour ce qui concerne l'évaluation de la liquéfaction.

Le document scientifique de référence pour l'évaluation chiffrée du risque de liquéfaction est le suivant : Youd *et al.*, 2001 – "*Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soil*". Le guide technique de l'AFPS indiqué ci-dessus apporte aussi des directives pour cette évaluation, reprenant pour la plupart les orientations de Youd *et al.*

6.3. CONNAISSANCES PRÉALABLES A L'ÉTUDE

Un zonage de l'aléa liquéfaction a été réalisé dans le cadre du projet de PPR de la collectivité, approuvé en 2008. Celui-ci est présenté dans la Figure 41.

Comme on le remarque sur cette figure, un important linéaire côtier est caractérisé par un aléa liquéfaction moyen. Un peu plus dans les terres, quelques zones sont affectées d'un aléa faible.

La note méthodologique associée au projet de PPR (rapport GTR/DDEG/0508-484 AV2) décrit les formations susceptibles de se liquéfier :

- « les plages sableuses et cordons sableux sont les formations les plus suspectes vis-à-vis de la liquéfaction,
 - o d'autant plus qu'il s'agit de cordons bien développés,
 - o avec une suspicion accrue pour les anses abritées favorisant des dépôts sableux de moindre énergie : plus fins et homogènes,
- les formations colluviales fines et les formations de plages plus grossières peuvent également contenir des horizons localisés suspects vis-à-vis de la liquéfaction,
- les formations des lagunes sont souvent fines et plastiques. Leur susceptibilité à la liquéfaction est faible à moyenne. »

De même, ce rapport indique les niveaux d'aléa affectés à ces formations :

- moyen pour les plages sableuses et cordons sableux,
- faible ou moyen pour les lagunes et anciennes lagunes comblées,
- faible pour les plages avec des matériaux plus grossiers ou hétérogènes,
- faible pour les alluvions,
- négligeable sur le reste du territoire.

6.4. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE APPLIQUÉE DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE

Conformément au cahier des charges du projet, la méthodologie suivante a été suivie :

- Une étude qualitative de la susceptibilité à la liquéfaction, à partir de critères permanents géologiques et hydrogéologiques, a été menée sur l'ensemble du territoire. Cette étude se base essentiellement sur les données disponibles (géologie, géotechnique, géophysique),

- Dans les zones urbanisées et urbanisables, définies par le POS de la collectivité, une étude plus poussée est menée de manière à mieux définir les périmètres des zones liquéfiables et à quantifier le niveau d'aléa. Des reconnaissances complémentaires géotechniques ont été entreprises dans ce cadre pour compléter l'information disponible.

Compte-tenu de cette méthodologie, nous avons appliqué les études plus poussées à l'ensemble des zones du projet de PPR caractérisées par des niveaux d'aléa liquéfaction faible ou moyen.

La susceptibilité qualitative a été évaluée suivant les règles PS92, à partir de paramètres d'identification des terrains (granulométrie, teneur en eau, limites d'Atterberg) : Cette méthodologie demande à vérifier un nombre de critères pour les différents types de sols. A savoir :

a) Pour les sables, sables vasards et limons :

1. Si la saturation en eau S_r est voisine de 100% ;
2. Si le coefficient d'uniformité C_u de la courbe granulométrique est inférieur à 15 ;
3. Si le diamètre médian D_{50} correspond à un sable fin à moyen (entre 0.05 et 1.5 mm) ;
4. Si les charges verticales résistantes par le sol en l'état final du projet sont limitées en fonction de la zone sismique:

b) Pour les sols argileux :

1. Si moins de 15% de la masse du sol correspond à des sols fins : $D_{15} > 5\mu$;
2. Si la limite de liquidité du sol $w_L < 35\%$;
3. Si la teneur en eau du sol est voisine de la limite de liquidité : $w > 0,9 \cdot w_L$;
4. Si le sol se trouve au-dessus de la droite « A » du diagramme de plasticité.

c) Critères d'exclusion :

Peuvent *a contrario* être considérés comme exempts de risque, les sols vérifiant :

- Soit plus de 90% de la masse du sol correspondant à des graviers : $D_{10} > 2mm$;
- Soit plus de 70% de la masse du sol correspondant à des limons et argiles $D_{70} < 74\mu m$ en présence d'une plasticité moyenne à élevée ($I_p > 10\%$)

L'évaluation quantitative a été réalisée à partir des résultats d'essais CPTu, en utilisant la méthode proposée par Robertson et Wride (1998), adaptée suivant les recommandations du groupe d'experts rassemblés lors du congrès du NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) et du guide sur les « *procédés d'amélioration et de renforcement de sol sous actions sismiques* » établi par l'AFPS,

qui se base sur la définition du taux de contrainte cyclique moyen nécessaire pour avoir la liquéfaction CRR : $\left(\frac{\tau_L}{\sigma'_v} \right)_\ell$

La méthodologie permettant l'évaluation de la susceptibilité qualitative et quantitative à la liquéfaction, ainsi que les notations utilisées par la suite sont détaillées en Annexe 4.

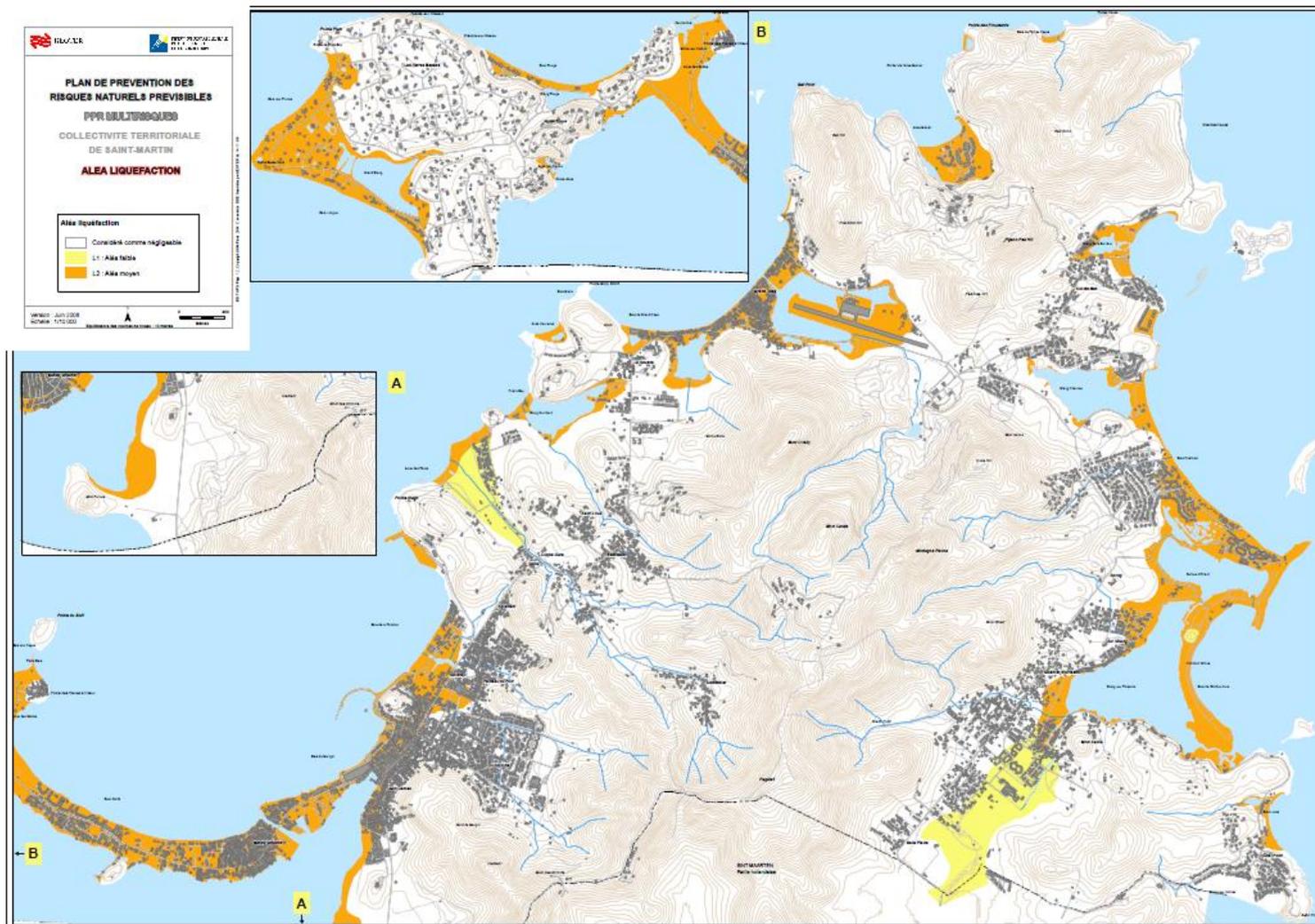


Figure 41 : PPR Multirisques - Aléa liquéfaction

6.5. APPRÉCIATION DE LA SUSCEPTIBILITE QUALITATIVE DE LIQUÉFACTION

Dans ce qui suit, la zone d'étude s'entend comme l'ensemble des zones du projet de PPR caractérisées par des niveaux d'aléas liquéfaction faible ou moyen.

Pour en apprécier la susceptibilité qualitative à la liquéfaction, chaque formation géologique identifiée sur la zone d'étude est examinée sur la base de critères relatifs à l'identification des sols (teneur en eau, granulométrie, limites d'Atterberg - voir le détail en Annexe 4).

A cette fin, nous avons exploité les données géologiques et géotechniques d'archives, ainsi que les nouvelles données acquises spécifiquement par la campagne de reconnaissance complémentaire.

6.5.1. Conditions hydrogéologiques

Un des critères pour qu'un sol soit liquéfiable sous contrainte sismique est son degré de saturation. Par conséquent, la position de la nappe est un paramètre important d'étude pour juger de la susceptibilité d'un terrain vis-à-vis de la liquéfaction.

Les formations susceptibles de liquéfier sont, par nature, situées dans les zones basses et littorales, où le niveau de la nappe est souvent contraint par le niveau marin. Compte tenu de la topographie, le toit des nappes sont proches de la surface, ce qui est confirmé par les quelques forages qui sont renseignés en termes de position de la nappe. Toutefois, nous n'avons pas pu obtenir des informations sur l'évolution du niveau de celle-ci au cours du temps. En conséquence, on restera sur une hypothèse conservatrice, qui est de considérer que l'ensemble des terrains de la zone sont susceptibles d'être sous la nappe, et qu'ils présentent un degré de saturation proche de 100 %.

6.5.2. Procédure d'évaluation

L'évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction suivant les Eurocodes 8 Partie 5, exige de posséder les résultats d'essais in situ (pénétration standard (SPT) ou pénétration au cône (CPT)), ainsi que la détermination des courbes granulométriques en laboratoire. Si ces dernières sont dans plusieurs cas disponibles en archives, seul 2 sites de la zone d'étude possèdent en archives des résultats d'essais SPT à quelques mètres de profondeur, et aucun essai CPT. Ainsi, compte-tenu des informations à notre disposition, l'utilisation précise des critères d'évaluation des Eurocodes 8 dans le cas de la collectivité de Saint Martin n'aurait permis une évaluation qualitative de la liquéfaction que dans 2 zones de la zone d'étude. De ce fait, nous avons choisi d'appliquer les critères définis dans les règles PS92, en vigueur jusqu'au 1^{er} janvier 2014.

Ces règles définissent de manière précise des critères d'inclusion / exclusion sur les paramètres d'identification (teneur en eau, courbe granulométrique, limites d'Atterberg). Les résultats de tels essais sont disponibles en archive et permettent donc l'évaluation qualitative de la liquéfaction des formations définies au paragraphe suivant.

. Le graphique ci-dessous rappelle les principes des critères (cf chapitre 6.4) utilisés.

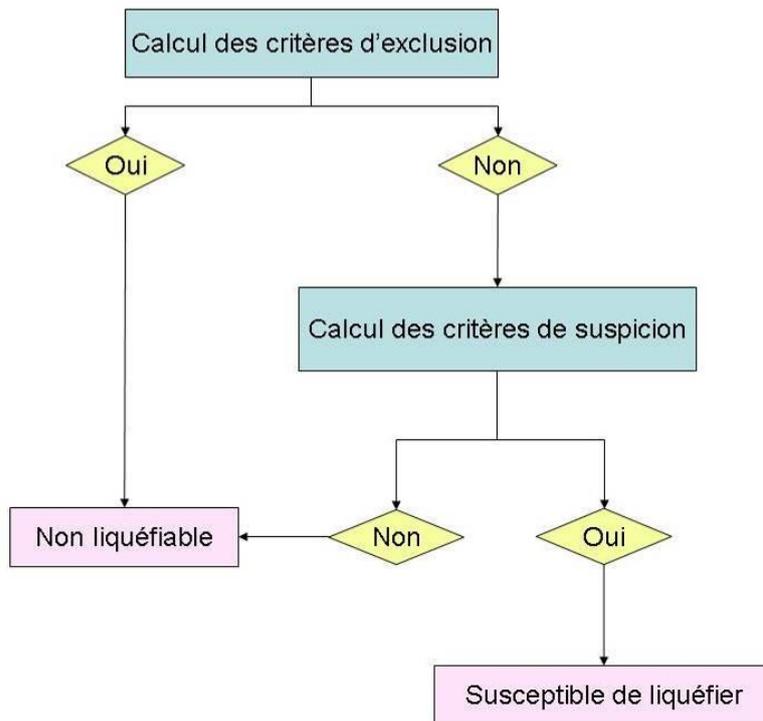


Figure 42 : Principe des critères de susceptibilité à la liquéfaction.

6.5.3. Analyse géologique préliminaire

L'analyse géologique réalisée sur les formations présentes sur la zone d'étude a identifié les formations suivantes (voir chapitre 4.1.4) :

- les formations superficielles :
 - les dépôts marins sableux des cordons littoraux ;
 - les dépôts d'alluvions sablo-graveleux dans les ravines et rivières,
 - les dépôts argilo-vaseux autour des étangs ;
 - les argiles issues de l'altération climatique ;
- les formations du substratum sismique, d'origine volcano-sédimentaire.

De par leur définition même, les formations du substratum sismique ne peuvent être sujettes aux phénomènes de liquéfaction, dans la mesure où elles présentent un caractère rocheux, voire au minimum une bonne résistance mécanique au sens des règles PS92.

De ce fait, seules les formations superficielles font l'objet d'une évaluation du risque de liquéfaction.

6.5.4. Les sables des cordons littoraux

Ces terrains correspondent aux formations superficielles de la zone 7 du zonage géotechnique et géophysique (voir chapitre 4). Dans cette zone, on trouve généralement 10 à 20 m de sables de plage en surface.

La susceptibilité qualitative à la liquéfaction est établie à partir des résultats d'essais d'identification en laboratoire.

L'étude bibliographique a permis de collecter plusieurs résultats d'essais en laboratoire utiles pour la caractérisation de ces formations vis-à-vis de leur susceptibilité qualitative à la liquéfaction. Nous avons aussi utilisé les résultats d'essais en laboratoire sur les échantillons prélevés lors des forages des reconnaissances complémentaires réalisés dans le cadre de cette étude.

. Pour les 10 échantillons de sables pour lesquels l'ensemble des données nécessaires à l'évaluation qualitative est disponible, les critères sont vérifiés comme suit :

- 4 échantillons vérifient les 4 critères de susceptibilité qualitative à la liquéfaction,
- 5 échantillons vérifient 3 critères sur 4 (le critère non vérifié est toujours $Cu < 15$),
- 1 échantillon vérifie seulement 2 critères sur 4.

Pour 12 échantillons, nous ne disposons pas des courbes granulométriques permettant de vérifier les critères. Pour 4 échantillons, l'analyse sédimentométrique n'a pas été réalisée, ce qui nous empêche de calculer la valeur de Cu est donc de déterminer précisant si les critères sont vérifiés ou non ; cependant ces 4 échantillons vérifient les 3 autres critères.

Les résultats exposés ci-dessus permettent de **confirmer la susceptibilité qualitative** de ces formations sableuses à la liquéfaction.

6.5.5. Les dépôts alluvionnaires sablo-graveleux de rivières

Ces terrains correspondent aux formations superficielles de la zone 8 du zonage géotechnique et géophysique (voir chapitre 4). Dans cette zone, on trouve généralement environ 10 m d'éboulis et colluvions dans une matrice sableuse.

La susceptibilité qualitative à la liquéfaction est établie à partir des résultats d'essais d'identification en laboratoire.

L'étude bibliographique a permis de collecter les résultats d'essais en laboratoire sur un seul site, entre Terres Basses et Sandy Ground, malheureusement ces résultats ne donnent pas la courbe granulométrique et les limites d'Atterberg n'ont pas été mesurées sur les échantillons argileux. De ce fait, ces échantillons ne peuvent être utilisés pour l'évaluation de la liquéfaction. Deux autres sites ont été ciblé par les reconnaissances complémentaires (M1 à l'extrémité ouest des Terres Basses et M10, à proximité de l'Étang aux Poissons) ; ils ont fait l'objet de 4 prélèvements d'échantillons étudiés en laboratoire et de 2 essais CPT, utiles à l'estimation quantitative de l'aléa liquéfaction (voir paragraphe suivant).

Les échantillons issus de la reconnaissance complémentaire correspondent d'une part à des sables et d'autre part à des éboulis graveleux. Ils vérifient tous 3 critères sur 4 (critère $Cu < 15$ non vérifié).

Les résultats obtenus sur ces échantillons permettent de préciser que les formations que l'on peut rencontrer dans ce type de terrain peuvent être **considérées comme susceptibles à la liquéfaction**.

6.5.6. Les dépôts argilo-vaseux

Ces terrains correspondent aux formations superficielles de la zone 9 du zonage géotechnique et géophysique (voir chapitre 4). Dans cette zone, on trouve en surface 5 à 10m de vase sableuse, surmontant des terrains sableux d'environ 5m d'épaisseur.

La susceptibilité qualitative à la liquéfaction est établie à partir des résultats d'essais d'identification en laboratoire.

L'étude bibliographique a permis de collecter les résultats d'essais en laboratoire pour 2 études, l'une à Marigot, l'autre à Grand-Case. Nous avons aussi utilisé les résultats d'essais en laboratoire sur les échantillons prélevés lors des forages des reconnaissances complémentaires réalisés dans le cadre de cette étude (M7 à l'ouest de l'Etang Chevrise, et M9 au nord de l'Etang aux Poissons).

Les études collectées en bibliographie donnent les résultats pour 4 échantillons, dont 3 sont à dominante argileuse. Pour les 3 échantillons issus des reconnaissances complémentaires, le log lithologique indique des argiles plus ou moins sableuses ; néanmoins, l'analyse de la courbe granulométrique nous a permis de les reclasser comme sables, et ce sont donc les critères relatifs à cette lithologie qui ont été vérifiés pour ces 3 échantillons.

Pour les 4 échantillons de sables pour lesquels l'ensemble des données nécessaires à l'évaluation qualitative est disponible, les critères sont vérifiés comme suit :

- 1 échantillon vérifie les 4 critères de susceptibilité qualitative à la liquéfaction,
- 3 échantillons vérifient 3 critères sur 4 (le critère non vérifié est toujours $Cu < 15$),

Pour les 3 échantillons argileux (argiles tourbeuses à tourbe argileuse) nous ne disposons jamais des résultats de granulométrie nécessaires à une évaluation complète ; seules les limites d'Atterberg ont été mesurées pour 2 des 3 échantillons. Ces résultats permettent de calculer qu'un des échantillons ne vérifie aucun des critères sur les 3 vérifiables, et l'autre vérifie 1 seul des 3 critères.

À partir de ces quelques résultats, il apparaît qu'on peut considérer :

- les dépôts argileux comme **non susceptibles à la liquéfaction**,
- les dépôts sableux comme **susceptibles à la liquéfaction**.

Néanmoins, comme précisé ci-dessus, des échantillons identifiés comme argileux dans le log lithologique, au cours du forage, peuvent, à partir des résultats de l'analyse granulométrique, être finalement de type plutôt sableux. Il est donc difficile d'estimer la susceptibilité à la liquéfaction de ces terrains en se basant uniquement sur la lithologie définie par le log lithologique. De ce fait, nous sommes contraints d'estimer **l'ensemble des formations de cette zone comme susceptible à la liquéfaction**.

6.5.7. Les argiles d'altération

La liquéfaction est un phénomène se développant dans les formations de sables lâches, avec ou sans fine silteuses ou argileuses (définition des Eurocodes 8). De ce fait, on peut considérer que les **argiles issues de l'altération des formations volcaniques ne sont pas susceptibles de se liquéfier**.

6.5.8. Synthèse

L'analyse de la susceptibilité des différentes formations à la liquéfaction, compte-tenu des résultats à notre disposition, ont permis d'établir que :

- les sables des cordons littoraux présentent toutes les caractéristiques pour être susceptibles à la liquéfaction ;
- les dépôts vaseux s'avèrent susceptibles quand ils sont à dominante sableuse et non susceptibles quand ils sont à dominante argileuse ; néanmoins, la description des terrains faite dans les logs lithologiques ayant généralement tendance à augmenter la proportion de fines, et donc à indiquer des formations argileuses là où la granulométrie permet d'identifier des formations sableuses, l'ensemble de ces dépôts sera considéré comme susceptible pour aller dans le sens de la sécurité,
- les résultats d'essais disponibles sur les formations alluvionnaires sablo-graveleuses montrent que ces formations peuvent être considérées comme susceptibles à la liquéfaction.

Ces résultats étant maintenant établis, une analyse quantitative de la liquéfaction des terrains est réalisée au moyen des résultats d'essais *in situ*, dans les zones urbanisées et urbanisables définies par le POS de la collectivité.

6.6. ESTIMATION QUANTITATIVE DE LA SUSCEPTIBILITE À LA LIQUEFACTION SUR LES ZONES URBANISEES ET URBANISABLES

Comme prévu au cahier des charges de cette étude, des reconnaissances complémentaires ont été menées de façon à estimer quantitativement la liquéfaction sur les zones urbanisées et urbanisables définies par le POS de la collectivité.

Cette analyse quantitative est réalisée au moyen des résultats des essais CPTu. Ces reconnaissances sont détaillées dans le rapport géotechnique fourni en Annexe 3.

Les quartiers ayant fait l'objet d'un essai de ce type, ainsi que le numéro de zone qui lui est affecté par le zonage géotechnique et géophysique détaillé au chapitre 4 sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Identification	Quartier	Numéro de zone	Type de zone
M1	Pointe Basse-Terre	8	Fond de plage
M2	Sandy Ground	7	Cordon littoral
M3	Marigot	7	Cordon littoral
M4	Ravine du Colombier	8	Fond de vallée
M5	Grand-Case Nord	9	Ancienne lagune
M6	Grand-Case Sud	9	Ancienne lagune
M7	Ouest Etang Chevrise	9	Ancienne lagune
M8	Anse Marcel	7	Cordon littoral
M9	Nord Etang aux Poissons	9	Ancienne lagune
M10	Ouest Etang aux Poissons	8	Eboulis de pente

Tableau 25 : Liste de reconnaissances CPTu sur Saint-Martin.

Nous avons utilisé la méthode proposée par Robertson et Wride (1998), adaptée suivant les recommandations du groupe d'experts rassemblés lors du congrès du NCEER (National Center

for Earthquake Engineering Research) et constituant la référence dans ce domaine pour les ingénieurs d'Amérique du Nord, et suivant les recommandations du guide sur les « *procédés d'amélioration et de renforcement de sol sous actions sismiques* » établi par l'AFPS.

Cette méthode, présentée en détail en annexe, vérifie d'un côté la résistance du sol aux sollicitations sismiques (le paramètre CRR, *Cyclic Resistance Ratio*) à partir des caractéristiques mécaniques mesurées in-situ (dans notre cas les essais CPTu disponibles) et la compare avec sollicitation sismique, représentée à la fois par la magnitude du séisme de référence et son accélération en surface. On combine ces différents paramètres pour établir par la suite un facteur de sécurité FS à chaque profondeur de la lithologie. En intégrant FS avec la profondeur, nous pouvons obtenir la valeur de la sévérité de la liquéfaction I_L , qui est présentée dans le Tableau 26.

L'accélération maximale sur site considérée pour le calcul est de 0,24 g. La magnitude M_W du séisme de référence est prise égale à 6,5.

La lithologie des différentes couches est évaluée en considérant les valeurs calculées des paramètres de résistance de pointe q_s et frottement f_s des essais CPTu (cf. diagrammes en annexe) et l'abaque proposé par Robertson (1990) (en annexe). Une seule valeur de poids volumique a été considérée, quel que soit la lithologie du sol, à savoir 18 kN/m³.

Précisons que l'Eurocode 8 ne précise pas la méthode à utiliser en particulier, mais préconise l'utilisation de « méthodes reconnues d'ingénierie géotechnique, basées sur des corrélations expérimentales entre mesures *in situ* et contraintes critiques de cisaillement cyclique dont on sait qu'elles ont causé une liquéfaction lors de séismes passés ». Quant aux règles PS92, elles précisent que les essais SPT et les essais CPT « peuvent être utilisés pour le diagnostic des sols liquéfiables lorsqu'il existe pour le type d'appareil utilisé des corrélations bien établies entre les indications de l'essai et la liquéfaction ou la non-liquéfaction des sols ». La méthode utilisée ici répond bien à ces exigences.

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs de l'indice I_L pour chacun des essais CPT. Les résultats détaillés sont présentés en Annexe 4.

	Zone	Profondeur maximale atteinte (m)	Arrêt au refus ?	I_L liquéfaction	Niveau d'aléa
CPTuM1	8	4,4	oui	2,8	Aléa faible Liquéfaction peu probable
CPTuM2	7	9,95	oui	21,8	Aléa fort Liquéfaction quasi certaine
CPTuM3	7	3,05	oui		Pas d'évaluation possible
CPTuM4	8	0,6	oui		Pas d'évaluation possible
CPTuM5	9	5,85	oui	0,8	Aléa faible Liquéfaction peu probable
CPTuM6	9	1,9	oui		Pas d'évaluation possible
CPTuM7	9	4,4	oui	3,5	Aléa faible Liquéfaction peu probable

CPTuM8	7	15,5	oui	5,6	Aléa moyen Liquéfaction probable
CPTuM9	9	7,2	oui	2,5	Aléa faible Liquéfaction peu probable
CPTuM10	8	1,1	oui		Pas d'évaluation possible

Tableau 26 : Valeur de l'indice global de liquéfaction I_L pour chaque sondage pénétrométrique

Les essais ayant présenté un refus prématuré n'ont pas fait l'objet d'un calcul de l'indice I_L . Pour les forages ayant présentés un refus avant 2 mètres de profondeur, des essais de pénétration dynamique ont été réalisés à proximité pour confirmer le refus non sur un élément ponctuel mais sur une formation compacte.

Compte-tenu des résultats de ces essais, on en déduit les conclusions suivantes :

- Seul l'essai CPTuM2, situé à Sandy Ground, donne un aléa fort à la liquéfaction (aléa fort à partir de $I_L = 15$), et le CPTuM8 donne un aléa moyen ; on considère donc que sur cette zone le niveau d'aléa est fort,
- Tous les autres essais CPTu donne des valeurs de I_L comprises entre 0,8 et 3,5, ce qui correspond à des niveaux d'aléa faibles.

6.7. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIQUÉFACTION

Sur la base de l'analyse précédemment réalisée, on retient donc un niveau d'aléa fort pour le cordon littoral de Sandy Ground, et des niveaux d'aléa faible pour tous les autres secteurs dans les zones 7, 8 et 9.

Aucun élément au cours de cette étude ne nous a conduits à modifier de façon importante les limites de zone proposées par le projet de PPR quant aux formations liquéfiables. De ce fait, le reste du territoire (non identifié par le projet de PPR comme présentant un aléa liquéfaction) voit son niveau d'aléa rester identique, à savoir négligeable.

6.8. PRÉCONISATIONS EN TERMES D'ÉTUDES DE SOL

Le zonage géologique, géotechnique et géophysique réalisé dans le cadre de cette étude, ainsi que les résultats des reconnaissances complémentaires réalisées sur la zone, ont permis d'établir différentes zones avec un aléa liquéfaction faible à fort.

De ce fait, il est recommandé d'en tenir compte vis-à-vis de l'urbanisation de ces zones. À ce titre, dans les zones d'aléa faible, nous recommandons d'effectuer, lors de tout nouveau projet d'aménagement, une reconnaissance des lithologies du site au moyen de forages destructifs. Si la présence d'importantes couches de formations sableuses était mises à jour, une étude de sol plus poussée pourra s'avérer nécessaire. On s'attachera alors dans un premier temps à évaluer la susceptibilité de ces terrains à la liquéfaction, et en cas de susceptibilité avérée à une quantification de cette susceptibilité par les essais mécaniques adéquats. Dans la zone d'aléa fort, l'étude de sol avec réalisation d'essais CPT ou SPT s'avère nécessaire systématiquement, du fait de l'importante couche de sable attendue sur cette zone. Ces essais permettront une estimation locale de l'indice de liquéfaction, et une identification précise des profondeurs des formations liquéfiables de façon à adapter au mieux les solutions d'amélioration et de renforcement des sols vis-à-vis de cet aléa.

En cas de liquéfaction avérée dans l'une ou l'autre zone, les règles Eurocodes 8 devront être respectées, en veillant à l'application de mesures compensatoires, comme le traitement des sols ou le renforcement des fondations.

7. Aléa mouvements de terrain

7.1. GENERALITES

7.1.1. Contexte général de l'étude

Les séismes induisent des phénomènes de mouvements de terrain (glissements, éboulements, chute de blocs). Ces mouvements de terrain peuvent être à l'origine de dégâts bien plus importants que ceux provoqués directement par les vibrations du sol. Ce fut par exemple le cas lors du séisme du Salvador de janvier 2001, et plus récemment en Guadeloupe lors du séisme des Saintes (aux Saintes et au sud de la Basse-Terre). Les mouvements de terrain ne sont cependant pas exclusivement provoqués par les séismes. Ils peuvent également être engendrés par les fortes pluies et/ou par l'action de l'homme.

La définition de l'aléa Mouvement de terrain nécessite la prise en compte des sollicitations sismiques et hydro-pluviométriques.

La collectivité de Saint-Martin a fait l'objet d'un atlas communal des risques naturels en 1996 (référéncés A6386) puis d'un plan de prévention des risques (PPR) approuvé en 2011 (Cloarec et al. 2008). En l'absence d'évolution méthodologique et de données nouvelles significatives, une réévaluation de l'aléa n'a pas été jugée nécessaire dans le cadre de cette étude.

Les principaux éléments du PPR concernant cet alea sont toutefois rappelés dans les chapitres suivants.

7.1.2. Typologie des mouvements de terrain

Définition et typologie en général

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire plus ou moins rapide, de masses de terrain. Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types de phénomènes d'instabilité, variables en fonction du mécanisme mis en jeu (lié à la nature de la surface de rupture, à la désorganisation des terrains, etc.) et des vitesses de déplacement. Cette variabilité traduit la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement (structure géologique, géométrie des réseaux de fractures, caractéristiques des nappes aquifères, etc.).

Les mouvements de terrain résultent d'un ou plusieurs facteurs déclenchants, tels que :

- Le « vieillissement » naturel des terrains (érosion, altération...);
- L'action de l'eau (modification des caractéristiques mécaniques des terrains après saturation en eau lors de fortes pluies, érosion liée aux écoulements, dissolution...);
- L'action anthropique (terrassement ou déboisement entraînant des modifications des caractéristiques géométriques des terrains, exploitation de matériaux, rejets d'eau non contrôlés...),
- Les sollicitations sismiques.

Selon le PPR, Saint-Martin est concerné par plusieurs types de mouvement de terrain, qui peuvent être distingués selon la vitesse de déplacement :

- les **mouvements lents**, pour lesquels la déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale :
 - le **fluage** de matériaux plastiques sur faible pente ;
 - Certains **glissements**, qui correspondent au déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (marnes et argiles) ;
- les **mouvements rapides** qui peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, **en masse**, ou à **l'état remanié**.
 - Le premier groupe comprend :
 - les **effondrements**, qui résultent de la rupture brutale de voûtes de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans atténuation par les terrains de surface ;
 - les **chutes de pierres** ou de blocs provenant de l'évolution mécanique de falaises ou d'escarpements rocheux très fracturés ;
 - les **éboulements** ou écroulements de pans de falaises ou d'escarpements rocheux selon les plans de discontinuité préexistants ;
 - certains **glissements**, notamment rocheux.
 - Le second groupe comprend :
 - les **laves torrentielles**, qui résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses ou fluides dans le lit de torrents de montagne ;
 - les **coulées boueuses**, qui proviennent généralement de l'évolution du front des glissements. Leur mode de propagation est intermédiaire entre le déplacement en masse et le transport fluide ou visqueux.

7.2. RESUME DU PPR MOUVEMENTS DE TERRAIN

Le zonage du PPR distingue quatre niveaux d'aléa, en suivant les recommandations des guides méthodologiques à ce sujet (CFGI, 2000 ; MATE et METL, 1999) :

- Négligeable (0)
- Aléa faible (1)
- Aléa moyen (2)
- Aléa fort (3)

Un niveau supérieur d'aléa dit « majeur » n'est pas représenté sur Saint-Martin. Ces niveaux sont d'une partie plus ou moins équivalents avec des inclinaisons des pentes (inférieures à 15° pour le niveau 1, entre 15° et 25° pour le niveau 2 et supérieures à 25° pour le niveau 3) mais aussi avec des considérations telles que les volumes potentiels qui peuvent rentrer en mouvement, l'historique local de mouvements et la possibilité d'être une zone de réception d'un mouvement de terrain provenant d'une zone d'aléa fort.

L'aléa mouvements de terrain fort concerne pour Saint-Martin :

- Les zones de déclenchement potentiel de Bell-Hill et First-Stick Hill au Nord-ouest ;
- Les reliefs marqués des Monts O'Reilly et Caréta, ceux de la Montagne France et du Pic Paradis ;
- Les secteurs de Hope Hill et Concordia Hill.

Des glissements et éboulements de l'ordre d'une centaine de m³ déplacés sont les plus courants sur l'île. Ce type de phénomènes ont le potentiel de causer plusieurs victimes et d'endommager des structures et infrastructures jusqu'à les rendre irréparables.

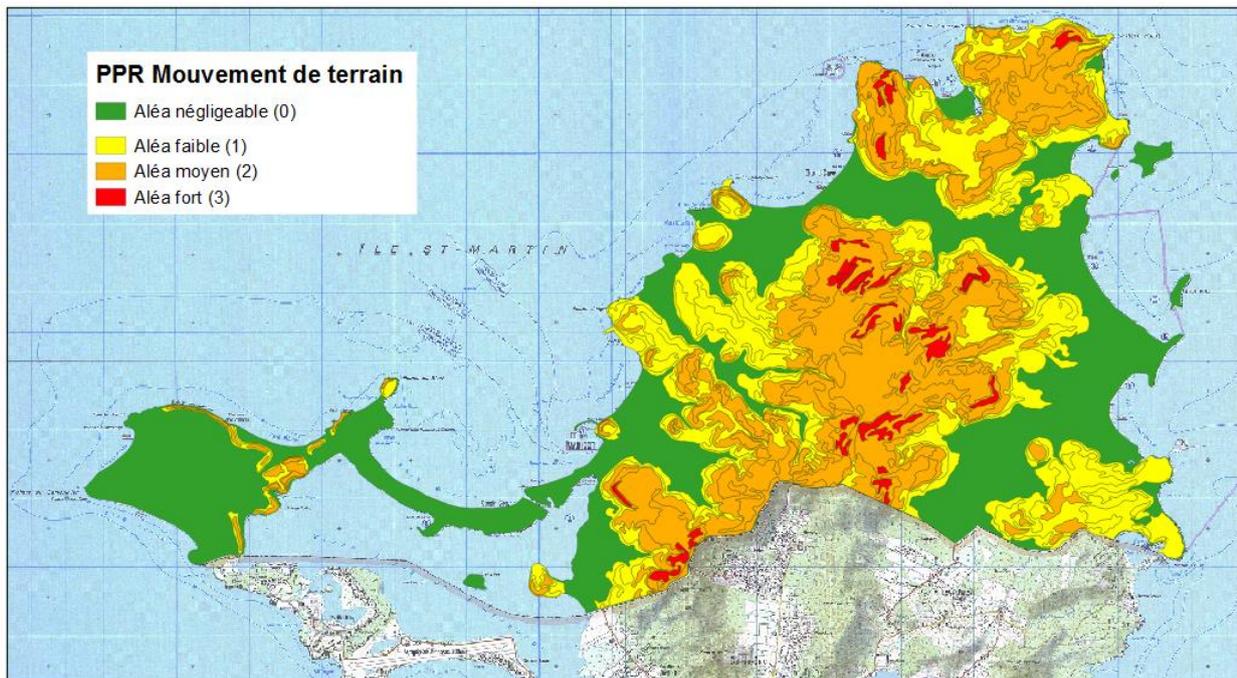


Figure 43: Aléa mouvements de terrain (reprise du PPRN de Saint-Martin)

8. Vulnérabilité du bâti

8.1. VULNERABILITE DES BATIMENTS DE CATEGORIE D'IMPORTANCE II A USAGE D'HABITATION

La vulnérabilité est une mesure de l'ampleur des dommages subis par une construction lorsqu'elle est soumise à un certain niveau d'agression sismique. Cette endommagement peut être fonctionnel, économique, financier ou structurel (lorsqu'il y a endommagement de la structure). Le terme « vulnérabilité » est utilisé tout au long de cette étude pour exprimer les différences de comportements des bâtiments aux secousses sismiques. Si deux bâtiments sont soumis exactement à la même agression sismique et que l'un subit plus de dommages, il est dit plus vulnérable (moins résistant) que l'autre.

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique diffèrent par leur complexité, leur précision et leur objectif. Selon l'échelle et l'applicabilité de l'analyse et suivant l'approche (statistique, déterministe ou probabiliste) utilisée, plusieurs méthodes, parfois complémentaires, pour estimer et exprimer la vulnérabilité peuvent être choisies : description qualitative de la vulnérabilité, indice de vulnérabilité, avis d'expert, calculs analytiques simplifiées ou analyse numérique (modélisation).

Pour l'évaluation de la vulnérabilité des structures de la collectivité de Saint-Martin, la méthode RISK-UE Niveau 1 a été utilisée (Milutinovic & Trendafilovski, 2003). Développée dans le cadre d'un projet européen, cette méthode est adaptée à la zone d'étude. Elle est détaillée en Annexe 5. Ci-dessous, nous présentons les traitements des données réalisés.

8.1.1. Délimitation des zones bâties homogènes

Les données utilisées pour la délimitation des zones bâties sont l'orthophotoplan de l'IGN (édition 2004), les cartes topographiques IGN au 1/25 000 (trois éditions : 1985, 1995 et 2005) et les contours IRIS INSEE de la collectivité de Saint-Martin. Les orthophotos permettent d'apprécier le tissu urbain actuel de Saint-Martin et les cartes IGN aident à visualiser l'évolution urbaine des vingt dernières années.

À l'aide d'un outil spécifique développé par le BRGM pour accomplir cette tâche dans un environnement *MapInfo*, on divise la carte de la collectivité de Saint-Martin en zones de bâti homogènes. Sur la base des orthophotos et des cartes IGN, ce zonage consiste à délimiter les secteurs où l'on considère que le bâti est constitué par :

- Soit par un seul type de bâtiment ;
- Soit par plusieurs types de bâtiments répartis d'une manière homogène, telle que l'on puisse évaluer la proportion de chaque type.

Les trois éditions de cartes IGN permettent de dater les zones de bâti homogène, en estimant l'antériorité ou la postériorité d'une zone bâtie par rapport à l'année de levé de la carte. Dès qu'un secteur est délimité, on évalue la densité de bâtiments par hectare, ce qui permet de calculer le nombre de bâtiments du secteur. Ensuite ce comptage est confronté avec les données INSEE du nombre total de logements pour chaque îlot IRIS.

Un des principaux problèmes rencontrés concerne le comptage du nombre de bâtiments par zone. En effet, pour certains quartiers où l'habitat collectif est important, il existe un fort

décalage entre l'évaluation par densité et les données INSEE, celles-ci portant sur des logements. Pour ces îlots, une correction a été faite à partir de données récoltées sur le terrain, afin de caler au mieux avec le recensement du nombre de logements de l'INSEE. Pour les zones contenant peu d'habitat collectif, les données INSEE et l'évaluation par densité donnent directement des résultats cohérents.

Les différentes zones bâties homogènes sont finalement classées sous une typologie générale.

- **Centre-ville (CV)**

Les zones du centre-ville du bourg de Saint-Martin présentent une forte densité de bâtiments, le plus souvent jointifs (îlots) (Figure 44). *A priori* dans ces zones, l'âge des bâtiments peut présenter des variabilités importantes, même si une grande partie d'entre eux est antérieure à 1985. La valeur approximative de densité de bâtiments par hectare est comprise entre 15 et 25.

Dans la collectivité de Saint-Martin, trois polygones de ce type ont été identifiés.

- **Habitat collectif (COL)**

L'habitat collectif est constitué de bâtiments contenant plusieurs logements (Figure 45). À partir des orthophotos, il est possible de localiser ces bâtiments et d'en délimiter l'étendue mais par contre, il est impossible d'estimer leur hauteur et le nombre de logements par bâtiment. Une estimation plus précise doit se faire sur le terrain.

À partir des orthophotos, ces bâtiments peuvent être groupés par typologie et par âge. Dans la collectivité de Saint-Martin, quinze polygones d'habitat collectif ont été identifiés à partir des orthophotos.

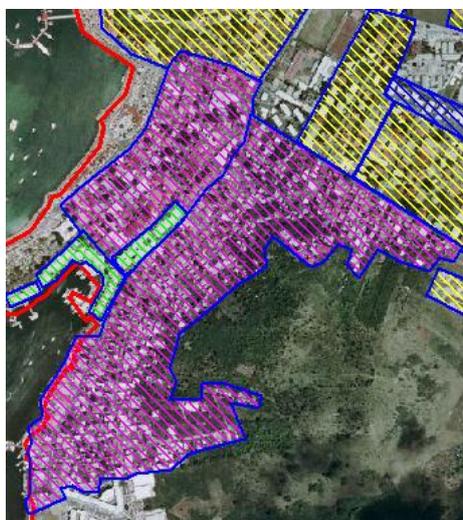


Figure 44 : Exemple d'une zone de centre-ville à Saint-Martin (en violet).



Figure 45 : Polygone d'habitat collectif identifié à Saint-Martin (en vert).

- **Lotissement (LOT)**

On considère comme zone de lotissement, les secteurs urbanisés présentant un mode d'occupation du sol similaire, avec des constructions bâties plus ou moins en même temps, et si possible par le même constructeur (Figure 46). Il s'agit d'habitats individuels, avec un terrain pour chaque maison.

L'ordre de grandeur de la densité de bâtiments par hectare est d'environ 10 à 20 bâtiments.

- **Habitat disparate (ISO)**

Une grande partie des zones bâties à Saint-Martin, les deux tiers de la totalité des maisons, est comprise dans cette classe, comme c'est souvent le cas aux Antilles. Elle comprend tous les bâtiments isolés qui n'ont pas été construits sous un même schéma d'aménagement, par opposition aux lotissements (Figure 47). Dans le cas de Saint-Martin, cette typologie est prédominante sur la quasi-totalité de la collectivité, englobant notamment les aires résidentielles périphériques de moindre densité éloignées des centres-villes. Cette classe peut présenter un certain nombre d'hétérogénéités : âge, constructeur, typologie...

Certains cas peuvent faire hésiter entre lotissement et habitat disparate. En général, on utilise les critères suivants pour orienter l'interprétation : la densité de bâtiments par surface est plus grande pour les lotissements que pour les habitats disparates et la distribution des bâtiments pour cette classe est plus aléatoire que pour les lotissements, où les maisons sont placées suivant une logique urbanistique.

La densité de bâtiments dans ces zones est très variable, de moins d'un bâtiment par hectare jusqu'à 10 bâtiments par ha.

En suivant les quatre typologies décrites ci-dessus, la collectivité de Saint-Martin a finalement été découpée en **116 zones homogènes** (Figure 48).



Figure 46 : Exemple de lotissement à Saint-Martin (en bleu).



Figure 47 : Exemple d'habitat disparate à Saint-Martin (en jaune).

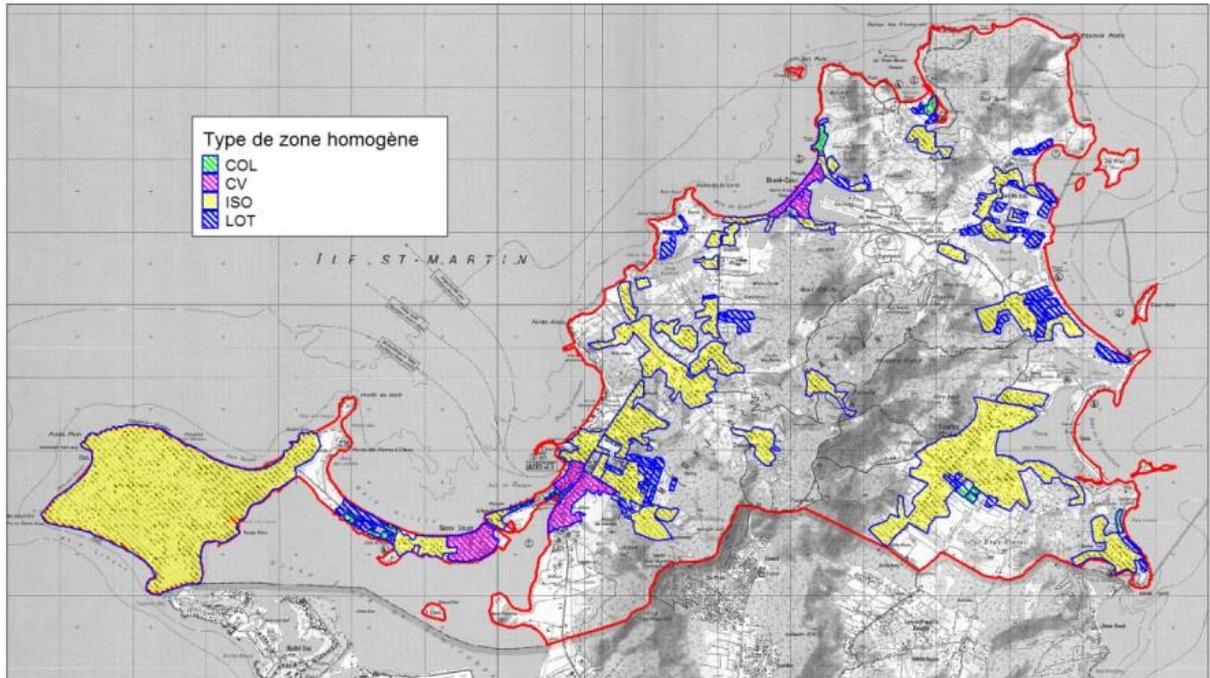


Figure 48 : Distribution des 116 zones de bâti homogène sur la collectivité de Saint-Martin.

8.1.2. Visites de terrain

Une fois délimitées les zones bâties homogènes, un travail de terrain doit être réalisé pour valider la classification des zones et établir le type ou les types de bâtiments prédominants dans chaque polygone.

Le travail de terrain a consisté à réaliser des itinéraires dans les zones bâties homogènes et à faire des « pointages » de bâtiments. Les itinéraires sont établis avant la mission de terrain et doivent être représentatifs de la zone ciblée.

Le « pointage » consiste en (Figure 49) :

1. la numérotation du bâtiment composé du numéro de la zone bâtie homogène à laquelle il appartient et du numéro du bâtiment ;
2. le géoréférencement de la construction sous SIG avec attribution d'un identifiant,
3. l'inspection visuelle de l'extérieur de la construction afin d'identifier la typologie et les facteurs aggravants. Ces informations sont ensuite synthétisées sous forme d'une fiche numérique avec, pour chaque bâtiment, le système structural du bâtiment et les facteurs aggravants présentés dans l'Annexe 5 (tableaux ## et ##) ;
4. et une photographie du bâtiment.

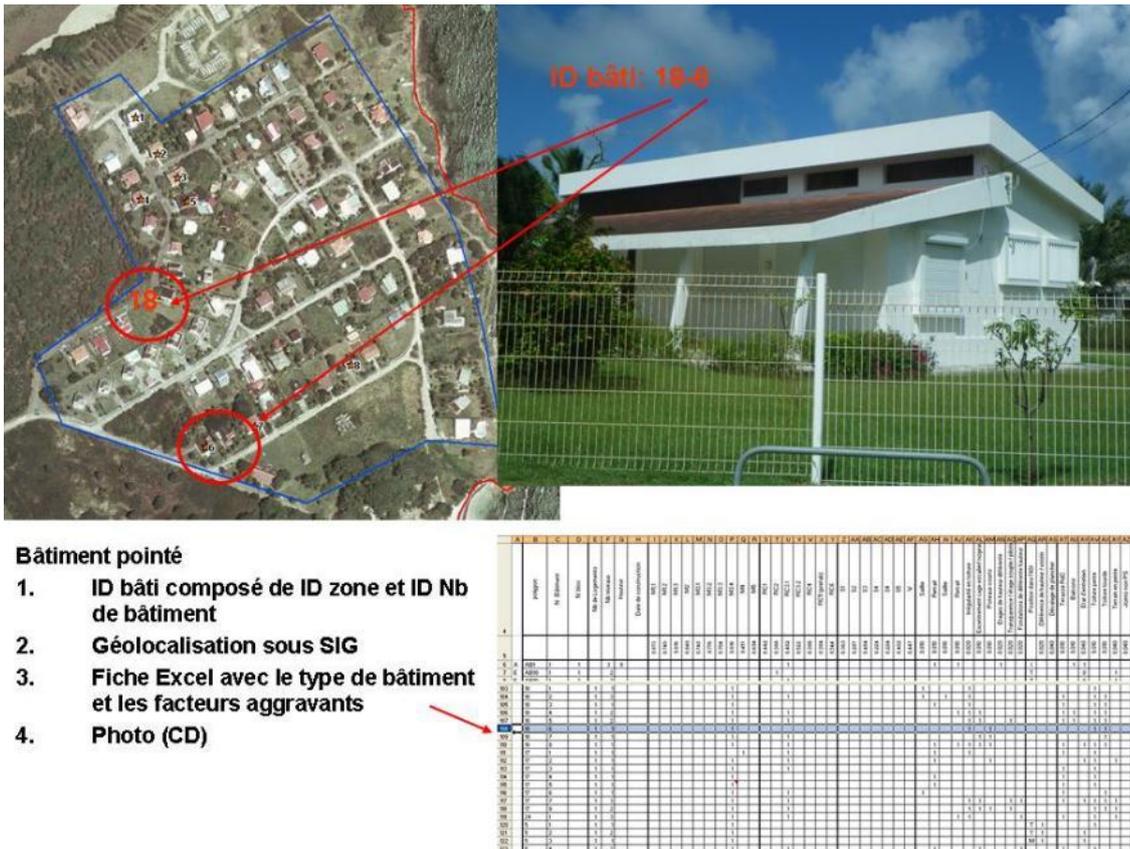


Figure 49 : Représentation des quatre étapes du « pointage » d'un bâtiment.

La visite de chacune des zones « homogènes » définies ou de tous les bâtiments de la collectivité dépasserait largement le cadre de ce projet. L'approche adoptée a suivi plutôt une logique de priorisation : Les zones initialement identifiées comme de type « centre-ville », qui sont particulièrement délicates, ont été traitées au cas par cas. Pour les zones d'habitat dispersé, quelques zones estimées représentatives des différents modes d'urbanisation à Saint-Martin ont également été choisies pour les visiter et ensuite pouvoir tirer des conclusions pour le reste de la commune. Des indices de vulnérabilité seront développés pour les différents quartiers visités et ensuite, les quartiers non visités recevront le même indice de vulnérabilité que le quartier visité qui le ressemble le plus en âge, densité et urbanisation. Finalement, pour l'habitat collectif et les lotissements, qui sont des zones plus faciles d'analyser « à distance », il fut préféré d'extrapoler depuis les données disponibles sur Guadeloupe et Martinique, comme dans le SDRS Guadeloupe.

Sur la collectivité de Saint-Martin, 162 bâtiments appartenant à 11 zones bâties homogènes ont ainsi été « pointés » (étapes 1, 2, 3 et 4).

Les données Excel présentant les caractéristiques structurales des bâtiments visités, le fichier SIG comprenant la localisation de ces bâtiments et les photos correspondantes, sont annexées au présent rapport (Annexe 5). La Figure 50 présente la répartition géographique des 162 bâtiments « pointés ». La Figure 51 présente les 11 zones de bâti homogène dans lesquelles un itinéraire a été réalisé.

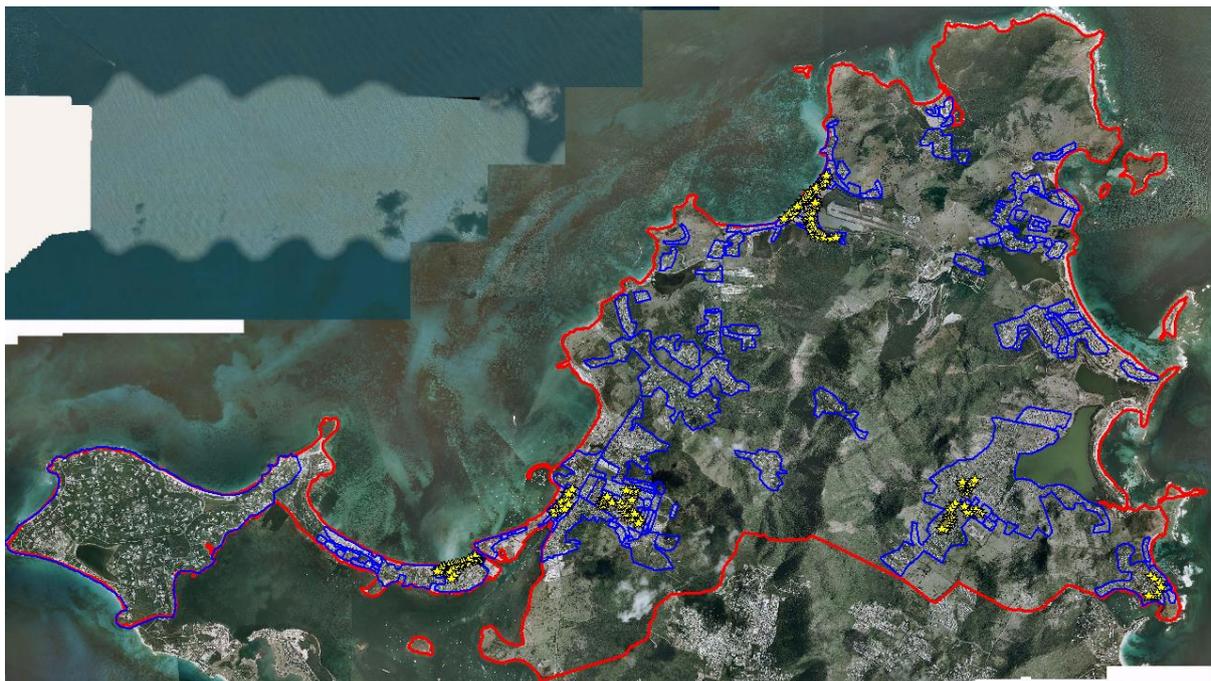


Figure 50 : Localisation des 162 bâtiments « pointés » (étoiles jaunes) dans les zones de bâti homogène.

Les polygones homogènes visités et le grand nombre de bâtiments identifiés lors de la mission de terrain sur la collectivité de Saint-Martin a permis d'observer que les bâtiments appartenant à une même zone bâtie homogène ont souvent le même type structural avec des vulnérabilités comparables. Cette observation est très importante car elle permet de calculer un seul indice de vulnérabilité par polygone, à partir des informations renseignées pour chaque bâtiment visité. Par contre, lorsqu'une zone bâtie homogène contient des bâtiments de vulnérabilité très différente, il n'est pas possible (d'après la méthode Risk-UE) de calculer une vulnérabilité moyenne.

Ainsi, deux approches ont été adoptées pour la détermination des indices de vulnérabilité dans les 11 zones de bâti homogène visitées, à savoir :

- L'assignation d'une valeur d'indice de vulnérabilité global pour l'ensemble de la zone lorsqu'elle a été jugée homogène ;
- L'estimation d'une répartition de différents types de bâtiment à l'intérieur d'une zone et l'assignation d'indices de vulnérabilité dits standards correspondant à chaque type.

Ainsi, la détermination des indices de vulnérabilité pour les 115 zones bâties homogènes non-visitées a été établie à partir de la répartition des différents types de bâtiments identifiée sur les zones visitées présentant les mêmes caractéristiques.

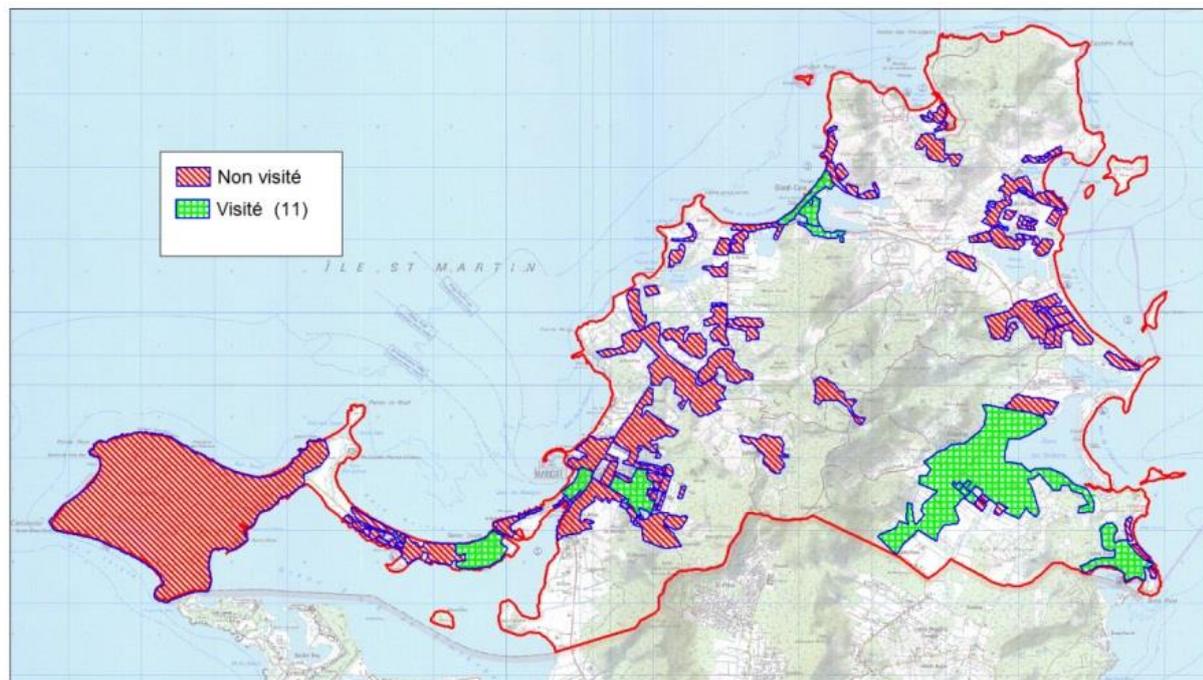


Figure 51 : Présentation des 11 zones de bâti homogène dans lesquelles un itinéraire a été réalisé (en vert).

D'une manière générale, les maisons individuelles sont en maçonnerie plus ou moins chaînée. La différence de vulnérabilité entre les différentes constructions vient alors du pourcentage de ferrailage et du type de chainages utilisés (d'angle, ouvertures, semelles en haut et en bas du bâtiment). Par exemple, une absence systématique de chaînage correcte des ouvertures dans les murs maçonnés (portes et fenêtres) a été constatée dans tous les bâtiments en état de construction observés. En effet, ces caractéristiques structurales influencent fortement le comportement du bâtiment lors de séismes. Malheureusement, ce type de caractéristiques est très difficile à identifier lors d'une visite du terrain.

Deux types de maison individuelle prédominants dans les quartiers d'habitat dispersé (ISO) se distinguent : D'un côté des maisons traditionnelles, souvent issues de l'auto-construction, qui se caractérisent par une structure aux lignes simples en maçonnerie chaînée dont le chaînage est assumé faible. La plante est rectangulaire et il n'y a souvent qu'un seul étage au rez-de-chaussée lors de la construction initiale, l'ajout d'un étage supérieur se faisant au fil du temps. Ces maisons imitent les formes des maisons plus anciennes en bois, la porte d'entrée donnant souvent sur une sorte de porche qui prend la forme d'un angle affaibli (une seule colonne dans l'angle porte le plafond) ou une galerie transparente. Le rez-de-chaussée est également souvent soulevé sur un vide sanitaire fermé (et donc impossible d'inspecter). Très communs sont aussi les porte-à-faux dans les maisons dont le plafond est fait en béton, un défaut de construction qui devient particulièrement préoccupant lorsque cette surface est utilisée comme plancher d'un étage supérieur rajouté a posteriori.



Figure 52: Exemples des maisons "traditionnelles" prédominant dans les quartiers d'habitat dispersé de Saint-Martin.

Une autre typologie concerne les villas des quartiers plus aisés. On retrouve ces structures dans des quartiers où elles se mélangent avec des lotissements de petite envergure et l'on peut soupçonner que les techniques de construction employées sont similaires : on attend des murs plus épais et un meilleur chaînage des maçonneries mais il n'y a pas d'assurance que des considérations parasismiques soient appliquées. Ces maisons, de surface plus grande et presque toujours avec plus d'un étage, présentent en général moins de défauts de construction, même si ceux-ci sont plus variés : les saillies en plante, les plafonds discontinus à plusieurs hauteurs, les porte-à-faux et escaliers extérieurs, les transparences partielles et les angles affaiblis, restent communs. La présence d'un garage au rez-de-chaussée de la maison ou accolé à celle-ci sans joint parasismique peut constituer soit une transparence partielle, soit une saillie. Un point particulier à cette typologie, c'est qu'on la retrouve souvent sur des emplacements en pente, afin d'assurer une vue sur la mer. De ce fait, ces maisons peuvent comporter des mesures d'adaptation à la pente qui peuvent augmenter la vulnérabilité, tel que les pilotis.



Figure 53: Exemples de lotissements anciens et grandes villas dans les quartiers d'habitat dispersé à Saint-Martin.

Pour le premier type, un indice basé sur la classe M3.4 (murs porteurs en maçonnerie non armée avec plancher en béton armé) rehaussé en tenant en compte des défauts de construction. Pour le deuxième, il a été considéré un indice de vulnérabilité correspondant entre les classes M3.4 et M4 (murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée), pour tenir en compte du meilleur confinement des murs. Cependant, dans les cas où des pilotis ont été identifiés, c'est l'indice de vulnérabilité beaucoup plus élevé correspondant à cette typologie celui qui est prépondérant.

La visite de terrain a permis d'identifier les facteurs aggravants qui peuvent, à leur tour, avoir une grande importance dans le comportement dynamique de la structure. Un des facteurs de vulnérabilité le plus fréquent dans le contexte antillais est la présence de pilotis (Figure 55). A Saint-Martin, ce sont les pilotis partiels ceux qui priment : en centre-ville, une transparence partielle est présente lorsque le rez-de-chaussée est aménagé pour le commerce, pendant que dans les zones d'habitat dispersé, des galeries transparentes sont parfois aménagés comme terrasses. La vraie transparence totale a été uniquement identifiée dans les quartiers plus affluents et, de manière particulièrement préoccupante, dans les quartiers en bord de plage, notamment à Sandy Ground. Comme le montre la Figure 54, à cet endroit la vulnérabilité sismique se combine avec une haute exposition à d'autres types de risque, telle que les tsunamis et la liquéfaction du sol sableux induite par le séisme. Sur la collectivité, les maisons avec ce type de défaut constituent à peu-près un quart des maisons individuelles, avec des fortes variations selon quartier.

La présence de pilotis totaux, appelée aussi « étage souple » ou « transparence », crée une différence de rigidité entre le rez-de-chaussée et le reste de la maison et, lors d'une forte agression sismique, engendre généralement l'effondrement partiel ou total du rez-de-chaussée. En ce qui concerne les pilotis partiels, lors d'un séisme, une différence de mouvement se crée entre la partie rigide et la partie flexible (les pilotis). Cette différence de mouvement engendrera des efforts supérieurs dans les éléments de liaisons entre les deux parties.

La Figure 56 présente un exemple d'effondrement du rez-de-chaussée dû à la présence d'un « étage souple » pour un immeuble d'habitation collectif et pour une maison individuelle lors du séisme de Boumerdès en Algérie en 2003.



Figure 54: Structures sur pilotis en bord de mer à Sandy Ground.

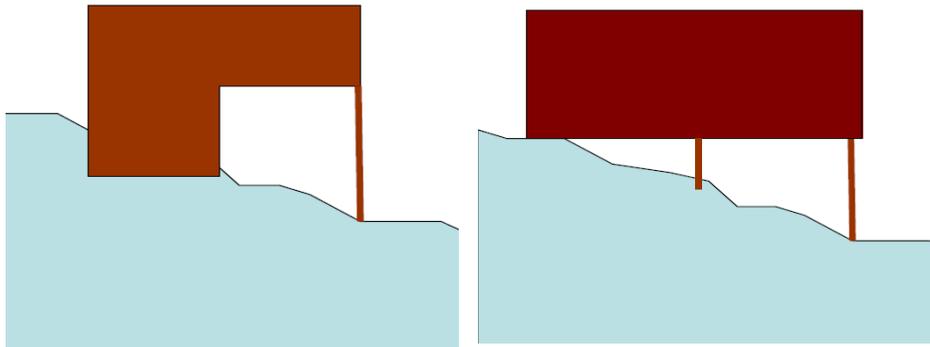


Figure 55 : Représentation schématique des pilotis.



Figure 56 : Effondrement du RdC lors du séisme de Boumerdès en Algérie en 2003.

D'autres facteurs aggravants comme les poteaux courts, les irrégularités géométriques et structurales telles que des fondations sur vide sanitaire et des porte-à-faux (ceux-ci particulièrement répandus, comme le montre la Figure 57), sont également observés pour un nombre important de constructions individuelles sur la collectivité de Saint-Martin. En particulier, une grande partie des maisons individuelles en construction rencontrées présentaient un manque de chaînage des portes et fenêtres.



Figure 57: Exemples de structures en port-à-faux à Saint-Martin.

En ce qui concerne l'habitat collectif sur la collectivité de Saint-Martin, il n'a pas eu des visites spécifiques du bâti : la classification appliquée en Martinique a été retenue. D'un côté, il y a l'habitat collectif des années 1960-70 avec une ossature en béton en coffrage tunnel et un faible contreventement selon une direction. De l'autre autre côté on trouve des nouvelles cités, bâties généralement dans les années 1990 et 2000, avec des murs voiles en béton armé (type Risk-UE RC2) et avec une vulnérabilité moindre. Une grande quantité de l'habitat collectif de St-

Martin est utilisée comme hôtel, mais il n'a pas été possible de déterminer lesquels entre ces bâtiments. Les hôtels ont été donc traités dans sa majorité comme bâti d'usage à habitation.

Le Tableau 27 résume les principaux types de bâtiment rencontrés dans la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.

La visite de terrain a aussi eu comme objectif d'affiner et, ensuite, de valider, dans la mesure du possible, la délimitation des zones « homogènes » faite à partir des orthophotos. Par exemple, les différences d'urbanisation d'un côté et de l'autre de la N7 à Grand Case observées sur le terrain ont permis de découper ce quartier en deux, pour une meilleure caractérisation typologique (Figure 58). Dans ce cas un nouveau polygone a été tracé.



Figure 58: Modification des polygones suite à la visite de terrain.

Type de structure	Zone	Facteurs de vulnérabilité	Type RISK-UE	Vi moy	Exemples d'images
Habitat de fortune	Habitat disparate, zones proches au centre-ville	Maisons très simples, assemblage de matériaux divers (bois, tôle, parpaings). Très vulnérables.		1	
Case traditionnelle en bois	Surtout en centre-ville	Parfois en mauvais état de conservation.	W	0,5	
Mélanges bois-maçonnerie	Surtout en centre-ville	Extension de la case traditionnelle en bois en maçonnerie non chaînée ou ajout d'un étage en bois à un RDC en maçonnerie.	W + maçonnerie	0,7	 
Villa en bois	Habitat disparate et lotissements récents	Constructions en bois récentes. Bon état de conservation.	W	0,45	

Tableau 27 : Les principaux types de bâtiments rencontrés sur la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.

Type de structure	Zone	Facteurs de vulnérabilité	Type RISK-UE	Vi moy	Exemples d'images
Lotissement ancien et grandes villas	Quartiers résidentiels d'habitat disparate ou lotissements	Maisons en général R+1. Maçonnerie chaînée souvent avec parties béton armé. Risque d'adaption en pente	Entre M3.4 et M4	0.62	
Lotissement récent	Lotissements récents et certains bâtiments en centre-ville ou habitat disparate	Prise en compte des règles CP-MI92. Absence de gros défauts (transparences, grandes portes à faux), contreventement dans les deux directions. Régularité.	M4 (maçonnerie chaînée)	0,45	
Pilotis.	Habitat disparate et lotissements	Transparence complète/partielle du RDC.	Mixte RC3.2 (structure béton irrégulière) et M3.4	0,72 pilotis partiel	
Système mixte portiques BA et maçonnerie porteuse.		En général bâtiments adaptés à la pente. Irrégularités dans la structure.		0,78 pilotis total	
		Parfois présence de poteaux courts. Les bâtiments en pilotis partiel ou total seront distingués.		0,82 plusieurs niveaux de pilotis	

Tableau 27 (suite) : Les principaux types de bâtiments rencontrés sur la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.

Type de structure	Zone	Facteurs de vulnérabilité	Type RISK-UE	Vi moy	Exemples d'images
Villa plain-pied ou R+1. Maçonnerie porteuse ancienne.	Habitat disparate, lotissements anciens et centre-ville	Bâtiments simples. Irrégularités en plan (terrasse). Maçonnerie ancienne (chainée ?)	M3.4	0,68	
Villa R+2 ou R+3 Maçonnerie porteuse ancienne.	Habitat disparate et centre-ville	Etages rajoutés à plusieurs reprises Irrégularités en plan (terrasse). Maçonnerie ancienne (chainée ?)	M3.4	0,68	

Tableau 27 (suite) : Les principaux types de bâtiments rencontrés sur la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.

Type de structure	Zone	Facteurs de vulnérabilité	Type RISK-UE	Vi moy	Exemples d'images
Habitat collectif urbain ancien	Centre-ville	<p>Systèmes mixtes entre structure en béton et maçonnerie.</p> <p>Bâtiments très souvent accolés. Le RDC peut héberger des commerces (transparences).</p>	Mixte RC3.2 (structure béton irrégulière) et M3.4	0,74 à 0,78 selon le nombre de niveaux	
Collectif récent. Murs en béton	Habitat collectif construit après 1993-94	<p>Prise en compte des règles PS92.</p> <p>Légères irrégularités en plan et en élévation.</p>	RC2	0,4	Pas d'image disponible.
Collectif années 1980 fin 1970. Murs en béton.	Habitat collectif construit avec les règles PS69	<p>Prise en compte des premiers codes parasismiques (PS69, qui s'appliquent en Martinique à partir de 1976).</p> <p>Irrégularités dans la structure et en forme.</p> <p>Contreventement des fois irrégulier.</p>	RC2, niveau moyen PS	0,55	
<p>Collectif ancien.</p> <p>Ossature en portiques en BA et remplissage en maçonnerie.</p> <p>Béton préfabriqué. Coffrages tunnel.</p>	Habitat collectif construit avant 1975	<p>Bâtiments avant l'entrée en vigueur des PS69.</p> <p>Structures avec une absence de contreventement dans une direction ; parfois en mauvais état conservation. Occasionnellement transparences du RDC.</p>	RC3.2 (portiques BA irréguliers) sans conception PS	0,72	

Tableau 27 (suite) : Les principaux types de bâtiments rencontrés sur la collectivité de Saint-Martin et leurs principaux facteurs de vulnérabilité.

8.2. VULNERABILITE DES BATIMENTS DE CATEGORIE D'IMPORTANCE III ET IV

L'Eurocode 8 définit les bâtiments de catégorie d'importance II et IV comme suit :

- Catégorie III : « Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion, institutions culturelles, etc. »
- Catégorie IV : « Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc. »

Il s'agit donc des bâtiments avec un enjeu particulièrement élevé du fait qu'ils accueillent une grande quantité de public ou qui jouent un rôle primordial dans la gestion d'une crise sismique potentielle. De par leur nombre relativement réduit et leur caractère hétérogène, une approche typologique ne serait pas adaptée et une approche méthodologique spécifique s'avère donc nécessaire. Cependant, l'évaluation de chaque bâtiment de catégorie III ou IV sur Saint-Martin dépasse les limites de cette étude. En outre, une série d'analyses similaires ont été déjà réalisées pour une grande partie du parc, notamment pour les bâtiments scolaires. Seuls cinq nouveaux bâtiments ont été diagnostiqués dans le cadre de cette étude. Dans ce rapport, on reprendra alors les principaux résultats des analyses existants et y ajoutera les 5 nouveaux diagnostics réalisés dans le cadre de cette étude.

8.2.1. Analyses existantes

Saint-Martin a fait l'objet ces dernières années de plusieurs études concernant la vulnérabilité sismique des bâtiments de catégorie d'importance III et IV. Il s'agit notamment pour les programmes les plus récents :

- Diagnostic sismique des écoles (Dunand, 2009) ;
- Diagnostic sismique des lycées (Dunand et al., 2009) ;
- Diagnostic sismique des collèges (nous n'avons pas eu accès à ce document).

De manière générale, pour chaque bâtiment une présomption de vulnérabilité est établie en fonction de la somme des pénalités observées, ce qui donne enfin une classification dans une échelle de vulnérabilité empirique, qui peut être unique à chaque projet. Cependant, la plupart de ces rapports ont été réalisés par les mêmes auteurs et dans le sein du même projet de diagnostic sismique, financé par l'Association des Maires de Guadeloupe. Cela laisse espérer une homogénéité dans le classement : les diagnostics sismiques de Dunand et al. (études réalisées par un consortium entre les entreprises GEOTER et Hauss) utilisent une nomenclature qui classe les bâtiments en 6 classes de vulnérabilité en fonction de leur probabilité d'atteindre les degrés de dommages EMS98 D4 ou D5 (dégâts très importants ou destruction). Une analyse des valeurs de probabilité d'atteindre ces degrés de dommage inclus dans les annexes correspondants, semblerait suggérer une correspondance avec les classes de vulnérabilité de l'EMS98 selon la loi de conversion du Tableau 28.

Présomption de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité EMS98
------------------------------	-------------------------------

Extrêmement forte	A
Très forte	A-B
Forte	B
Moyenne	C
Faible	D
Très faible	D-E

Tableau 28 : Conversion entre la présomption de vulnérabilité et les classes de vulnérabilité EMS98 utilisée pour la présente étude.

Cette correspondance n'est pas établie explicitement dans les rapports auxquels les auteurs ont eu accès. L'indice de vulnérabilité calculé dans ces rapports suit une logique différente à celui proposé dans RISK-UE (Milutinovic & Trendafilovski, 2003). La conversion proposée ci-dessus est basée sur la comparaison entre les valeurs de probabilité données et les fonctions d'appartenance Risk-UE (présentée en Annexe 5). La classification des bâtiments disponible dans ces rapports est présentée en annexe 7.

Plusieurs diagnostics ont aussi été effectués sur Saint-Martin par le BRGM lors du XIème CPER (2000). L'indice de vulnérabilité employé dans ce rapport pré-date la méthode RISK-UE et est basé sur une approche différente, ce qui rend difficile une transformation directe aux classes EMS-98. Pour le microzonage, il a malgré tout été essayé d'établir cette correspondance, que l'on retrouve dans le Tableau 29. Les résultats sont à prendre avec précaution. Il convient également de tenir en compte que ces analyses datent déjà d'une quinzaine d'années et ne peuvent pas prendre en compte des modifications de la vulnérabilité des bâtiments ayant eu lieu pendant cette longue période (par exemple des dégradations par vieillissement, des reformes ou des éventuelles mesures de renforcement structurel appliquées).

Nom établissement	Quartier	Classe de présomption de vulnérabilité
Sous Préfecture	<i>Marigot</i>	Très forte
PC ORSEC	<i>Marigot</i>	Forte
Mairie	<i>Marigot</i>	Très forte
Hôpital	<i>Marigot</i>	Très forte
Centre de secours (Bat. Admin.)	<i>Marigot</i>	Forte
Centre de secours (Hangar)	<i>Marigot</i>	Forte
Gendarmerie (Commandement)	<i>Marigot</i>	Très forte
Gendarmerie (Logement)	<i>Marigot</i>	Forte
Gendarmerie (Bureau)	<i>Marigot</i>	Forte
Gendarmerie (Logement)	<i>Quartier Orléans</i>	Moyenne
Gendarmerie (Bureau)	<i>Quartier Orléans</i>	Moyenne
Police Municipale	<i>Marigot</i>	Très forte
Collège Soualiga	<i>Cul de Sac</i>	Faible
Lycée polyvalent des îles du nord	<i>Marigot</i>	Forte

Tableau 29 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d'établissements publics de Saint-Martin selon les CPER.

8.2.2. Choix des bâtiments à visiter

Dans la présente étude les bâtiments et établissements qui ont fait l'objet d'une visite ont été choisis sur la base de bâtiments qui n'étaient pas dans les lots exposés ci-dessus. Généralement ce sont des bâtiments communaux (établissements recevant du public, ERP) hors établissements scolaires.

Les bâtiments de l'île de Saint Martin concernés par l'étude sont :

- La maison de la collectivité
- Le temple méthodiste Ebenezer
- L'église catholique de Marigot
- Le CCI
- La gendarmerie du Quartier d'Orléans

Ces bâtiments ont été choisis par la collectivité lors d'une réunion du comité de pilotage du projet. Les visites des bâtiments ont été faites le 27 mars de 2012.

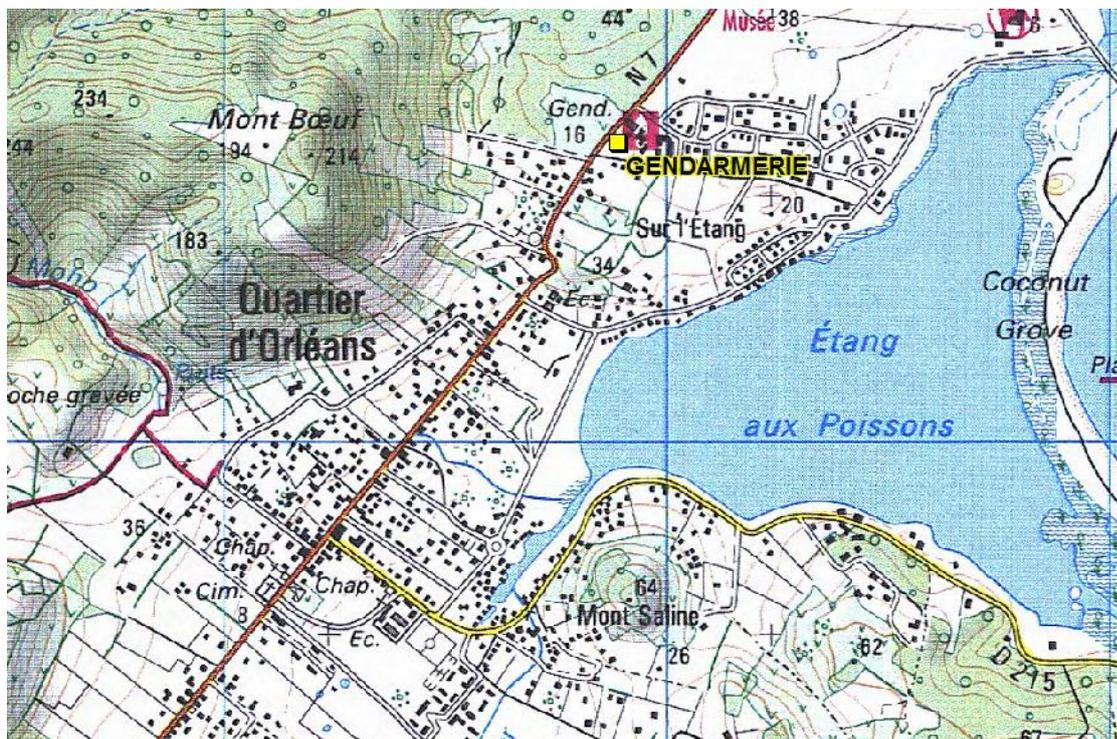
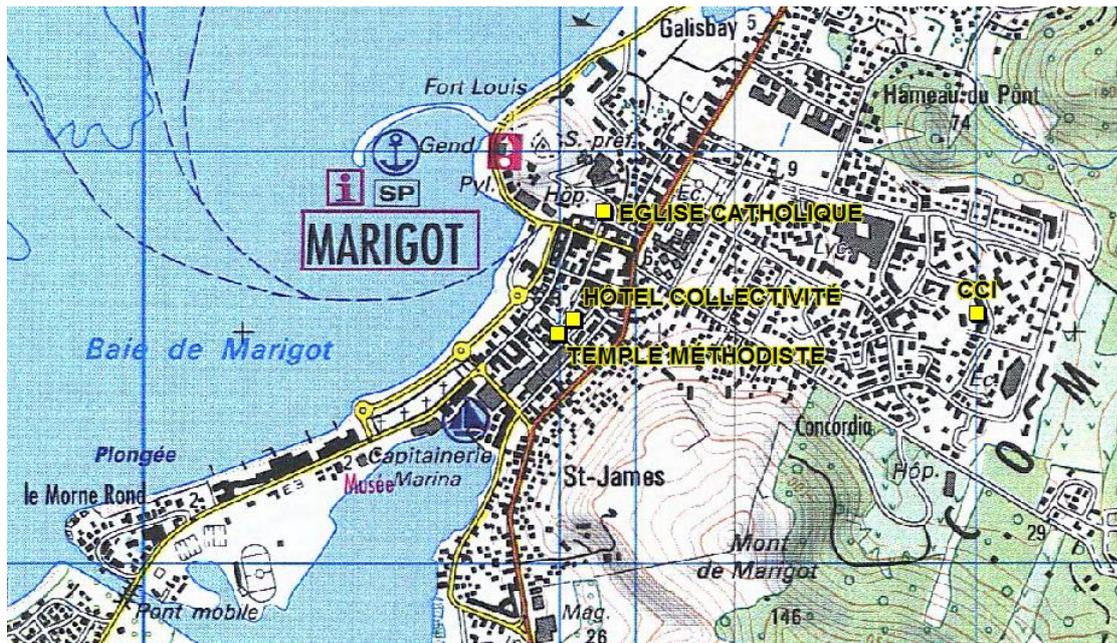


Figure 59 : Localisation des bâtiments visités à Saint Martin.

8.2.3. Méthodologie

Les bâtiments ont été diagnostiqués avec le modèle de fiche AFPS (AFPS-CSTB 2010). Ce modèle de fiche permet d'identifier à travers d'une check-list les principaux facteurs de vulnérabilité sismique d'un bâtiment. Elle contient quatre grands groupes d'informations :

- Information générales

Cette partie contient des informations sur l'année de construction du bâtiment, l'application ou non des codes parasismiques, le nombre d'occupants du bâtiment, etc.

- Implantation du bâtiment dans son environnement

Etant donnée que cette étude de vulnérabilité des bâtiments s'encadre dans un projet de microzonage sismique, toute la partie concernant les types de sols n'a pas été remplie en attendant les résultats finaux du projet. Les autres facteurs qui sont relevés dans cette partie sont la situation à proximité d'un terrain en pente et l'interaction entre constructions voisines.

- Description du bâtiment

L'objet de cette partie est d'obtenir une description du bâtiment pour l'ingénieur chargé du calcul préliminaire ou de l'évaluation détaillée. Le contenu de chaque partie est donc dépendant de la finalité recherchée, dans ce cas se situe dans une phase préliminaire d'inventaire des bâtiments concernant le risque sismique (pas de calculs préliminaires envisagés dans une 2^{ème} phase). Ce volet regarde donc :

- La forme en plan et élévation du bâtiment, identification des irrégularités
- Les caractéristiques du système porteur, la nature du contreventement.
- Elements à préserver
- Des éléments non structuraux présentant des risques

- Détails de construction, zones critiques.

Il arrive que deux bâtiments, apparemment identiques, subissent des dommages très différents lors d'un séisme. On se rend compte alors que les différences qui existent entre eux sont de l'ordre du détail de la conception ou de la réalisation. Cette troisième partie a donc pour objectif de dresser une liste non exhaustive de tous ces détails dont le rôle peut être déterminant dans la capacité sismique du bâtiment.

On citera à titre d'exemple :

- la présence de poteaux courts ou élancés,
- la localisation d'inserts ou d'ouvertures dans les éléments de structure, les axes poteaux/poutres non concourants (effet de baïonnette),
- la présence ou non de joints parasismiques et le fait qu'ils soient vides ou non,
- la différence de raideur entre niveaux (niveaux transparents en rez-de-chaussée ou intermédiaires),
- la présence de vides sanitaires,
- l'existence d'un dernier étage en retrait (phénomène de coup de fouet),
- la présence de porte-à-faux importants,
- la présence d'escaliers en console,
- les dissymétries pouvant conduire à des torsions.

- Conclusion sur la vulnérabilité.

A la fin de la fiche un classement qualitatif de la vulnérabilité de chaque bâtiment est fait afin de faciliter une lecture d'ensemble. La fiche elle-même ne propose pas un critère de classement des immeubles en groupes de vulnérabilité ou priorité, il s'agit d'un jugement de l'expert qui établit le diagnostic. Dans le cas du présent programme, trois classes de vulnérabilité ont été considérées :

- Vulnérabilité forte. Bâtiments avec un système porteur jugé vulnérable (cas par exemple des maçonneries à l'ancienne) ; avec une absence notable de contreventement dans au moins une direction et/ou avec une présence de points critiques systématique. Ce sont aussi des bâtiments dont la qualité des matériaux et l'état de préservation sont douteux.
- Vulnérabilité moyenne. Cas des bâtiments construits avec un système porteur qui génère des doutes mais avec une architecture très simple (absence de points critiques). Il peut être aussi le cas des immeubles avec des points critiques ponctuels estimés vulnérables dans une structure qui globalement ne l'est pas. Bâtiments douteux vis-à-vis d'une correcte conception parasismique.
- Vulnérabilité faible. Bâtiments avec un contreventement et un système porteur correct et dont la qualité de la construction et des matériaux est assurée. En cas des bâtiments récents qui présentent des défauts ou des points critiques mais qui sont conçus sous les règles PS92, ces facteurs sont répertoriés dans la fiche mais on considère l'hypothèse que les calculs du projet constructif prennent en compte ces dispositions.

Il convient toutefois rappeler les limites de ce diagnostic de la vulnérabilité purement visuel, sans calculs de résistance de l'ouvrage vis-à-vis d'une action sismique. Avant toute décision finale un diagnostic plus poussé est recommandé. Il faut lire les résultats comme une première approche sur la vulnérabilité d'un parc bâti donné et qui hiérarchi, d'une certaine manière, les possibles action futures.

8.2.4. Résultats

Les fiches de relevé de vulnérabilité sismique sont présentées en Annexe 6. Le Tableau 30 résume les résultats des visites.

Tableau 30 : Résumé des caractéristiques des bâtiments visités dans la collectivité de Saint-Martin.

Bâtiment	Année de construction	Système porteur	Principaux facteurs de vulnérabilité	Vulnérabilité
Maison de la collectivité	Construit en 1977, extension en 1991	Murs et portiques en BA ; poutres en acier	Poteaux courts. Irrégularités en plan. Pas de joints PS.	Moyenne-Forte
Temple méthodiste Ebenezer	Construit années 1850	Murs en pierre avec contreforts	Bâtiment ancien.	Forte
Eglise catholique de Marigot	Construit en 1841, extensions en 1871 et 1872	Murs et arcs en pierre	Bâtiment ancien. Irrégularités en plan. Pas de joints PS.	Forte
CCI	2001	Portiques acier et remplissage	Bâtiment PS92. Possible absence de joints PS.	Faible
Gendarmerie du Quartier d'Orléans	Environ 1990	Murs	Construction pré-code PS92.	Moyenne

9. Scénario de risque sismique

9.1. MÉTHODOLOGIE

Les scénarios de risque sismique, qui permettent d'évaluer les conséquences dommageables de séismes simulés ou les implications d'un aléa régional homogénéisé, sont un outil précieux d'évaluation du risque sismique au niveau du bâti existant.

Les trois composantes nécessaires à l'établissement d'un scénario de risque sismique sont : l'aléa ou le séisme de scénario, qui caractérise l'agression ; la valeur des éléments exposés, qui caractérise les enjeux ; et la vulnérabilité des éléments exposés.

Le risque (R) est par définition la convolution de l'aléa A, de la vulnérabilité V et de la valeur de l'élément exposé E :

$$R = A \cdot V \cdot E$$

Cette équation théorique se base sur les définitions données lors de la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles [DIPCN92] :

- risque : « Espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée, pour un aléa particulier » ;
- aléa : « Événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages » ;
- éléments exposés ou éléments à risque : « Population, constructions et ouvrages de génie civil, activités économiques, services et infrastructures publiques, etc., exposés à un aléa ». Un élément exposé ayant une valeur constitue un enjeu ;
- vulnérabilité : « Degré de perte (de 0 à 100 %) d'un élément à risque résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels ».

Ce chapitre présente sa mise en œuvre pour la collectivité de Saint-Martin afin d'estimer le risque sismique. Les enjeux traités dans le cadre de ce rapport sont les bâtiments de catégorie d'importance II à usage d'habitation (selon les EuroCode 8). Le logiciel utilisé pour l'analyse de risque sismique de la collectivité de Saint-Martin est *Armagedom*, développé par le BRGM, qui permet de simuler les conséquences des phénomènes naturels avec l'objectif d'évaluer les possibles dégâts occasionnés.

Les résultats obtenus à l'aide de l'outil *Armagedom* vont mettre en évidence :

- une estimation de la distribution des dommages pour les bâtiments, éléments déterminant pour le dimensionnement et positionnement des postes stratégiques ;
- les zones présentant les niveaux de risque les plus importants en raison de leur forte vulnérabilité et/ou d'un niveau d'aléa important, pour lesquels les actions de renforcement/réhabilitation seront prioritaires.

9.1.1. Echelle de dommages

L'échelle EMS98 sera utilisée pour caractériser les dommages dans les simulations. Cette échelle définit 5 degrés de dommages aux constructions :

- Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structurels)
- Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structurels légers, dégâts non structurels modérés)
- Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structurels modérés, dommages non structurels importants)
- Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structurels importants, dégâts non structurels très importants)
- Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structurels très importants).

Il s'agit d'une échelle purement qualitative, qui décrit la nature des dommages observables (Figure 60).

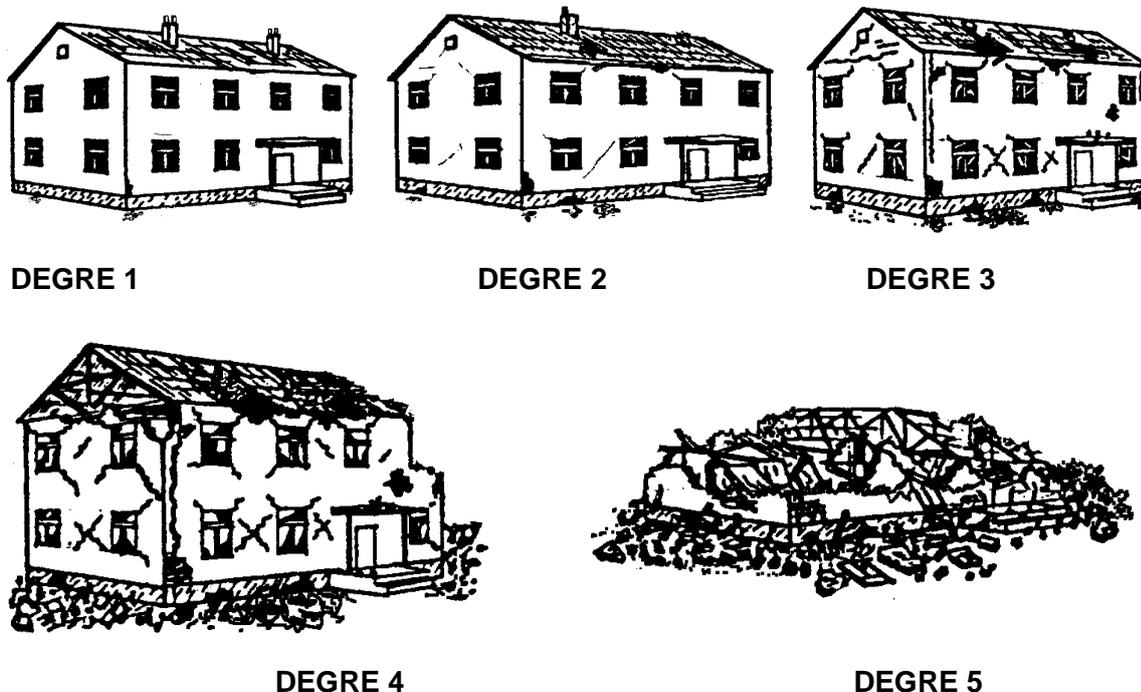


Figure 60 : Classification des dégâts selon l'Échelle Macrosismique Européenne.

9.1.2. Choix du scénario et méthodologie

Le logiciel *Armagedom*, à l'aide de ses modules « séisme » pour l'aléa et « typologie » pour les enjeux, gère le croisement entre l'aléa sismique et la vulnérabilité des structures afin d'estimer les degrés de dommages des bâtiments, c'est-à-dire le risque sismique dans la zone.

Armagedom permet de créer un séisme de scénario avec la localisation d'un épicentre ou bien de procéder à partir d'un aléa régional qui est exprimée sous la forme de PGA au rocher. Dans le cas de notre application à la collectivité de Saint-Martin, l'agression de scénario a été choisie avec un niveau d'accélération constante au rocher, car l'objet est d'évaluer l'ensemble de la

commune sur une base identique. La valeur a été fixée à 0,24 g en cohérence avec le spectre au rocher proposé dans le chapitre 2.

Le module « séisme » d'*Armagedom* va donc être utilisé pour générer une carte de PGA sur l'ensemble de la zone en prenant en compte les effets de site lithologiques et topographiques à partir d'une accélération constante au rocher de 0,24 g. Les données d'entrée suivantes sont nécessaires au calcul du scénario :

- une carte de l'aléa sismique régional, dans ce cas à une valeur constante de 0,24 g (Chapitre 2).
- les zones à effets de site topographique (Chapitre 5);
- le zonage des effets de site lithologiques (Chapitre 4). *Armagedom* associe à chacune de ces zones un coefficient d'amplification du mouvement du sol, défini comme le rapport entre l'accélération du plateau du spectre en accélération en surface et la valeur correspondante du spectre au rocher.

Il s'agit alors d'un « **scénario régional** » : L'intérêt de prendre en compte un aléa constant sur toute la zone, modulé uniquement par les effets de site lithologiques et topographiques, est de pouvoir analyser les conséquences de la concentration des enjeux, de leur vulnérabilité, et de leur emplacement en zones d'aléa local fort. On soustrait ainsi les impacts qui pourraient être les différentes sources sismiques sur un scénario probabiliste, ou les effets de l'atténuation avec la distance d'un scénario déterministe.

Armagedom propose la possibilité de travailler en utilisant tout le spectre d'accélération, cependant, nous avons choisi d'utiliser l'accélération au rocher constante et appliquer les effets de site comme un simple facteur de majoration au sein du logiciel. Ce choix est motivé par la forme des spectres d'amplification obtenus : la descente rapide de l'amplification pour des valeurs supérieures à 0.4s rend la réponse très différente selon la période des bâtiments modélisés. Or, plusieurs des classes de vulnérabilité devraient avoir des périodes propres moyennes autour de cette valeur. Nous avons ainsi préféré être conservatifs et appliquer la même amplification forte à toute la gamme du bâti.

Le module « typologie » sert à définir les différentes typologies de bâtiments et leur vulnérabilité, pour chaque zone bâtie homogène. Chacune des zones déterminée dans la cartographie de l'occupation du sol de la collectivité de Saint-Martin, délimitée à partir des orthophotos et validée sur le terrain, est définie avec une typologie différente et la courbe de vulnérabilité statistique associée (Chapitre 8).

Dans la logique d'un scénario qui permette classer et comparer les différents quartiers vis-à-vis de leur risque, nous travaillons uniquement avec les analyses de la vulnérabilité des quartiers, qui concernent le bâti de catégorie d'importance II. Finalement, le module « vulnérabilité » du logiciel croise l'aléa avec les enjeux, c'est-à-dire les zones bâties homogènes, en suivant les étapes de la méthode RISK-UE Niveau 1.

Les Figure 61 et Figure 62 présentent les cartes des coefficients d'amplification permettant de prendre en compte les effets de site topographiques et lithologiques. Les simulations de dommages ont été faites en tenant compte des deux types d'effets de site. Les résultats sont présentés sur la Figure 63. La majorité du territoire de Saint-Martin est concernée par une intensité VIII à IX (intensité jusqu'à X localement sur les reliefs).

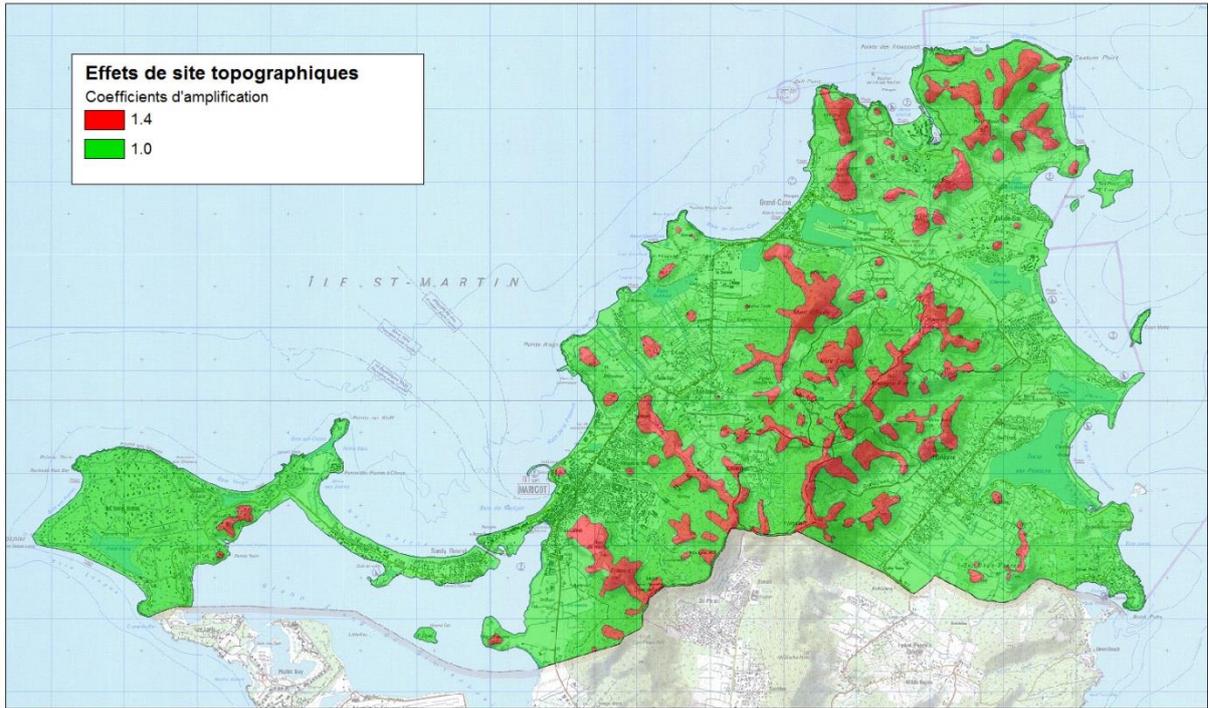


Figure 61 : Coefficients d'amplification du plateau du spectre en accélération utilisés pour la prise en compte des effets de site topographiques.

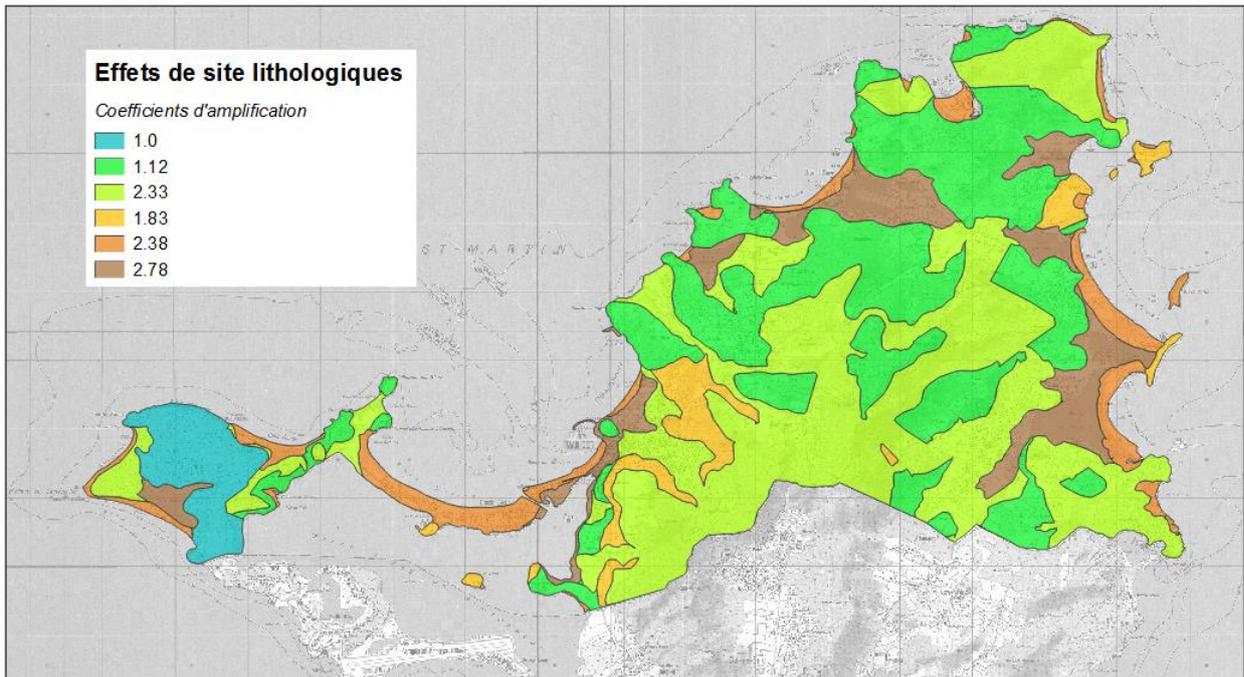


Figure 62 : Coefficients d'amplification du plateau du spectre en accélération utilisés pour la prise en compte des effets de site lithologiques.

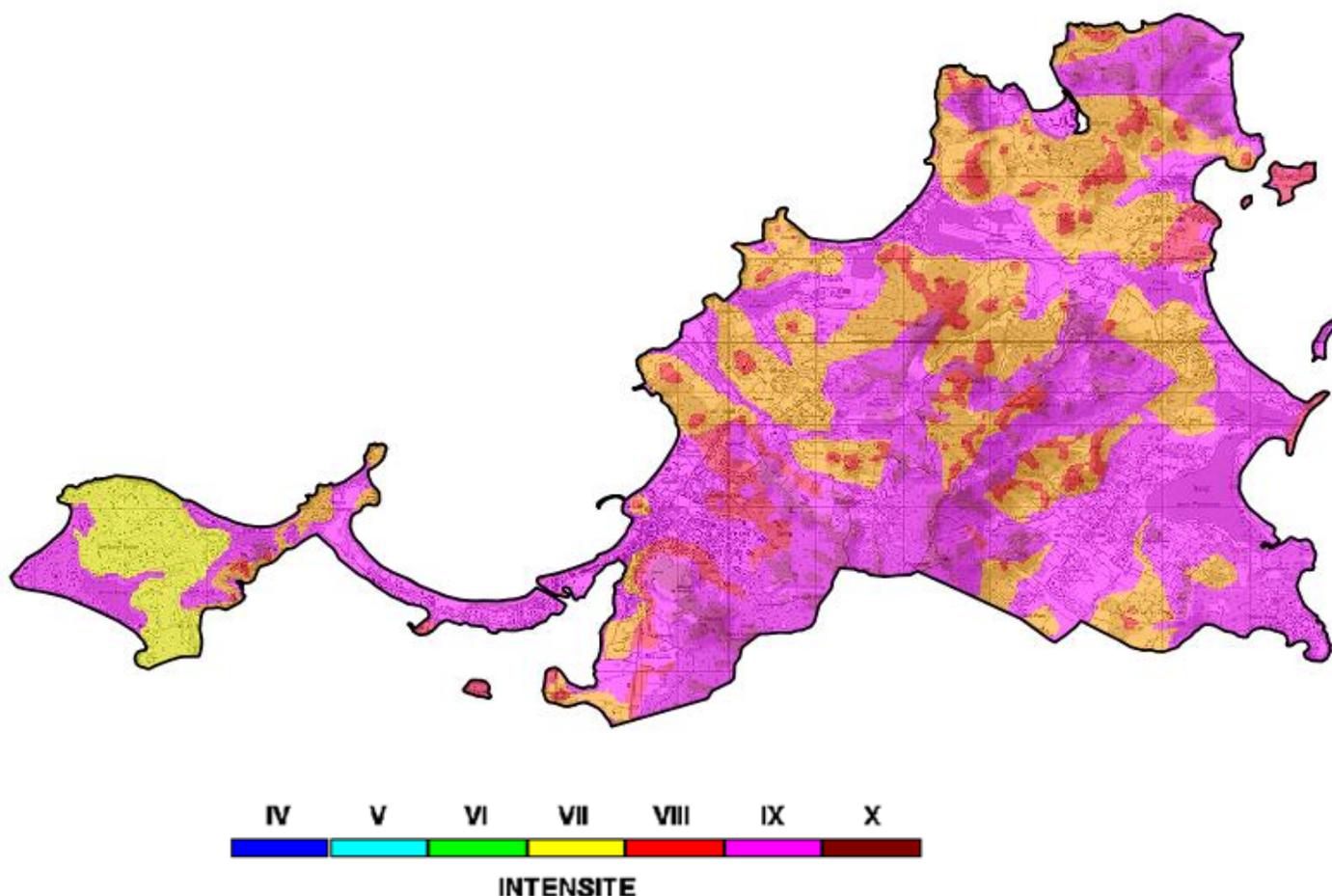


Figure 63 : Intensités macrosismiques sur Saint-Martin calculées avec Armagedom pour une accélération régionale constante de 0.24g tenant compte des effets de site lithologiques et topographiques

9.2. RÉSULTATS DES SCÉNARIOS

Les résultats des simulations d'endommagement peuvent être affichés directement avec *Armagedom* ou bien exportés pour être restitués avec des logiciels spécifiques comme *MapInfo* ou *ArcGIS*. Il faut préciser que les résultats présentés sur les cartes peuvent dépendre beaucoup de l'analyse thématique choisie, c'est-à-dire des valeurs seuils qui servent à construire le code de couleurs.

Un tableau avec l'ensemble des résultats obtenus pour toutes les zones bâties homogènes est présenté en Annexe 7, ainsi que les cartes avec les identifiants de chacune de ces zones homogènes. Les figures présentées ici sont également reprises en Annexe 7 en format A3 pour une meilleure lisibilité.

Pour le bâti courant de catégorie d'importance II, les résultats de scénario sismique sont présentés sous différentes formes :

- des cartes de pourcentage de bâtiments par maille carrée de 500 m (ou par zone homogène selon les cas) présentant un degré de dommage Di et donnant une indication du risque relatif ;

- des cartes de nombre de bâtiments ou de logements par maille carrée de 500 m (ou par zone homogène selon les cas) présentant un degré de dommage Di et donnant une indication du risque absolu ;

Les premières cartes présentées (Figure 64 et Figure 65) montrent les résultats du scénario de risque déclinés en termes de pourcentage de bâtiments fortement endommagés (degré D4 D5). La Figure 64 montre que, si l'on considère la collectivité dans son ensemble, l'endommagement est minimal dans les secteurs de Terres Basses et l'Etang Chevrise avec des pourcentages d'endommagement plus faibles que pour le reste des zones.

Sur l'ensemble de la commune, six îlots de construction homogène présentent l'endommagement le plus fort en termes de pourcentage (plus de 40%) (polygones 1646, 1656, 1657, 1658, 5736, 6736) (Figure 65) :

- Polygones 1646 et 1658. Ces zones correspondent à des quartiers de centre-ville avec un effet de site très fort (surtout lithologique en première ligne de côte) et une vulnérabilité moyenne à forte.
- Polygones 1656, 1657, 5736 et 6736 sont de l'habitat collectif en zone de fort effet site.

La Figure 66 présente le niveau absolu de dégâts (nombre de bâtiments endommagés par secteur) estimé par le scénario régional.

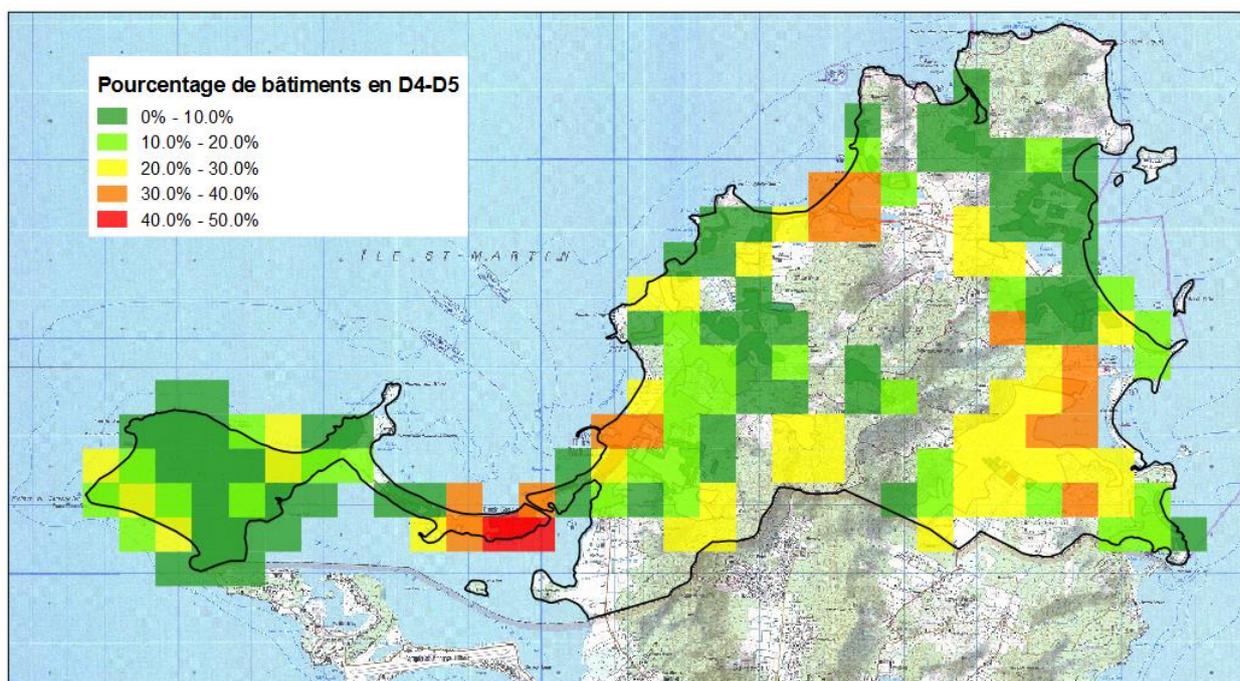


Figure 64 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommage D4 D5 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

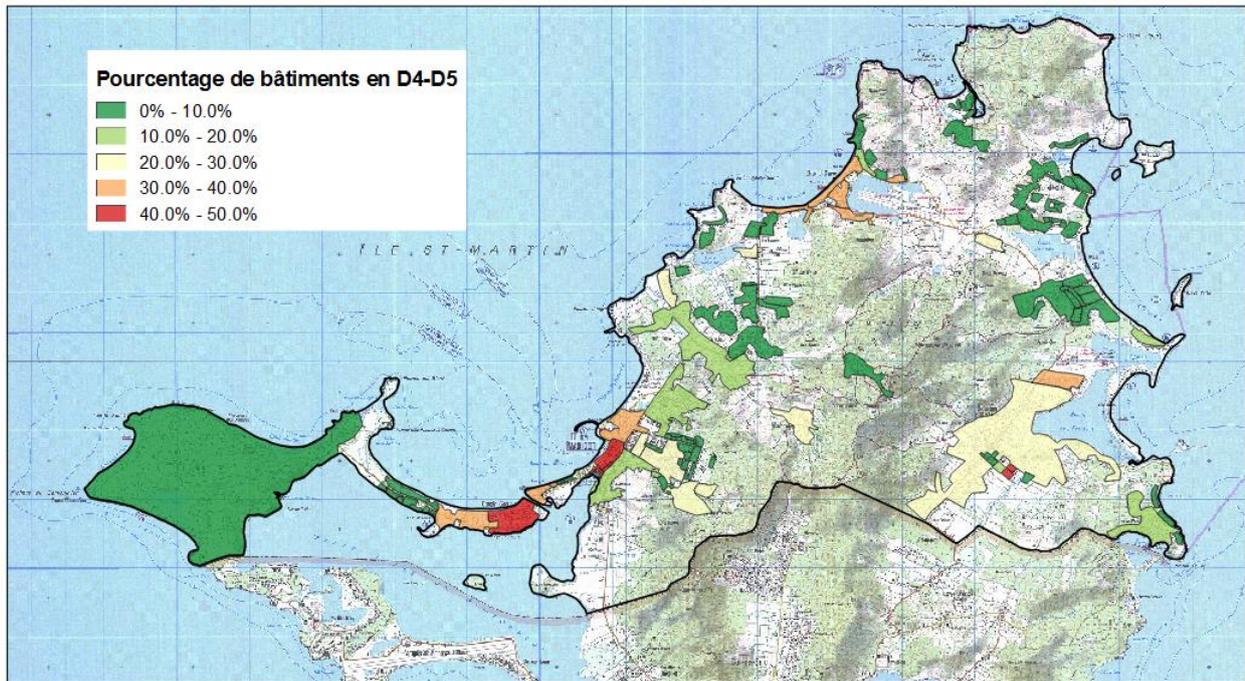


Figure 65 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommage D4 D5 par îlots de construction homogène. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

Le secteur qui présente le plus grand nombre de bâtiments en D4 D5 est la zone du centre-ville du Sandy Ground. Pour ce secteur, trois facteurs entrent en jeu pour expliquer les résultats : vulnérabilité élevée, fort effet de site et forte densité de bâtiments. Les quartiers d'habitat disparate, avec une plus forte dispersion de l'habitat, ne ressortent pas forcément dans cette carte exprimée en nombre de bâtiments.

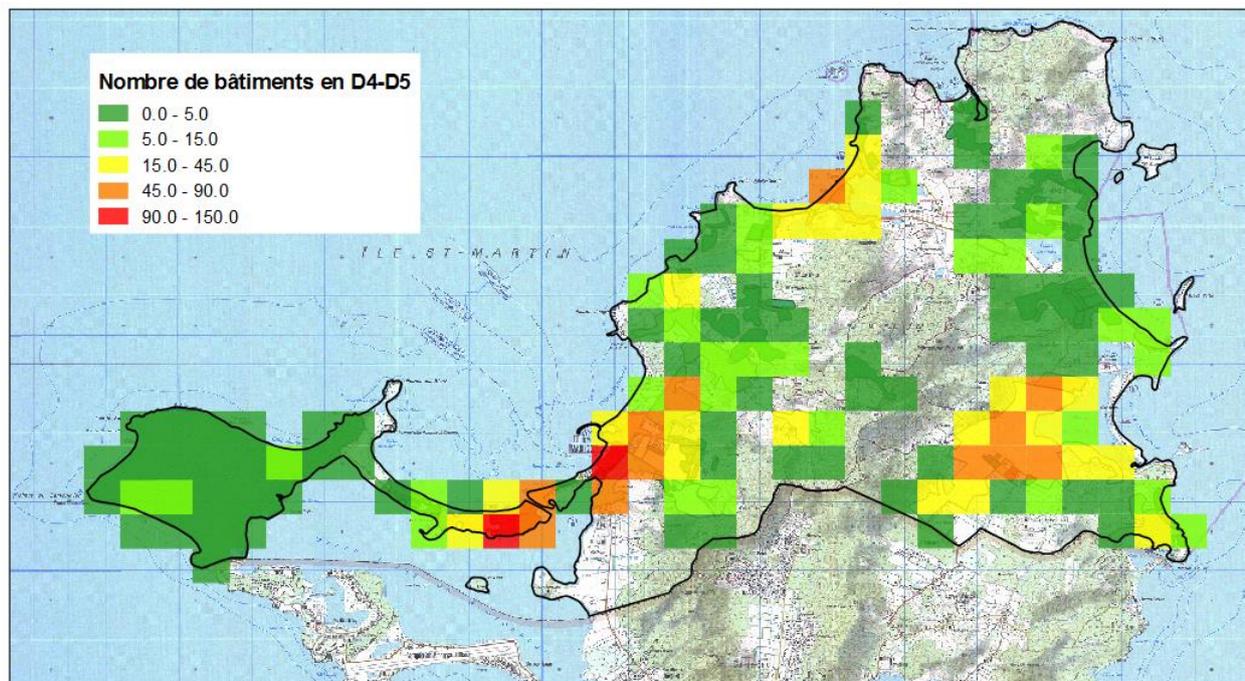


Figure 66 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D4 D5 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

La carte du pourcentage de bâtiments peu endommagés (D0 et D1) (Figure 67) montre à nouveau l'importance des effets de site. Hormis certains quartiers peu vulnérables, qui correspondent souvent à des lotissements ou à un habitat collectif de construction récente, et les zones à faible effet de site des Terres Basses, les autres quartiers présentent un pourcentage faible ou très faible de bâtiments peu endommagés, ce qui veut dire implicitement que pour le reste des zones, une grande majorité du parc bâti souffre au moins de dégâts légers (D2).

L'endommagement moyen (degrés de dommage D3 et D2) (Figure 69 et Figure 70) est généralisé sur la collectivité de Saint-Martin.

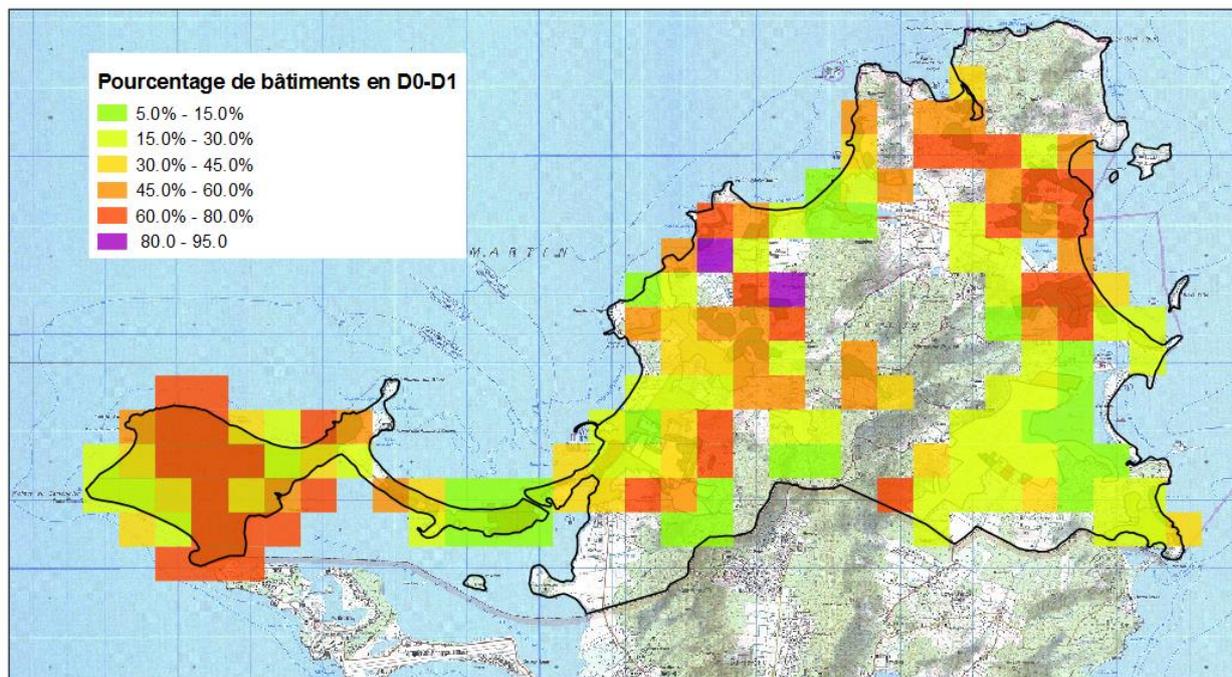


Figure 67 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages D0 D1 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

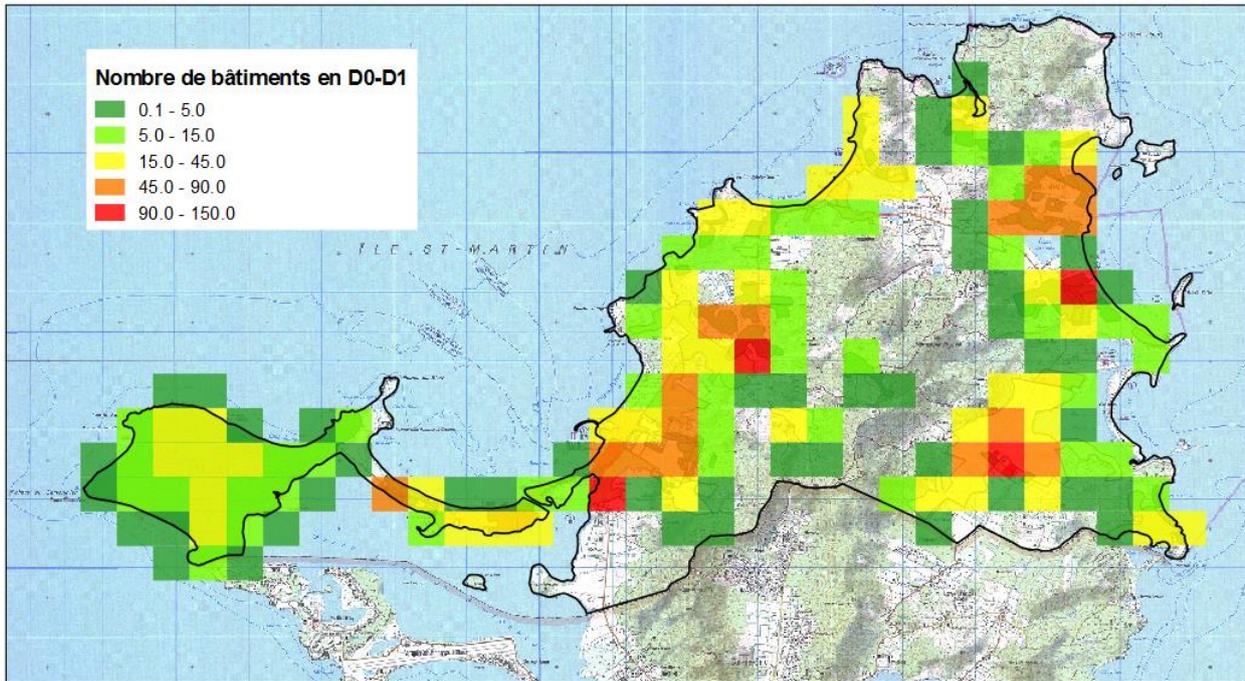


Figure 68 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D0 D1 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

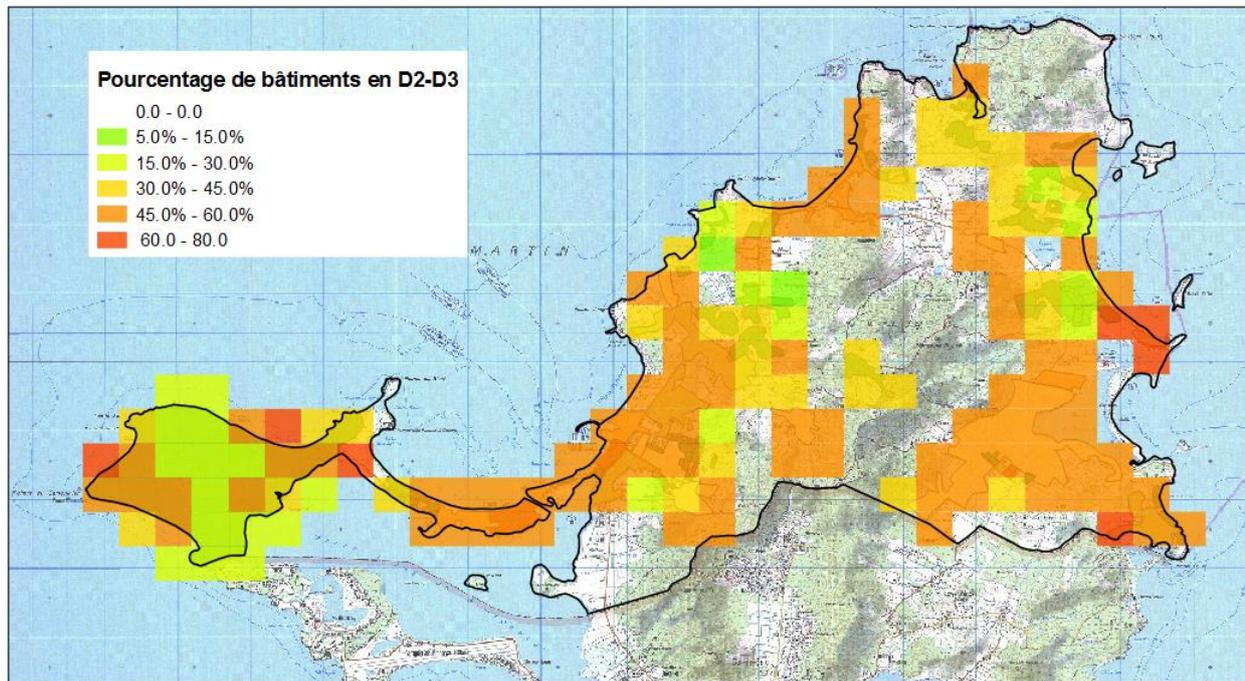


Figure 69 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages D2 D3 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

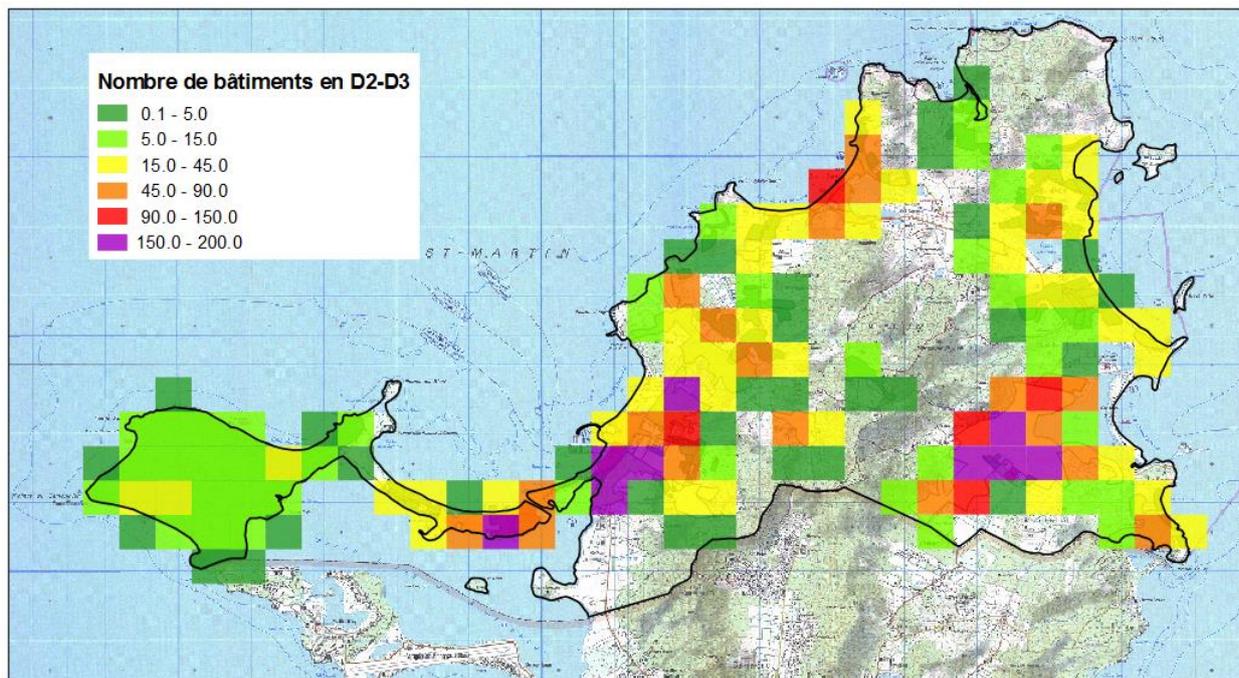


Figure 70 : Nombre de bâtiments présentant un degré de dommages D2 D3 par maille carrée de 500m. Scénario d'aléa régional constant de 0.24g avec effets de site.

Les résultats présentés sous forme de nombre de bâtiments endommagés D2 D3 montrent à nouveau les zones de forte densité de constructions comme étant les plus impactées (zones de Sandy Ground, Gustavia et Quartier d'Orléans).

Afin d'avoir une meilleure vision d'ensemble, les résultats ont été regroupés par typologies d'occupation du sol (Tableau 31). Les quartiers de Centre-Ville présentent un taux d'endommagement supérieur, car ce sont notamment les quartiers de ce type d'habitat qui se situent sur la côte et sur les anciennes lagunes comblées de la collectivité, avec des forts effets de site lithologiques. Le centre-ville montre les pourcentages d'endommagements les plus forts provoqués par une plus forte vulnérabilité (plus de constructions anciennes). Les lotissements, globalement de construction assez récente dans la commune, ont un taux d'endommagement moindre.

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	Total bâtiments
COL	7.77%	23.40%	27.74%	22.98%	14.37%	3.74%	203
CV	3.92%	12.46%	22.73%	28.86%	23.31%	8.72%	1828
ISO	9.03%	19.21%	25.86%	25.90%	16.41%	3.58%	6191
LOT	29.60%	33.59%	23.33%	10.61%	2.68%	0.18%	1330

Tableau 31 : Pourcentage de bâtiments présentant un degré de dommages D_i par type de quartier.

Finalement, étant donné que la valeur de l'intensité EMS98 est un paramètre clé pour expliquer les résultats des scénarios, il a été estimé intéressant de montrer les résultats des scénarios par zone d'intensité (Tableau 32). Ainsi nous observons globalement que, pour les parties de la commune en intensité IX (EMS98), l'endommagement en D4 et D5 atteint un 25% du parc bâti et pour une intensité VIII ce pourcentage se réduit 10%.

Intensité EMS98	D0	D1	D2	D3	D4	D5	Total bâtiments
VIII	22.37%	28.20%	24.21%	16.02%	7.54%	1.65%	2857
IX	5.99%	16.52%	25.27%	27.80%	19.29%	5.14%	6696

Tableau 32 : Pourcentages de bâtiments présentant un degré de dommages Di par zones d'intensité.

9.3. SYNTHÈSE

Le scénario d'aléa régional permet d'obtenir une image du risque global de la collectivité de Saint-Martin. Ces résultats permettent de classer les différents quartiers les uns par rapport aux autres et font ressortir en particulier les endroits où le risque est le plus élevé : ce risque peut être dû soit à une vulnérabilité avérée (bâtiments mal préparés pour résister un séisme), soit à une exposition très élevée (une plus grande densité de l'habitat), soit à un aléa local plus fort (expliqué par les effets de site). On a traité uniquement le bâti résidentiel afin de focaliser l'étude sur le risque direct encouru par la population. Nous constatons ainsi que les zones les plus à risque sont les centres-villes de Sandy Ground, Marigot, Grand Case et le Quartier d'Orléans, ces résultats sont expliqués par une coïncidence de vulnérabilité élevée et forte densité d'enjeux (bâtiments). En revanche, la zone de Sandy Ground se distingue comme la zone où le risque est le plus fort à cause de la confluence des enjeux, de la vulnérabilité et des effets de site lithologiques les plus élevées de la collectivité. La zone de Terres Basses semblerait moins à risque du fait de l'absence d'effet de site.

Du point de vue de la typologie d'occupation du sol, on remarque que globalement, les zones de lotissement ont le risque le plus faible, suivies par l'habitat disparate, l'habitat collectif et finalement par les zones du centre-ville. Les zones d'habitat disparate ont l'avantage d'être construites plus loin de la côte et donc dans des zones à effet de site plus modéré. Il faut noter que l'habitat collectif a été traité de façon sommaire dans les études précédentes, la présente étude ne portant pas sur ce type d'habitat. Les résultats concernant l'habitat collectif, le montrent très vulnérable, mais sont à considérer avec précaution. Pour l'habitat isolé ou en centre-ville, le niveau du risque présente une plus grande dispersion, car dans ces groupes on trouve aussi bien des bâtiments anciens très vulnérables que des bâtiments récents à vulnérabilité moyenne ou faible.

10. Conclusions générales

L'objectif de cette étude porte sur l'évaluation de l'aléa sismique local, de la vulnérabilité du bâti de catégorie d'importance II, et sur la réalisation d'un scénario de risque sur la collectivité de Saint-Martin.

À cette fin, le BRGM a réalisé un microzonage sismique, en adoptant les méthodes préconisées par l'Association Française du Génie Parasismique (AFPS) et les guides méthodologiques de réalisation des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) édités par les Ministères concernés.

Les résultats sont fournis, sous la forme de cartes à 1/25 000 avec des zooms au 1/10 000 sur le centre bourg. Leur lecture permet de connaître, en tout point de coordonnées de la collectivité de Saint-Martin :

- les zones de réponse sismique homogène selon l'approche spécifique donnée par le Guide méthodologique : « Prévention des risques naturels (PPR) Risques sismiques, 2002 » ;
- les zones susceptibles de présenter une amplification du mouvement sismique liée à la topographie au sens des règles PS92 ;
- les zones susceptibles de liquéfaction ;
- l'intensité de l'aléa mouvement de terrain ;
- la répartition des indices de vulnérabilité pour le bâti de catégorie d'importance II à usage d'habitation.

Les spectres spécifiques calculés dans le cadre de cette étude sont inférieures pour certaines classes de sol au spectre réglementaire. Aussi, il appartient aux services compétents de rester au niveau du réglementaire ou d'appliquer ces spectres spécifiques pour les nouvelles constructions.

L'étude de vulnérabilité du bâti courant à usage d'habitation (catégorie d'importance II) montre que la collectivité de Saint-Martin présente une vulnérabilité moyenne à forte sur l'ensemble de son territoire, avec des valeurs d'indice de vulnérabilité variant majoritairement entre 0,5 et 0,75. Les zones d'habitat individuel disparate ont une vulnérabilité entre modérée et forte (indice de vulnérabilité compris entre 0,6 et 0,75), alors que les zones d'habitat collectif ou de lotissements récents, avec un meilleur respect des principes des règles parasismiques actuelles, présentent généralement une vulnérabilité moindre avec des indices globalement compris entre 0,45 et 0,6. Les valeurs de vulnérabilité les plus fortes correspondent aux secteurs du centre-bourg, avec une présence plus importante de bâtiments anciens.

Pour les bâtiments de catégorie III et IV qui ont été visités lors de l'étude et évalués avec une vulnérabilité moyenne à forte, il est conseillé de réaliser par la suite une analyse de la résistance parasismique plus approfondie et prévoir des éventuels renforcements.

Les résultats d'un scénario de risque mené sur la base des mouvements issus du microzonage sismique montrent un risque plus élevé au niveau de certaines parties du bourg de Marigot, Grand Case et du Quartier d'Orléans en comparaison des autres zones de la commune. Cela s'explique à la fois par une vulnérabilité forte et par une forte densité de l'habitat. Cependant, c'est le quartier de Sandy-Ground, une zone particulièrement vulnérable aussi d'un point de vue social, qui ressort comme la zone la plus fragile, à la fois à cause du fort effet de site ainsi que de la vulnérabilité physique des bâtiments.

L'analyse de risque concernant les degrés de dommages des bâtiments pourrait être complétée dans une phase ultérieure par une analyse concernant les victimes, en termes de morts, de blessés et de sans-abris, pour le scénario considéré. Cette analyse devra alors tenir compte de la fréquentation touristique et l'heure (jour, nuit, périodes de repas...).

Les différentes composantes de l'aléa sismique local peuvent désormais être prises en compte dans les documents d'urbanisme, afin que les aménageurs et urbanistes intègrent les différentes contraintes liées à cet aléa, dès la conception d'un projet, au même titre que les contraintes liées au fonctionnement actuel de l'agglomération. En termes de dimensionnement, le calcul des spectres via une approche spécifique a une forte incidence par rapport aux EC8.

En effet, compte tenu des spectres plus étroits déterminés et un niveau d'aléa régional plus faible, les ouvrages de plus de 3 étages devraient prendre en compte des niveaux d'agression nettement plus faible. A contrario, les effets de site sont extrêmement plus pénalisants, ce qui conduit à des niveaux d'endommagement très fort pour le scénario d'aléa régional.

De plus, il convient de multiplier ces spectres par un coefficient d'importance pour obtenir les valeurs à appliquer aux bâtiments. Les coefficients d'importance ont été définis dans l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ». Ainsi, on retiendra un coefficient d'importance de 1 pour un bâtiment de catégorie d'importance II, de 1,2 pour la catégorie d'importance III et de 1,4 pour la catégorie d'importance IV.

Enfin, il convient également de multiplier ces spectres par le coefficient d'amplification topographique $\tau = 1,4$ dans les zones spécifiées

L'analyse de la susceptibilité à la liquéfaction des formations meubles sur le territoire communal, a permis de cartographier certaines zones avec un aléa liquéfaction moyen. Il est donc recommandé d'en tenir compte vis-à-vis de l'urbanisation de ces zones. En cas de liquéfaction avérée, les règles en vigueur imposent l'application de mesures compensatoires, comme le traitement des sols ou le renforcement des fondations.

Si au cours de ces dernières années, différentes actions visant à réduire le risque et à mieux se protéger pour l'avenir, ont été entreprises, la difficulté majeure reste la mise en œuvre pratique et effective des différents volets de la prévention du risque sismique.

Le problème réside en fait aujourd'hui principalement dans la vulnérabilité du bâti construit existant. Aussi, il est fortement conseillé aux propriétaires de bâtiments existants *a priori* fortement vulnérables aux séismes, d'engager des études précises de diagnostic sismique et le cas échéant un renforcement parasismique. En revanche, pour les futures constructions, on peut penser que le corpus réglementaire concernant la prise en compte des risques est la garantie d'une construction parasismique, assurant la protection des biens et des personnes.

La prise en compte du risque sismique dans les projets de construction apparaît bien comme un enjeu majeur pour la sécurité des générations futures.

L'analyse des séismes destructeurs récents dans le monde, indique en effet que la plupart des dégâts sont causés sur les constructions qui n'ont pas fait l'objet de dispositions constructives parasismiques. En revanche, les constructions pour lesquelles les dispositions élémentaires ont été appliquées, se comportent bien.

Pour appliquer ces dispositions élémentaires, encore faut-il qu'elles soient connues, et qu'un cadre réglementaire astreigne les constructeurs, aménageurs et urbanistes à les suivre. Une des priorités serait donc de transposer les constats techniques des études de microzonage sismique en documents opposables aux tiers, ce qui permettrait d'adapter localement la réglementation nationale.

11. Bibliographie

AFNOR (1995) - Règles d'extension parasismique : règles PS applicables aux bâtiments, dites règles PS92. AFNOR, Paris, norme française NF P 06-013.

AFNOR (2005) - Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments (P06-030-1). AFNOR, Paris, norme française NF En 1998-1.

AFNOR (2005) - Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 5 : fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques (P 06-035-1), AFNOR, Paris, norme française NF En 1998-5.

AFPS (1993) - Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique.

AFPS (2004) - Guide de construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles dit « Guide CP-MI Antilles » (2004), Recommandations AFPS Tome IV, 144 p.

Groupe de travail AFPS – CSTB (2010). Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme. Document de travail. Version du 20 novembre 2011.

Allard J-F., Delaunay J. (1980). Reconnaissance géotechnique pour le village hôtel de la belle créole, BRGM, 80ANT06.

Atkinson, G. M., & Boore, D. M. (2003), Empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(4), 1703–1729.

Atlan Y., Paulin C. (1985). Essai d'identification des ressources en eau souterraine de l'île de Saint-Martin., BRGM, 85 ANT015.

Audru J.C., Nédellec J.L., Mathon C. and Mompelat J.M. (2006). Geomechanical characterization of surface formations and instabilities in French Polynesia, Symposium on French Research in the Pacific, Tahiti, 9–12 October 2006.

Beretta M. (1987). Étude de faisabilité de la décharge de Cul-de-sac, BRGM, 87GLP029.

Beretta M. (1988), Décharge de Cul-de-sac, Étude d'impact, BRGM, 87GLP029.

Berge-Thierry, C., Cotton, F., Scotti, O., Griot-Pommer, D.-A. & Fukushima, Y., (2003), New empirical spectral attenuation laws for moderate European earthquakes, *Journal of Earthquake Engineering*, **7**(2), 193-222.

Bertil D. (2008), Etude de l'aléa sismique régional pour les microzonages sismiques de Trinité, Robert et Vauclin : rapport intermédiaire. Rapport BRGM/RP-56930-FR, 46 p. 17 fig., 8 tab.

Bertil D., A. Roullé, J.M. Mompelat, S. Auclair, E. Bayle, M. Bengoubou-Valérius, A. Bitri, M. Chauvet, P. Gehl, M. Imbault, C. Negulescu, K. Samyn, E. Vanoudheusden, F. Vermeersch (2009), Microzonage sismique des communes de Baie-Mahault et Lamentin (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-57487-FR. 172 p., 85 fig. 58 tab. 9 annexes

Bertil D., S. Auclair (2009), Etude de l'aléa sismique régional pour le microzonage sismique de Saint Joseph (Martinique). Rapport intermédiaire. Rapport BRGM/RC -xxxxx-FR, 46 p. 17 fig., 8 tab.

Boncompain B., Javey C, Michalski E.R. (1974). Études de sols et de fondations en vue de la construction de l'hôtel de ville de Marigot, BRGM, 74 ANT07.

Boore, D.M., and Atkinson, G.M., (2008), Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s: *Earthquake Spectra*, v. 24, p. 99 – 138.

Bozzoni, F., M. Corigliano, C.G. Lai, W. Salazar, L. Scandella, E. Zuccolo, J. Latchman, L. Lynch, R. Robertson (2011), Probabilistic Seismic Hazard Assessment at the Eastern Caribbean Islands. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 5, pp. 2499–2521, October 2011, doi: 10.1785/0120100208

Campbell, K.W., and Bozorgnia, Y., (2008), NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s: *Earthquake Spectra*, v. 24, p. 139 – 172.

CDSA (2008), Base de données du Centre de données sismologique des Antilles (CDSA) (www.seismes-antilles.fr)

CFGI (2000), Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. LCPC, Paris, 91 p.

Chiou, B.S.J., and Youngs, R.R., (2008), Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters: *Earthquake Spectra*, v. 24, p. 1716

Clément C., Bernard P., avec la collaboration de Viodé J.P., Anténor C., Lépine J.C., Beauducel F. (2001) - Compilation et validation du catalogue de sismicité des Observatoires IPGP des Antilles Françaises. Rapport IPGP pour le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE). 96 p.

Cloarec V., Leroi E., Martin C., Carbon D., Monge O. (2008). Mise à jour du plan de prévention des risques naturels de la collectivité territoriale de Saint-Barthélemy – Note méthodologique. Rapport GEOTER : GTR/DDEG/0508-484 Av2

Dagain J., Andreieff P., Westercamp D., Bouysse P, Garrabé F. (1989), Notice explicative de la carte géologique de Saint-Martin, BRGM.

Darendeli M.B. (2001) - Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves, Ph. D. dissertation, University of Texas, Austin, USA.

Deshons P. (1986), Évaluation des ressources en eau souterrain à Anse Marcel, BRGM, 86GPE006.

Dewandel B., Lachassagne, P., Wyns, R., Maréchal, J.C., Krishnamurthy, N.S. (2006). A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology* 330 (1–2), 260–284.

Deneufbourg G., Dréan Ph. (1972), Étude géologique et géotechnique de la piste de l'aérodrome de Grand' Case à Saint-Martin, BRGM, 72ANT22.

Douglas J., Bertil D., Roullé A., Dominique P. and Jousset P. (2006). A preliminary investigation of strong-motion data from the French Antilles. *Journal of Seismology*, 10(3), 271-299. DOI 10.1007/s10950-006-9016-0.

Douglas J., and Mohais R., (2009), Comparing predicted and observed ground motions from subduction earthquakes in the Lesser Antilles: *Journal of Seismology*, p. DOI 10.1007/s10950-10008-19150-y.

Dunand F. (2009) Evaluation et analyse du risque sismique, de la pertinence des renforcements et des priorités d'intervention sur le parc des écoles publiques de Guadeloupe. Etude complémentaire à l'inventaire sismique. Rapport de synthèse. Rapport GEOTER-Hauss 2008.02-02.902.0. 83 p

Dunand F., Pfeiffer F., Hauss C., S. Bremond, C. Gomes, Ch Martin & S. Dumoulin (2009). Evaluation de la vulnérabilité sismique du Parc des lycées publics de Guadeloupe en vue de l'élaboration de stratégies de renforcement. Rapport GEOTER-Hauss GTR/CRGU/0109-544. 65p.

Fabriol, H., Garry, G., (2002), Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques sismiques : guide méthodologique. Paris. La documentation française. 112 p. ISBN 2-11-005156-6.

Feuillet N. (2000), Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, 283 pp

Foucher J.-L., Olivier S., Rabier P. (1989), Etude de faisabilité géotechnique de la Cité Lacustre de Port Lisa, BRGM R30043 ANT 4S 89.

Foucher J.-L. (1990), Étude géotechnique pour le complexe hôtelier de petite plage (Grand'case), BRGM R30927 ANT 4S 90.

Godefroy P., Mouroux P., Paulin C., Rabier P., Rançon P., Sauret B. (1990), Etude et prévention du risqué sismique aux petites Antilles. Evaluation de l'aléa sismique sur l'archipel de la Guadeloupe : rapport de synthèse. Rap BRGM R30857.

Godefroy P., Mouroux P., Leroi E., Paulin C., Rabier P., Rançon P., Sauret B. (1991) – Etude et prévention du risque sismique aux Petites Antilles. Evaluation de l'aléa sismique sur l'île de la Martinique. Rapport de synthèse. Rapport BRGM/R 33 923.

Gostelow P. (1991), Rainfall and landslides. In: M.E. Almeida-Teixeira, R. Fantechi and A. Gomes-Coelho, Editors, *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commission of European Communities, Brussels (1991), pp. 139–161.

Hancock J., Watson-Lamprey J., Abrahamson N.A., Bommer J.J., Markatis A., McCoy E., Rishmilla M. (2006) – An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering*, 10, Special Issue 1, 67-89.

Inconnu, (1972), Rapport de prospection par sondages des indices cuprifères des Basses-Terres à Saint-Martin, BRGM, 72ANT43.

Inconnu, Étude hydrogéologique pour l'accroissement des ressources en eau de l'usine d'embouteillage d'Agri Industrie

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H. (1982) - Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. 3rd International Earthquake Microzonation Conference, Seattle, 1319-1330.

Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H., & Fukushima, Y. (2006), A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**(3), 879–897.

Kokusho T. (1980) - Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *Soils and foundations*, 20(4): p. 45-60.

Le Brun B. et Monge O. (2000). XIème Contrat Etat/Région Guadeloupe relatif à l'évaluation et la réduction du risque sismique : présentation des méthodes et évaluation d'indices communaux à l'échelle régionale. Rapport BRGM n° R 50078

Lilhanand K. and Tseng W.S. (1988) Development and application of realistic earthquake time histories compatible with multiple damping response spectra, Ninth World Conf. Earth. Engin., Tokyo, Japan, Vol II, p. 819-824.

Lin, P.-S., & Lee, C.-T. (2008), Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in northeastern Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(1), 220–240. doi: 10.1785/0120060002.

Martin C., Combes Ph., Secanell R., Lignon G., Carbon, D., Fioravanti A, Grellet B. (2002), Révision du zonage sismique de la France; étude probabiliste. Rapport Geo-TER GTR/MATE/0701-150.

McVerry, G. H., Zhao, J. X., Abrahamson, N. A., & Somerville, P. G. (2006), New Zealand acceleration response spectrum attenuation relations for crustal and subduction zone earthquakes. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, **39**(4).

Milutinovic Z.V., Trendafiloski G.S. (2003) - Vulnerability of current buildings. September report 2003, RISK-UE, WorkPackage 4. An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns., Nice, September 2003.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement (1999). Guide méthodologique – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques de mouvements de terrains. La Documentation française, Paris, 71 p.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement (2002). Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques sismiques. Guide méthodologique. La Documentation française, Paris.

Modaressi H., Foerster E., Mellal A. (1997) - Computer aided seismic analysis of soils. *Proc. Of the 6th Int Symp. On Numerical Models in Geomechanics*, NUMOG VI, Montréal, Québec, Canada July 2-4.

Mompelat J.-M. et B. Le Brun avec la collaboration de A. Bitri, D. Bertil, C. Lembezat, T. Pirrion, P. Sabourault et J. Vinçon (2003), Microzonage sismique des communes de Basse-Terre, Saint-Claude, Gourbeyre et Baillif (Guadeloupe).

Mompelat J.M., Brousset F. (1996) Rapport A 06836. Atlas communaux des risques naturels – cartographie des aléas : Saint-Martin

Mouret C. (1977), Résultats de la recherche d'eaux souterraines et du forage d'exploitation réalisés dans la ravine du Colombier, 77ANT001.

Ordaz, M., A. Aguilar, and J. Arboleda (2003), Crisis 2003. Program for computing seismic Hazard, Ver. 3.01.

Paulin C., (1985), Rapport géologique et détermination des périmètres de protection des forages, BRGM, 85GPE001.

Petit V. (1993), Blanchisserie L'Press. Choix d'un système d'évacuation des effluents d'une blanchisserie a Cripple Gate (Saint-Martin). Rapport RR-37164-FR (1993-4S-ANT).

Petit V., Lesage P., Rançon J-Ph. (1990), Étude hydrogéologique de Saint-Martin, BRGM, R 30482.

Rançon J-Ph., Petit V., Recherche d'eau souterraine pour le futur golf de Saint-Jean, BRGM, 30655 ANT 4S 90.

Seed H.B. and Idriss I.M. (1971) - Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division.*, ASCE, 97(9), pp1249-1273.

SISFRANCE (2009), Base de données SisFrance des séismes historiques (www.sisfrance.net). **BRGM, EDF, IRSN**

Stephan J.F., Mercier-de-Lépinay B., Calais E., Tardy M., Beck C., Carfantan J.Ch., Olivet J.L., Vila J.M., Bouysse Ph., Mauffret A., Bourgois J., Théry J.M., Tournon J., Blanchet R., Dercourt J. (1990), Paleogeodynamic maps of the Caribbean : 14 steps from Lias to Present. *Bull. Soc. géol. France*, (8), VI, 6, 915-919, 1 fig., 14 cartes coul. h.t.

Taboada A., Rivera L.A., Fuenzalida A., Cisternas A., Philip H., Bijwaard H., Olaya J., Rivera Cl. (2000), Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, vol. 19, n° 5, pp787-813

Terrier M., coll. Bes-de-Berc S. (2007), Réalisation d'un zonage sismique de la plaque caraïbe préalable aux choix de scénarios de tsunamis aux Antilles françaises - Rapport BRGM/RP-55376-FR, 77p, 31 fig, 1pl.Ht.

Terrier M., Combes Ph., Carbon D., Grellet B., Sedan O. (2002), Failles actives et évaluation de l'aléa sismique : Prise en compte des failles actives dans l'aménagement du territoire aux Antilles (Martinique et Guadeloupe). Partie 1 : Identification des systèmes de failles actives dans l'archipel de la Guadeloupe et l'île de la Martinique. *Rapport BRGM/RP-51258-FR*. 118 pages. 30 figures. 8 tableaux. 4 annexes

Westercamp D., Tazieff Hh. (1980) Guides géologiques régionaux : Martinique et Guadeloupe (Saint Martin, la Désirade) éd. Masson.

Wyns, R., Baltassat J.M., Lachassagne P., Legchenko A.V., Vairon J., Mathieu F. (2004). Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France* 175 (1), 21–34.

Yalcin A. (2007), The effects of clay on landslides: a case study, *Applied Clay Science* 38 (2007), pp. 77–85.

Youngs, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997), Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73.

Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H. K., Somerville, P. G., Fukushima, Y., & Fukushima, Y. (2006), Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898–913.

12. Glossaire

- Accélération maximale** Pour un séisme donné, valeur maximale de l'accélération mesurée sur les composantes horizontales de l'accélérogramme en un point donné. Unité de mesure : m/s^2 .
- Accélérogramme** Enregistrement par un accéléromètre de l'accélération du sol pendant un séisme. Le terme accélérogramme au rocher s'applique à un enregistrement effectué sur du rocher, i.e. un sol de classe A dans les Eurocode 8.
- Aléa** Événement menaçant ou probabilité d'occurrence, dans une région et au cours d'une période données, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.
- Coefficient d'amplification (τ)** Coefficient multiplicateur appliqué dans la définition de l'action sismique pour tenir compte de l'effet topographique.
- Contreventement** Ensemble d'éléments de construction assurant la rigidité et la stabilité d'un bâtiment vis-à-vis des forces horizontales engendrées par le vent, les secousses sismiques ou d'autres causes.
- CPT** Essai de pénétration au cône statique. Variante du SPT.
- Déterministe** Analyse de l'aléa sismique dans une région donnée pour identifier le séisme le plus important ; elle est réalisée à partir des événements passés sans prendre en compte, ni leur fréquence d'occurrence, ni leur probabilité de retour.
- Drainé** Un sol drainé est un sol sec, un sol non drainé est un sol plus ou moins saturé en eau.
- Effet de site** Amplification (ou atténuation) du mouvement du sol par rapport au mouvement enregistré sur le rocher, causée par les caractéristiques locales du site : géologie, topographie.
- Effets induits** Grands mouvements du sol ou de l'eau déclenchés par la vibration sismique. Soit le séisme joue un rôle de déclencheur (glissement, éboulement, effondrement), soit il est déterminant dans leur genèse (liquéfaction des sols, tsunamis, seiche).
- Enjeux** Personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. La notion d'enjeu recouvre une notion de valeur ou d'importance.
- Épicentre** Point de la surface du globe situé à la verticale du foyer d'un séisme. En général, il est au barycentre de la zone où les dégâts sont les plus importants (aire de plus forte intensité macrosismique).
- Faille** Plan de rupture qui divise un volume rocheux en deux compartiments et le long duquel les deux compartiments ont glissé l'un par rapport à l'autre.

Faille active Faille sur laquelle une rupture et un glissement se sont produits à une période récente (derniers 100 000 ans) et dont on présume qu'elle pourrait engendrer un séisme au cours d'une nouvelle et rupture future.

Foyer (ou hypocentre) Lieu où s'est initialisée la rupture de la croûte à l'origine du tremblement de terre.

Intensité (d'un séisme) Mesure de la force destructrice d'un séisme par cotation des effets de la secousse sismique sur les hommes, les bâtiments et l'environnement, et cela en un lieu donné à la surface. L'intensité en un point dépend non seulement de la taille du séisme (magnitude), mais aussi de la distance au foyer, de la géologie locale et de la topographie. Il existe plusieurs échelles d'intensité :

Intensité MSK Ancienne échelle d'intensité des séismes, mise au point en 1964 par Medvedev, Sponheuer et Karnik.

Intensité EMS98 Nouvelle échelle d'intensité « l'Echelle Macrosismique Européenne » (Grünthal, 2001), évaluée en fonction de la répartition qualitative des dommages en fonction des différentes classes de vulnérabilité des bâtiments.

Limites d'Atterberg Paramètres géotechniques (limite de liquidité et limite de plasticité) destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de sa teneur en eau pondérale. L'**indice de plasticité** est la différence entre limite de liquidité et limite de plasticité.

Linéaire équivalent Approximation linéaire du comportement non linéaire des sols sous sollicitation sismique, ayant notamment pour conséquence que l'amplification du signal sismique sur un sol meuble par rapport au rocher est proportionnellement moindre pour les grandes sollicitations que pour les petites sollicitations.

Liquéfaction Transformation momentanée sous l'effet d'une secousse sismique de sols (généralement sables ou vases) saturés en eau, en un fluide sans capacité portante.

Lois d'atténuation Formules reliant un paramètre de mouvement du sol (accélération, vitesse ou intensité) à la distance au foyer. Elles sont déduites d'enregistrements accélérométriques et moyennées sur le plus grand nombre de séismes possible.

Magnitude Mesure la force d'un séisme ou son énergie libérée, à partir des enregistrements sur les sismographes. La magnitude peut être corrélée avec des grandeurs physiques associées à la source, comme la taille du plan de faille ou l'énergie libérée sous formes d'ondes sismiques. Elle n'a pas de limite théorique supérieure ni inférieure.

Microzonage sismique Zonage sismique sur l'ensemble ou une partie d'un territoire communal. Il tient compte du mouvement sismique au rocher (aléa régional) et des modifications de ce mouvement en fonction des conditions locales (effets de site et effets induits).

Module de cisaillement Rapport entre la contrainte tangentielle appliquée à un solide et la déformation en cisaillement résultante. Appelé aussi module de rigidité (μ). Unité de mesure : MPa.

Ondes sismiques Ondes élastiques générées par un séisme et se propageant à l'intérieur de la Terre.

Période de retour Intervalle de temps moyen entre deux occurrences successives d'un phénomène. Dans le cas d'un modèle probabiliste de Poisson, on utilise souvent pour les séismes et les bâtiments courants une période de retour de 475 ans, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 10 % en 50 ans.

Plaque tectonique La couche supérieure rigide de notre planète (lithosphère) est découpée en une douzaine de grandes plaques et en de nombreuses petites. Les plaques sont mobiles et entraînent les continents dans leurs déplacements.

Probabiliste Analyse de l'aléa sismique dans laquelle on prend en compte non seulement l'occurrence historique des séismes dans une région donnée, mais aussi le rythme selon lequel ils se succèdent dans le temps. Dans un zonage probabiliste, les paramètres de mouvement du sol sont calculés pour une probabilité de non-dépassement (voir période de retour) en un site.

Séisme de référence Séisme dont les caractéristiques (magnitude, intensité, profondeur) seront celles utilisées pour la prise en compte de l'aléa sismique ; généralement séisme de magnitude la plus élevée auquel peut être exposée une région donnée.

Signal vibratoire Mouvement oscillatoire du sol soumis à un séisme.

Sismicité Distribution géographique des séismes en fonction du temps.

Sismicité historique Sismicité ressentie par l'homme et qui est décrite dans les textes historiques (Exemple du séisme de 1839 en Martinique).

Sismicité instrumentale Sismicité mesurée par les réseaux de surveillance. Elle n'est bien connue que depuis quelques dizaines d'années.

Sismotectonique Analyse des relations entre les structures géologiques actives (se déformant encore de nos jours) et la sismicité. Elle conduit à identifier des failles actives ou sismogènes et des domaines sismotectoniques.

Sol (au sens géotechnique) Pour un site donné, ensemble des couches proches de la surface caractérisées par leur épaisseur et leurs propriétés mécaniques : densité, rigidité et teneur en eau.

Source sismique Caractérise le mécanisme physique à l'origine du séisme, c'est-à-dire la rupture sur le plan de faille au niveau du foyer sismique.

Spectre de réponse Utilisé par les ingénieurs pour caractériser le système de forces (ou action sismique) qui s'applique à une structure lors d'un séisme. Il s'exprime par un graphe qui donne la réponse en termes d'accélération, de vitesse ou de déplacement, d'un oscillateur simple en fonction de la période, ou de son inverse la fréquence.

SPT Essai de pénétration statique (standard). Utilisé en géotechnique pour déterminer la succession des différentes couches de terrain, éventuellement leur nature,

l'homogénéité d'une couche donnée ou la présence d'anomalies et certaines caractéristiques de sol.

Substratum Terme général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence. On parle ainsi de substratum géologique, sismique ou géotechnique.

Susceptibilité Ensemble de propriétés intrinsèques des sols favorisant la liquéfaction ou les mouvements de terrain (granulométrie des sables, cohésion etc.).

Vulnérabilité Caractérise la fragilité d'un élément exposé au phénomène sismique. La vulnérabilité physique exprime l'évaluation, qualitative ou quantitative, des dommages que pourraient subir un bâtiment (ou plusieurs bâtiments de même type) pour différents niveaux de séismes. Elle peut être quantifiée sur une échelle variant de zéro (aucun dommage) à un (perte totale).

Annexe 1

Méthode et résultats H/V

Méthode H/V :

De nombreuses techniques théoriques, numériques ou instrumentales ont été développées pour estimer les effets de site lithologiques (par ex. Borchardt, 1970). Les techniques expérimentales font généralement appel à un site de référence, c'est-à-dire un site rocheux n'amplifiant pas le mouvement sismique. Ce site rocheux n'est pas toujours présent sur les zones d'études, ce qui peut engendrer des erreurs dans les estimations des effets de site. C'est pourquoi des techniques plus récentes, ne faisant pas intervenir de site de référence, ont été mises au point (Lermo et Chávez-García, 1993). L'une de ces techniques consiste, à partir de l'enregistrement du bruit de fond ambiant, à calculer le rapport spectral entre les composantes horizontales et la composante verticale : c'est la méthode appelée couramment H/V (Nakamura, 1989). Le dispositif expérimental est constitué d'un sismomètre trois composantes et d'une station d'acquisition (Figure 71).

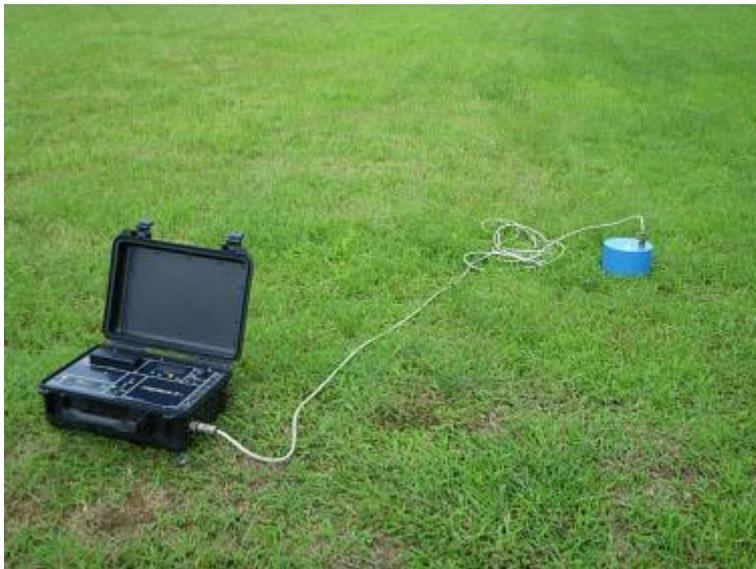


Figure 71 : Dispositif H/V utilisé en Martinique : à gauche : la station d'acquisition CityShark et à droite : le sismomètre tridimensionnel Lennartz 5 secondes.

Les principes physiques sous-tendus par cette méthode ne sont actuellement pas tous bien cernés. Cependant, de nombreuses expériences ont comparé cette méthode avec des méthodes classiques et ont montré sa capacité à évaluer la fréquence propre du site puis, en conjonction avec d'autres éléments, les effets de site proprement dits (Lachet et Bard, 1994 ; Field et Jacob, 1995). L'explication la plus communément admise est la suivante : soit un modèle très simple constitué d'une couche meuble (souvent sédimentaire) surmontant un demi-espace homogène. Le bruit de fond est engendré par des sources proches comme le trafic urbain et donc composé d'ondes de surface. Seules les composantes horizontales sont amplifiées par les réflexions sur les interfaces des couches sous-jacentes. La composante verticale du bruit de fond contient, elle, la signature des sources de bruit. On suppose également que la base de la couche sédimentaire n'est pas affectée par les ondes de surface.

Pour obtenir une pseudo-fonction de transfert à l'aide du bruit de fond, en s'affranchissant de l'effet de source, on divise donc le spectre d'une composante horizontale par le spectre de la composante verticale (d'où l'appellation H/V). Ce rapport donne avec une bonne précision la fréquence de résonance fondamentale du site (ou fréquence propre).

En définitive, la réalisation d'une campagne de mesures ponctuelles H/V permet, en première approche, de déterminer en chaque point de mesure la fréquence propre du sol.

Lorsque la géométrie du site peut être assimilée à un milieu mono-dimensionnel, On peut relier l'épaisseur d'une couche sédimentaire meuble (ayant un fort contraste d'impédance avec le substratum rocheux) à sa fréquence de résonance fondamentale f_0 par l'expression :

$$H = \frac{V_s}{4f_0}$$

avec H : épaisseur moyenne de la couche meuble,

V_s : vitesse moyenne de propagation des ondes S dans la couche meuble,

f_0 : fréquence de résonance fondamentale de la couche meuble.

Point	Xwgs84 (UTM20N)	Ywgs84 (UTM20N)	Point	Xwgs84 (UTM20N)	Ywgs84 (UTM20N)
SXM01	490885	1996672	SXM34	494673	1998541
SXM01B	484392	1997206	SXM35	492742	1998828
SXM02	490902	1996126	SXM36	493135	1998333
SXM02B	493317	1998742	SXM37	492359	1997539
SXM03	490703	1997493	SXM38	492112	1997250
SXM03B	494534	1998908	SXM39	491773	1997118
SXM04	490241	1997087	SXM40	491038	1997671
SXM04B	495438	1996931	SXM41	498083	1999346
SXM05B	495634	1996636	SXM42	497319	1999514
SXM06	489986	1996853	SXM43	497529	2000191
SXM06B	496906	1996467	SXM44	497096	2000060
SXM07	488447	1996882	SXM46	496205	2000550
SXM07B	498367	1997001	SXM47	496126	2000905
SXM08	488566	1996626	SXM48	496646	2001051
SXM08B	492426	1999590	SXM49	497110	2001037
SXM09	487435	1998110	SXM50	497302	2001768
SXM09B	496813	2001424	SXM51	497115	2002139
SXM10	486067	1996922	SXM52	497790	2002263
SXM10B	497168	2000242	SXM53	497809	2002894
SXM11	486236	1997226	SXM54	496429	2002463
SXM11B	492441	1996447	SXM55	495811	2002511
SXM12	486594	1997498	SXM56	495414	2002666
SXM12B	498700	1997506	SXM57	495729	2002121
SXM13	486027	1997258	SXM58	495649	2000940
SXM13B	496699	1999438	SXM59	495066	2001825
SXM14	484825	1998165	SXM60	495156	1996858
SXM14B	495828	2003174	SXM61	495941	1997061
SXM15	485254	1997683	SXM62	495934	1997847
SXM15B	497455	2003123	SXM63	496475	1997350
SXM16	484094	1997311	SXM64	497519	1997660
SXM17	485388	1996257	SXM65	498134	1997450

SXM18	485695	1997189	SXM66	498730	1996470
SXM19	487099	1997834	SXM67	497867	1996478
SXM20	489144	1996654	SXM68	496618	1998702
SXM21	487625	1997413	SXM69	498053	1998800
SXM23	490859	1995407	SXM70	497538	1998634
SXM24	490859	1998055	SXM71	497189	1999058
SXM25	491352	1998403	SXM73	497348	2000473
SXM26	491807	1998280	SXM74	496105	2000485
SXM27	492203	1997948	SXM75	495581	2000435
SXM28	492096	1998434	SXM76	494308	2001569
SXM29	491411	1999205	SXM77	492572	2000852
SXM30	491674	1999677	SXM78	493160	2000676
SXM31	492022	1999798	SXM79	491027	1997949
SXM32	493281	1999570	SXM80	490862	1997022
SXM33	494026	1999102	SXM81	489957	1997026

Tableau 33 Localisation (WGS84) des mesures H/V

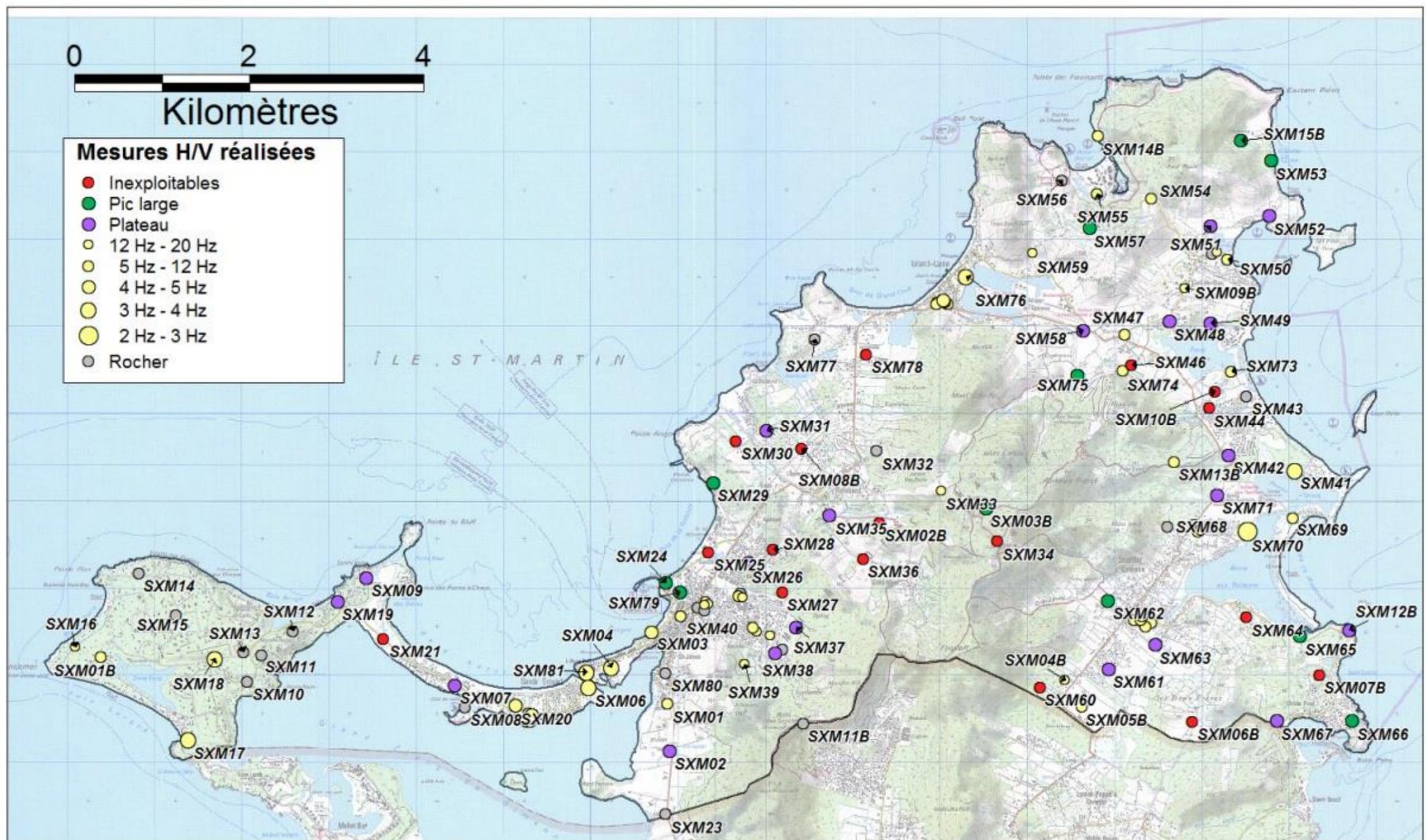
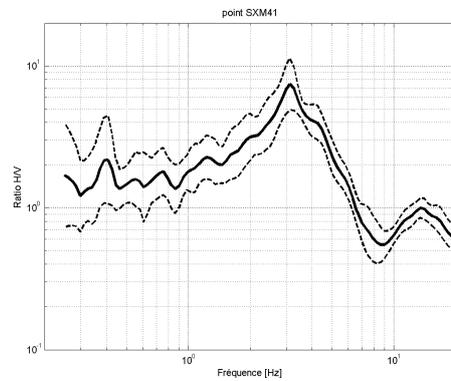
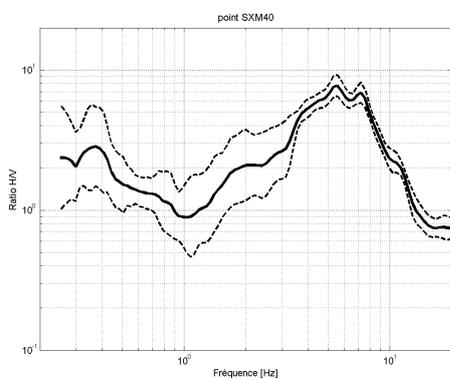
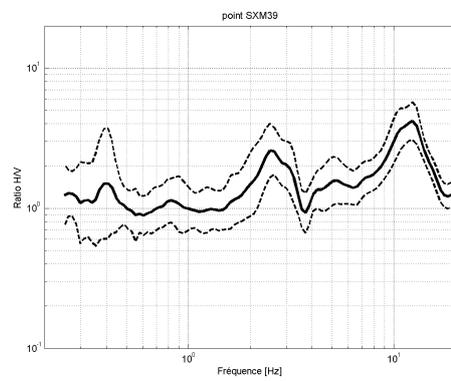
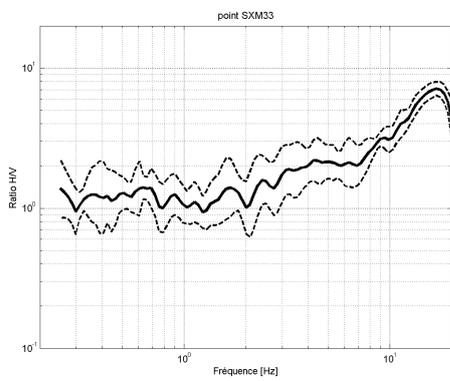
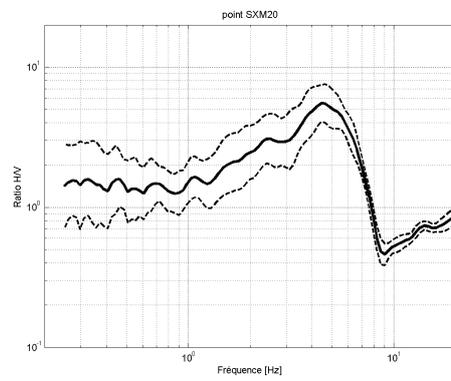
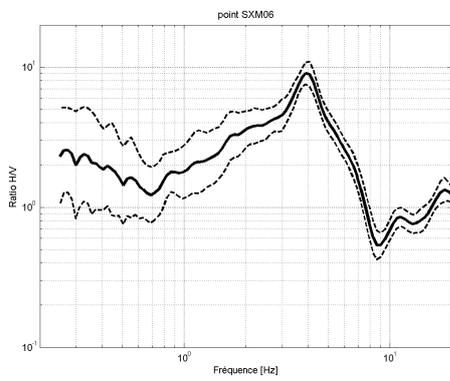
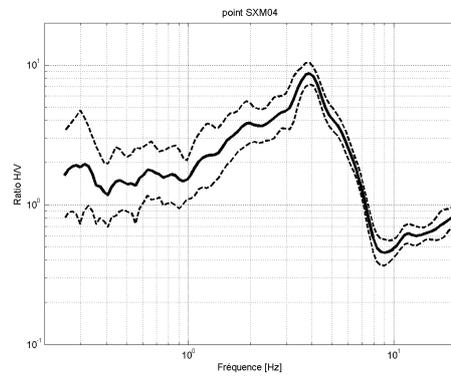
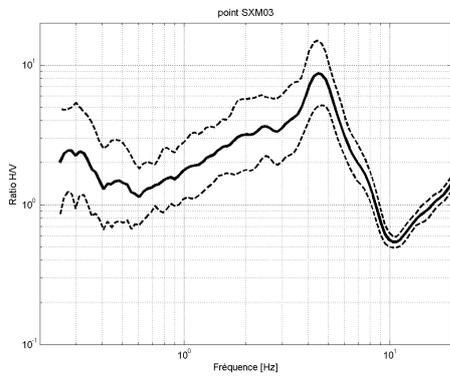
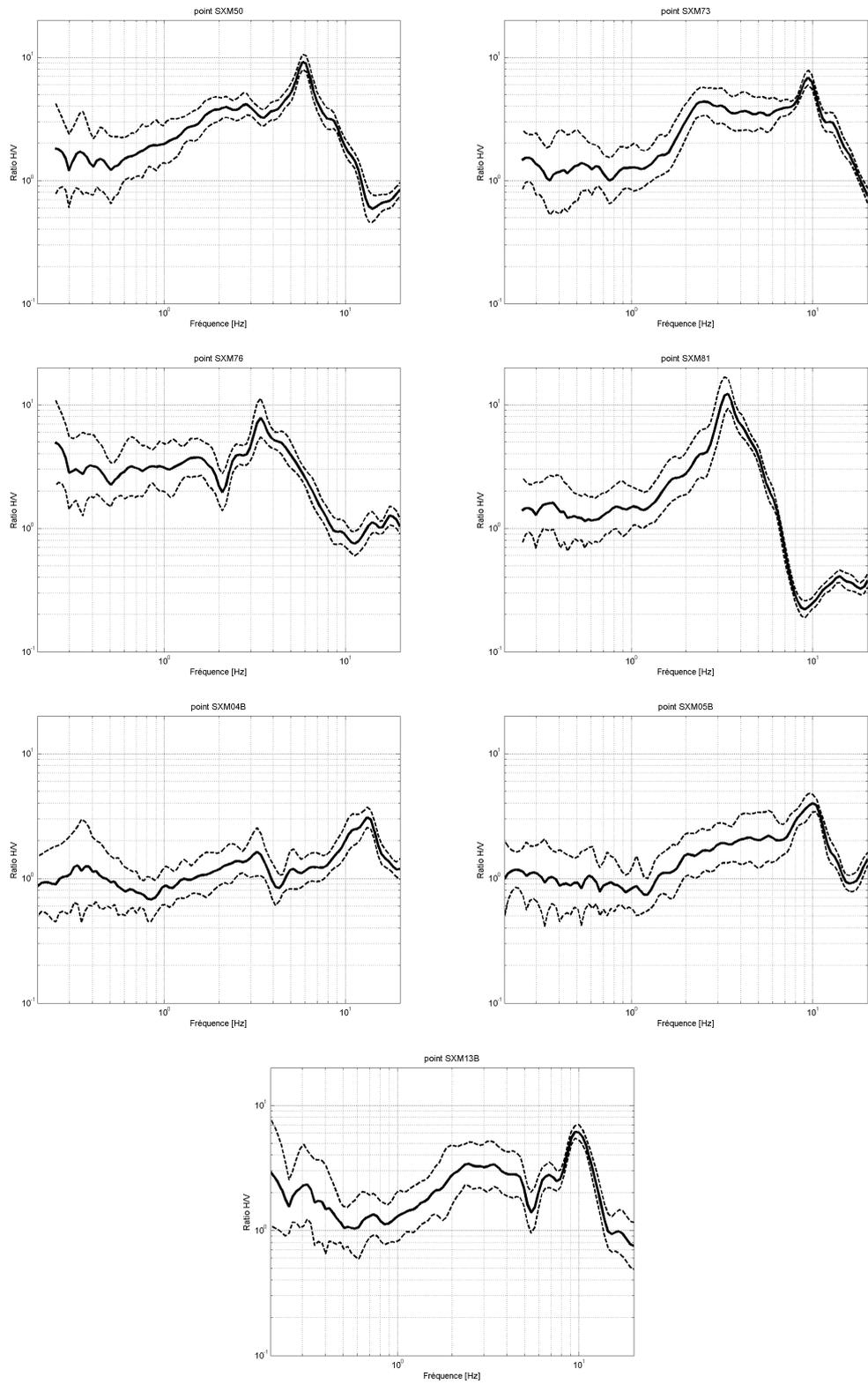


Figure 72 : Localisation des mesures H/V réalisées pendant l'étude, classées par type de réponse. (Note : Les mesures H/V pré-existantes sont aussi sur la figure, mais n'ont pas été étiquetées.)

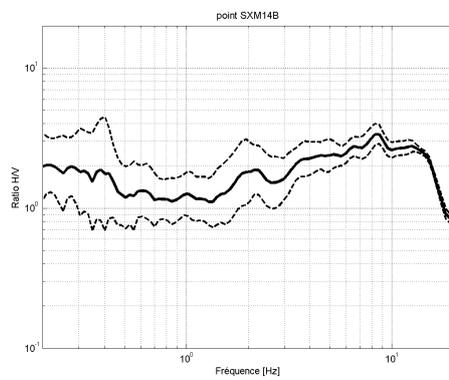
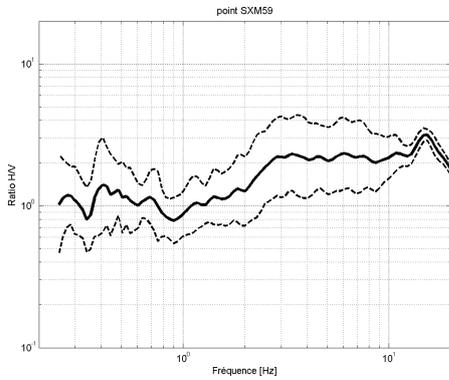
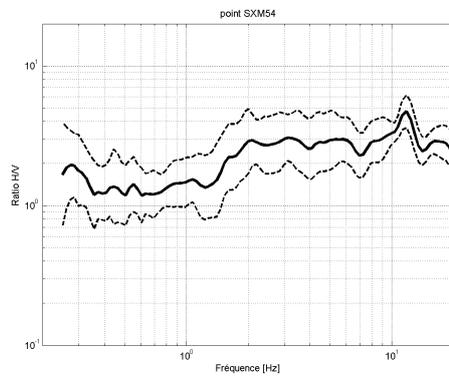
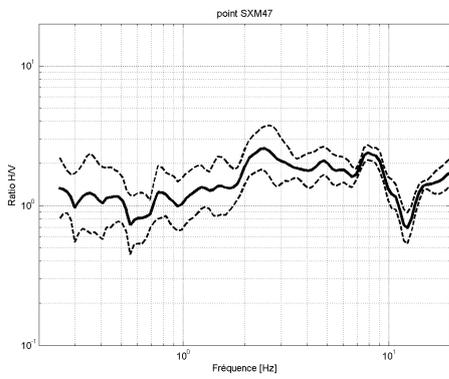
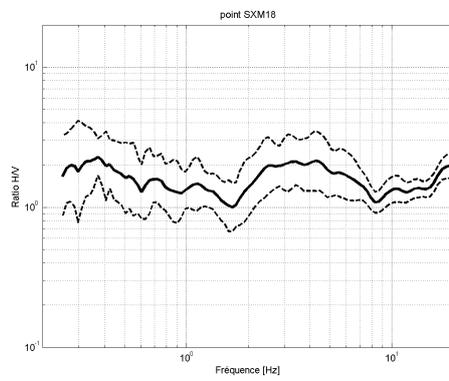
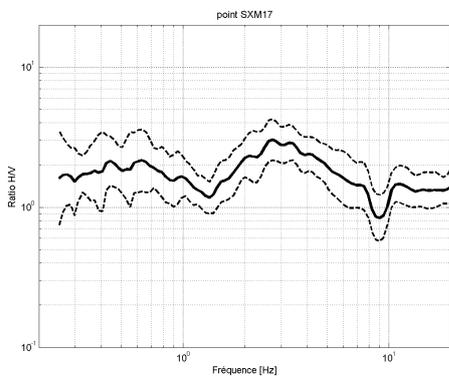
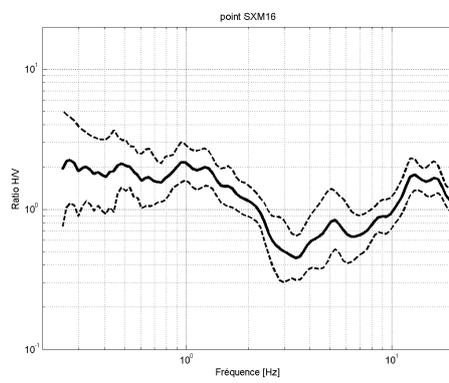
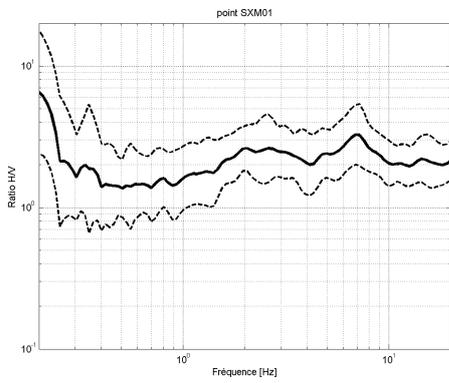
Effet de site marqué (I)



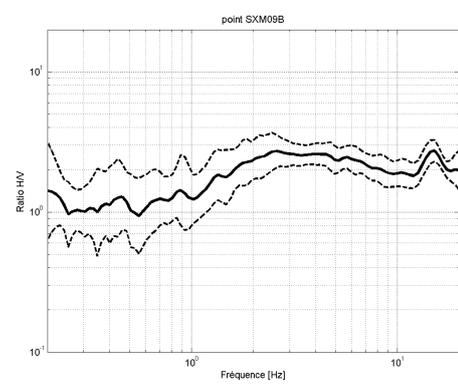
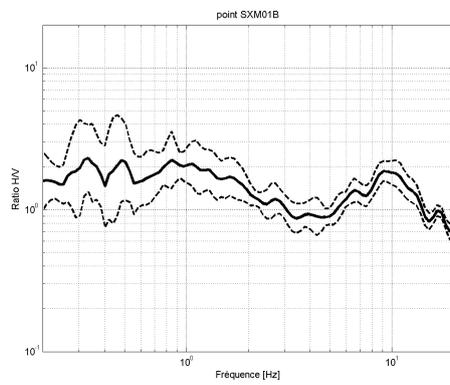
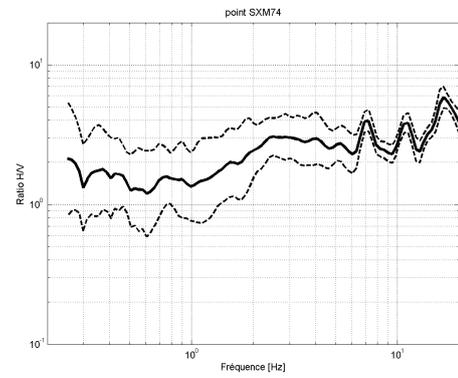
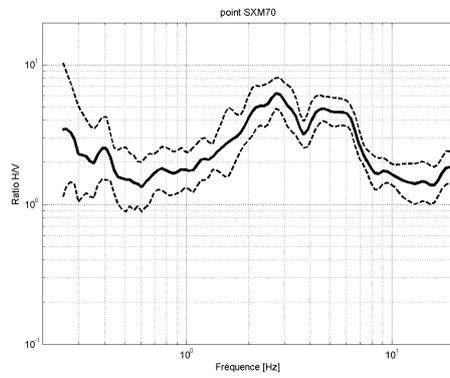
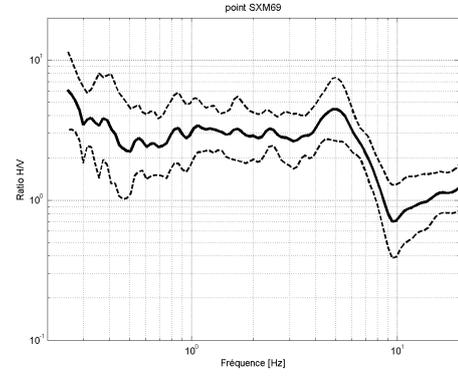
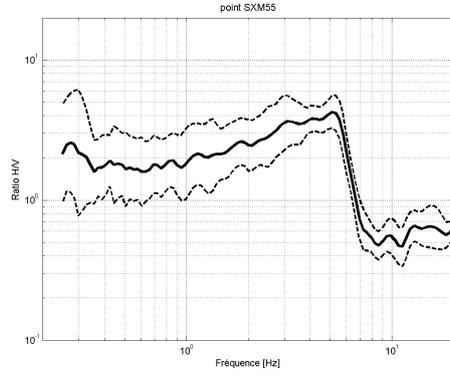
Effet de site marqué (II)



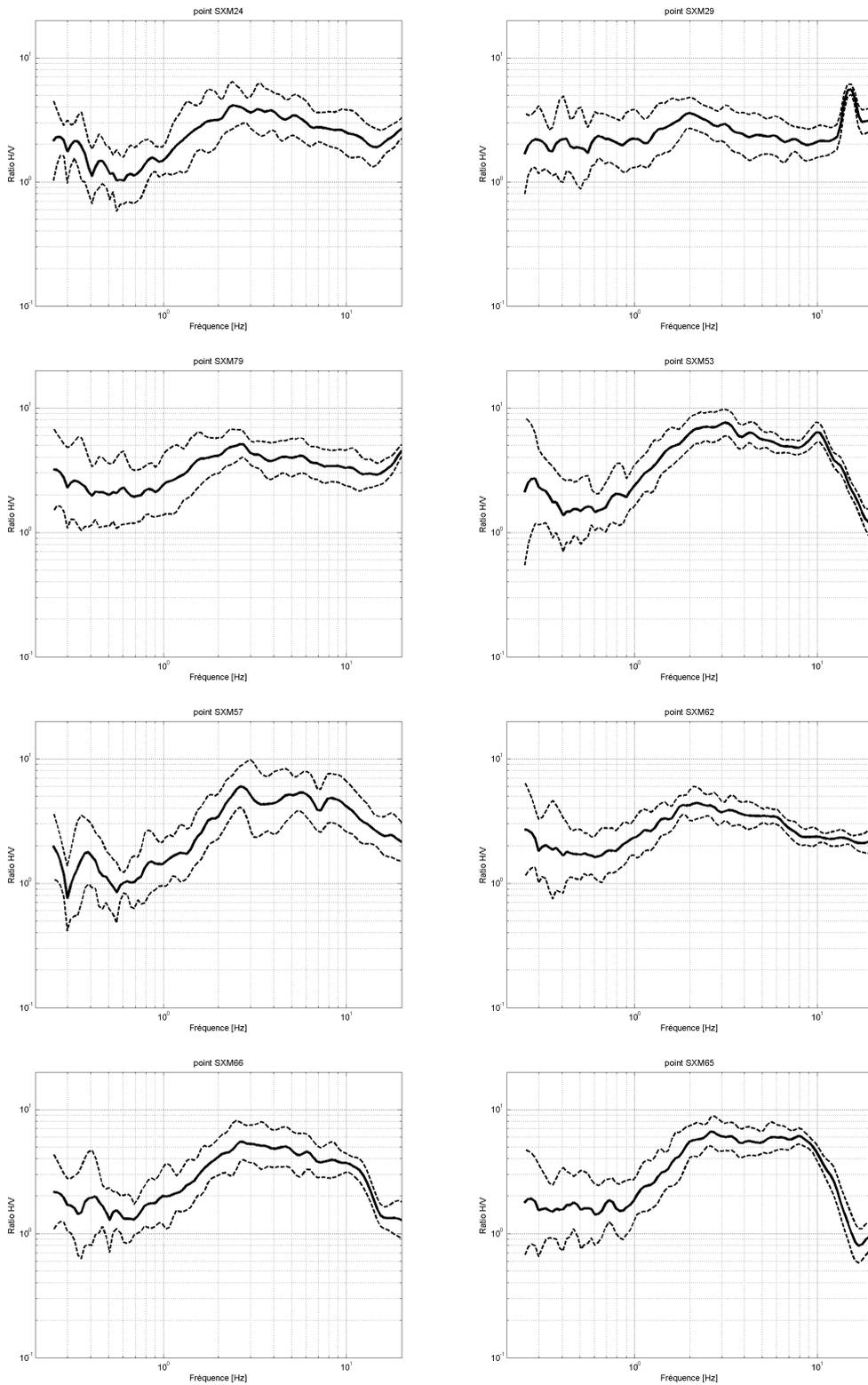
Effet de site peu marqué (I)



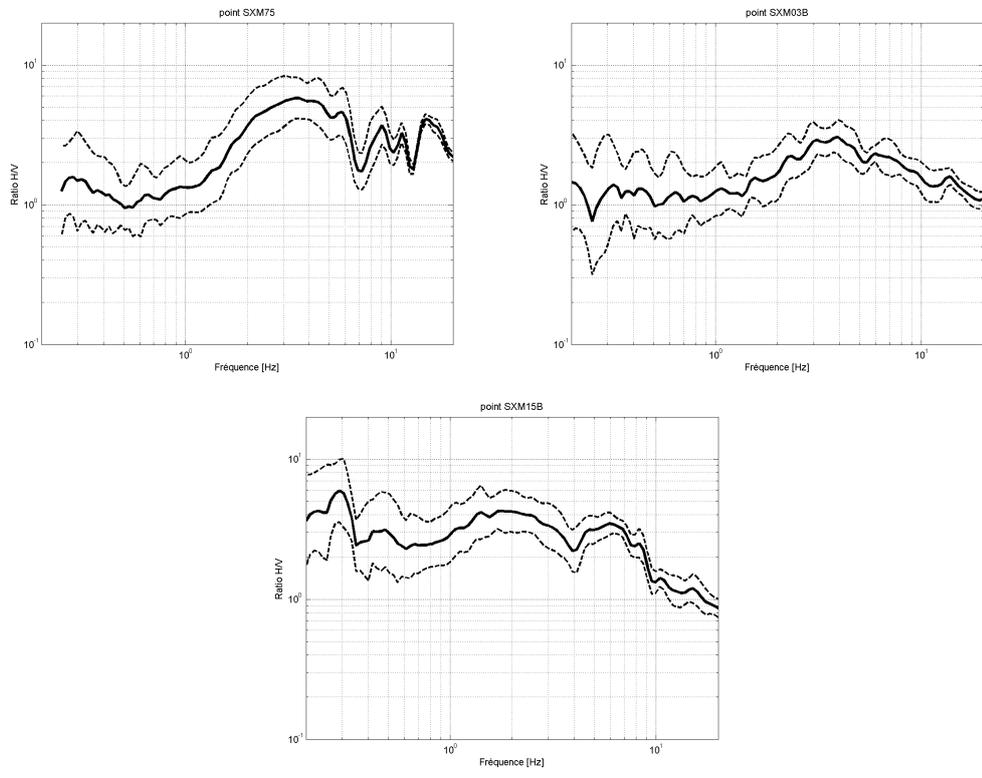
Effet de site peu marqué (II)



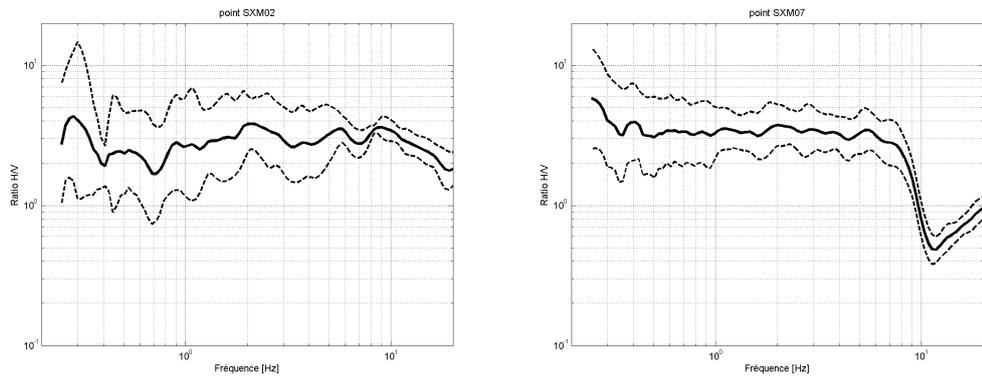
Amplification sur plage de fréquences large (I)



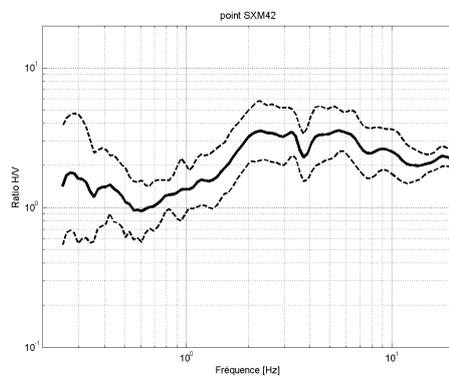
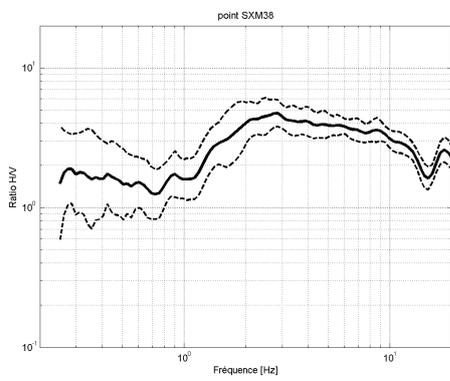
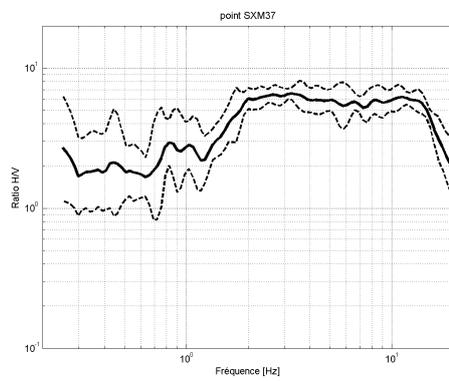
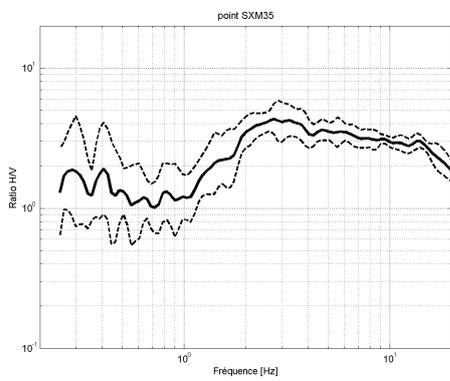
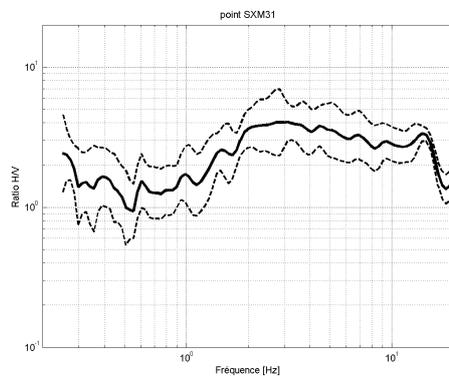
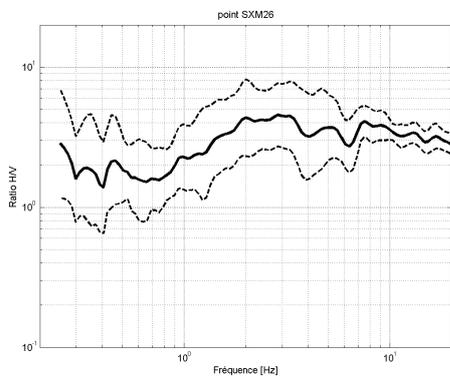
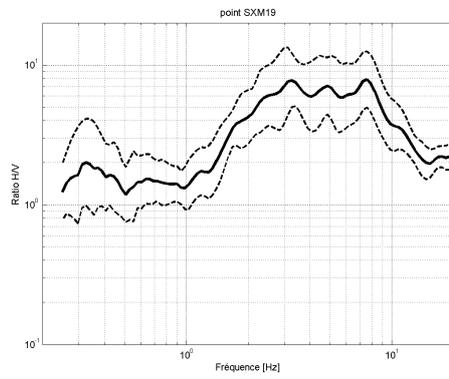
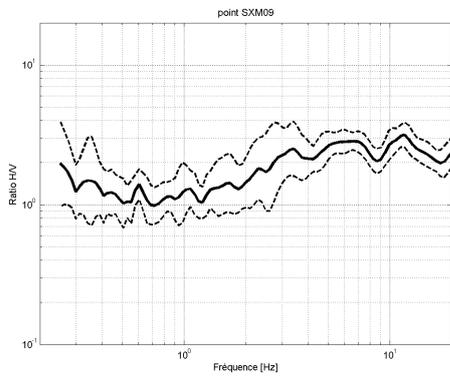
Amplification sur plage de fréquences large (I)



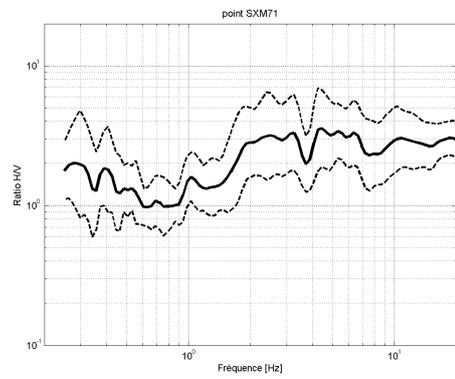
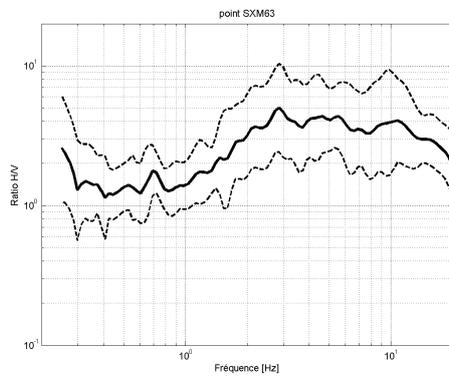
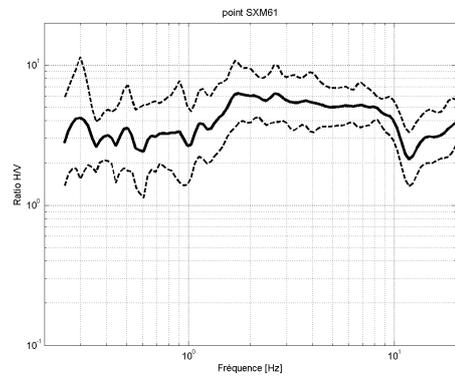
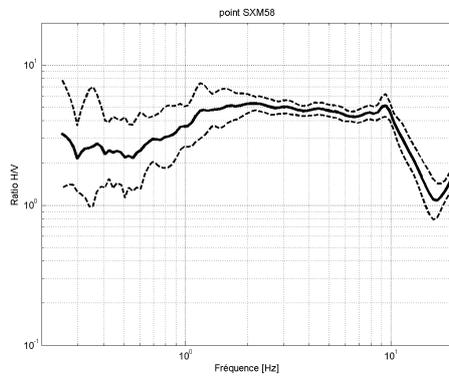
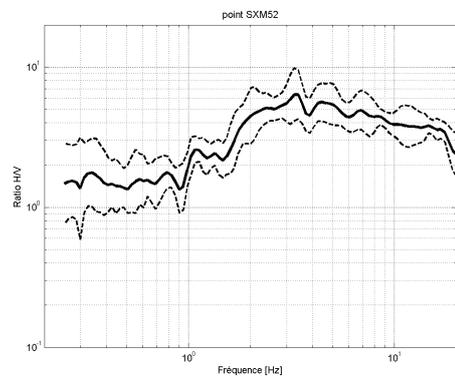
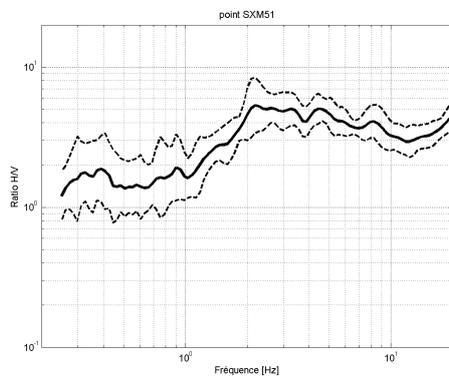
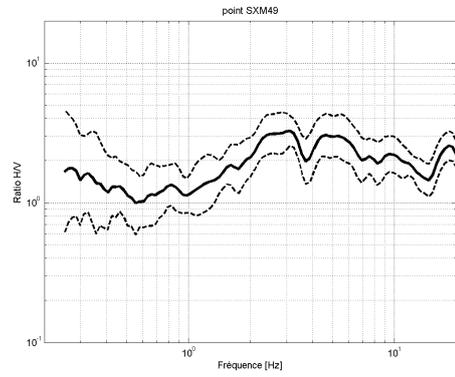
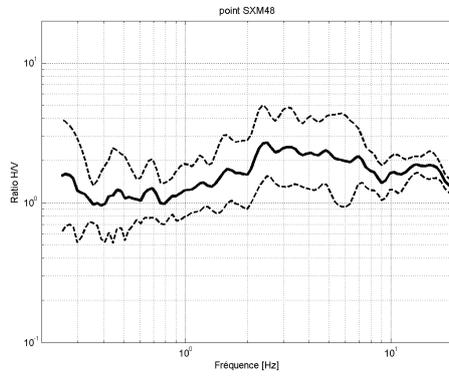
Plateau d'amplification (I)



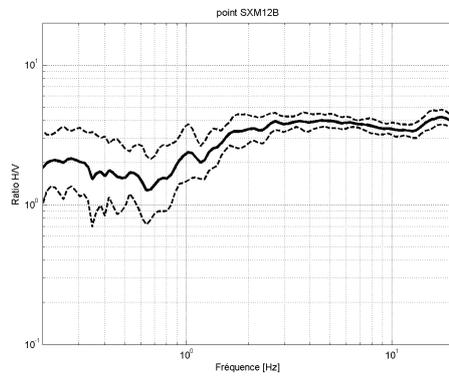
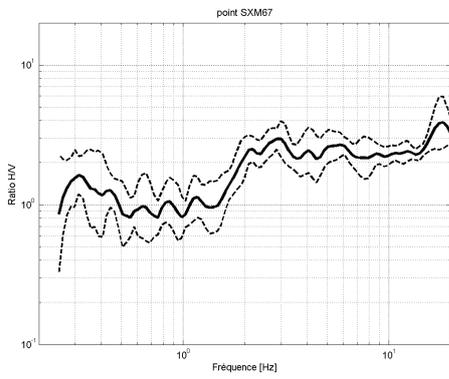
Plateau d'amplification (I)



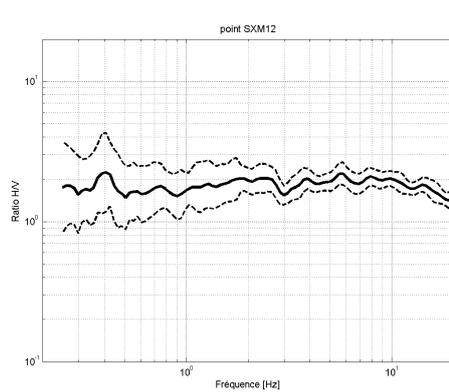
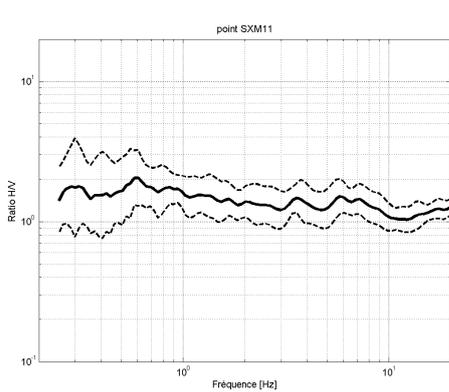
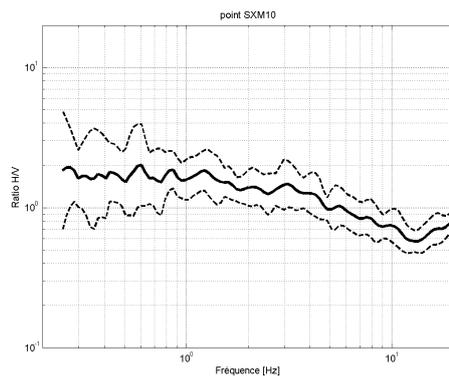
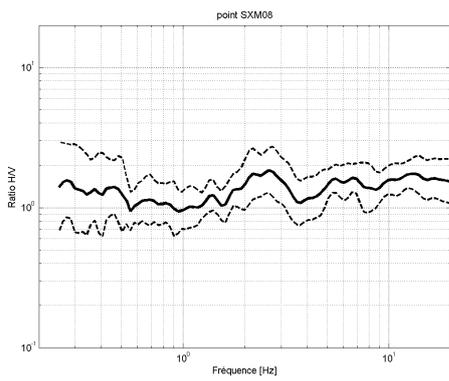
Plateau d'amplification (II)



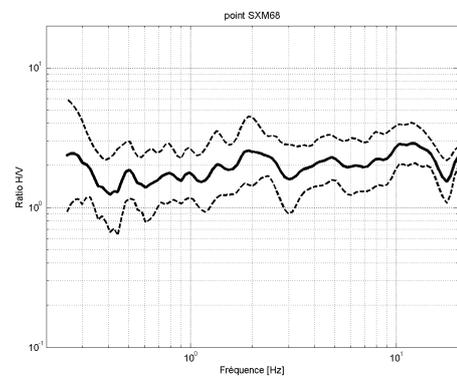
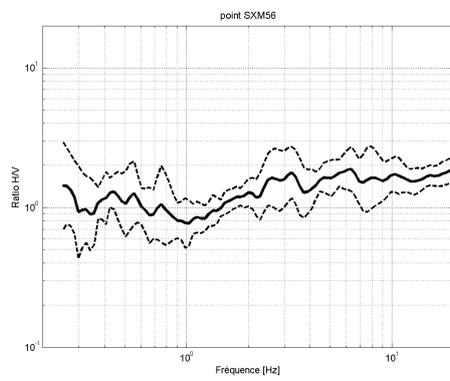
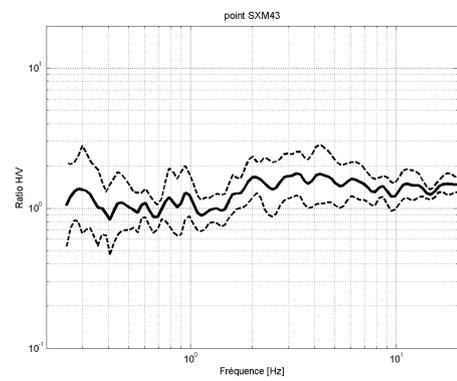
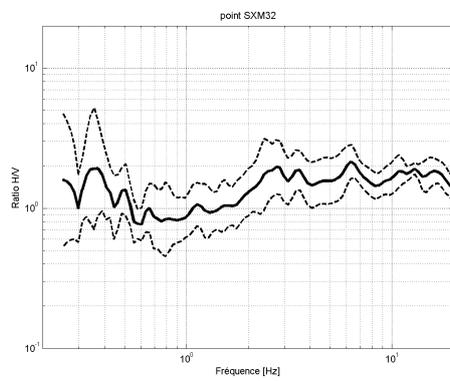
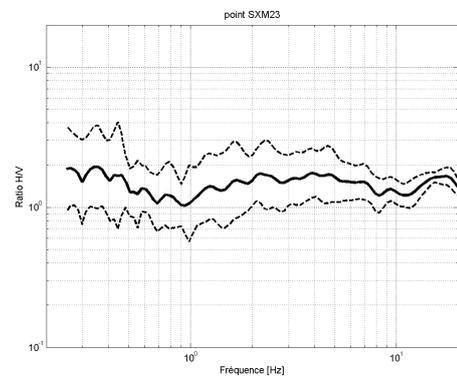
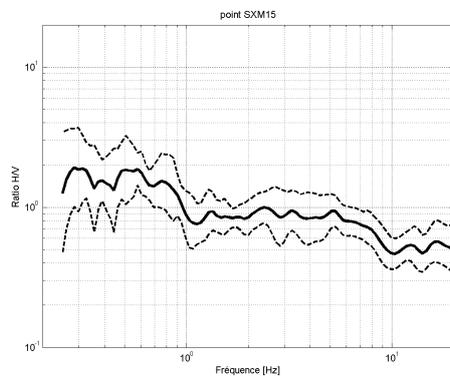
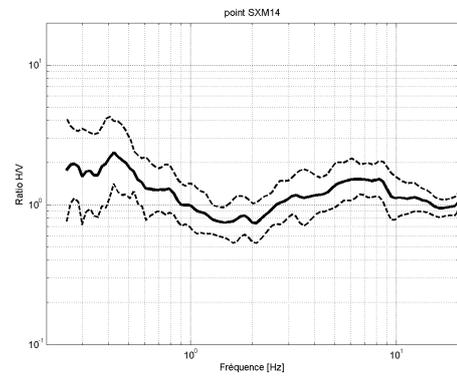
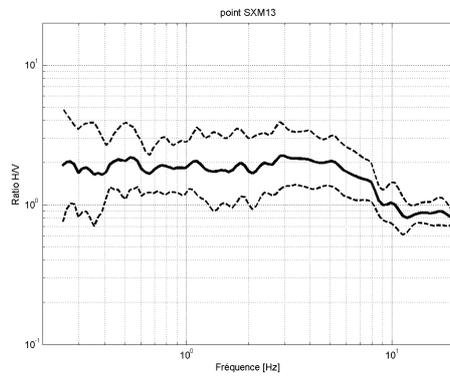
Plateau d'amplification (III)



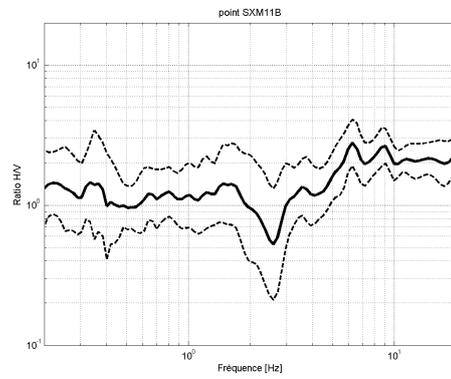
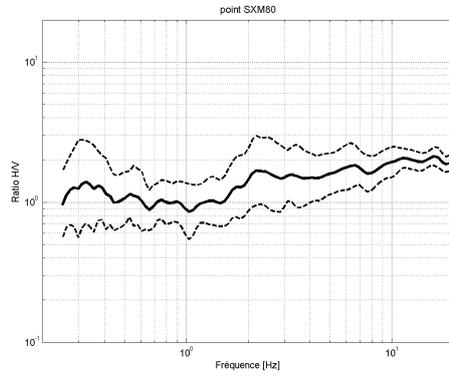
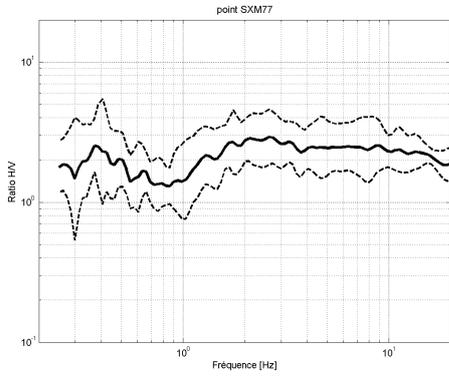
Pas d'amplification détectée (I)



Pas d'amplification détectée (II)



Pas d'amplification détectée (III)



Annexe 2

Méthode et résultats SASW

Les méthodes basées sur la dispersion des ondes de surface pour la détermination des vitesses des ondes de cisaillement représentent une alternative intéressante par rapport aux méthodes de forages fréquemment utilisées en géotechnique (type cross-hole).

La détermination des spectres de réponse sur des sites nécessite, d'une part la connaissance du mouvement au rocher et, d'autre part, la connaissance des caractéristiques géotechniques de la colonne de terrains afin de pouvoir évaluer les modifications du signal sismique à la surface par rapport au mouvement au rocher. L'un des paramètres les plus importants permettant cette détermination est la vitesse de propagation des ondes de cisaillement (V_s), proportionnelle au module de rigidité G ($G=\rho.V_s^2$), dans les formations surmontant le substratum sismique.

La méthode d'analyse spectrale des ondes de surface (SASW) permet de déterminer le profil de vitesse de propagation des ondes de cisaillement dans le sol grâce à la dispersion des ondes de surface. Elle a déjà été testée et appliquée par le BRGM sur différents sites et dans différentes applications (Bitri et al., 1997). 18 points de mesure SASW ont été réalisés dans le cadre du microzonage sismique sur Saint-Martin.

Localisation :

18 points de mesure SASW ont été réalisés, répartis sur l'île de Saint-Martin (Fig. 2). Les points GPS (WGS84) des bases SASW sont présentés sur la Table. 1.

Point	Xwgs84 (UTM20N)	Ywgs84 (UTM20N)
B01	492701	1999328
B02	492004	1998364
B03	492348	1997472
B04	490239	1996936
B05	487649	1997385
B07	485965	1996926
B08	484342	1997014
B09	494251	2001621
B10	485197	1997676
B11	494076	1999147
B12	494544	1998901
B13	496803	2001431
B14	497040	2000974
B15	495423	2002641
B16	497166	2000237
B17	498157	1999389
B18	492435	1996453
B19	495967	1997077
B20	495891	1997790
B21	496077	1997648

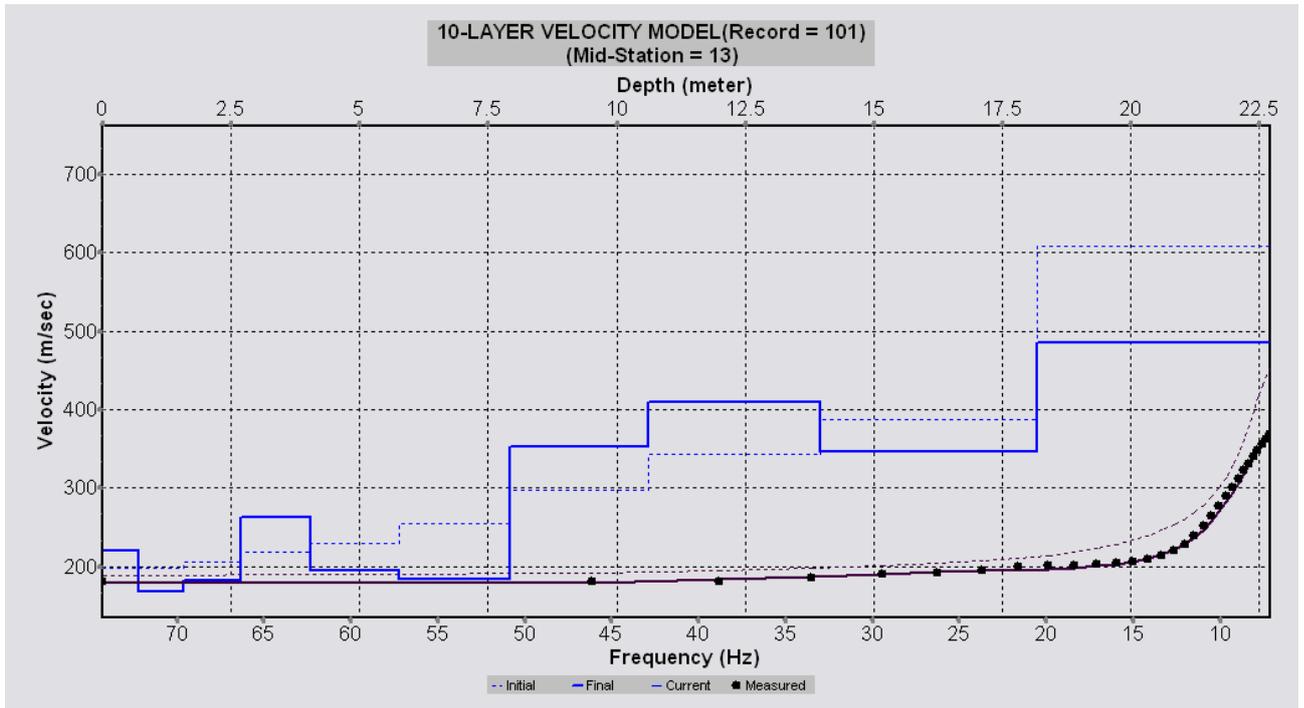
B22	497507	1997672
B23	498349	1996770
B24	491824	1997955

Tableau 34 : Localisation (WGS84) des bases SASW

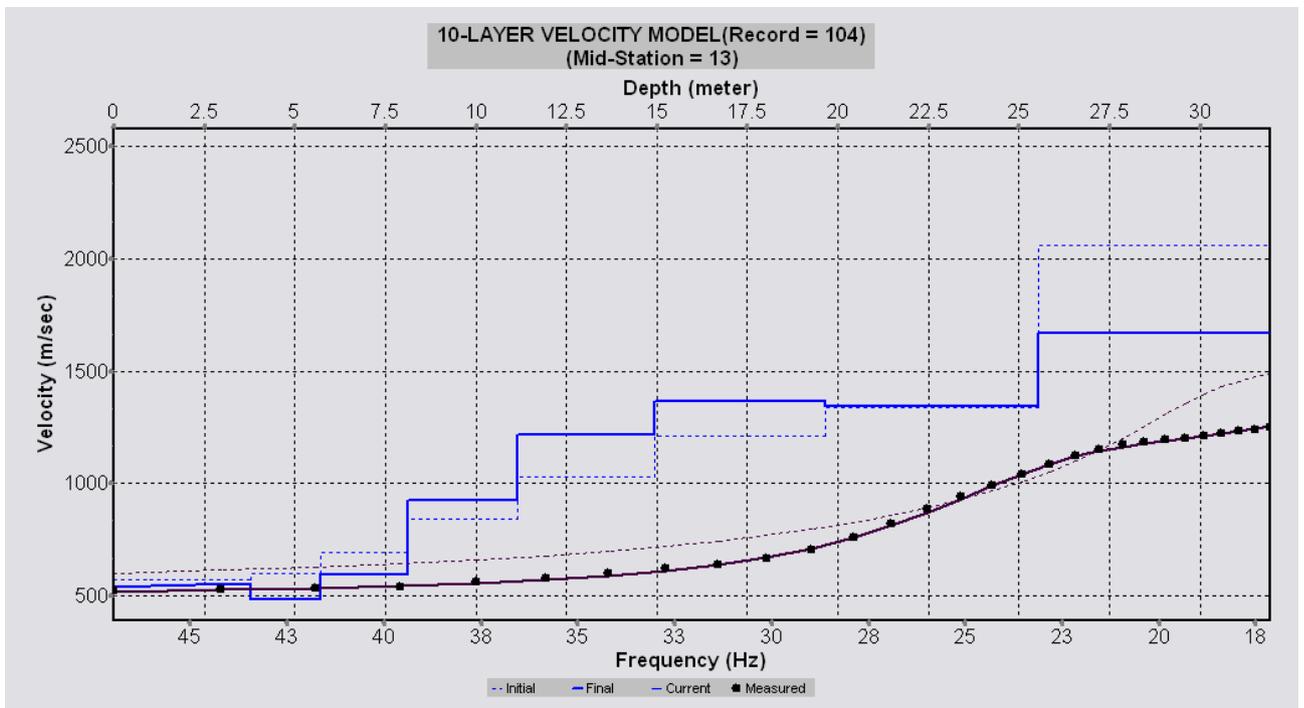


Figure 73 : Implantations des bases SASW sur l'île de Saint-Martin sur fond de carte géologique

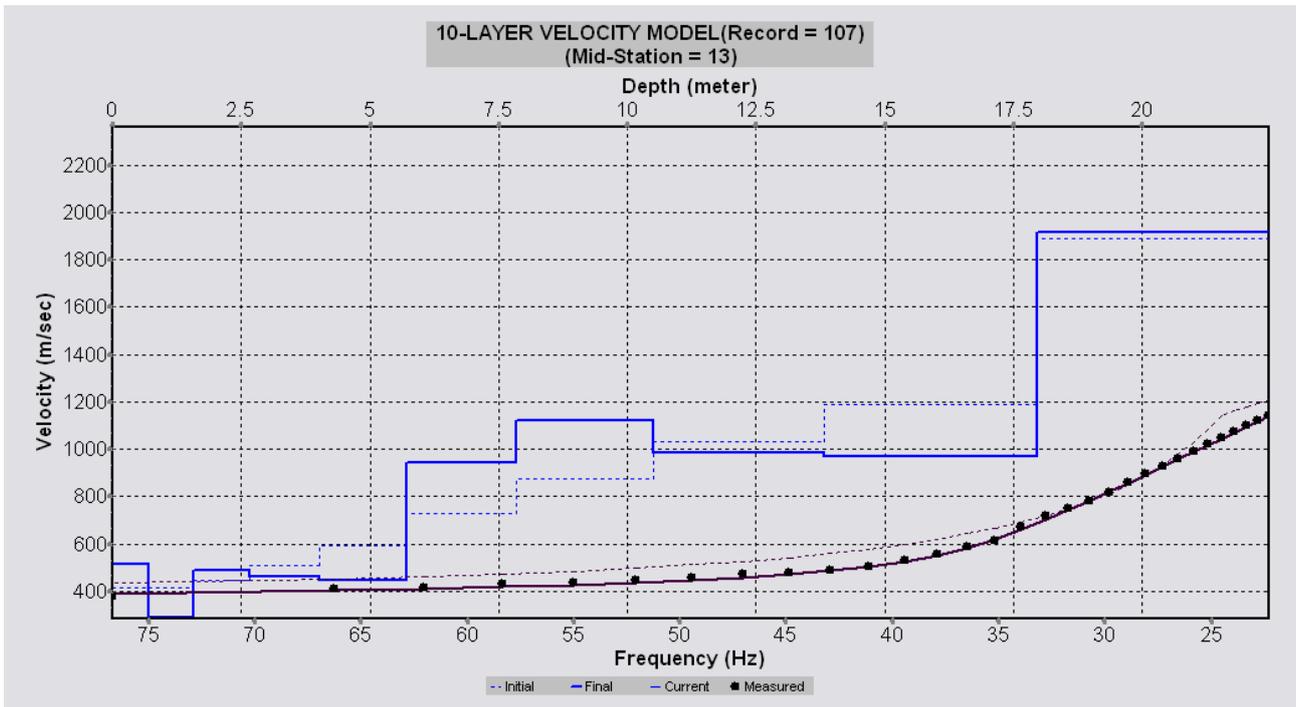
B1



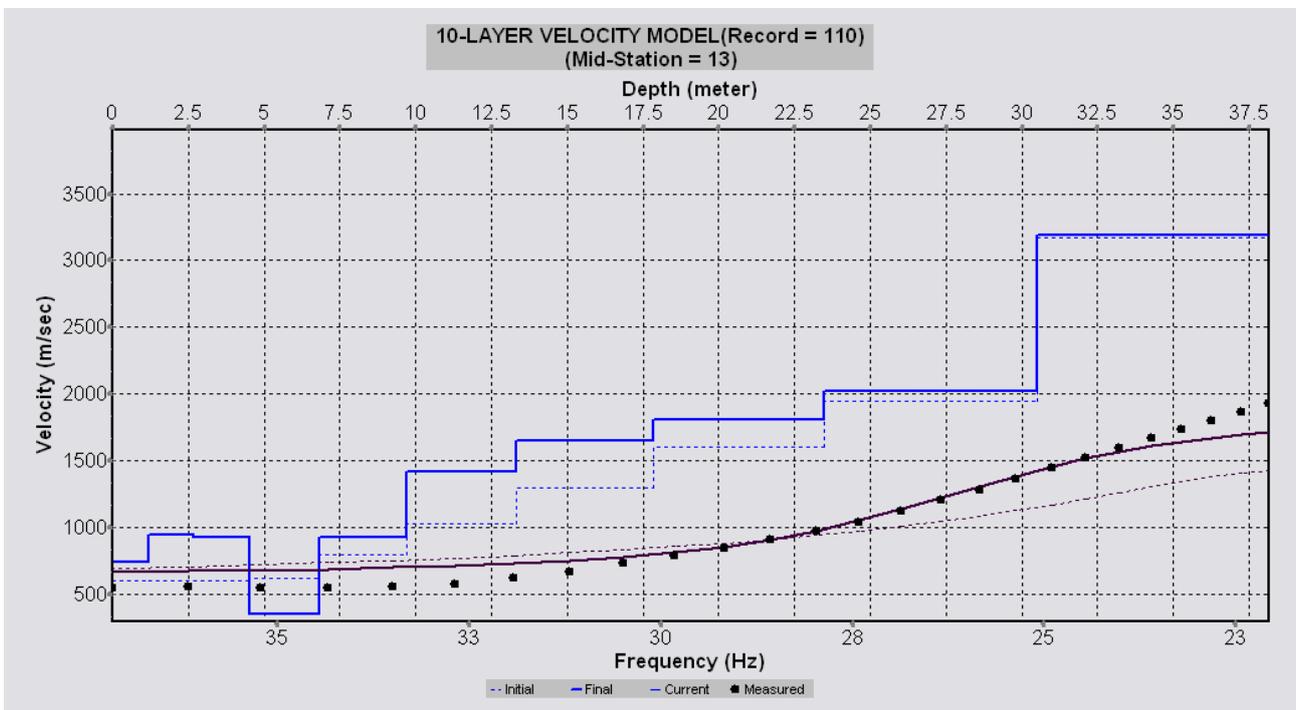
B2



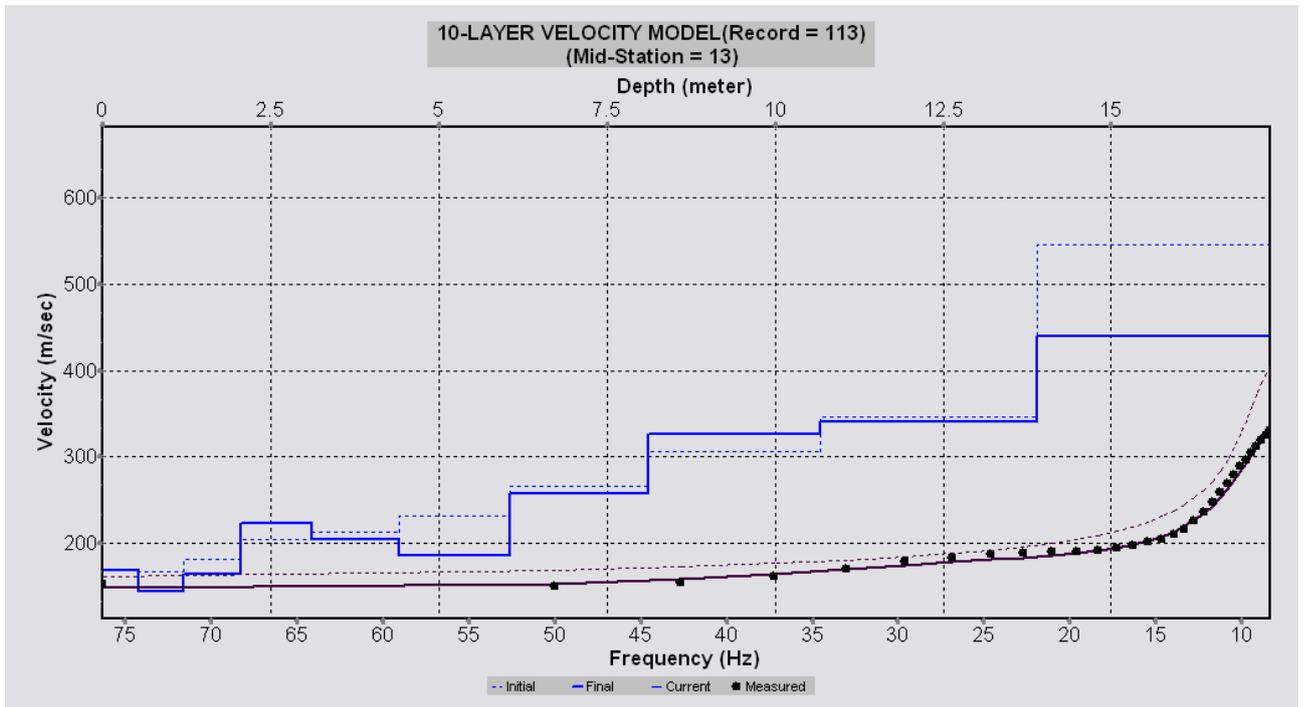
B3



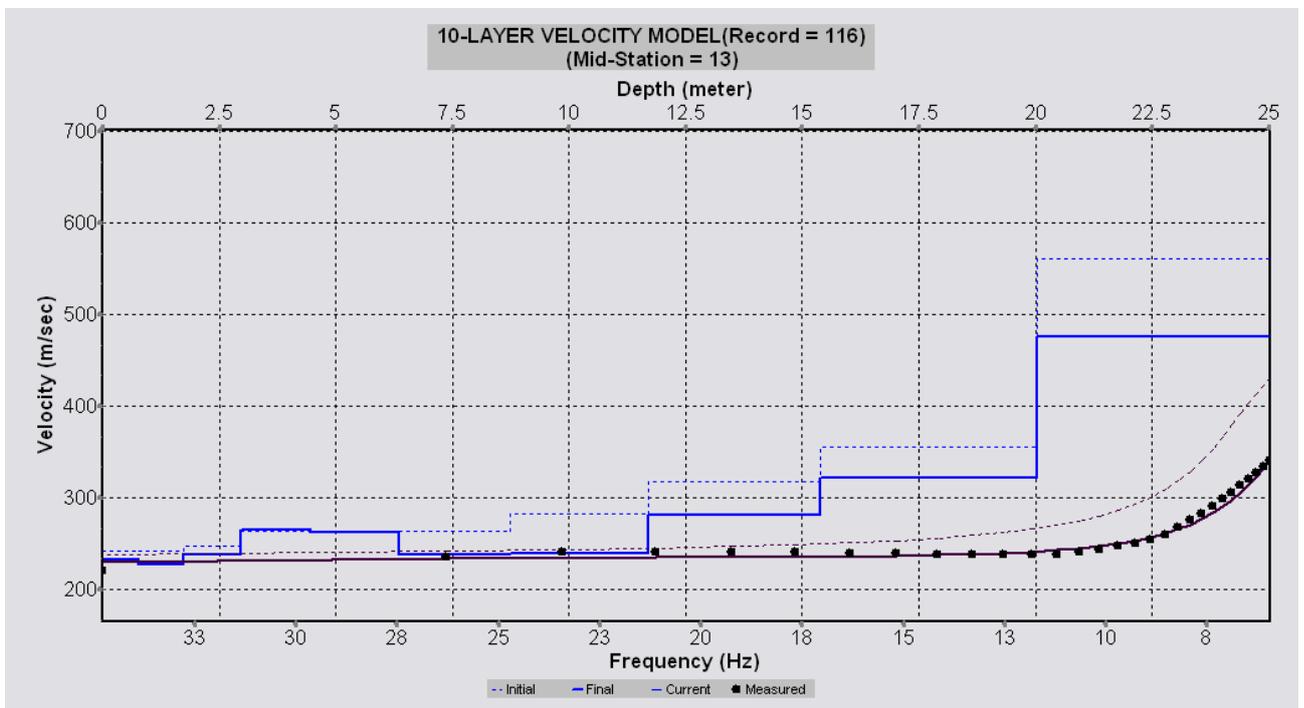
B4



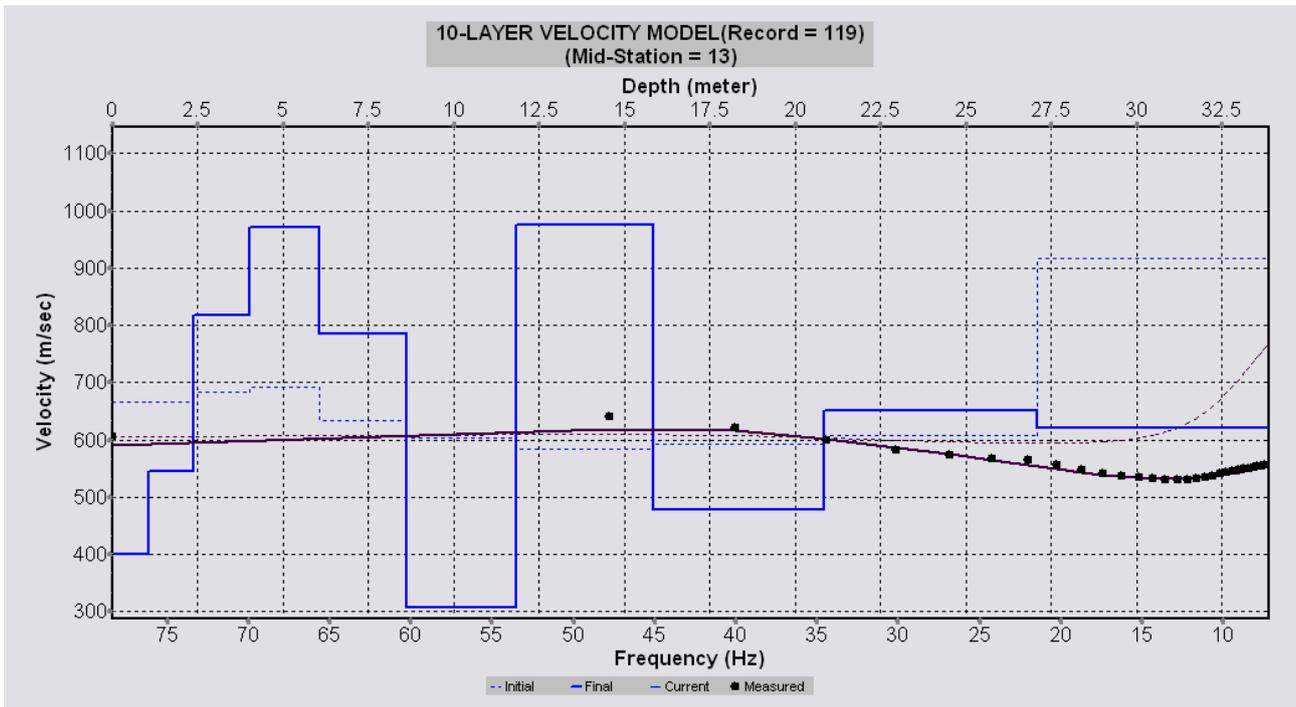
B5



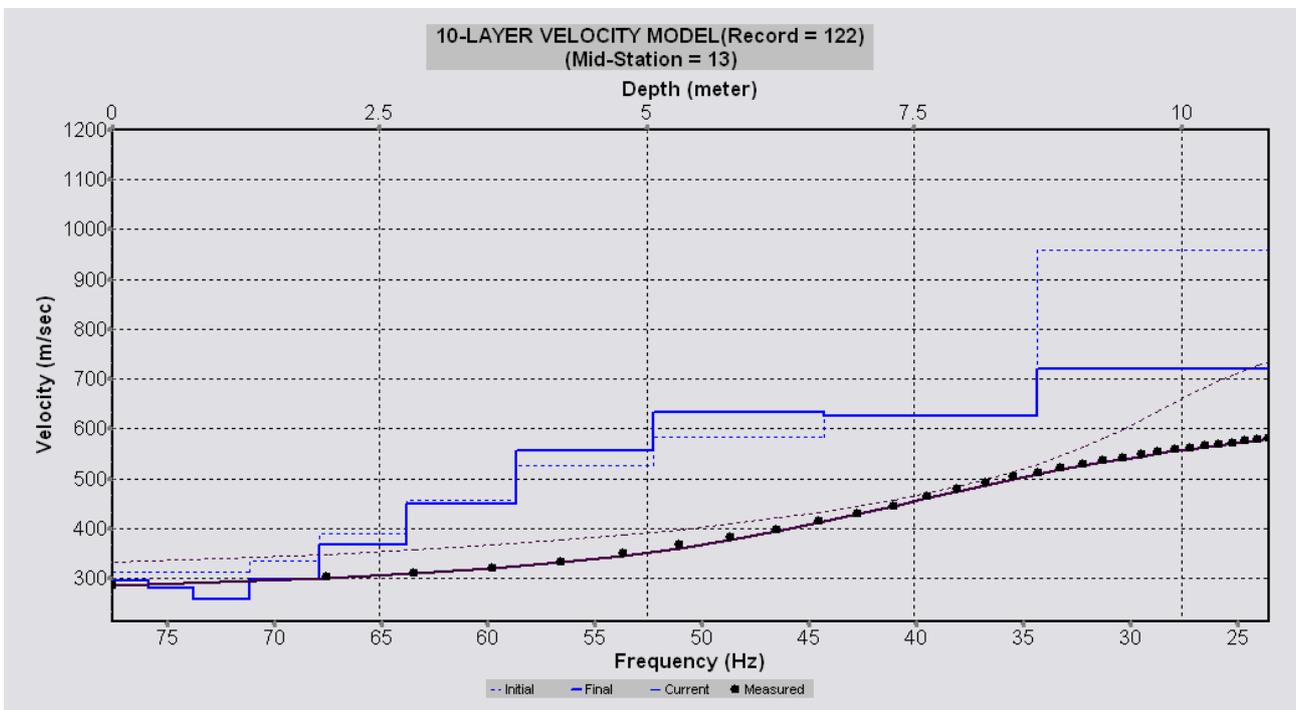
B6



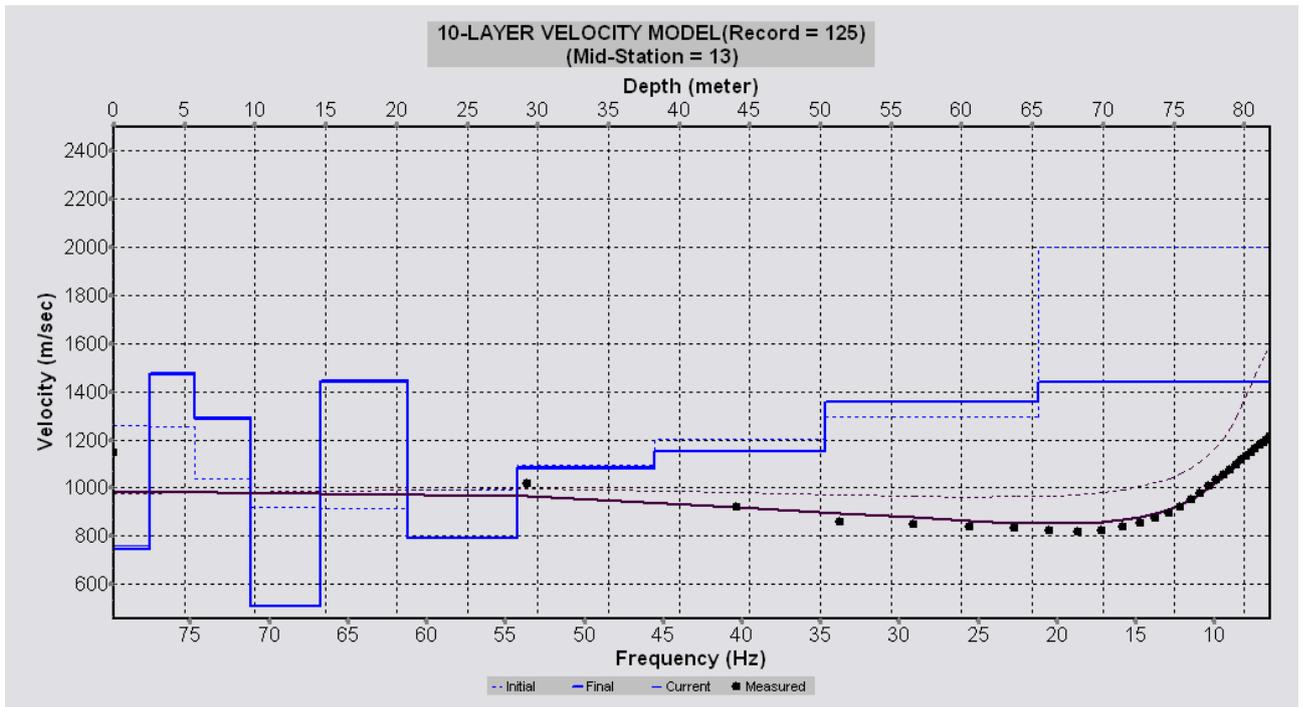
B7



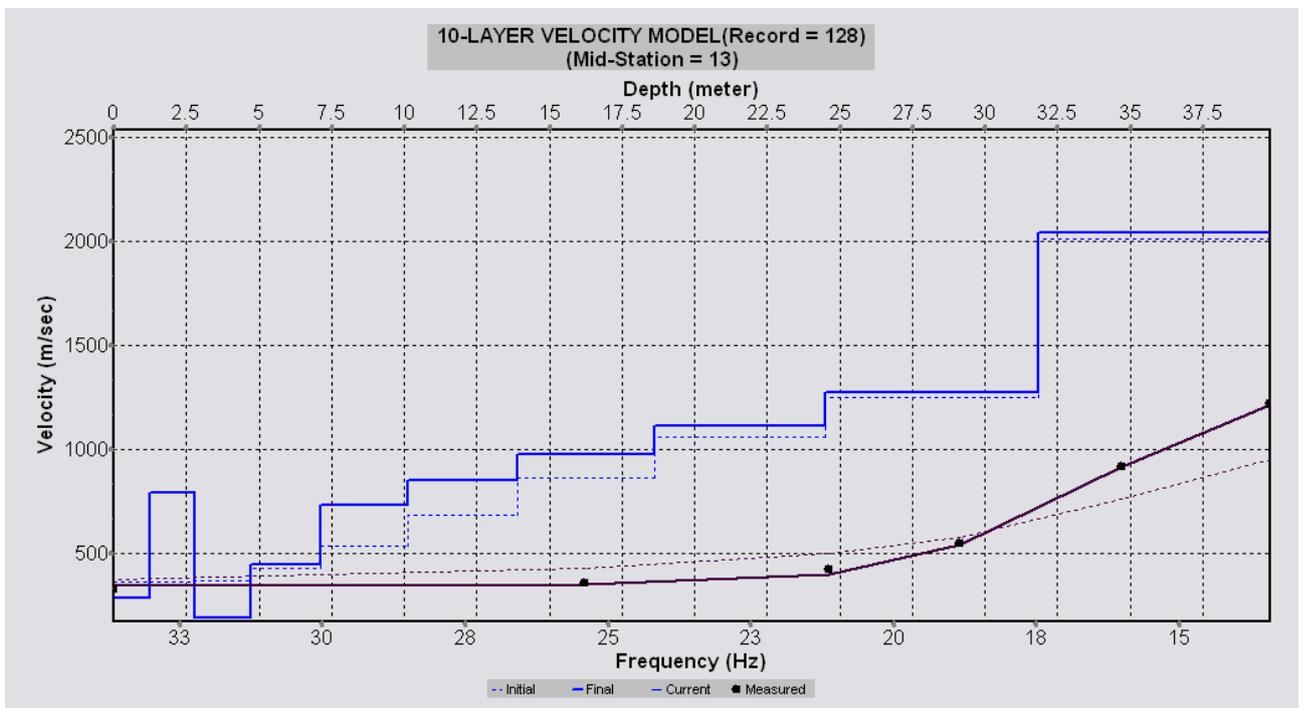
B8



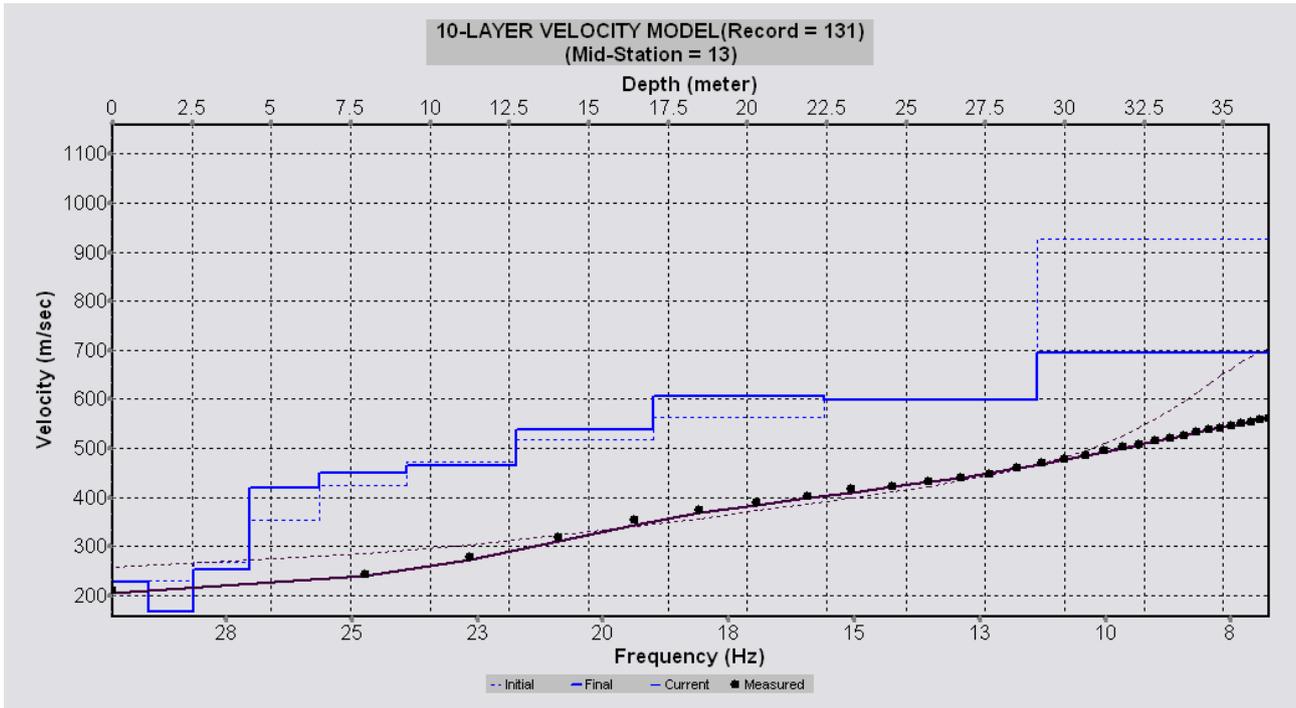
B9



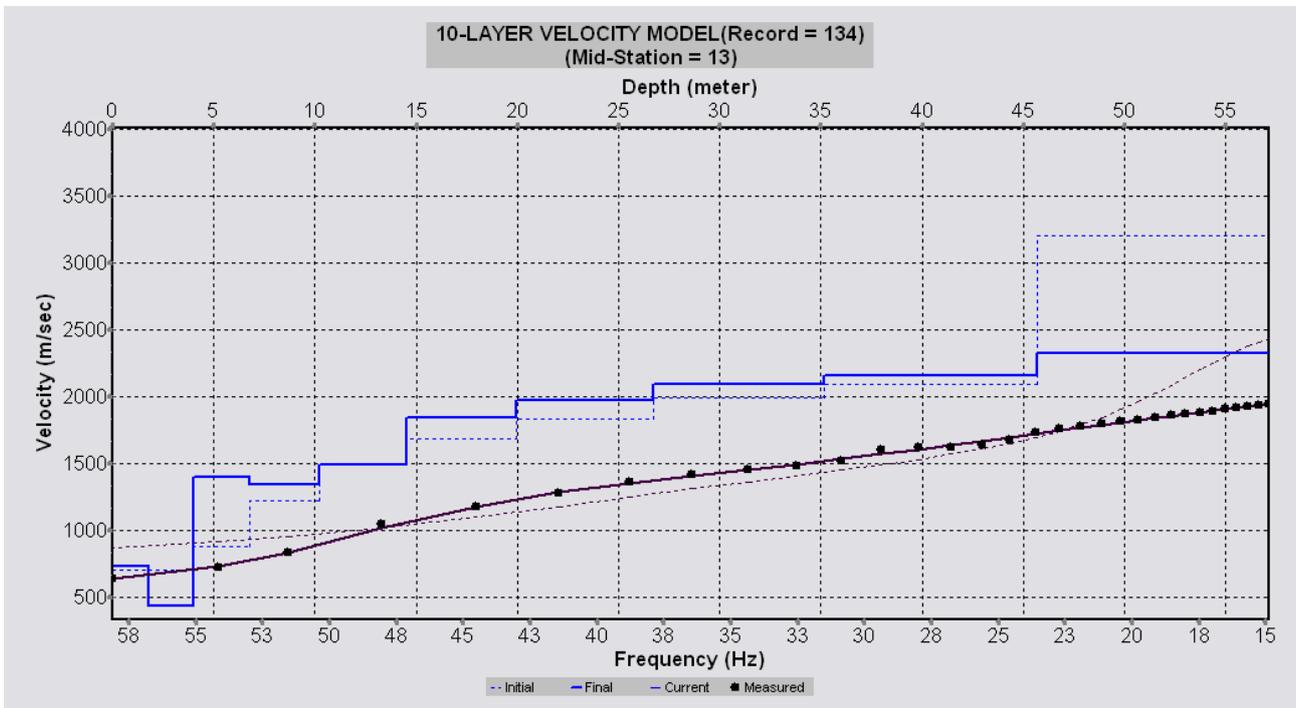
B10



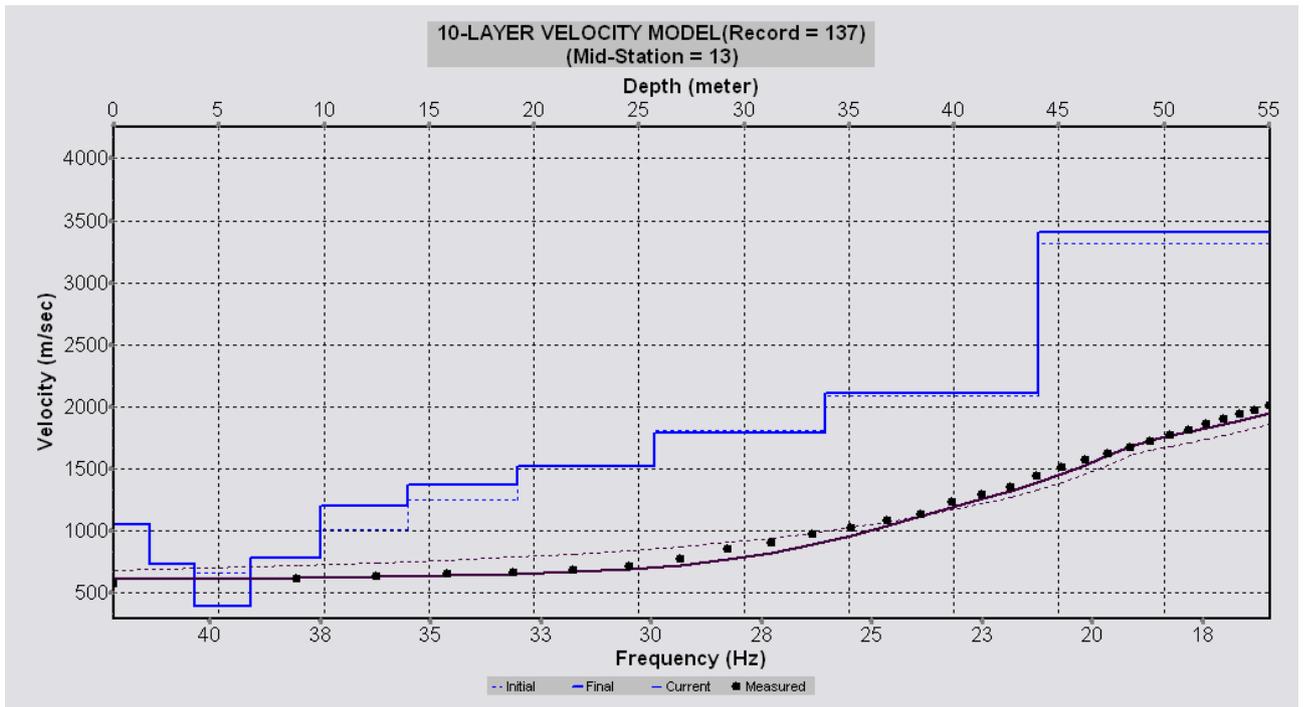
B11



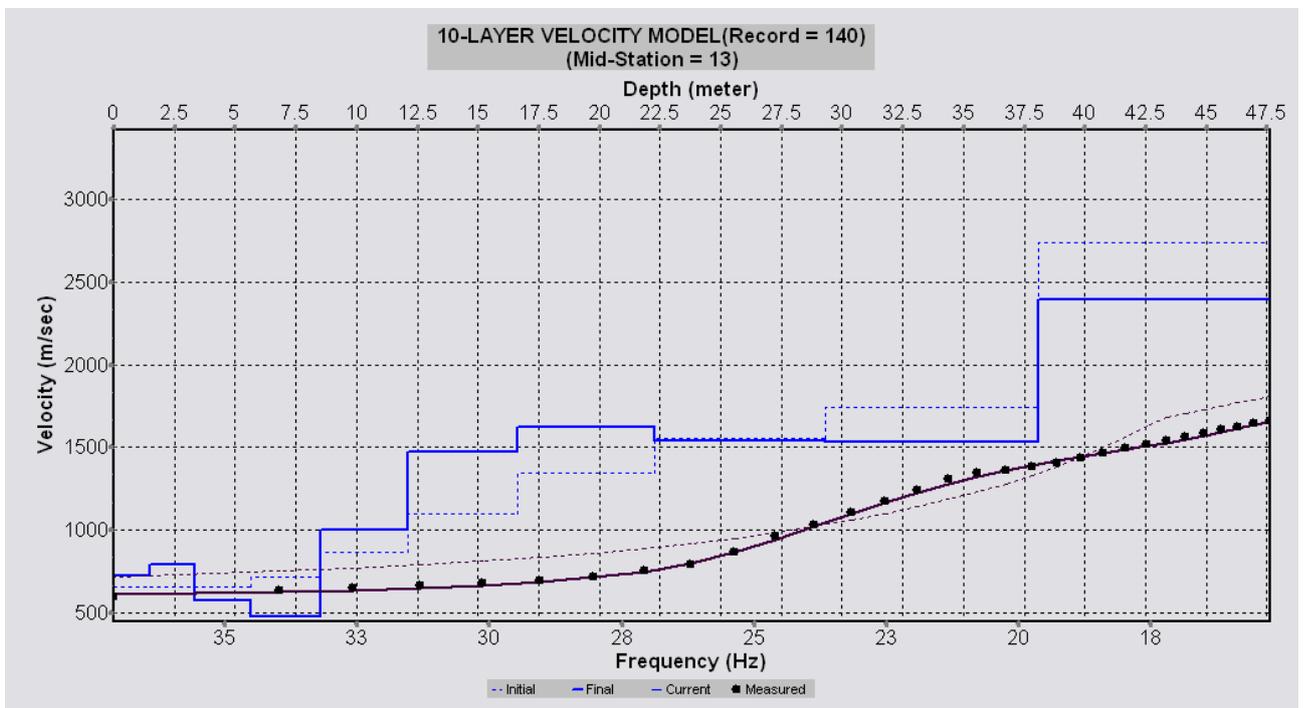
B12



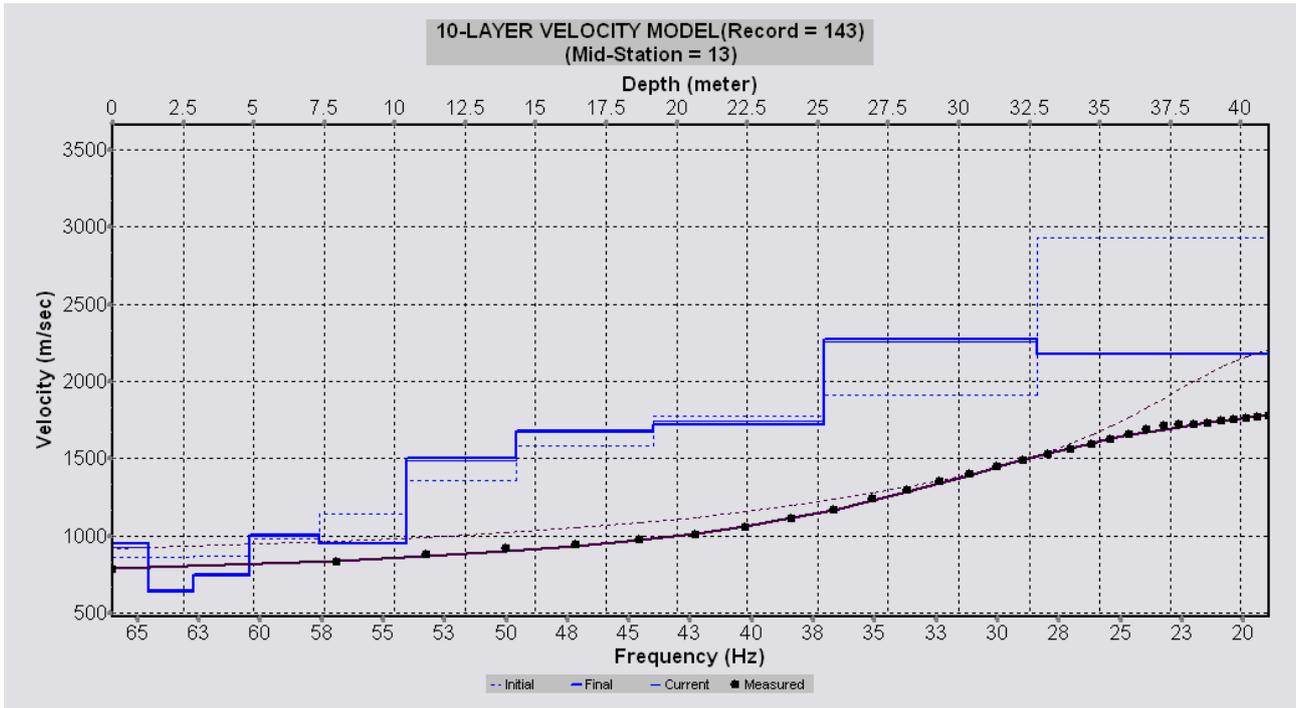
B13



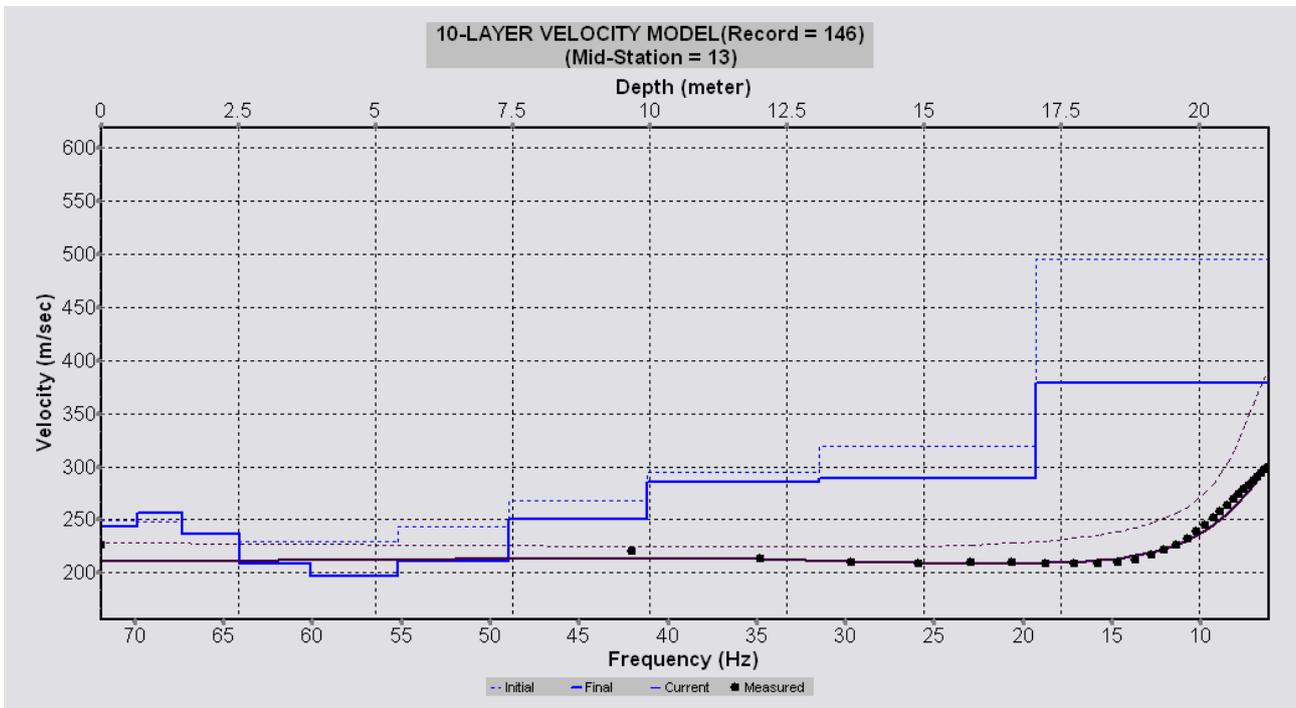
B14



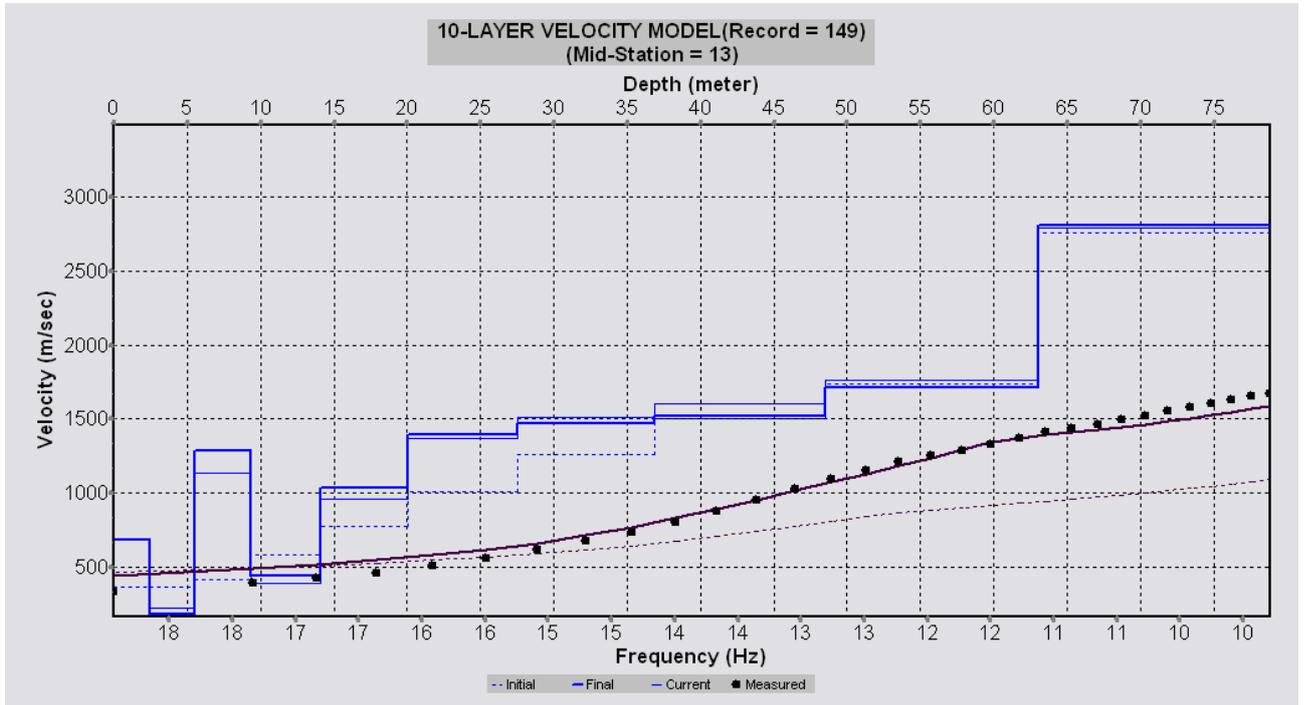
B15



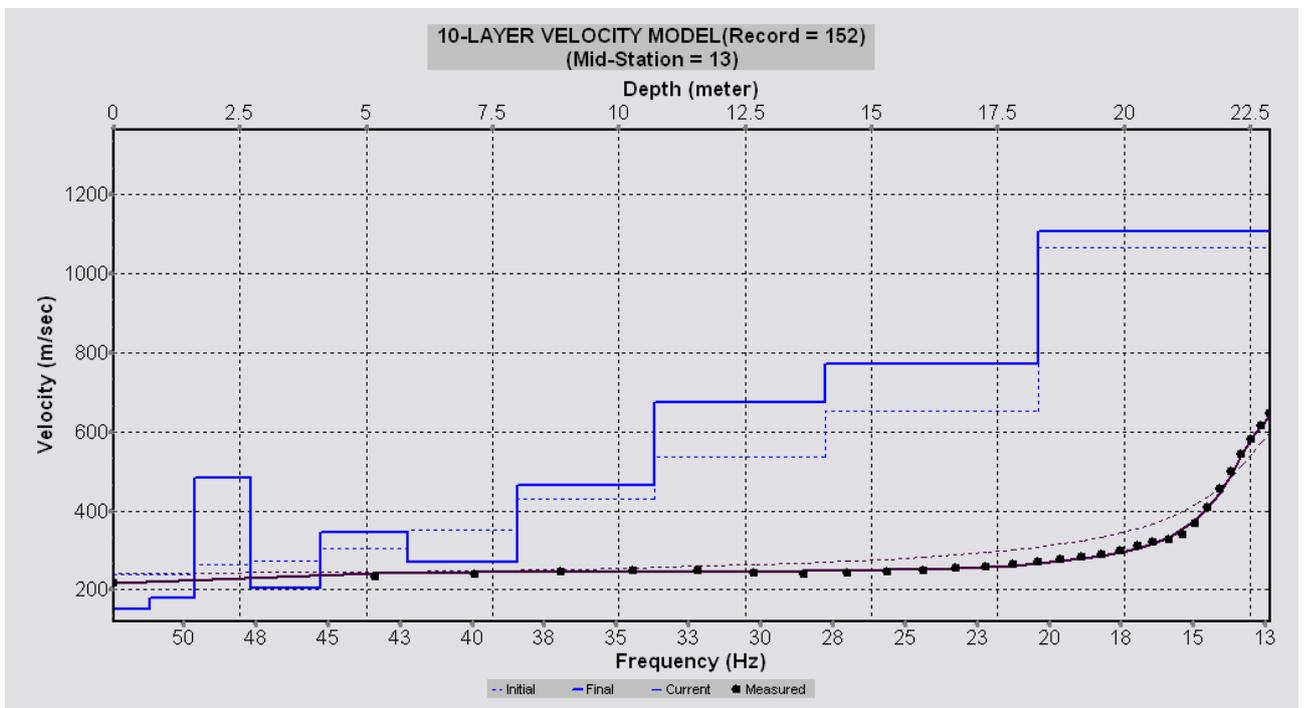
B16



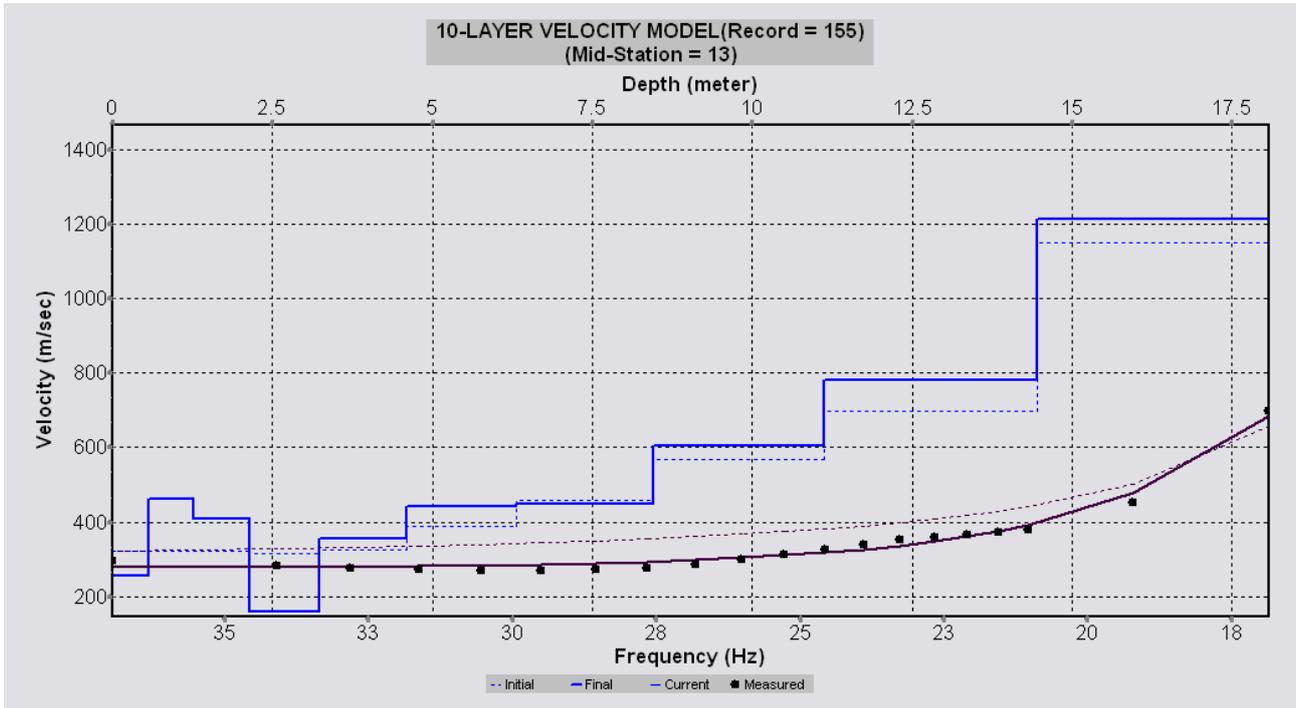
B17



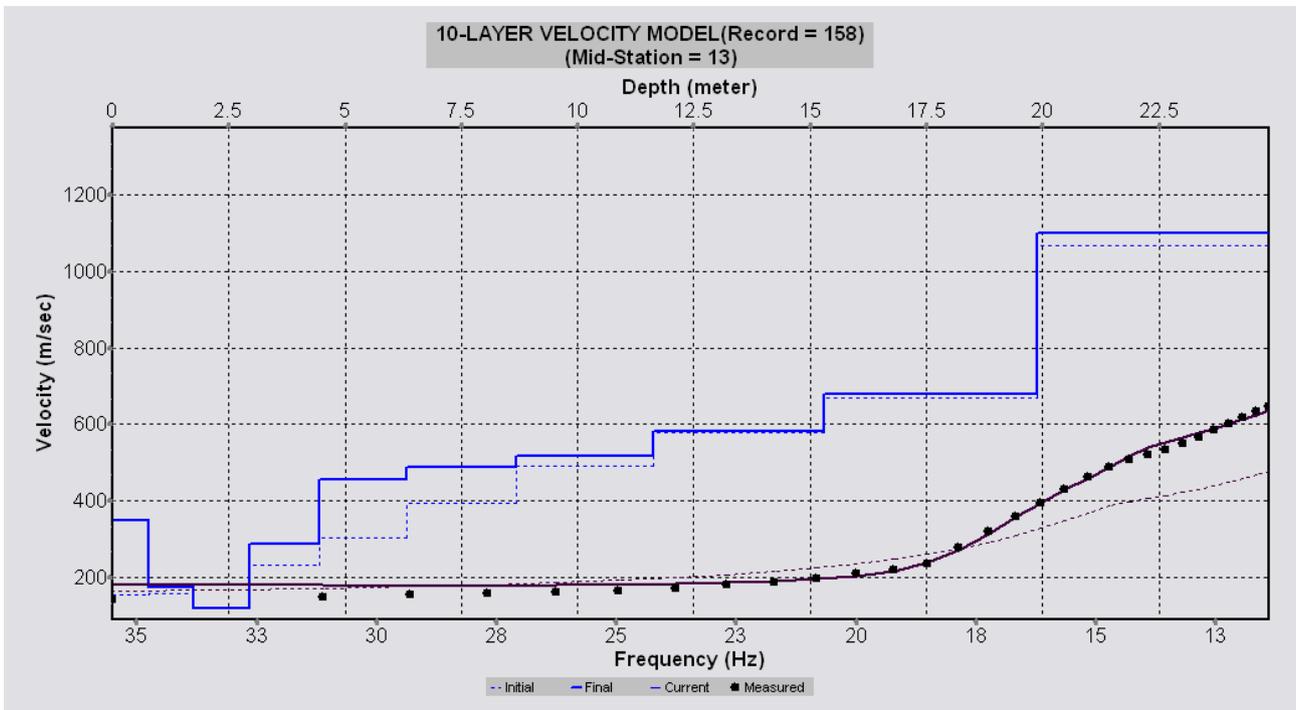
B18



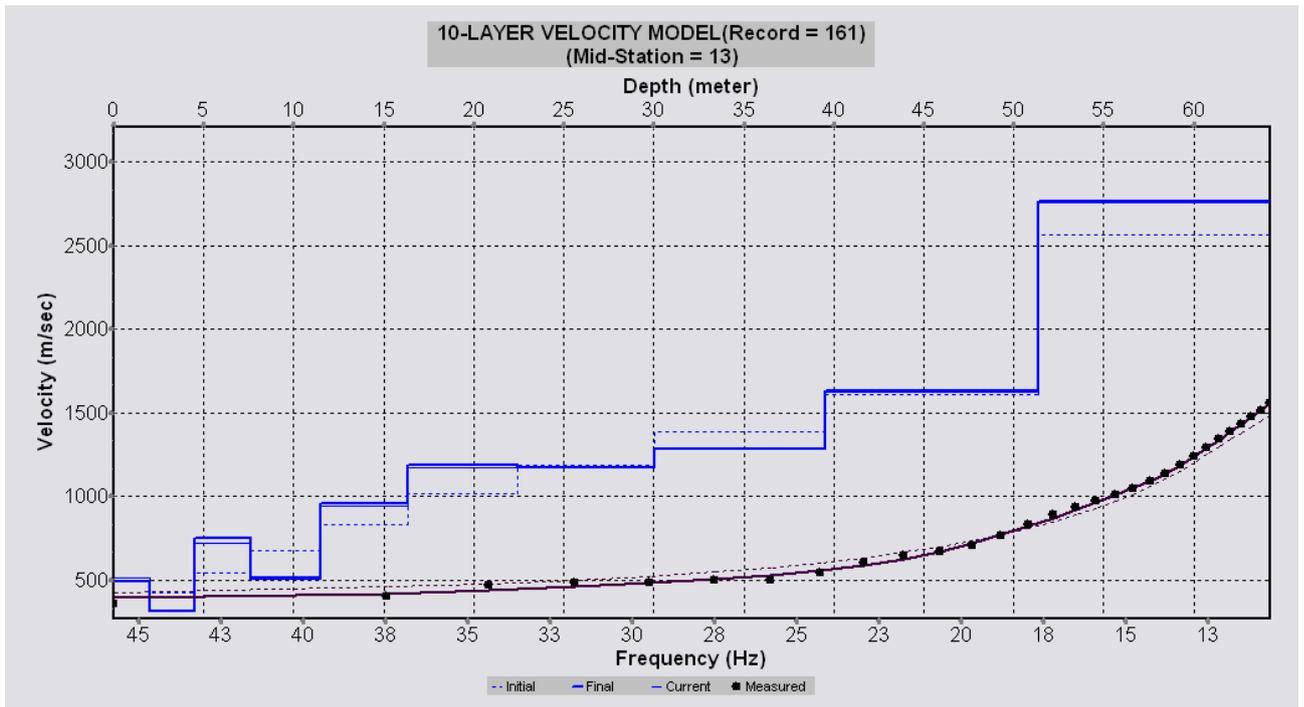
B19



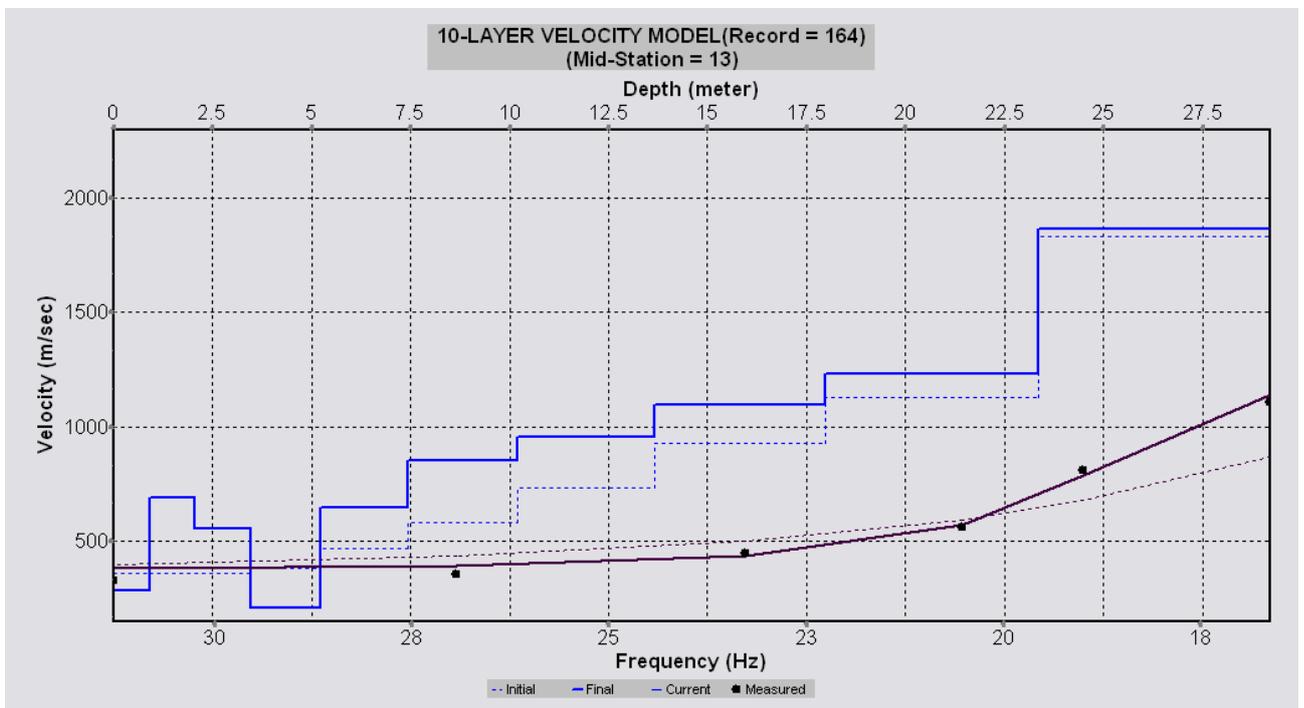
B20



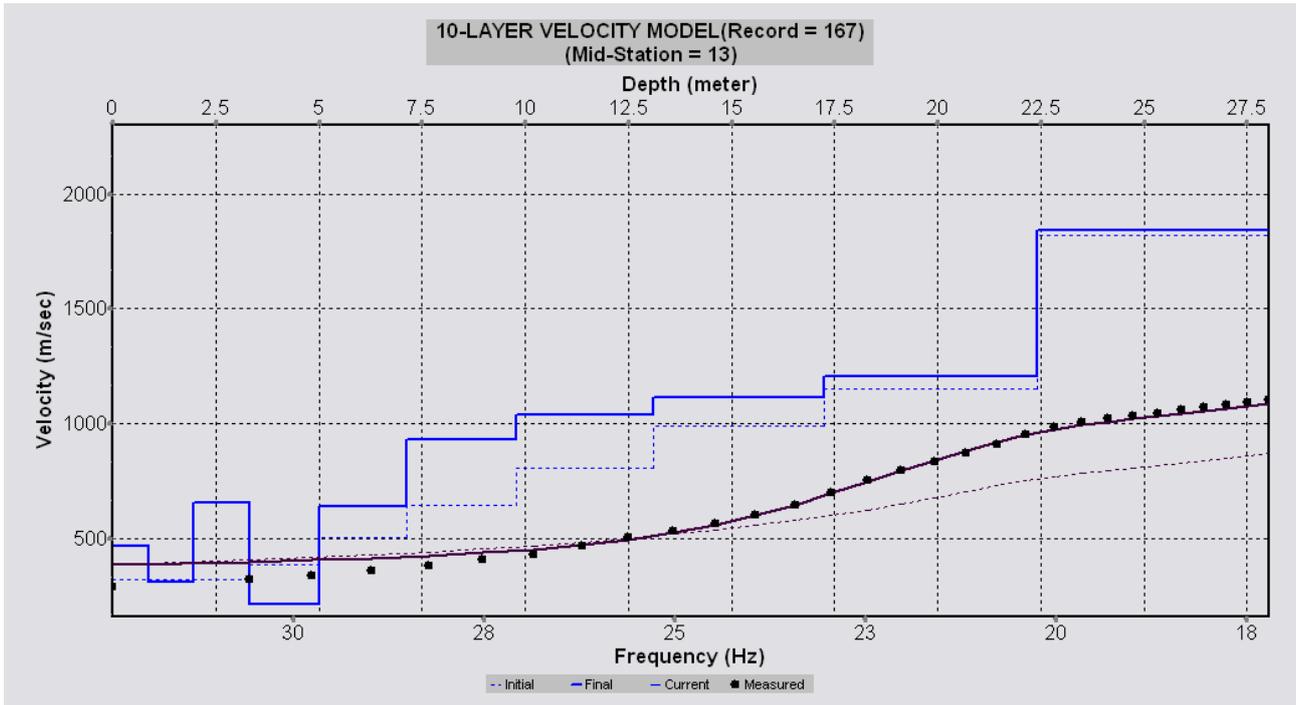
B21



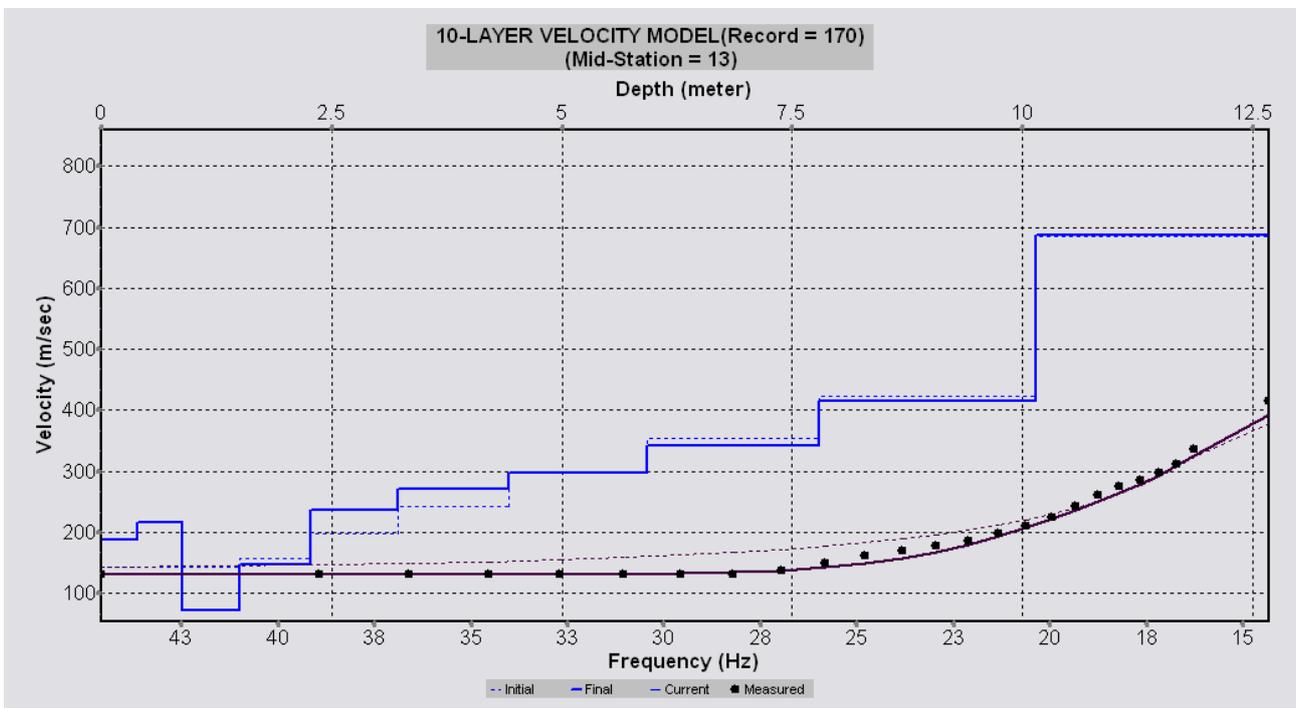
B22



B23



B24



Annexe 3

Définitions et méthodes pour les calculs de l'aléa liquéfaction

En géotechnique, on appelle liquéfaction le processus de modification de l'état d'un sol, le faisant passer d'une consistance solide et stable au repos, à un état liquide et instable lors d'une sollicitation dynamique. De manière plus spécifique, la transformation de l'état solide à l'état liquide étudiée dans le cadre du présent rapport se fait par augmentation de la pression interstitielle, lors d'un chargement cyclique consécutif à un séisme.

L'augmentation de la pression interstitielle a pour conséquence une diminution des contraintes effectives régnant dans le sol et donc une diminution de sa résistance au cisaillement qui, à l'état ultime, peut devenir nulle : le sol passe alors à l'état liquide.

Pour qu'il y ait liquéfaction sous l'action d'un séisme, il faut donc :

- qu'il y ait **susceptibilité du sol** à la liquéfaction, c'est-à-dire qu'il soit plutôt granulaire, dans un état peu compact, peu contraint et situé sous la nappe ;
- qu'il y ait **opportunité** à la liquéfaction, c'est-à-dire que l'énergie des ondes émises pendant un séisme soit suffisante par rapport à la résistance mécanique du sol.

Méthodologiquement, pour estimer l'occurrence de phénomènes de liquéfaction, il convient d'examiner successivement :

- le contexte hydrogéologique, notamment la présence de sols dans un état proche de la saturation ;
- la susceptibilité qualitative (critères d'identification des règles PS 92, norme NF P 06-013, et Guide de Microzonage Sismique – AFPS novembre 1993) ;
- la susceptibilité quantitative (méthodes basées sur des essais mécaniques in situ ou au laboratoire) ;
- l'opportunité ou la sollicitation (contexte sismique) ;
- le coefficient de sécurité à la liquéfaction, directement issu des deux points précédents ;
- les potentialités de liquéfaction, conjonction du contexte hydrogéologique, de la susceptibilité qualitative et de la valeur du coefficient de sécurité à la liquéfaction ;
- l'intensité de liquéfaction, à partir de l'indice global de liquéfaction permet d'évaluer l'impact de la profondeur et de l'épaisseur des horizons liquéfiables pour une colonne de sol.

Susceptibilité qualitative à la liquéfaction

Méthode

Pour des sols courants, les règles PS 92, norme NF P 06-013 précisent les critères d'identification des sols liquéfiables. La susceptibilité à la liquéfaction est avérée quand les critères suivants sont vérifiés.

a) Pour les sables, sables vasards et limons :

- critère Sa1 : S_r voisin de 100 % ;
- critère Sa2 : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 15$, C_u étant ici le coefficient d'uniformité ;

- critère Sa 3 : $0,05 < D_{50} < 1,5mm$;
- critère Sa 4 : En l'état final du projet :
 - $\sigma'_v < 200kPa$ en zones de sismicité Ia et Ib ;
 - $\sigma'_v < 250kPa$ en zone de sismicité II ;
 - $\sigma'_v < 300kPa$ en zone de sismicité III.

Par analogie au zonage sismique national une zone III sera considérée pour l'île de Saint-Martin.

b) Pour les sols argileux :

- critère Ar1 : $D_{15} > 5\mu$;
- critère Ar2 : $w_L < 35\%$;
- critère Ar 3 : $w > 0,9 \cdot w_L$;
- critère Ar 4 : Sol au-dessus de la droite « A » du diagramme de plasticité ⁶.

c) Critères d'exclusion :

Peuvent *a contrario* être considérés comme exempts de risque, les sols vérifiant :

- critère Ex1 : $D_{10} > 2mm$;
- ou ceux pour lesquels on a simultanément

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{critère Ex11: } D_{70} < 74\mu m \\ \text{critère Ex22: } I_p > 10\% \end{array} \right.$$

Susceptibilité quantitative à la liquéfaction

Les méthodes, basées sur des essais *in situ* (Seed and Idriss, 1971) ou de laboratoire évaluent quantitativement la susceptibilité à la liquéfaction en définissant **le taux de**

contrainte cyclique moyen nécessaire pour avoir la liquéfaction $CRR_{7,5}$: $\left(\frac{\tau_L}{\sigma'_v} \right)_\ell$

Avec :

τ_L , contrainte de cisaillement cyclique moyenne horizontale (résistance du sol);
 σ'_v , contrainte verticale effective.

Ce paramètre dépend à la fois d'une valeur mécanique *in situ*, permettant d'évaluer l'état initial de la compacité du sol, et de la magnitude du séisme considéré. Différents auteurs ont développé des méthodes d'évaluation de cette valeur mécanique à partir d'essais *in situ*, à savoir le Standard Penetration Test (SPT), le Cone Penetration Test (CPT ou pénétromètre statique), des mesures de vitesse des ondes de cisaillement Vs, ou le Becker Penetration Test (BPT).

Le taux de contrainte cyclique moyen $CRR_{7,5}$ est alors obtenu grâce à des abaques ou des relations analytiques pour une magnitude de séisme de 7,5 et une valeur mécanique

⁶ Dans le diagramme classique limite de liquidité w_L / indice de plasticité I_p , la droite dite " A " a pour équation : $I_p = 0,73(w_L - 20)$

donnée. Ces relations tiennent compte de corrélations expérimentales entre mesures *in situ* et contraintes critiques de cisaillement cyclique dont on sait qu'elles ont causé une liquéfaction lors de séismes passés.

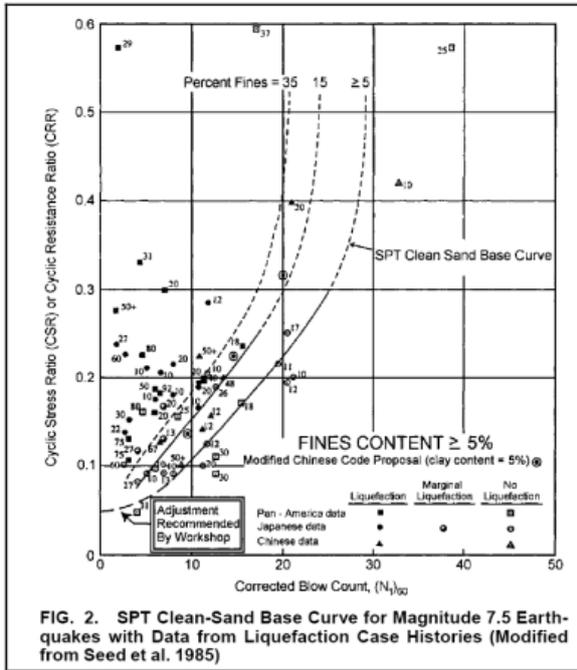


FIG. 2. SPT Clean-Sand Base Curve for Magnitude 7.5 Earthquakes with Data from Liquefaction Case Histories (Modified from Seed et al. 1985)

Courbe liée à l'essai de pénétration standard (SPT)

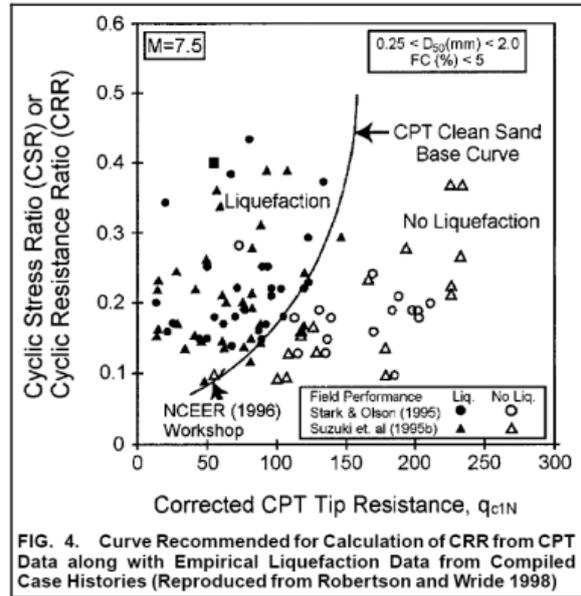


FIG. 4. Curve Recommended for Calculation of CRR from CPT Data along with Empirical Liquefaction Data from Compiled Case Histories (Reproduced from Robertson and Wride 1998)

Courbe liée à l'essai de pénétration statique (CPT)

Figure 74 : Etablissement de la résistance su sol grâce aux caractéristiques in-situ (essai de pénétration statique et essai de pénétration standard) – extraits de l'artciel NCEER.

Opportunité à la liquéfaction

L'évaluation du **taux de contrainte cyclique moyen induit par un séisme CSR** s'exprime par la relation (Seed and Idriss, 1971) :

$$CSR = \left(\frac{\tau_a}{\sigma'_v} \right)_s = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times r_d \quad (\text{Eq. 1})$$

avec τ_a : contrainte de cisaillement cyclique induite par le séisme

a_{max} : accélération maximale en surface, telle qu'elle résulte de l'étude d'aléa sismique, éventuellement modifiée pour tenir compte des effets de site,

r_d : coefficient d'atténuation de la contrainte avec la profondeur, fonction de la rigidité du sol. La valeur de r_d peut être lu directement sur la Figure 75, ou calculée au moyen des équations suivantes (Liao and Whitman, 1986) :

$$\begin{cases} r_d = 1.0 - 0.0076z & \text{pour } z \leq 9.15m \\ r_d = 1.174 - 0.026z & \text{pour } 9.15m < z \leq 23m \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

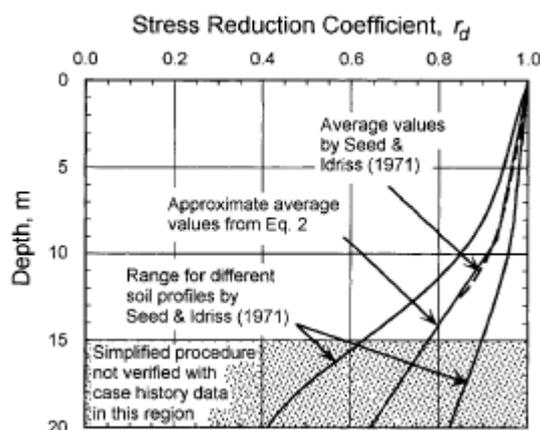


Figure 75 : Coefficient d'atténuation de la contrainte r_d en fonction de la profondeur, selon Seed and Idriss (1971) et la courbe approximée par l'équation (Eq. 2)

Coefficient de sécurité à la liquéfaction

Le facteur de sécurité FS est défini comme le rapport des taux de contraintes cycliques moyens, multiplié par le Magnitude Scaling Factor (MSF) qui corrige le $CRR_{7,5}$ en fonction de la magnitude réelle M_w du séisme.

$$FS = (CRR_{7,5} / CSR) MSF$$

On retient, pour le calcul du MSF, la relation suivante :

$$MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56}$$

Selon les PS92, pour que la liquéfaction soit peu probable, il est admis que FS doit être supérieur à 1,33. Le guide microzonage sismique de l'AFPS considère une valeur seuil plus conservatrice $FS > 1,5$ pour une liquéfaction peu probable. Enfin les règles Eurocode considère un sol liquéfiable pour un coefficient de sécurité inférieur à 1,25.

Cependant, ce facteur de sécurité correspond à une notion très locale dans le sol, mais ne représente pas forcément les conséquences de la liquéfaction en surface. C'est pour ces raisons qu'il est recommandé d'utiliser une approche plus représentative des effets en surface, intégrant le comportement de toute la colonne de sol sous séisme. À ce titre, l'évaluation de l'intensité de liquéfaction est préconisée dans le guide microzonage sismique de l'AFPS.

Potentialités de liquéfaction

Les potentialités de liquéfactions résultent de la conjonction du contexte hydrogéologique, de la susceptibilité qualitative et du coefficient de sécurité.

Intensité de la liquéfaction

Conformément au guide méthodologique pour la réalisation de microzonage sismique (AFPS), l'intensité de liquéfaction est définie par l'indice global de liquéfaction (Iwasaki & al., 1982) à partir du facteur F_L .

L'indice global de liquéfaction, I_L , permet d'évaluer l'impact de la profondeur et de l'épaisseur des horizons liquéfiables pour une colonne de sol :

$$I_L = \int_0^{20} (10 - 0,5z) F_L dz$$

où : $F_L = 0$ si les matériaux non susceptibles qualitativement

$$F_L = 0 \quad \text{si } FS \geq 1$$

$$F_L = 1 - FS \quad \text{si } FS \leq 1$$

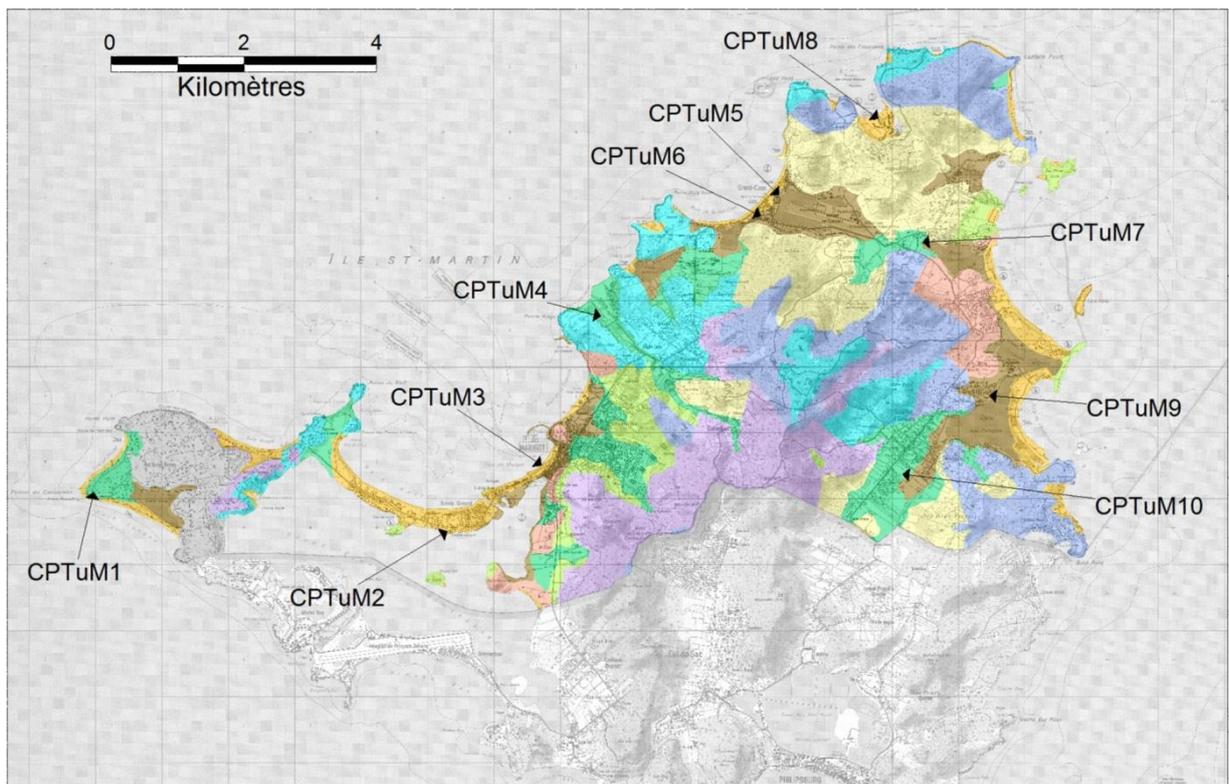
z est la profondeur (en m)

La valeur de I_L varie de 0 pour un site non liquéfiable à 100 pour un site très fortement liquéfiable. On distingue plusieurs classes, selon les conséquences que peut avoir la liquéfaction en surface :

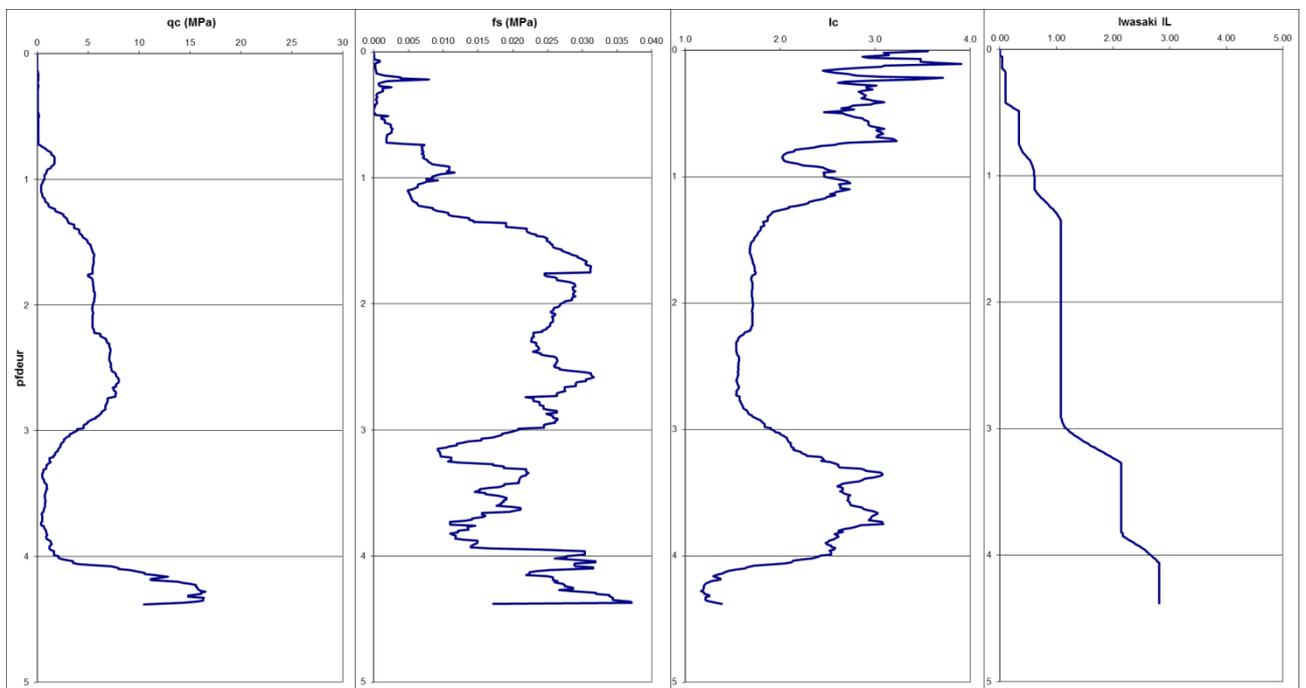
- Aléa nul : pas de liquéfaction : zones non liquéfiables ou $I_L = 0$;
- Aléa faible : liquéfaction peu probable : $0 < I_L \leq 5$;
- Aléa moyen : liquéfaction probable : $5 < I_L \leq 15$;
- Aléa fort : liquéfaction quasi certaine : $I_L > 15$.

Évaluation de la susceptibilité quantitative

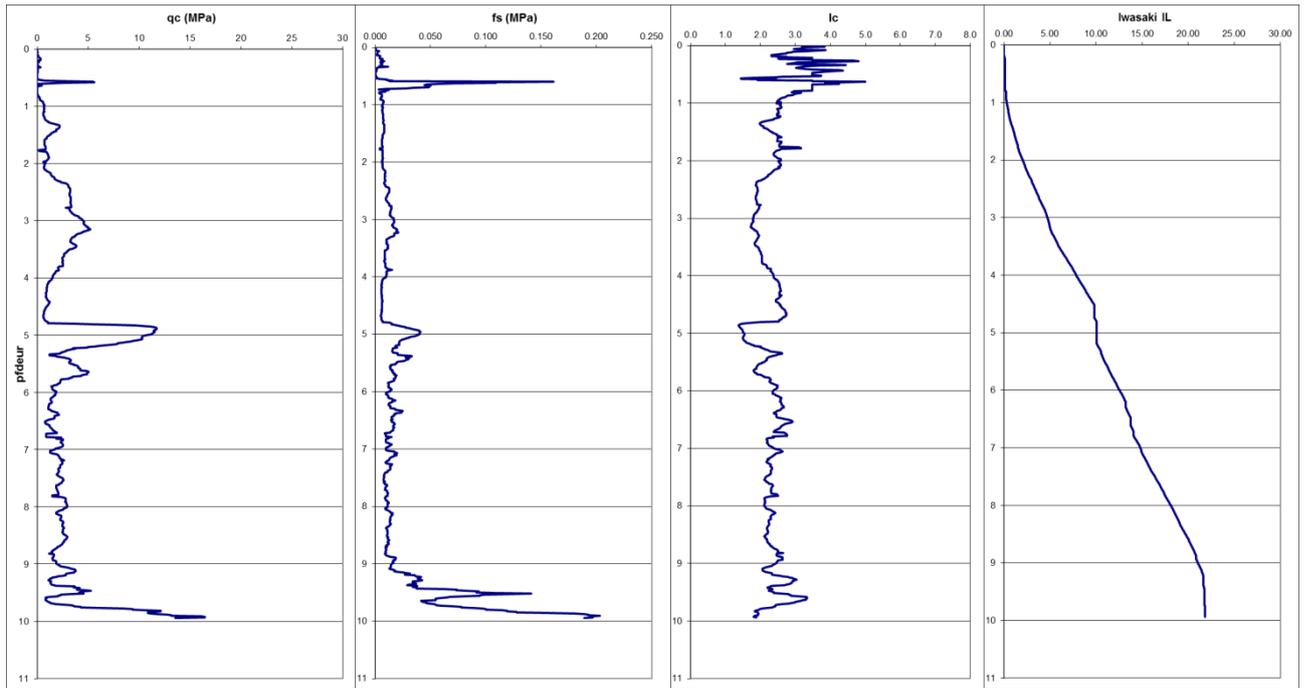
10 CPTu ont été réalisés aux emplacements indiqués sur la carte suivante.



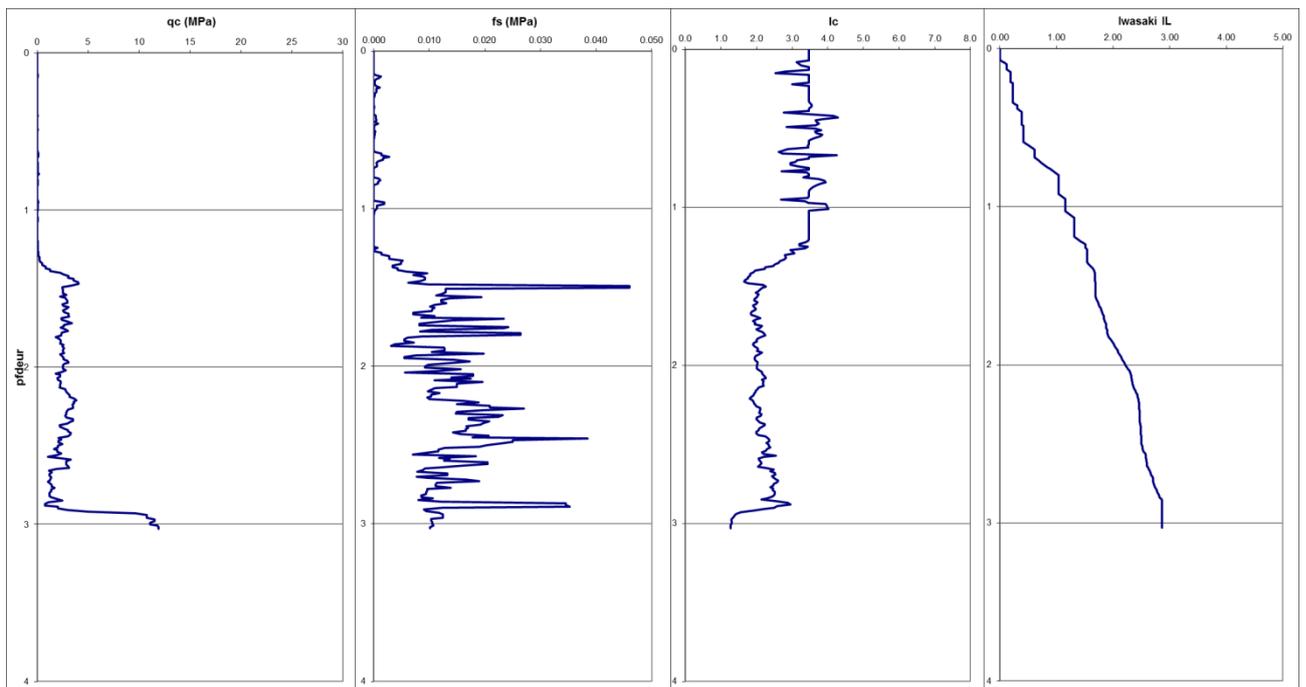
Localisation des CPTu effectués (couleurs du fond : zonage géotechnique)



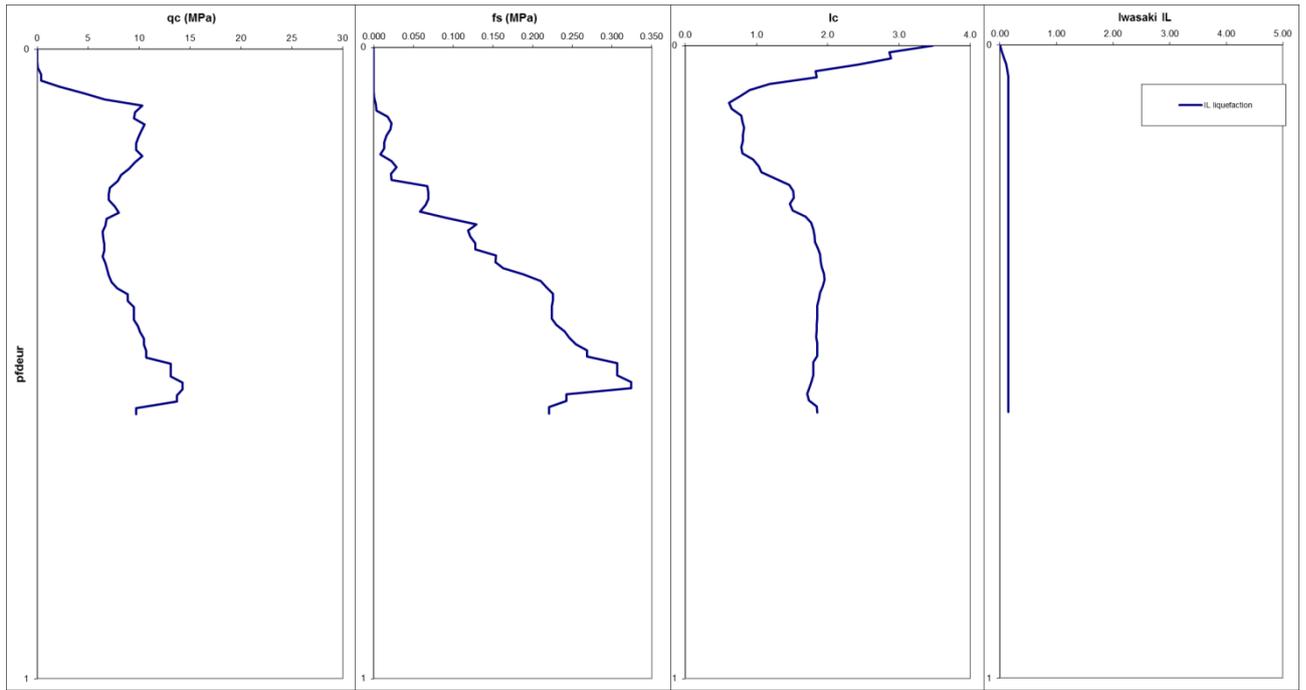
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM1 (zone 8)



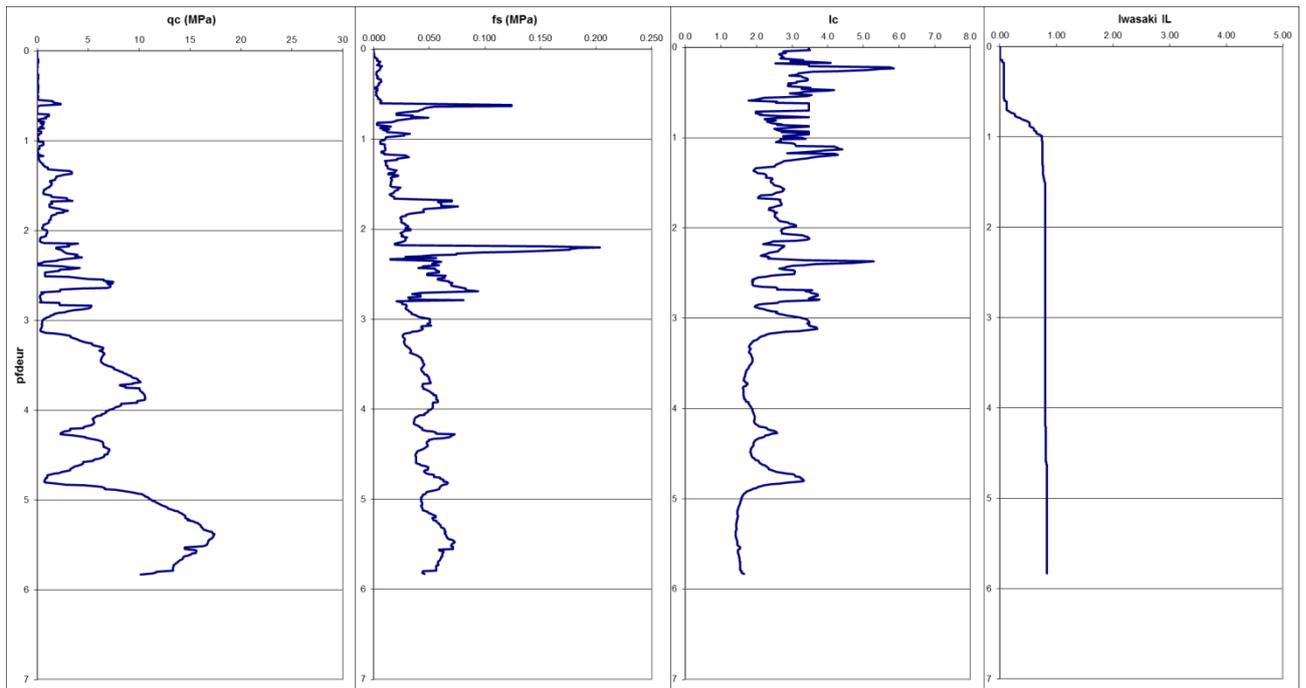
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM2 (zone 7)



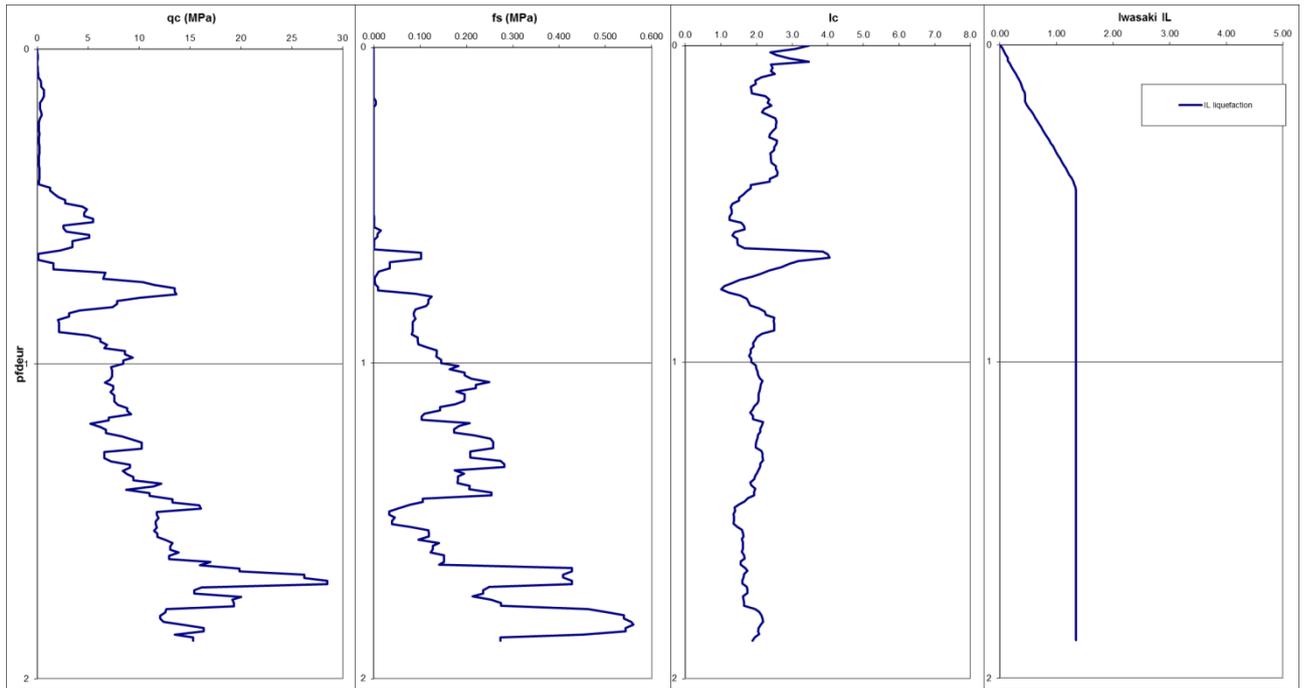
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM3 (zone 7)



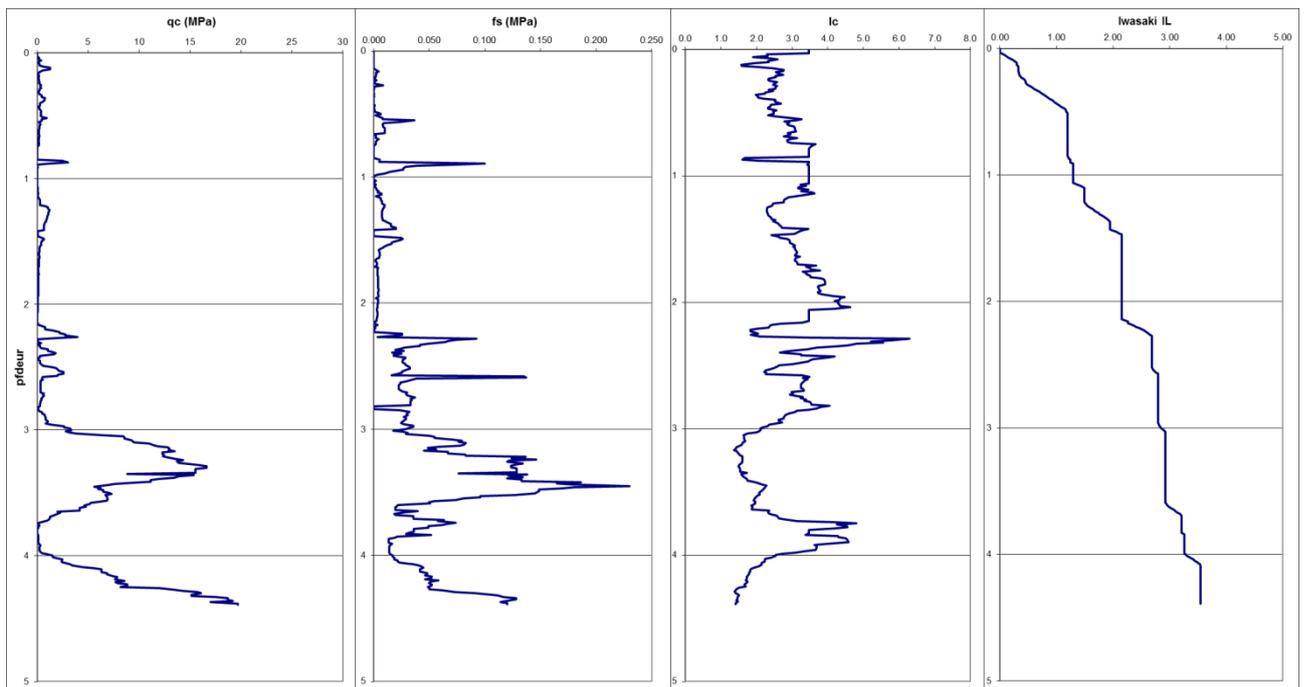
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM4 (zone 8)



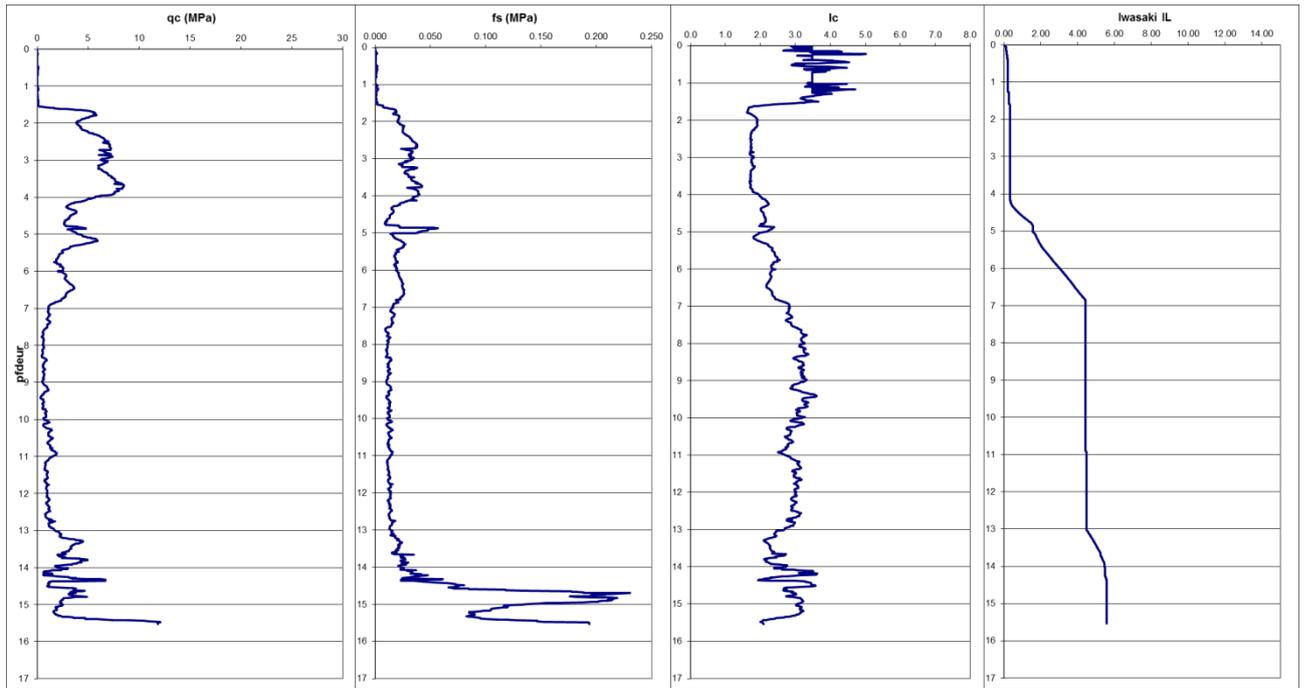
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM5 (zone 9)



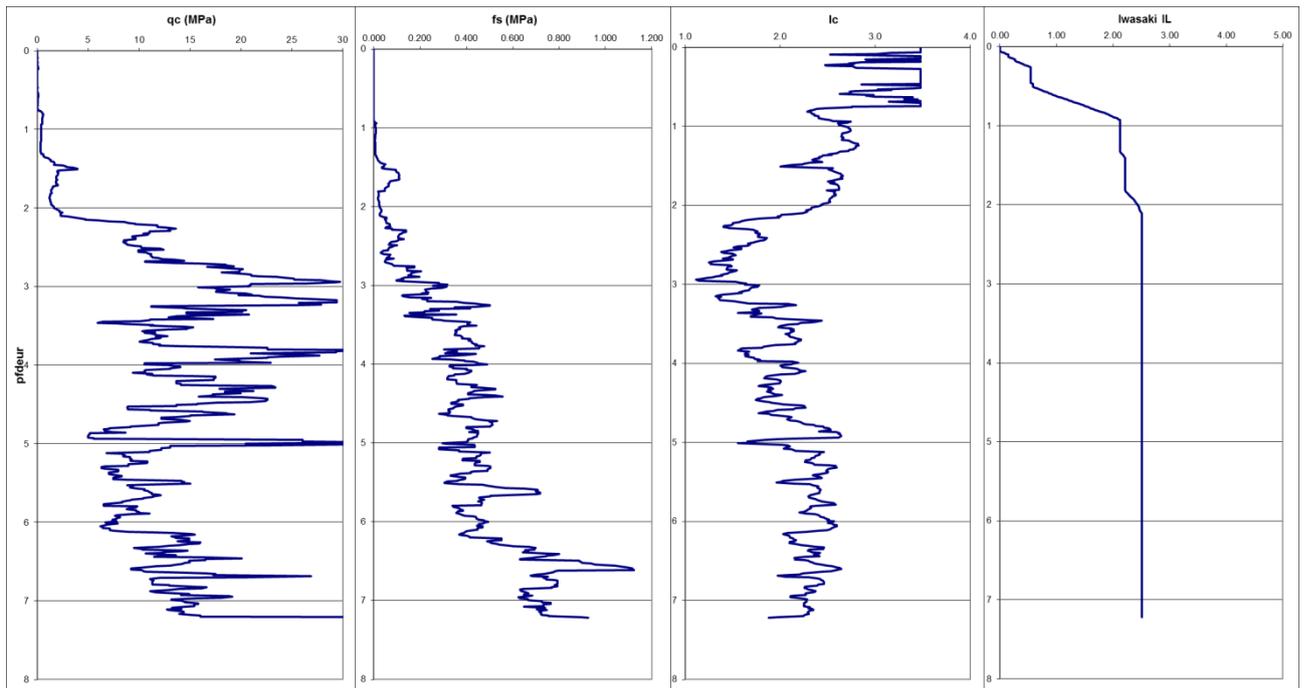
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM6 (zone 9)



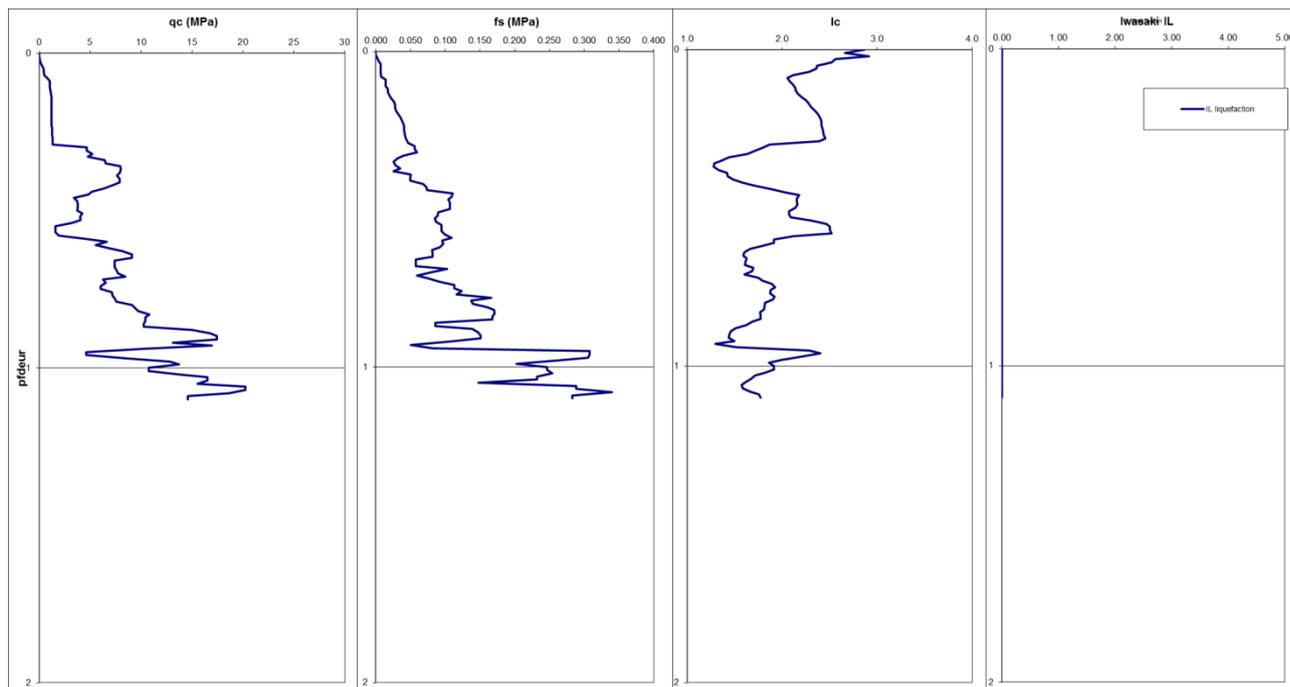
Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM7 (zone 9)



Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM8 (zone 7)



Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM9 (zone 9)



Résultats de l'évaluation de l'indice global de liquéfaction pour le CPTuM10 (zone 8)

Cartographie : principes et limites

La cartographie de l'aléa liquéfaction se base sur la synthèse des analyses précédemment évoquées : étude de niveau A, évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction, évaluation de la sévérité de la liquéfaction.

Ces analyses sont la plupart du temps cohérentes entre elles. En cas d'incohérence, l'évaluation de l'aléa se fait de manière conservative.

Etant donné l'hétérogénéité des données disponibles, tant en termes de quantité que de qualité, certaines zones présentent des lacunes d'information. Ces lacunes ne permettent pas de déterminer directement un niveau d'aléa. Des extrapolations basées sur les résultats obtenus pour des zones similaires mieux renseignées permettent alors de proposer un niveau d'aléa.

Dans tous les cas, la cartographie effectuée se base sur des données ponctuelles (des sondages) extrapolés sur des surfaces relativement importantes (des quartiers par exemple), en fonction entre autre des résultats du zonage géotechnique. Des variations géologiques et géotechniques, locales ou étendues, sont toujours possibles. Elles sont d'autant plus probables que les terrains où se produisent habituellement la liquéfaction sont par nature hétérogènes. Ces variations et leurs conséquences sur le niveau d'aléa liquéfaction ne peuvent être connues qu'en réalisant des sondages complémentaires. C'est pourquoi le rapport précise la nécessité de ces sondages complémentaires pour confirmer et préciser localement le niveau d'aléa et ces éventuelles conséquences.

Annexe 4

Vulnérabilité du bâti de catégorie d'importance II

Description de la méthode RISK-UE

Le choix de la méthode analyse de vulnérabilité, permettant une évaluation des endommagements, s'est porté sur la méthode RISK-UE Niveau 1 pour les scénarios de risque sismique. Ce chapitre vise donc à expliciter cette méthode, en reprenant les points principaux décrits de façon exhaustive dans le rapport méthodologique de réalisation d'un scénario sismique (Sedan *et al.*, 2008).

La vulnérabilité d'un bâtiment représente ses possibilités d'endommagement par rapport à l'agression sismique. Elle s'évalue par une estimation des différents niveaux de dommages que ce bâtiment subirait pour différents niveaux d'agression sismique, soit sous forme de paramètres du mouvement sismique (accélération, vitesse), soit sous forme d'intensité macrosismique. La courbe qui met en relation l'agression sismique et le comportement du bâtiment est appelée « fonction d'endommagement » ou « fonction de vulnérabilité ».

La réponse dynamique de la structure à un séisme est très complexe, dépendant d'un nombre important de paramètres qu'il est difficile, voire impossible, d'évaluer individuellement avec précision. Ces paramètres incluent : la résistance des matériaux utilisés dans la structure, la qualité de la construction, la nature et l'état des éléments structuraux analysés individuellement et au niveau de la construction prise dans son ensemble, l'interaction entre les éléments structuraux et non structuraux, le poids total du bâtiment à l'instant du tremblement de terre, et d'autres facteurs. Ceux-ci sont de plus dépendants des caractéristiques du signal sismique, au-delà de son intensité (durée, contenu spectral...).

La majorité de ces facteurs peut être estimée, mais jamais connue avec précision. En conséquence, les fonctions de vulnérabilité qui sont établies présentent toujours une part d'incertitude qu'il est important de ne pas oublier.

Il est possible de traduire une part de ces incertitudes en appliquant une approche probabiliste aux fonctions d'endommagement. Les fonctions de vulnérabilité d'un élément à risque représentent alors la probabilité que sa réponse à l'action sismique atteigne ou dépasse certains degrés d'endommagement. Ces degrés sont définis sur la base de considérations physiques mais également socio-économiques.

La méthode Risk-UE niveau 1 est basée sur une corrélation statistique entre l'intensité macrosismique et le dommage apparent, décrit en termes de degré de dommage. Le fondement de cette méthode repose sur une exploitation de la méthode d'évaluation des intensités de l'Echelle Macrosismique Européenne (EMS98).

Une approche basée sur le retour d'expérience : l'échelle EMS98

L'échelle EMS98 a été établie sur la base du retour d'expérience, en analysant de manière statistique le comportement de différents types de bâtiments ayant subi des séismes dans la période historique.

Le concept de vulnérabilité est fondamental pour la construction des échelles modernes d'intensité. La violence de la secousse déterminante pour la destruction d'une chaumière en briques de pisé mal construite n'est pas la même que celle qui entraîne la destruction d'un immeuble de bureaux massif. Ces distinctions de comportement doivent faire l'objet d'une différenciation.

Ce point avait été mis en évidence dès le début de la définition des échelles d'intensité. Les premières échelles [Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), Mercalli modifiée (MM-31 et MM-56), Medvedev ou GEOFIAN] n'établissaient pas de distinction entre les types de bâtiments. Elles étaient généralement conçues pour être utilisées dans des zones géographiques limitées où il était possible de définir des "maisons moyennes", sans distinctions complémentaires. Ces échelles ne prenaient pas non plus en compte des zones avec de nombreuses constructions en béton armé et en acier comme les centres urbains modernes.

Par contre, les échelles ultérieures qui étaient prévues pour s'appliquer à un environnement de bâtis modernes et être d'une application plus générale (par exemple l'échelle de Mercalli modifiée MM dans sa formulation de 1956 par Richter ou l'échelle MSK en 1964) avaient traité ce problème avec attention. Elles l'ont fait en divisant les bâtiments en différentes classes en fonction de leur type, c'est-à-dire en fonction des matériaux de construction utilisés pour résister au séisme. En cela, le classement par type de bâtiment était implicitement analogue au classement par vulnérabilité.

La prise en compte explicite de la vulnérabilité des bâtiments dans l'échelle EMS98 est dans le droit fil des échelles MSK et MM.

L'EMS98 a introduit les notions de conception des structures, en distinguant le degré de conception parasismique (sans, moyen, bon) pour les structures en béton, et les systèmes de renforcement employés pour les structures en maçonnerie. Dans la typologie des EMS98, à chaque type de construction est attribuée une classe de vulnérabilité la plus probable (avec son incertitude). Il s'agit donc d'un tableau à double entrée avec :

- 1) une typologie simplifiée des bâtiments. Les types de bâtiments sont classés en fonction de leurs groupes principaux: maçonnerie, béton armé, acier et bois.
- 2) une classification de niveau de vulnérabilité en six classes avec, de la plus vulnérable à la plus résistante :
 - Les classes A, B et C, qui représentent la résistance d'une maison «typique» en briques crues, d'un bâtiment de brique et d'une structure en béton armé.
 - Les classes D et E, prévues pour représenter approximativement la décroissance linéaire de la vulnérabilité en fonction de l'amélioration du degré de conception parasismique. Ces deux classes conviennent également pour les structures en bois, en maçonnerie renforcée ou chaînée et les structures en acier qui sont bien connues pour leur résistance à l'action sismique.
 - La classe F, censée représenter la vulnérabilité d'une structure avec un bon degré de conception parasismique, c'est-à-dire la structure ayant le meilleur degré de résistance aux séismes grâce aux principes de conception pris en compte.

En parallèle, l'échelle EMS98 définit aussi 5 degrés de dommages aux constructions :

- Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)
- Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)
- Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)
- Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)
- Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structuraux très importants).

Il s'agit d'une échelle purement qualitative, qui décrit la nature des dommages observables (Figure 60).

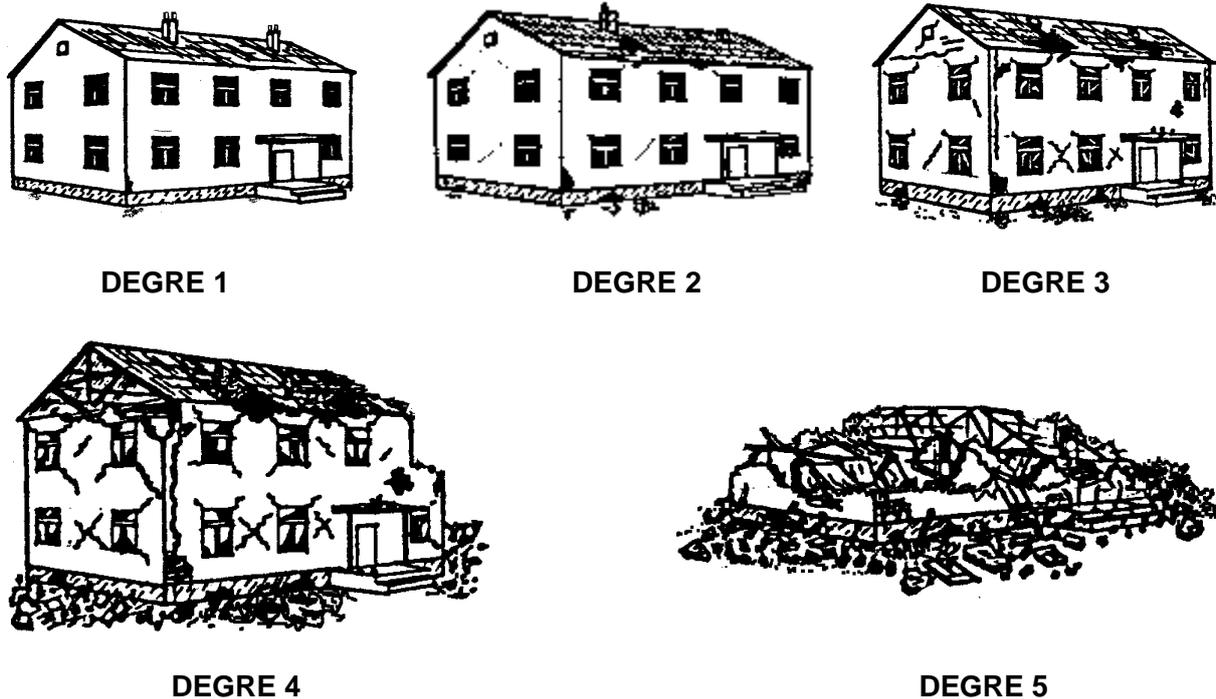


Figure 76 : Classification des dégâts selon l'Echelle Macrosismique Européenne.

En résumé, cette méthode a été définie à l'origine pour caractériser les niveaux d'agression sismique dans les régions situées autour des épicentres sous la forme d'intensités dites « macrosismiques ». Ces intensités sont évaluées en fonction des effets sur les constructions, les objets et les individus. La définition de l'échelle d'intensité macrosismique EMS98 prend en compte le fait que les dommages observés seront fonction de la vulnérabilité des différents types de bâtiments.

Les principes de la méthode Risk-UE niveau 1 :

Le texte ci-après est une traduction in extenso de la description méthodologique apportée dans le WP4 du rapport final du projet européen RISK-UE (Milutinovic et Trendafiloski, 2003).

Vision d'ensemble

La méthode dite de « niveau 1 » (LM1 Method en anglais), est une méthode basée sur le modèle de vulnérabilité implicite (matrice de dommage qualitative) inclus dans l'Echelle Macrosismique Européenne (EMS98). Le modèle de vulnérabilité de l'échelle macrosismique étant incomplet et vague, il requiert l'utilisation de la Théorie de la Logique Floue afin de traiter avec l'ambiguïté et la non-spécificité des informations de dommage disponible.

En termes de dommage apparent, le comportement sismique des bâtiments est subdivisé en classes de vulnérabilité. Cela signifie que différents types de bâtiments peuvent se comporter identiquement. La correspondance entre les classes de vulnérabilité et la typologie d'un bâtiment est probabiliste : chaque type de structure est caractérisé par une classe de vulnérabilité ayant des intervalles de confiance pour un niveau de dommage donné.

L'indice de vulnérabilité est introduit (V_i) afin de représenter et de quantifier l'appartenance d'un bâtiment à une certaine classe de vulnérabilité. Les valeurs de l'indice sont arbitraires (entre 0 et 1) car elles ne sont que des scores pour quantifier d'une manière conventionnelle le comportement d'un bâtiment.

La méthode en elle-même utilise :

- 1) des matrices de probabilité de dommage (Damage Probability Matrix DPM) ;
- 2) et des fonctions de vulnérabilité moyenne semi empiriques (Mean Vulnerability Function MVF).

Les matrices de probabilité de dommage (DPM) calculent la probabilité d'occurrence d'un certain niveau de dommage. Une matrice de probabilité de « niveau 1 » modélise les matrices de dommage qualitatif de EMS98 pour chaque classe de vulnérabilité en utilisant des distributions bêta.

La fonction de vulnérabilité moyenne corrèle le niveau de dommage moyen pour différentes classes de vulnérabilité via l'intensité macrosismique et d'indice de vulnérabilité.

La méthode dite de « niveau 1 » est donc utilisée pour définir les classes de vulnérabilité, les indices de vulnérabilité et pour développer des matrices de dommage probabiliste (DPM). En tenant compte de la qualité et de la quantité des données disponibles pour une analyse de vulnérabilité, cette méthode propose différents schémas de modification des indices de vulnérabilité.

Classes de Vulnérabilité

Les classes de vulnérabilité regroupent des types de bâtiment assez différents qui sont caractérisés par un comportement sismique similaire.

Class A					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V	Few				
VI	Many	Few			
VII			Many	Few	
VIII				Many	Few
IX					Many
X					Most
XI					
XII					

Class B					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V	Few				
VI	Many	Few			
VII		Many	Few		
VIII			Many	Few	
IX				Many	Few
X					Many
XI					Most
XII					

Class C					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V					
VI	Few				
VII		Few			
VIII		Many	Few		
IX			Many	Few	
X				Many	Few
XI					Many
XII					Most

Class D					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V					
VI					
VII	Few				
VIII		Few			
IX		Many	Few		
X			Many	Few	
XI				Many	Few
XII					Most

Class E					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V					
VI					
VII					
VIII					
IX		Few			
X		Many	Few		
XI			Many	Few	
XII					

Class F					
Damage Intensity	1	2	3	4	5
V					
VI					
VII					
VIII					
IX					
X		Few			
XI		Many	Few		
XII					

Tableau 35 : Type de bâtiment selon EMS98 et identification de leur comportement sismique par classes de vulnérabilité.

L'échelle macrosismique EMS98 définit six classes de vulnérabilité, notées de A à F, et ordonnées selon un niveau de vulnérabilité décroissant. Chaque bâtiment est caractérisé par une classe de vulnérabilité la plus probable. A chaque classe de vulnérabilité (tableau 35) correspond une relation entre l'intensité d'un séisme et les dommages observés lors de ce même séisme.

Matrices de Probabilité de Dommage pour les Classes de Vulnérabilité EMS

La quantification des niveaux de dommage correspondant à différentes intensités pour chaque classe de vulnérabilité représente une définition vague et incomplète des matrices de probabilité de dommage. Ainsi, une distribution bêta est utilisée pour calculer une matrice de probabilité de dommage continue pour chaque classe selon la formule :

$$\text{PDF: } p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b$$

$$\text{CDF: } P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon$$

avec a, b, t et q les paramètres de distribution et x la variable continue variant entre a et b.

Les paramètres de la distribution bêta sont corrélés avec le niveau de dommage moyen μ_D comme suit :

$$q = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D)$$

Le paramètre t affecte une dispersion à la distribution. Si t=8 est utilisé, la distribution bêta est très similaire à une distribution binomiale.

Afin d'utiliser la distribution bêta, il est nécessaire de se référer au niveau de dommage D (variable discrète) caractérisé par 5 niveaux de dommage plus le niveau de dommage zéro (i.e. absence de dommage). Il est conseillé d'assigner la valeur 0 au paramètre a et la valeur 6 au paramètre b (Lagomarsino *et al.*, 2002).

Les définitions quantitatives des quantités des matrices de dommage dans l'échelle macrosismique EMS98 sont interprétées via les fonctions d'appartenances (membership functions), χ . Ces fonctions définissent l'affiliation de valeurs uniques du paramètre à un ensemble spécifique :

1. $\chi = 1$, l'appartenance est plausible ;
2. $\chi = 0 - 1$, la valeur du paramètre est rare mais possible ;
3. $\chi = 0$, le paramètre n'appartient pas à l'ensemble.

Les fonctions d'appartenances pour les quantités (pourcentage de bâtiments) nommées « peu », « beaucoup » ou « la plupart » au sens EMS98 sont définies par une ligne droite dans les zones de floue (cf. figure 77). Les valeurs plausibles du paramètre μ_D sont celles pour lesquelles toutes les définitions de quantités au sens EMS98 sont plausibles. Les valeurs possibles du paramètre μ_D sont celles pour lesquelles toutes les définitions de quantité au sens EMS98 sont plausibles ou possibles, avec au moins une possible. Via cette procédure, les limites plausibles et possibles des niveaux de dommage moyen pour chaque classe de vulnérabilité sont définies (cf. Figure 78).

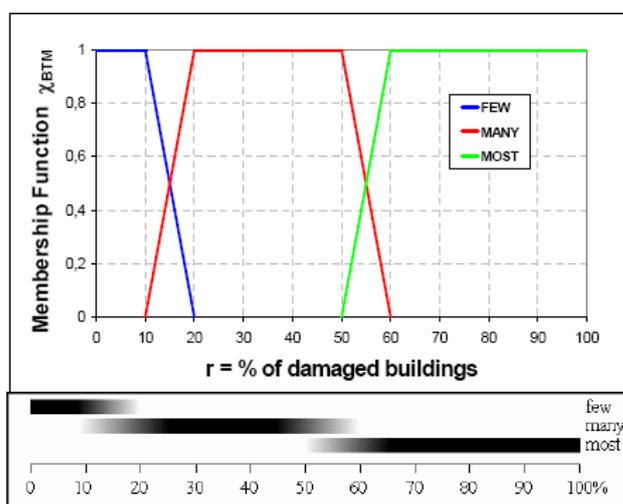


Figure 77 : Fonctions d'appartenances liées aux quantités EMS98 « peu/few », « beaucoup/many » et « la plupart/most ».

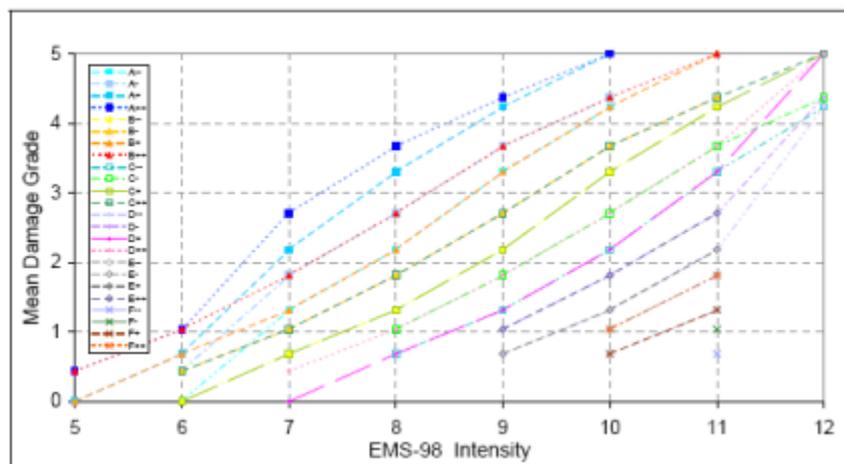


Figure 78 : Valeurs plausibles et possibles pour chaque classe de vulnérabilité. Indices de vulnérabilité et courbes de vulnérabilité semi empiriques

L'appartenance d'un bâtiment à une classe de vulnérabilité spécifique est définie par un indice de vulnérabilité. Les valeurs d'indice sont arbitraires car elles représentent seulement un score qui quantifie le comportement sismique d'un bâtiment. L'indice de vulnérabilité varie entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 représentent les bâtiments les plus vulnérables. Les valeurs proches de 0 sont des bâtiments ayant un niveau de construction parasismique élevé.

Les fonctions d'appartenance des six classes de vulnérabilité ont une valeur $\chi = 1$ (plausible) et une variation linéaire dans l'intervalle possible, définissant ainsi la transition entre deux classes adjacentes (cf. Figure 79).

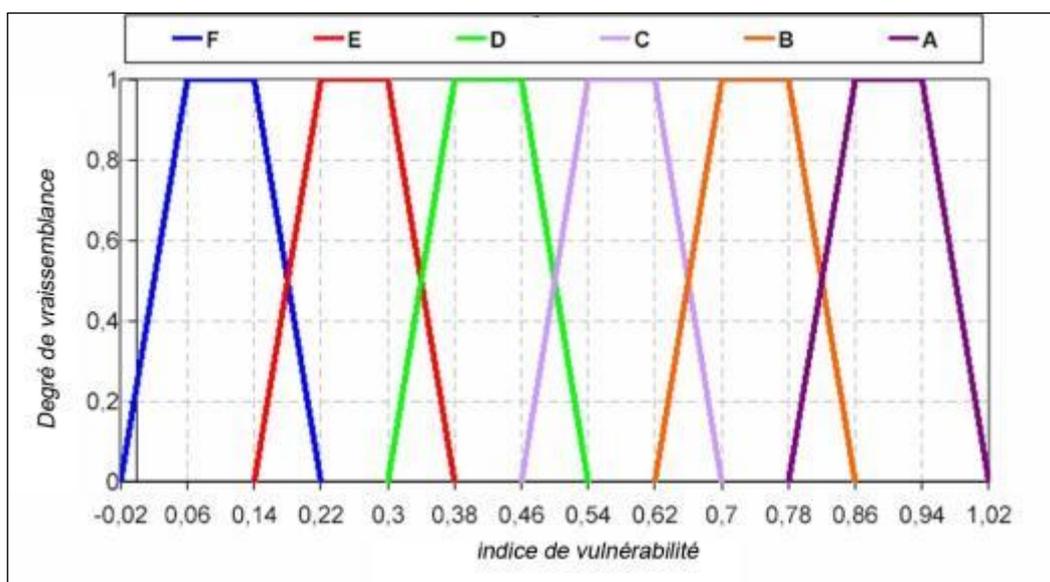


Figure 79 : Fonctions d'appartenance des indices de vulnérabilité.

De plus, la méthode de niveau 1 définit des fonctions de vulnérabilité moyenne semi empiriques qui corrélient le niveau de dommage moyen μ_D avec l'intensité macrosismique I et l'indice de vulnérabilité V_I . Ces fonctions sont définies pour les valeurs discrètes des matrices de probabilité de dommage (cf. Figure 80). μ_D est définie comme suit :

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

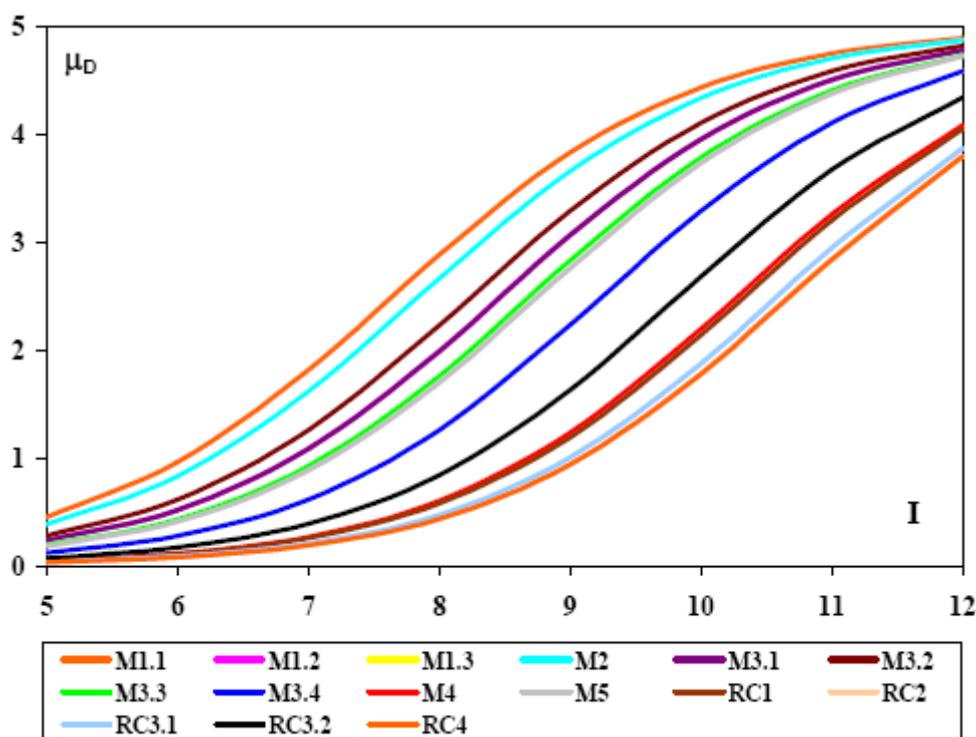


Figure 80 : Fonctions de vulnérabilité semi-empiriques moyennes par typologie.

Classes et indices de Vulnérabilité selon les Matrices de Typologie RISK-EU

Les matrices de typologie selon RISK-EU (BTM en anglais) sont utilisées pour estimer la vulnérabilité des bâtiments européens.

Les classes de vulnérabilité « le plus plausible » ($\chi = 1$, i.e. le plus probable), « le possible » ($\chi = 0.6$, i.e. le probable) et « le moins probable » ($\chi = 0.2$) sont définies pour RISK-EU BTM.

Pour chaque type de bâtiment, les indices de vulnérabilité suivant sont calculés (cf. Tableau 36) :

- V_I^* est l'indice de vulnérabilité V_I le plus probable ;
- $[V_I^- ; V_I^+]$ sont les limites de l'intervalle plausible de l'indice de vulnérabilité V_I (obtenu généralement par une coupure à 0.5 de la fonction d'appartenance ;
- $[V_I^{\min} ; V_I^{\max}]$ sont les limites inférieures et supérieures des valeurs possible de l'indice de vulnérabilité V_I .

Les fonctions de vulnérabilité semi empiriques moyennes pour les matrices de typologie les plus collectives de RISK-EU sont présentées en Figure 80.

Typologies		Valeurs représentatives de V_i (UNIGE)				
		V_i^{\min}	V_i^-	V_i^+	V_i^+	V_i^{\max}
M1	Murs porteurs en maçonnerie de pierres composées de :					
M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Pierres appareillées	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Pierres de taille	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3	Murs porteurs en maçonnerie non armée					
M3.1	Plancher bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Plancher en béton armé	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Constructions en maçonnerie renforcées dans leur ensemble	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Système poteaux/poutres	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Murs de refend en béton	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Système poteaux/poutres avec mur de remplissage en maçonnerie non armée Structures régulières	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Système poteaux/poutres avec mur de remplissage en maçonnerie non armée Structures irrégulières (i.e., système porteur irrégulier, remplissages irréguliers, niveau souple)	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	Structure mixte en béton armé (portiques et murs en béton)	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC5	Murs en béton préfabriqué	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Structure en béton préfabriqué avec murs de refend en béton	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Système poteaux/poutres en acier	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Structure en acier contreventée	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Système poteaux/poutres en acier avec mur de remplissage en maçonnerie non armée	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Système poteaux/poutres en acier avec mur de refend béton coulés en place	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
S5	Système de composants acier et béton armé	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Structure en bois	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tableau 36 : Matrices de typologie Risk-EU et indices de vulnérabilité

Analyse de Vulnérabilité

a) Traitement des données disponibles

N'importe quelle base de données en relation avec les bâtiments doit être prise en considération afin de classifier l'information géographiquement et qualitativement (cf. Tableau 37). De plus, toutes les connaissances concernant la vulnérabilité observée ou les

techniques de construction traditionnelles doivent être collectées. La distribution, le nombre et la qualité des informations disponible influence les paramètres pris en compte dans l'analyse de la vulnérabilité.

Data characteristics			Consequences
Geographic	Minimum survey unit	Single building	Minimum unit to make reference for the V_I evaluation.
		Set of buildings	
Geographic	Minimum geocoded unit	Single building	Minimum unit for damage and scenarios representations.
		Set of buildings	
Quality	Data origin	Specific survey with vulnerability assessment purposes.	ΔV_f
		Other origins	
	Data Consistency	Typological Identifications	V_I
Behaviour modifiers identifications		ΔV_m	
Existing Knowledge	Observed Vulnerability		ΔV_r
	Expert judgment		

Tableau 37 : Processus de traitement des données disponibles.

b) Identification typologique directe et indirecte

Lorsque la typologie d'un bâtiment est directement identifiée au sein de la matrice de typologie, les valeurs de l'indice de vulnérabilité (V_I^* , V_I^- , V_I^+ , V_I^{\min} , V_I^{\max}) sont attribuée de façon univoque selon le Tableau 36.

Si les données disponibles ne sont pas suffisantes pour mener une identification directe, il est nécessaire de définir des catégories plus générales sur la base des retours d'expériences et des connaissances de construction traditionnelles. Par exemple, dans le contexte antillais, on rencontre des bâtiments individuels qui présentent deux typologies différentes : le RdC est un système poutre-poteaux en béton armé et les étages supérieurs sont en maçonnerie chaînée ou non-chaînée. La distribution typologique au sein de la catégorie définie est supposée connue.

c) Facteur de vulnérabilité régionale ΔV_r

Un facteur de vulnérabilité régionale ΔV_R est introduit pour prendre en compte la qualité particulière de certains types de bâtiment au niveau régional. Il modifie l'indice de vulnérabilité V_I^* sur la base d'un jugement d'expert ou prend en considération la vulnérabilité observée. Le facteur de vulnérabilité régionale ΔV_R peut être introduit à la fois pour une typologie ou pour une catégorie. Sur la collectivité de Saint-Martin, la valeur du facteur de vulnérabilité régional ΔV_r est fixée à zéro.

d) Facteurs aggravants ΔV_m

Il existe différents facteurs de nature géométrique ou structurelle qui aggravent le comportement dynamique des bâtiments lors d'un tremblement de terre. Ils sont pris en compte en ajoutant (facteur aggravant) ou en retranchant (facteur favorable) un facteur ΔV_m à l'indice de vulnérabilité V_I^* . Le score qui modifie l'indice de vulnérabilité V_I^* est évalué, pour un bâtiment, via la formulation suivante :

$$\Delta V_m = \sum V_m$$

Des exemples de scores pour les bâtiments en acier et béton armé sont exposés dans le Tableau 38, et pour les bâtiments en maçonnerie dans le Tableau 39. Dans le cadre du

microzonage de Saint-Martin, certains facteurs non adaptés au contexte antillais (par ex. le facteur « cheminée ») ont été remplacés par des facteurs caractéristiques à la zone d'étude.

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	Facteurs de vulnérabilité	Code Bas	Code Moyen
		Nb d'étages	Bas (1, 2 ou 3) Moyen (4, 5 ou 6) Haut (7 ou plus)
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui Non	+0,02 0
		Protubérance	Oui Non
Irrégularité élévation	Saillie		Oui Non
		Retrait	Oui Non
	Joints insuffisants (non PS)		Oui Non
		Poteaux courts	Oui Non
Règles PS	Avant 1982 : L Après 1982 : M		+0,16 0

Tableau 38 : Score pour le facteur de vulnérabilité V_m des bâtiments en acier et béton armé.

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	Facteurs de vulnérabilité			
		Etat d'entretien	B = bon M = mauvais	-0,04 +0,04
Nb d'étages	Nb d'étages	Bas (1 ou 2) Moyen (3, 4 ou 5) Haut (6 ou plus)	-0,04 0 +0,04	
		Forme (L, C)	Oui Non	+0,02 0
Irrégularité en plan	Protubérances		Oui Non	+0,02 0
		Irrégularité élévation	Saillie	Oui Non
Retrait	Oui Non			+0,01 0
	Interaction entre bâtiment	Position dans l'îlot	A = angle M = milieu T = tête d'îlot	+0,04 -0,04 +0,06
Différence de hauteur/voisin			Oui Non	+0,02 0
			Irrégularité en toiture	Oui Non
Décalage de plancher		Oui		+0,04
Transparence - démolition		Oui	+0,04	
Balcons - cheminées		Oui	+0,01	
Etages: haut. différente		Oui Non	+0,04 0	

Tableau 39 : Score pour le facteur de vulnérabilité V_m des bâtiments en maçonnerie.

e) Indice de vulnérabilité totale

L'indice de vulnérabilité totale est calculé comme suit :

$$\bar{V}_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m$$

Récapitulatif sur l'Estimation des Dommages

En résumé, la procédure pour l'estimation des dommages est la suivante :

Etape 1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité, récapitulatif des équations

		Single Building	Set of buildings
V_I^*	Typology V_{IBTM}^*	Values from Table 10	$V_{IBTM}^* [Set] = \sum_t q_t \cdot V_{IBTM}^* [S.b.]$ q_t is the ratio of buildings inside the set supposing to belong to a certain building type
	Category V_{IC}^*	$V_{IC}^* = \sum_t p_t \cdot V_{IBTM}^* t$ p_t is the ratio of buildings inside the category C_i supposing to belong to a certain building type	$V_{IC}^* [Set] = \sum_c q_c \cdot V_{IC}^* [S.b.]$ q_c is the ratio of buildings inside the set supposing to belong to a certain building category
ΔV_m	Typology/Category	$\Delta V_m = \sum V_m$	$\Delta V_m = \sum_k r_k V_{m,k}$ r_k is the ratio of buildings characterized by the modifying factor k, with score $V_{m,k}$
ΔV_R	Typology/Category	ΔV_R Established on base of an expert judgment or available observed vulnerability data	$\Delta V_R = \sum_t r_t \Delta V_{R,t}$ Where r_t is the ratio of buildings recognized as belonging to a specific typology t affected by the recognized $\Delta V_{R,t}$
$\bar{V}_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m$			

Etape 2 : Estimation du niveau de dommage moyen

Le taux de dommage moyen, μ_D , est calculé, à partir de l'indice de vulnérabilité (V_i) et de l'intensité sismique I , selon l'équation suivante :

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Etape 3 : Estimation des distributions de dommage
(Matrice de probabilité de dommage et courbes de fragilité)

La distribution de dommage est calculée selon la loi bêta :

$$\text{PDF: } p_\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b$$

$$\text{CDF: } P_\beta(x) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$a=0; b=6; t=8; r = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D)$$

La fonction de densité de probabilité discrète de la loi bêta est calculée à partir des probabilités associées aux niveaux de dommages k et $k+1$ ($k=0, 1, 2, 3, 4, 5$) :

$$p_k = P_\beta(k+1) - P_\beta(k)$$

La courbe de fragilité définissant la probabilité d'atteindre ou de dépasser un certain niveau de dommage est obtenue directement à partir de la probabilité cumulée de la loi bêta :

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_\beta(k)$$

La Figure 81 présente un exemple de distribution des dommages et de la courbe de fragilité correspondante pour un degré de dommage moyen (μ_D) de 3.

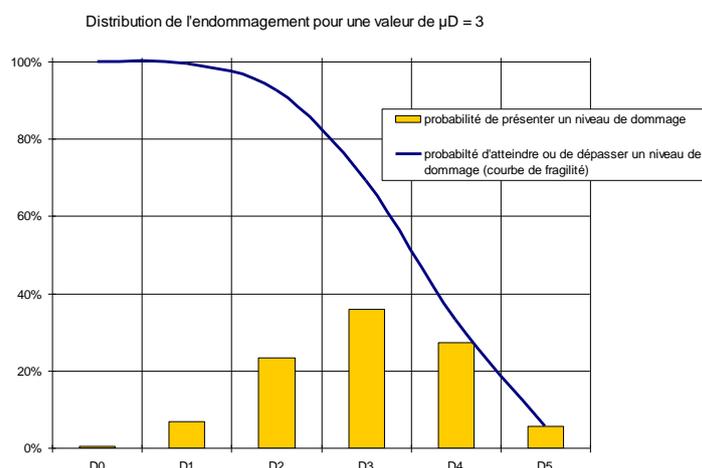


Figure 81 : Exemple de distribution de dommages.

Vulnérabilité du bâti de catégorie d'importance II à usage d'habitation – Collectivité de Saint-Martin :

Le Tableau 40 synthétise les résultats de l'analyse de vulnérabilité du bâti de catégorie d'importance II à usage d'habitation en donnant, pour chaque polygone ou zone « homogène », les caractéristiques du polygone (identifiant, type, fond de référence, âge et densité), la zone IRIS et la valeur de l'indice de vulnérabilité calculée.

ID	Type	Fond réf.	Age	Nb bâti	Zone IRIS	Vi moyen
1634	ISO	1988	LES2	547	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.640
1636	LOT	1988	POST	9	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.450
1637	LOT	1988	POST	56	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.450
1638	COL	1988	POST	10	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.550
1639	LOT	1988	POST	17	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.450
1640	LOT	1988	POST	12	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.450
1641	COL	1988	POST	9	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.550
1642	COL	1988	POST	7	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.550
1643	COL	1988	POST	2	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.550
1644	COL	2002	POST	1	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.400
1645	COL	1988	POST	7	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.550
1646	CV	1988	LES2	601	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.764
1647	ISO	1988	LES2	211	TERRES BASSES-BAIE NETTLE-SANDY GROUND	0.702
1649	ISO	1988	LES2	74	MARIGOT EST ET NORD	0.702
1650	COL	1988	ANTE	3	MARIGOT EST ET NORD	0.720
1651	COL	1988	POST	1	MARIGOT EST ET NORD	0.550
1652	COL	1988	POST	1	MARIGOT EST ET NORD	0.550
1653	COL	1988	POST	3	MARIGOT EST ET NORD	0.550
1654	CV	1988	ANTE	667	MARIGOT CENTRE ET SUD	0.723
1655	COL	1988	POST	1	MARIGOT CENTRE ET SUD	0.550
1656	COL	1988	ANTE	6	MARIGOT CENTRE ET SUD	0.720
1657	COL	1988	ANTE	4	MARIGOT CENTRE ET SUD	0.720
1658	CV	1988	ANTE	141	MARIGOT EST ET NORD	0.705
1659	ISO	1988	POST	141	SPRING - CONCORDIA	0.679
1660	ISO	1988	LES2	45	MARIGOT EST ET NORD	0.740
1661	LOT	2002	POST	20	SAINT JAMES - DIAMANT - BELLEVUE	0.450
1662	ISO	2002	POST	5	SPRING - CONCORDIA	0.679
1663	LOT	2002	POST	5	SAINT JAMES - DIAMANT - BELLEVUE	0.450
1664	LOT	2002	POST	7	SAINT JAMES - DIAMANT - BELLEVUE	0.450
1665	ISO	2002	POST	28	SAINT JAMES - DIAMANT - BELLEVUE	0.679
1666	ISO	1988	POST	27	SPRING - CONCORDIA	0.679

Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (ini.)

ID	Type	Fond de réf.	Age	Nb bâti	Zone IRIS	Vi moyen
1667	LOT	1988	POST	5	SPRING - CONCORDIA	0.450
1668	LOT	1988	POST	21	SPRING - CONCORDIA	0.450
1669	LOT	1988	POST	11	SPRING - CONCORDIA	0.450
1670	LOT	1988	POST	6	SPRING - CONCORDIA	0.450
1671	LOT	1988	POST	20	SPRING - CONCORDIA	0.450
1672	LOT	1988	POST	18	SPRING - CONCORDIA	0.450
1673	LOT	1988	POST	22	SPRING - CONCORDIA	0.450
1674	LOT	1988	POST	37	SPRING - CONCORDIA	0.450
1675	LOT	1988	POST	8	SPRING - CONCORDIA	0.450
1676	LOT	2002	POST	21	SPRING - CONCORDIA	0.450
1677	LOT	2002	POST	28	SPRING - CONCORDIA	0.450
1679	ISO	1988	ANTE	130	MARIGOT EST ET NORD	0.705
1678	LOT	1988	POST	22	MARIGOT EST ET NORD	0.450
1680	ISO	1988	LES2	657	GALISBAY - AGREMENT	0.661
1681	ISO	1988	ANTE	160	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.743
1682	ISO	1988	LES2	132	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.661
1683	ISO	1988	POST	132	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.679
1684	ISO	2002	POST	15	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.640
1685	ISO	1988	LES2	153	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.679
1686	ISO	1988	ANTE	283	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.661
1687	ISO	1988	LES2	33	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.640
1688	ISO	1988	LES2	37	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.640
1689	LOT	2002	POST	42	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1690	LOT	1988	POST	14	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1691	LOT	1988	POST	3	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1692	ISO	1988	LES2	39	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
1693	LOT	2002	POST	25	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1694	LOT	1988	ANTE	24	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.620
1695	CV	1988	ANTE	239	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.723

Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (cont.)

ID	Type	Fond de réf.	Age	Nb bâti	Zone IRIS	Vi moyen
1696	ISO	1988	ANTE	71	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.743
1697	ISO	1988	LES2	52	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
1698	ISO	1988	ANTE	17	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
1700	CV	1988	LES2	143	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.701
1701	ISO	1988	ANTE	18	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
1702	ISO	1988	POST	17	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.640
1703	ISO	1988	ANTE	22	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
1704	LOT	2002	POST	7	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1705	ISO	1988	POST	64	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.661
1706	LOT	1988	POST	9	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1707	LOT	1988	POST	22	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1708	LOT	1988	POST	62	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1709	LOT	1988	POST	10	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1710	LOT	1988	POST	11	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1711	LOT	2002	POST	6	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1712	ISO	1988	POST	131	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.679
1713	LOT	2002	POST	12	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1714	ISO	1988	POST	9	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.640
1715	ISO	1988	LES2	128	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.679
1716	LOT	1988	POST	6	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1717	LOT	1988	POST	8	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1718	LOT	1988	POST	53	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450

Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (cont.)

ID	Type	Fond de réf.	Age	Nb bâti	Zone IRIS	Vi moyen
1719	LOT	1988	POST	20	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1720	LOT	2002	POST	7	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1721	LOT	1988	POST	43	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1722	ISO	1988	POST	28	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.640
1723	LOT	1988	POST	11	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1724	LOT	1988	POST	13	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1725	COL	1988	POST	6	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.550
1726	LOT	2002	POST	40	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1727	LOT	2002	POST	32	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1728	LOT	1988	POST	20	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1729	LOT	1988	POST	25	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1730	LOT	1988	POST	15	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1731	LOT	1988	POST	9	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1732	LOT	2002	POST	10	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
1733	LOT	2002	POST	16	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.450
1734	ISO	1988	POST	176	C. GATE-ST LOUIS-RAMBAUD-COLOMB.-PIC P.	0.640
1735	LOT	1988	LES2	111	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.620
1736	ISO	1988	LES2	2224	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE - GRISELLE	0.661
1737	ISO	1988	POST	105	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE - GRISELLE	0.661
1738	ISO	1988	POST	160	GRAND FOND - BELLE PLAINE - OYSTER POND	0.640
1739	LOT	1988	POST	93	GRAND FOND - BELLE PLAINE - OYSTER POND	0.450
1740	COL	2002	POST	4	GRAND FOND - BELLE PLAINE - OYSTER POND	0.400

Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (cont.)

ID	Type	Fond de réf.	Age	Nb bâti	Zone IRIS	Vi moyen
4736	LOT	1988	POST	50	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.450
5736	COL	1988	LES2	20	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.720
6736	COL	1988	LES2	28	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.720
7736	LOT	2002	POST	83	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.450
8701	ISO	1988	ANTE	6	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.661
8736	LOT	1988	POST	20	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.450
9700	ISO	1988	LES2	60	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.743
9701	COL	1988	ANTE	78	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.720
9702	LOT	2002	POST	35	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
9715	LOT	2002	POST	36	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
9721	LOT	2002	POST	38	LA SAVANE-GD CASE-ANSE MARCEL-CUL DE SAC	0.450
9736	COL	1988	POST	12	QUARTIER D'ORLEANS - GLOIRE – GRISSELLE	0.550

Tableau 40 : Indice de vulnérabilité et modalité de calcul par polygone « homogène » (fin)

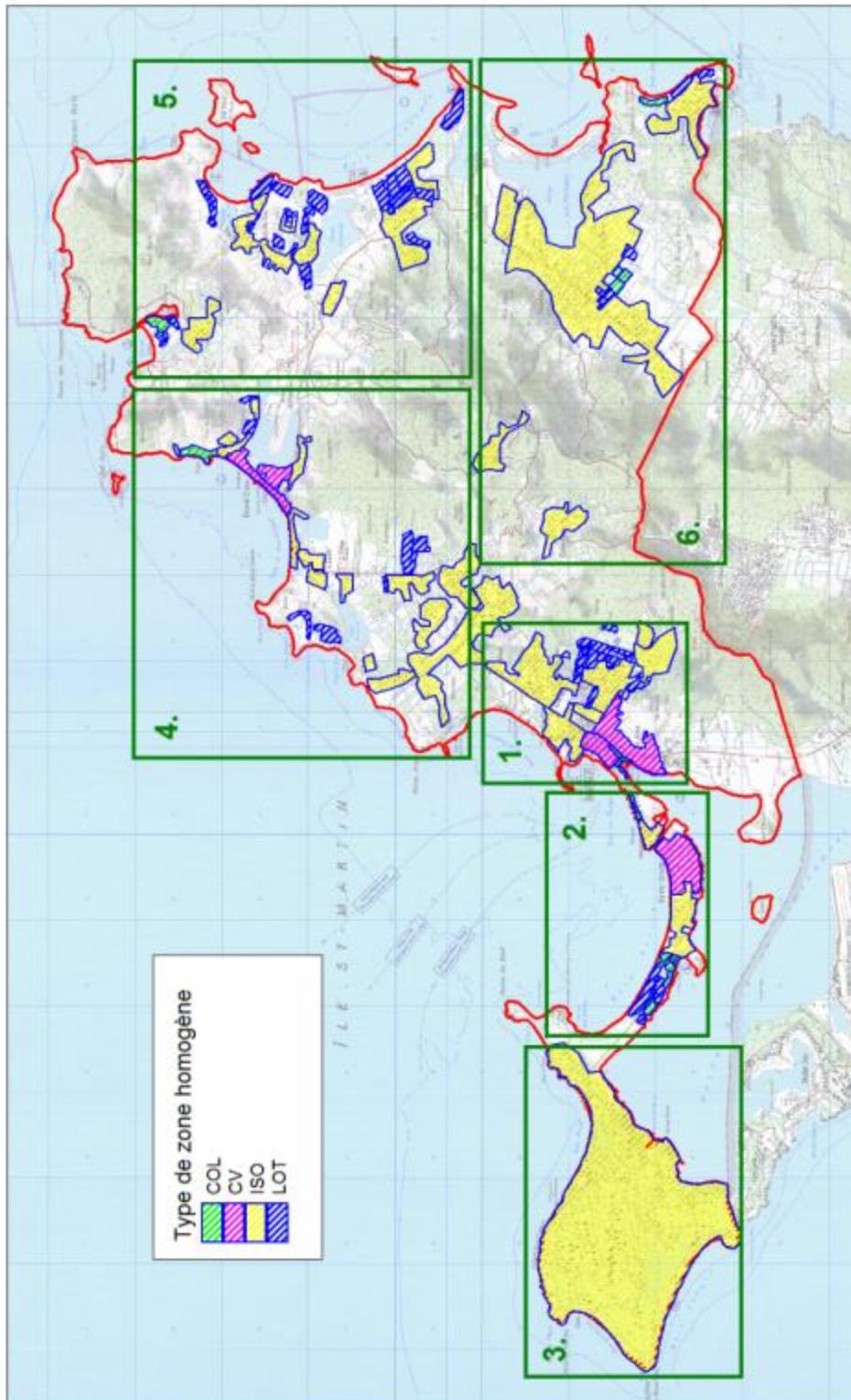


Figure 82 : Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Division en 6 zones de zoom.

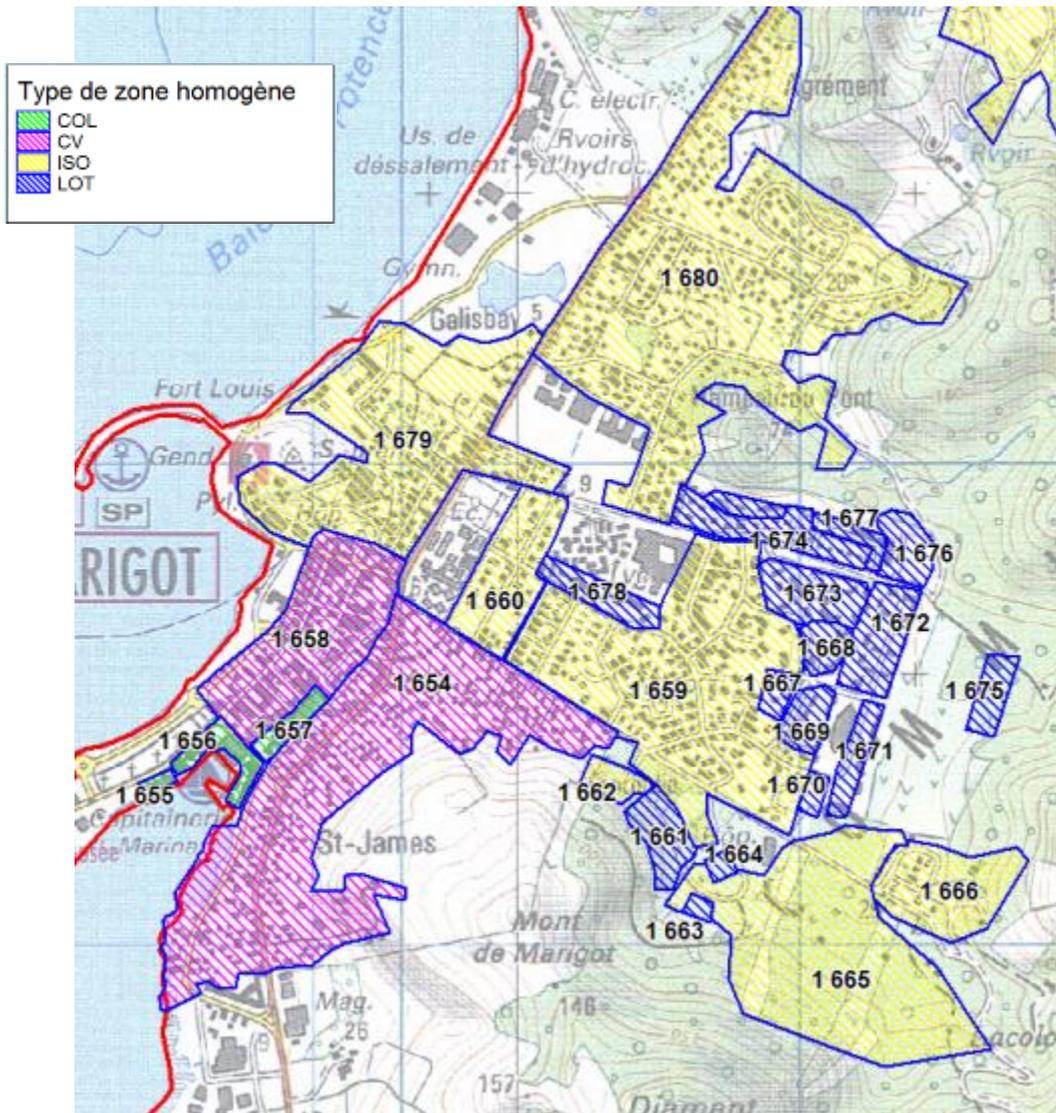


Figure 83: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 1 : Marigot

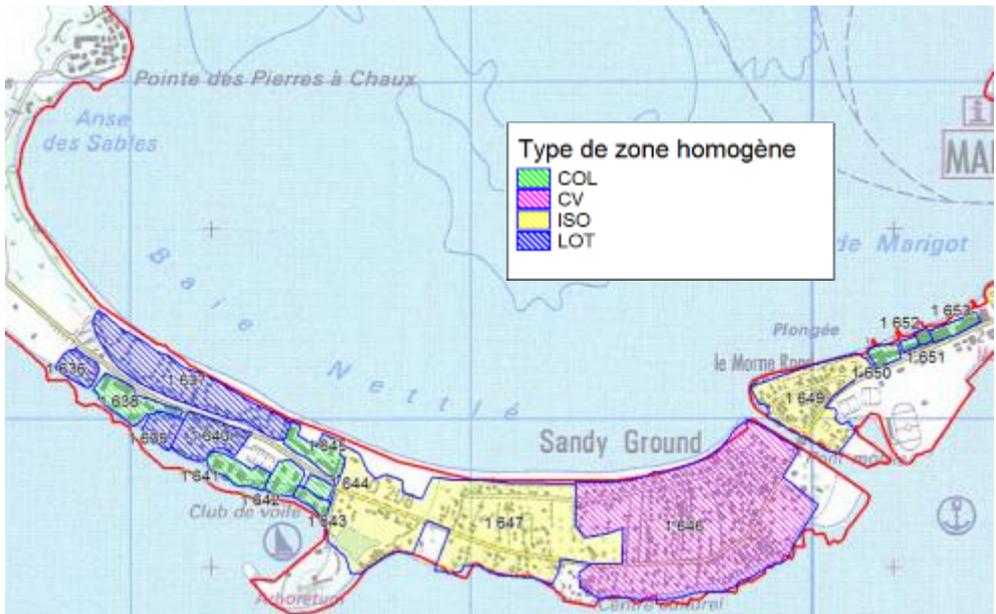


Figure 84: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 2 : Sandy-Ground

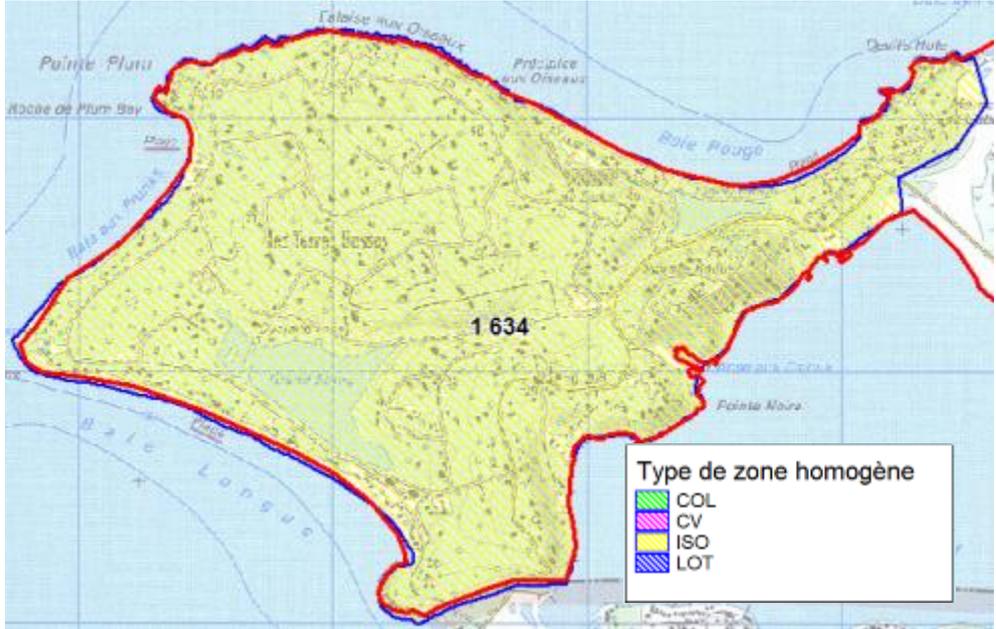


Figure 85: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 3 : Terres Basses

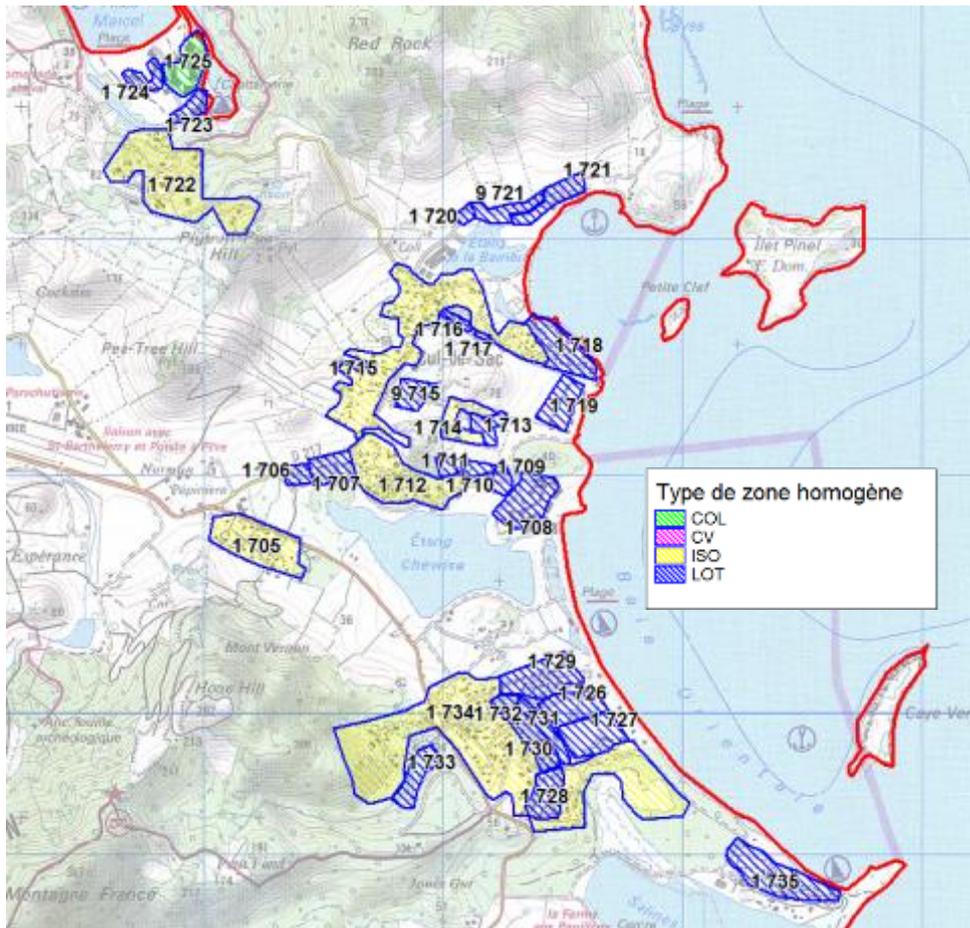


Figure 87: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 5 : Baie Orientale

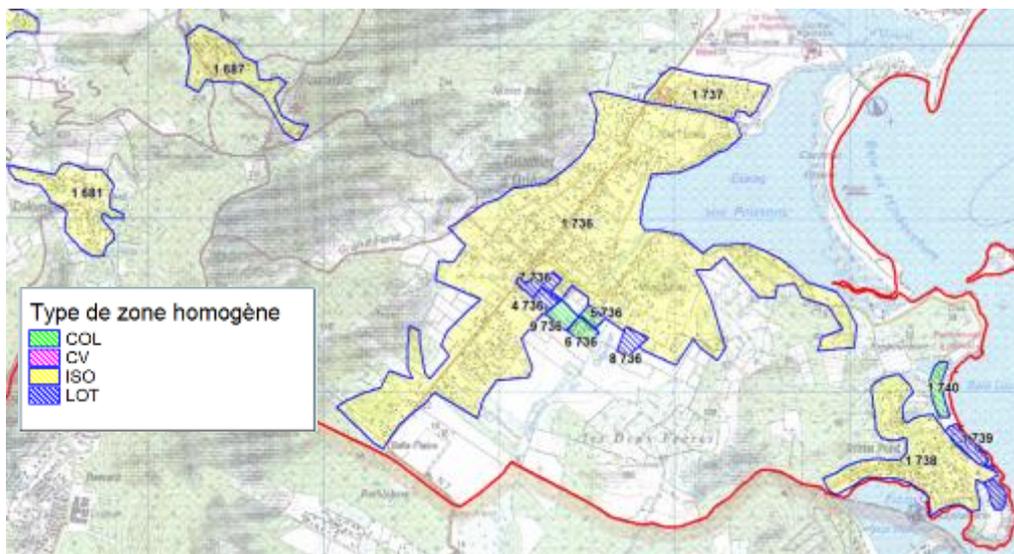


Figure 88: Localisation des zones bâties homogènes sur Saint-Martin. Zoom 6 : Quartier d'Orléans

Annexe 5

Fiches de vulnérabilité des visites de terrain

Rapport de visite

Hôtel de la Collectivité de Marigot

Date de la visite : 27.03.2012

Inspecteur : Jaime ABAD

Informations générales

Adresse :

Propriétaire : Collectivité de Marigot

Nombre d'occupants : ~40 personnes

Utilisation : Hôtel de ville, Police municipale

Catégorie d'importance du bâtiment : III

Année permis de construire : 1977

Règlements applicables :

Type de contreventement (murs, portiques,...) : Portiques, remplissages en maçonnerie de blocs de béton, quelques poutres métalliques

Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ;...) : Béton armé, acier

Type	Commentaire / référence doc / annexe photo/ annexe schéma / annexe plan	Fia b	Fa v
1	IMPLANTATION DANS L'ENVIRONNEMENT		
1.1	Conditions de sol		
Caractérisation du sol			
	Rocher		
	Alluvions		
	Sable	Oui.	
	Sol rapporté		
	Ancien marais/décharge	Oui.	
	Autre		
1.2	Interaction avec les constructions		
	Bâtiments proches	Non.	
	Joints entre bâtiments		
1.3	Implantation		
	Risque effet de site	Selon microzonage.	
	Proximité rupture pente $D < 2H$		
	Pente $> 40\%$		
	Présence de failles		

2	DESCRIPTION DU BATIMENT		
2.0	Généralités		
	Historique permis de construire début construction mise en service	Construit en 1977.	
	Usage par niveau	L'hôtel de ville occupe tout le bâtiment sauf l'extrémité antérieure de l'aile droite.	
	Évolution dans le temps	L'aile gauche du bâtiment et la moitié de la partie centrale ont été construites en béton armé en 1977. Postérieurement, en 1991, une extension a quasiment doublé le volume du	

		bâtiment.		
	État de conservation	Le bâtiment se trouve en bon état de conservation, sauf quelques petites fissures dans la partie ancienne.		F
	Nombre de niveaux hors sol	R+1		
	Nombre de sous-sols	0		
	Hauteur hors sol			
	profondeur des sous-sols			
2.1	Formes en plan et en élévation			
	Régularité en plan	Non, le bâtiment présente une forme en U irrégulière.		D
	Symétrie selon 2 axes	Non.		
	Symétrie selon 1 axe	Non.		
	Élancement en plan $L/l > 5$	Non.		
	Partie saillante $a > L/4$	Oui.		
	Partie rentrante $a > L/4$			
	Régularité en élévation	Non, présence de balcons et interruption de murs.		D
	Présence transparences	Oui, la galerie centrale qui réunit les deux ailes est transparente au premier étage (Figure 90).		D
2.2	Façades			
	Type de façade			
	Accessoires de façade			
2.3	« Équipements »			
	Balcon/Console	Balcons.		
	Cheminée	Non.		
2.4	Fondations			
	Superficielles Radier Semelles isolées Semelles filantes Présence de longrines	Fondations superficielles.		
	Semi profondes (puits)			
	Profondes (pieux)			
2.5	Technique de construction			

Structure porteuse verticale			
	Voile béton banché (préciser si coffrage tunnel)		
	Ossature portique BA + remplissage (dimension des poteaux)		
	Système mixte portique-voile	Système mixte portique-voile dans la partie ancienne du bâtiment. Des trumeaux avec peu d'ouvertures rigidifient la structure dans les deux directions aux extrémités. Des fissures permettent d'apercevoir qu'il s'agit des cadres de poteaux et poutres avec des remplissages (Figure 89).	F
	Système poteau-dalle		
	Maçonnerie porteuse chaînée		
	Maçonnerie armée		
	Ossature charpente métallique		
	Ossature charpente bois		
	Autre	La partie nouvelle du bâtiment est réalisée avec un système qui imite l'extérieur de la partie ancienne, donc aussi avec des portiques dans la partie centrale et quelques panneaux remplis aux extrémités, mais à l'intérieur de la structure on aperçoit des poutres métalliques qui aident à porter les planchers (Figure 92).	F
	Dispositions constructives favorables	Des trumeaux avec peu d'interruptions aident à apporter du contreventement aux deux ailes latérales.	F
	Dispositions constructives défavorables	La galerie centrale est très faiblement contreventée, avec des portiques très peu épais dans sa direction longitudinale. Les joints entre la partie ancienne et la partie nouvelle ne sont pas parasismiques et ne découpent pas la structure correctement en parties rectangulaires (Figure 91). Par sa forme, cette structure risque de subir des interactions nocives entre les deux parties, ainsi que des charges de torsion. La plupart des portiques extérieurs sont bridés par la balustrade en béton.	D D D
Planchers			
	Prédalle		

	Dalle pleine (préciser si coffrage tunnel)	Dalle pleine dans la partie ancienne.		
	Poutrelles + entrevous			
	Nervuré + dalle de compression			
	Préfabriqué			
	Ossature métallique	Dans la partie nouvelle une ossature métallique porte une dalle en béton.		
	Ossature bois			
	Mixte			
	autre			
Toiture				
	Traditionnelle	Oui.		
	Industrielle			
	Lamellé collé			
	Toiture terrasse	Sur la partie frontale de la galerie centrale.		
	Nombre de pentes	4 par sous-structure.		
2.6	Fonctionnalité du bâtiment			
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations ...)</i>				
2.7	Architecture du bâtiment			
<i>Détail des éléments architecturaux à préserver</i>				

3	DETAILS DE CONSTRUCTION / ZONES CRITIQUES			
<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin</i>				
	poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4 \text{ largeur}$)	Oui.		D
	poteaux élancés ($h > 20 \text{ largeur min}$)	Non.		
	inserts dans les éléments de structure	Pas vu.		

ouverture dans les voiles ($>1/10 S_{voile}$)	Non.		
axes poteaux/poutres non concourants	Pas vu.		
présence de joints pleins	Possiblement.		D
niveaux transparents	Oui.		D
porte à faux $>2m$	Non.		
Croisement poutre hors poteau	Oui.		D
Plancher avec trémie $s/S < 0.1$ ou $s/S > 0.25$	Non.		

Conclusions sur la vulnérabilité : Vulnérabilité **moyenne-forte** aux séismes.

Les deux parties de ce bâtiment datent de périodes pré-PS92. Le bâtiment se caractérise par une disposition très irrégulière de la structure combinée avec l'absence de joints parasismiques entre les différentes parties. La présence systématique de poteaux courts est aussi un point critique de la structure.

Figures



Figure 89 : Façade frontale de l'aile gauche (partie ancienne). Trumeaux aux extrémités, portiques avec possibles poteaux courts au centre.



Figure 90 : Façade frontale partie centrale. Etage supérieur transparent.



Figure 91 : Joint non PS entre les parties nouvelle et ancienne dans la section centrale du bâtiment.



Figure 92 : Poutres en acier de la partie nouvelle (aile droite) du bâtiment.

Rapport de visite

Temple Méthodiste Ebenezer

Date de la visite : 27.03.2012

Inspecteur : Jaime ABAD

Informations générales

Adresse : Rue de La Liberté, Marigot.

Propriétaire : Collectivité de Marigot

Nombre d'occupants :

Utilisation : Culte

Catégorie d'importance du bâtiment : III

Année permis de construire : 1850

Règlements applicables :

Type de contreventement (murs, portiques,...) : Contreforts

Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ;...) : Pierre et béton

Type	Commentaire / référence doc / annexe photo/ annexe schéma / annexe plan	Fia b	Fa v
1	IMPLANTATION DANS L'ENVIRONNEMENT		
1.1	Conditions de sol		
Caractérisation du sol			
	Rocher		
	Alluvions		
	Sable		
	Sol rapporté		
	Ancien marais/décharge	Possible. Le temple se trouve au bord d'une ancienne lagune séchée.	
	Autre		
1.2	Interaction avec les constructions		
	Bâtiments proches	Non.	
	Joints entre bâtiments	Absence de joints entre le temple principal et l'ajout en béton armé postérieur.	D
1.3	Implantation		
	Risque effet de site	Selon microzonage.	
	Proximité rupture pente D<2H	Non.	
	Pente >40%	Non.	
	Présence de failles		

2	DESCRIPTION DU BATIMENT		
2.0	Généralités		
	Historique permis de construire début construction mise en service	Construite autour de 1850.	D
	Usage par niveau		
	Évolution dans le temps	Il paraît que la structure originale en pierre a été renforcée par l'ajout d'un revêtement en béton. La toiture semble aussi plus récente.	

		Une extension en béton armé a été accolée à la partie postérieure de l'église principale, mais celle-ci est en train d'être démolie.		
	État de conservation	L'église principale est en bon état. L'ajout postérieur, par contre, est dans un état très vétuste (Figure 95). Ce rapport de visite se centrera sur l'église.		F D
	Nombre de niveaux hors sol	RDC		
	Nombre de sous-sols	0		
	Hauteur hors sol			
	profondeur des sous-sols	Sans objet		
2.1	Formes en plan et en élévation			
	Régularité en plan	Oui, forme rectangulaire.		F
	Symétrie selon 2 axes	Non.		
	Symétrie selon 1 axe	Oui.		
	Élancement en plan $L/l > 5$	Non.		
	Partie saillante $a > L/4$	Non.		
	Partie rentrante $a > L/4$	Non.		
	Régularité en élévation	Non, la tour du clocher constitue une irrégularité en élévation, pouvant présenter un comportement type « coup de fouet » en cas de séisme (Figure 93). Cette tour était inaccessible pour une inspection.		D
	Présence transparences	Sans objet		
2.2	Façades			
	Type de façade	Façade historique.		
	Accessoires de façade			
2.3	« Équipements »			
	Balcon/Console	Tôle en bois sur l'entrée principale.		
	Cheminée	Clocher sur le toit.		D
2.4	Fondations			
	Superficielles Radier Semelles isolées Semelles filantes Présence de longrines	Probablement radier.		
	Semi profondes (puits)			

	Profondes (pieux)			
2.5	Technique de construction			
Structure porteuse verticale				
	Voile béton banché (préciser si coffrage tunnel)			
	Ossature portique BA + remplissage (dimension des poteaux)			
	Système mixte portique-voile			
	Système poteau-dalle			
	Maçonnerie porteuse chaînée			
	Maçonnerie armée			
	Ossature charpente métallique			
	Ossature charpente bois			
	Autre	Le contreventement transversal est donné par des contreforts le long des parois (Figure 94). Le contreventement longitudinal est donné par des murs en pierre très épais (40cm de pierre + 10 cm de recouvrement en béton) avec des contreforts dans la façade postérieure.		F F
	Dispositions constructives favorables	Structure très régulière de petites dimensions. Contreventement dans les deux directions.		F
	Dispositions constructives défavorables	Tour du clocher sur le toit. Système porteur en maçonnerie en pierre (non armée).		D
Planchers				
	Prédalle			
	Dalle pleine (préciser si coffrage tunnel)			
	Poutrelles + entrevous			
	Nervuré + dalle de compression			
	Préfabriqué			
	Ossature métallique			
	Ossature bois	Ossature en bois en bon état avec des axes concourant avec les contreforts (Figure 96). Pas de croix de St André visibles pour assurer le contreventement longitudinal.		F D

	Mixte			
	autre			
Toiture				
	Traditionnelle	Oui.		
	Industrielle			
	Lamellé collé			
	Toiture terrasse			
	Nombre de pentes	2		
2.6	Fonctionnalité du bâtiment			
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations ...)</i>				
	Nef	Culte		
2.7	Architecture du bâtiment			
<i>Détail des éléments architecturaux à préserver</i>				

3	DETAILS DE CONSTRUCTION / ZONES CRITIQUES			
<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin</i>				
	poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4 \text{ largeur}$)	Non.		
	poteaux élancés ($h > 20 \text{ largeur min}$)	Non.		
	inserts dans les éléments de structure	Non.		
	ouverture dans les voiles ($> 1/10 S_{\text{voile}}$)	Non.		
	axes poteaux/poutres non concourants	Non.		
	présence de joints pleins	Oui, mais la structure de derrière va être démolie. Problème bientôt résolu.		D
	niveaux transparents	Non.		
	porte à faux $> 2\text{m}$	Non, la console de l'entrée principale mérite néanmoins de l'attention.		
	Croisement poutre hors	Non.		

	poteau			
	Plancher avec trémie s/S<0.1 ou s/S>0.25	Non.		

Conclusions sur la vulnérabilité : Vulnérabilité **forte** aux séismes.

Malgré une bonne conception architecturale avec un contreventement solide dans les deux directions, l'âge de ce bâtiment et les matériaux employés (maçonnerie en pierre) ne permettent pas d'assurer la sécurité des visiteurs en cas de séisme. En plus, il s'agit d'un bâtiment historique dont la valeur patrimoniale constitue un enjeu à prendre en compte au-delà des considérations purement structurelles de ce diagnostic.

Figures



Figure 93 : Façade frontale, tour du clocher sur le toit.



Figure 94 : Façade latérale avec contreforts.



Figure 95 : Façade postérieure, contrefort longitudinale et partie à l'abandon



Figure 96 : Ossature en bois du toit.

Rapport de visite

Date de la visite : 27.03.2012

Inspecteur : Jaime ABAD

Informations générales

Adresse : Rue de cap. F. Frosten, Marigot

Propriétaire : Collectivité de Marigot

Nombre d'occupants :

Utilisation : Culte

Catégorie d'importance du bâtiment : III

Année permis de construire : 1841

Règlements applicables :

Type de contreventement (murs, portiques,...) : Murs et arcs

Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ;...) : Pierre, béton, bois, tôle métallique

Type	Commentaire / référence doc / annexe photo/ annexe schéma / annexe plan	Fia b	Fa v
1	IMPLANTATION DANS L'ENVIRONNEMENT		
1.1	Conditions de sol		
Caractérisation du sol			
	Rocher		
	Alluvions	Oui	
	Sable		
	Sol rapporté		
	Ancien marais/décharge		
	Autre		
1.2	Interaction avec les constructions		
	Bâtiments proches	Non.	
	Joints entre bâtiments	Absence de joints entre la nef principale et les ailes du transept (Figure 101).	D
1.3	Implantation		
	Risque effet de site	Selon microzonage.	
	Proximité rupture pente $D < 2H$		
	Pente $> 40\%$	Terrain en pente.	D
	Présence de failles		

2	DESCRIPTION DU BATIMENT		
2.0	Généralités		
	Historique permis de construire début construction mise en service	Bâtiment construit en 1841.	D
	Usage par niveau	Culte.	!

		Un panneau à l'entrée déclare le bâtiment comme abri cyclonique mais les membres de la paroisse ont dit que cela est faux, car les portes abimées empêchent cette fonction (Figure 98).		
	Évolution dans le temps	La nef principale, ainsi que la tour du clocher, ont été construites en 1841 (Figure 99). En 1871 et 1872, un transept perpendiculaire a été ajouté à la structure principale, passant d'une structure rectangulaire à une en forme de croix. En 1997 une refonte du toit de l'église a eu lieu.		
	État de conservation	L'état de conservation est généralement bon, malgré des problèmes d'humidité. Quelques fissures sont visibles sur les murs. Le clocher n'a pas pu être observé en détail, mais les poutres en bois visibles depuis le RdC sont en mauvais état.		
	Nombre de niveaux hors sol	RDC + clocher.		
	Nombre de sous-sols	Pas de sous-sol.		
	Hauteur hors sol			
	profondeur des sous-sols	Sans objet		
2.1	Formes en plan et en élévation			
	Régularité en plan	La structure présente une forme de croix grecque régulière.		D
	Symétrie selon 2 axes	Oui.		
	Symétrie selon 1 axe	Oui.		
	Élancement en plan $L/l > 5$	Non.		
	Partie saillante $a > L/4$	Oui, les deux ailes du transept constituent des saillies prononcées.		D
	Partie rentrante $a > L/4$			
	Régularité en élévation	Non, la tour du clocher constitue une irrégularité en élévation, pouvant donner lieu à des comportements de type « coup de fouet » en cas de séisme.		D
	Présence transparences	Non.		
2.2	Façades			
	Type de façade	Façade historique (Figure 97).		
	Accessoires de façade	Corniche, horloge.		
2.3	« Équipements »			

	Balcon/Console	Non.		
	Cheminée	Non.		
2.4	Fondations			
	Superficielles Radier Semelles isolées Semelles filantes Présence de longrines	Probablement radier. Possiblement adapté à la pente.		
	Semi profondes (puits)			
	Profondes (pieux)			
2.5	Technique de construction			
	Structure porteuse verticale			
	Voile béton banché (préciser si coffrage tunnel)			
	Ossature portique BA + remplissage (dimension des poteaux)			
	Système mixte portique-voile			
	Système poteau-dalle			
	Maçonnerie porteuse chaînée			
	Maçonnerie armée			
	Ossature charpente métallique			
	Ossature charpente bois			
	Autre	Trumeaux de pierre très épais dans toutes les directions. Deux grands arcs longitudinaux à l'intersection nef/transept (Figure 100).		F D
	Dispositions constructives favorables	Trumeaux de pierre très épais dans toutes les directions.		F
	Dispositions constructives défavorables	Pour rendre possible l'accès aux ailes du transept, une partie des murs longitudinaux de la nef principale a été substituée par deux grands arcs. Les appuis de ces arcs se trouvent dans des coins qui ont une probabilité élevée de subir des dégâts du fait de l'absence de joints parasismiques entre la nef et le transept. En plus, les arcs semblent reposer sur la maçonnerie, disposition structurelle assez désavantageuse. Un mécanisme de torsion endommagerait d'avantage ces coins intérieurs, ce qui pourrait entraîner une source		D D

		de risque structurel.		
		Le faux-plafond de l'église n'a pas permis d'observer s'il y a des poutres qui ajouteraient du contreventement transversal le long de la nef à part des pignons des deux façades. Il est aussi redoutable que le transept puisse ajouter du contreventement transversal à la structure.		
Planchers				
	Prédalle			
	Dalle pleine (préciser si coffrage tunnel)			
	Poutrelles + entrevous			
	Nervuré + dalle de compression			
	Préfabriqué			
	Ossature métallique	Impossible de déterminer l'ossature du toit, mais elle est probablement en métal ou en bois après la rénovation.		
	Ossature bois	Ossature en bois à l'intérieur du clocher.		
	Mixte			
	autre			
Toiture				
	Traditionnelle	Oui, refaite en 1997. Tôle métallique.		
	Industrielle			
	Lamellé collé			
	Toiture terrasse			
	Nombre de pentes	2 sur la nef, 3 sur chaque aile du transept.		
2.6	Fonctionnalité du bâtiment			
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations ...)</i>				
	Nef et transept	Culte		
2.7	Architecture du bâtiment			
<i>Détail des éléments architecturaux à préserver</i>				

3	DETAILS DE CONSTRUCTION / ZONES CRITIQUES
----------	--

<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin.</i>				
	poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4 \text{ largeur}$)	Non.		
	poteaux élancés ($h > 20 \text{ largeur min}$)	Non.		
	inserts dans les éléments de structure	Non.		
	ouverture dans les voiles ($> 1/10 S_{\text{voile}}$)	Non.		
	axes poteaux/poutres non concourants	Non.		
	présence de joints pleins	Absence de joints entre les différentes parties du bâtiment.		D
	niveaux transparents	Non.		
	porte à faux $> 2\text{m}$	Non.		
	Croisement poutre hors poteau	Non.		
	Plancher avec trémie $s/S < 0.1$ ou $s/S > 0.25$	Non.		

Conclusions sur la vulnérabilité : Vulnérabilité forte aux séismes.

La conception de ce bâtiment n'est pas particulièrement parasismique : les ailes du transept peuvent donner lieu à des interactions très défavorables et le clocher pose un risque de chute. L'âge du bâtiment et la technique constructive (maçonnerie en pierre) sont des facteurs aggravants. En plus, il s'agit d'un bâtiment historique dont la valeur patrimoniale constitue un enjeu à prendre en compte au-delà des considérations purement structurelles de ce diagnostic.

Figures



Figure 97 : Façade frontale



Figure 98 : Panneau annonçant que le bâtiment est un abri cyclonique



Figure 99 : Gravure montrant l'église dans son état originale



Figure 100 : Vue intérieure. Arcs le long de la nef.



Figure 101 : Vue extérieure. Saillie du transept et adaptation à la pente. Tour du clocher.

Rapport de visite

Centre du Commerce et de l'Industrie (CCI) de Saint Martin

Date de la visite : 27.03.2012

Inspecteur : Jaime ABAD

Informations générales

Adresse : 10 rue Jean Jacques FAYEL, Concordia, Marigot, 97150 Saint Martin

Propriétaire : Collectivité de Marigot

Nombre d'occupants :

Utilisation : Chambre de Commerce et de l'Industrie, Chambre d'Agriculture, Chambre des Métiers et de l'Artisanat, salle de conférences, Espace Formation.

Catégorie d'importance du bâtiment : II

Année permis de construire : inauguré en 2001

Règlements applicables : PS92

Type de contreventement (murs, portiques,...) : Portiques en acier avec remplissages

Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ;...) : Acier, béton

Type	Commentaire / référence doc / annexe photo/ annexe schéma / annexe plan	Fia b	Fa v
1	IMPLANTATION DANS L'ENVIRONNEMENT		
1.1	Conditions de sol		
Caractérisation du sol			
	Rocher		
	Alluvions		
	Sable	Oui.	
	Sol rapporté		
	Ancien marais/décharge		
	Autre		
1.2	Interaction avec les constructions		
	Bâtiments proches	Le bâtiment se compose de quatre sous-structures très proches les unes des autres (Figure 103). Pas de proximité à d'autres bâtiments.	
	Joints entre bâtiments	Quelques centimètres d'espacement entre le bâtiment contenant la salle de réunion et la plateforme courative de l'espace formation ainsi qu'entre les deux substructures de l'espace formation (Figure 104). Joint entre les deux substructures antérieures non visible à cause du faux-plafond.	D
1.3	Implantation		
	Risque effet de site	Selon microzonage.	
	Proximité rupture pente $D < 2H$	Non.	
	Pente $> 40\%$	Pente très légère.	
	Présence de failles		

2	DESCRIPTION DU BATIMENT
2.0	Généralités

	Historique permis de construire début construction mise en service	Fin de chantier et inauguration en 2001.		
	Usage par niveau	Les activités de gestion et gouvernance se centrent dans les deux blocs antérieurs, le bloc antérieur droit est une grande salle de conférence. Les deux blocs postérieurs contiennent un centre de formation ainsi que des services tels que la cafeteria.		
	Évolution dans le temps	Depuis 2009, ce bâtiment réunit toutes les fonctions de gouvernance de l'industrie, du commerce, de l'agriculture les services et les métiers, remplaçant les autres organes qui réalisaient ces fonctions sur Saint-Martin.		
	État de conservation	Bon état de conservation, mais quelques fissures assez longues sont visibles dans le remplissage aux coins des fenêtres (Figure 105).		
	Nombre de niveaux hors sol	RDC+1		
	Nombre de sous-sols	Pas de sous-sol.		
	Hauteur hors sol			
	profondeur des sous-sols	Sans objet		
2.1	Formes en plan et en élévation			
	Régularité en plan	Chacune des quatre substructures a une forme rectangulaire. La plus grande de celles-ci présente des irrégularités en élévation.		F
	Symétrie selon 2 axes	Voir ci-dessus.		
	Symétrie selon 1 axe	Voir ci-dessus.		
	Élancement en plan $L/l > 5$	Voir ci-dessus.		
	Partie saillante $a > L/4$	Voir ci-dessus.		
	Partie rentrante $a > L/4$	Voir ci-dessus.		
	Régularité en élévation	Voir ci-dessus.		
	Présence transparences	Voir ci-dessus.		
2.2	Façades			
	Type de façade	Façade en verre (Figure 102).		
	Accessoires de façade	Deux grandes consoles triangulaires tenues par des poteaux inclinés.		

2.3	« Équipements »			
	Balcon/Console	Un système de plateformes coursives		
	Cheminée	Non.		
2.4	Fondations			
	Superficielles Radier Semelles isolées Semelles filantes Présence de longrines	Probables semelles isolées ou longrines.		
	Semi profondes (puits)			
	Profondes (pieux)			
2.5	Technique de construction			
Structure porteuse verticale				
	Voile béton banché (préciser si coffrage tunnel)			
	Ossature portique BA + remplissage (dimension des poteaux)			
	Système mixte portique-voile			
	Système poteau-dalle			
	Maçonnerie porteuse chaînée			
	Maçonnerie armée			
	Ossature charpente métallique	Charpente métallique avec des remplissages en béton (à confirmer) ou tôle métallique.		F
	Ossature charpente bois			
	Autre			
	Dispositions constructives favorables	Structure métallique moderne qui devrait pouvoir résister aux sollicitations sismiques. Supposée application des normes PS92.		F
	Dispositions constructives défavorables	La principale question à poser sur ce complexe de bâtiments concerne les joints parasismiques : ont-ils été correctement réalisés ? La question devient critique car les plateformes coursives, qui constituent les voies d'issue des étages supérieurs, seraient les premiers points de la structure à risque d'endommagement par entrechoquement des substructures.		D
Planchers				

	Prédalle			
	Dalle pleine (préciser si coffrage tunnel)	Probable dalle pleine en béton, mais le faux plafond n'a pas permis de le confirmer. Il s'agit d'un bâtiment moderne où la structure portante est cachée dans la majorité des cas.		
	Poutrelles + entrevous			
	Nervuré + dalle de compression			
	Préfabriqué			
	Ossature métallique			
	Ossature bois			
	Mixte			
	autre			
Toiture				
	Traditionnelle			
	Industrielle	Oui, avec charpente et tôle métalliques.		
	Lamellé collé			
	Toiture terrasse			
	Nombre de pentes			
2.6	Fonctionnalité du bâtiment			
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations ...)</i>				
2.7	Architecture du bâtiment			
<i>Détail des éléments architecturaux à préserver</i>				

3	DETAILS DE CONSTRUCTION / ZONES CRITIQUES			
<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin</i>				
	poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4 \text{ largeur}$)	Non.		
	poteaux élancés ($h > 20 \text{ largeur min}$)	Non.		

inserts dans les éléments de structure	Non.		
ouverture dans les voiles ($>1/10 S_{voile}$)	Non.		
axes poteaux/poutres non concourants	Non observé		
présence de joints pleins	Non observé		
niveaux transparents	Oui.		D
porte à faux $>2m$	Non.		
Croisement poutre hors poteau	Non observé		
Plancher avec trémie $s/S < 0.1$ ou $s/S > 0.25$	Non.		

Conclusions sur la vulnérabilité : Vulnérabilité **faible** aux séismes.

En tenant compte de la date de construction, on peut supposer une application des normes parasismiques PS92 pour un tel bâtiment. Néanmoins, il y a un risque d'interactions défavorables entre la structure portante en acier et les remplissages. Le principal point à confirmer est la distance et la continuité des joints parasismiques des différents blocs.

Figures



Figure 102 : Façade frontale du CCI

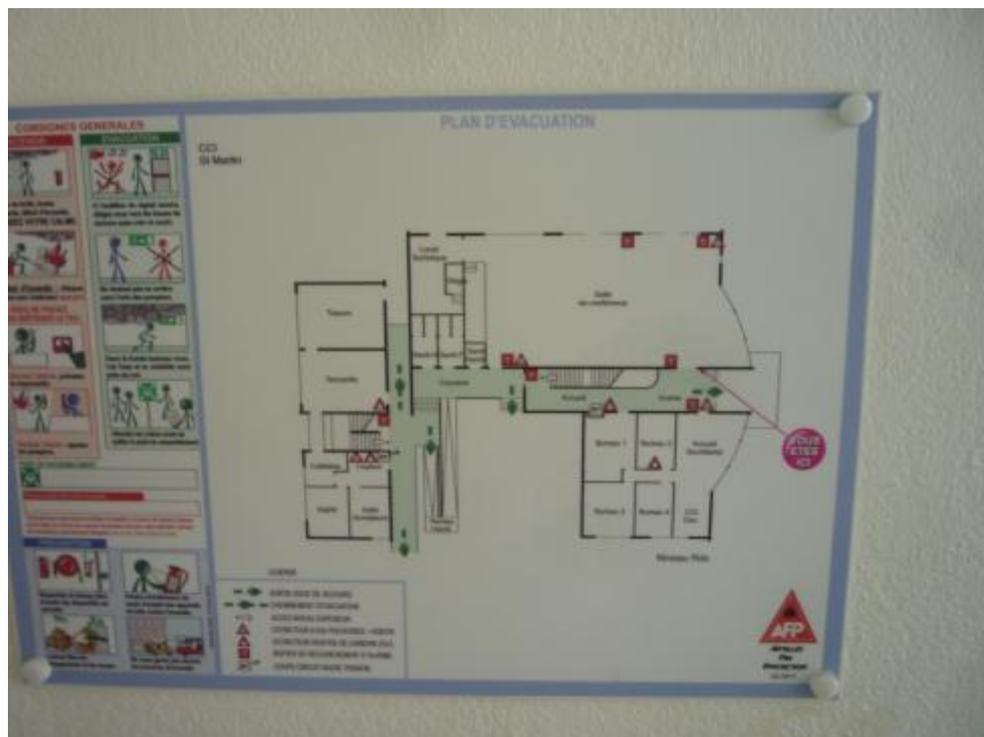


Figure 103 : Plan du site



Figure 104 : Vue postérieure du complexe, on y aperçoit la séparation entre les deux bâtiments à gauche de l'escalier



Figure 105 : Exemple de fissure dans les remplissages intérieurs

Rapport de visite

Gendarmerie du Quartier d'Orléans

Date de la visite : 27.03.2012

Inspecteur : Jaime ABAD

Informations générales

Adresse : Gendarmerie St Martin, Quartier d'Orléans 1 rue de Brittain, 97150 Saint-Martin

Propriétaire :

Nombre d'occupants : 15 travailleurs

Utilisation : Gendarmerie

Catégorie d'importance du bâtiment : IV

Année permis de construire : ~1990

Règlements applicables : possiblement PS92

Type de contreventement (murs, portiques,...) : Murs en béton armé

Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ;...) : Béton armé, bois

Type	Commentaire / référence doc / annexe photo/ annexe schéma / annexe plan	Fia b	Fa v
1	IMPLANTATION DANS L'ENVIRONNEMENT		
1.1	Conditions de sol		
Caractérisation du sol			
	Rocher		
	Alluvions		
	Sable	Oui.	
	Sol rapporté		
	Ancien marais/décharge		
	Autre		
1.2	Interaction avec les constructions		
	Bâtiments proches	Non, mais des murs ont été ajoutés à la structure originale.	
	Joints entre bâtiments	Sans objet	
1.3	Implantation		
	Risque effet de site	Selon microzonage.	
	Proximité rupture pente D<2H	Non.	
	Pente >40%	Non, pente légère (Figure 107).	
	Présence de failles	Sans objet	

2	DESCRIPTION DU BATIMENT		
2.0	Généralités		
	Historique permis de construire début construction mise en service	Construction autour 1990 (à confirmer)	
	Usage par niveau	Gendarmerie.	
	Évolution dans le temps		
	État de conservation	Quelques tâches d'humidité (Figure 108).	

	Nombre de niveaux hors sol	RdC		
	Nombre de sous-sols	0		
	Hauteur hors sol			
	profondeur des sous-sols	Sans objet		
2.1	Formes en plan et en élévation			
	Régularité en plan	Non, bâtiment avec une forme en L, avec plusieurs saillies et rentrées en angle droit.		D
	Symétrie selon 2 axes	Non.		
	Symétrie selon 1 axe	Non.		
	Élancement en plan $L/l > 5$			
	Partie saillante $a > L/4$	Oui.		
	Partie rentrante $a > L/4$			
	Régularité en élévation	Oui.		
	Présence transparences	Non.		
2.2	Façades			
	Type de façade			
	Accessoires de façade	Non.		
2.3	« Équipements »			
	Balcon/Console	Non.		
	Cheminée	Non.		
2.4	Fondations			
	Superficielles Radier Semelles isolées Semelles filantes Présence de longrines	Probablement radier.		
	Semi profondes (puits)			
	Profondes (pieux)			
2.5	Technique de construction			
	Structure porteuse verticale			
	Voile béton banché (préciser si coffrage tunnel)			
	Ossature portique BA + remplissage (dimension des poteaux)			

	Système mixte portique-voile	Murs en béton armé avec ouvertures. Problèmes d'humidité à plusieurs endroits.		
	Système poteau-dalle			
	Maçonnerie porteuse chaînée			
	Maçonnerie armée			
	Ossature charpente métallique			
	Ossature charpente bois			
	Autre			
	Dispositions constructives favorables	Structure de petites dimensions. Peu de divisions à l'intérieur du bâtiment.		F
	Dispositions constructives défavorables	Nombreuses ouvertures, surtout dans l'angle interne du L (Figure 106).		D
Planchers				
	Prédalle			
	Dalle pleine (préciser si coffrage tunnel)			
	Poutrelles + entrevous			
	Nervuré + dalle de compression			
	Préfabriqué			
	Ossature métallique			
	Ossature bois	Oui.		
	Mixte			
	autre			
Toiture				
	Traditionnelle	Oui.		
	Industrielle			
	Lamellé collé			
	Toiture terrasse			
	Nombre de pentes	3 pentes pour chaque segment du L.		
2.6	Fonctionnalité du bâtiment			
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations ...)</i>				
2.7	Architecture du bâtiment			

Détail des éléments architecturaux à préserver			
	Aucun.		

3 DETAILS DE CONSTRUCTION / ZONES CRITIQUES			
<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin</i>			
	poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4 \text{ largeur}$)	Risque de comportement « poteau court » entre les fenêtres.	D
	poteaux élancés ($h > 20 \text{ largeur min}$)	Non.	
	inserts dans les éléments de structure	Oui, les tuyaux de la climatisation traversent les murs.	D
	ouverture dans les voiles ($> 1/10 S_{\text{voile}}$)	Nombre conséquent d'ouvertures dans quelques murs.	D
	axes poteaux/poutres non concourants	Non.	
	présence de joints pleins	Oui, plusieurs éléments en béton ont été directement rajoutés à la structure an absence de joints.	D
	niveaux transparents	Non.	
	porte à faux $> 2\text{m}$	Non.	
	Croisement poutre hors poteau	Non.	
	Plancher avec trémie $s/S < 0.1$ ou $s/S > 0.25$	Non.	

Conclusions sur la vulnérabilité : Vulnérabilité **moyenne** aux séismes.

Par sa taille, son âge et son mode de construction, ce bâtiment semblerait assez résistant aux séismes. Néanmoins, quelques défauts de conception font penser à un contreventement déséquilibré.

Figures



Figure 106 : Vue latérale, angle interne de la forme en L, grand nombre d'ouvertures



Figure 107 : Vue postérieure, mur en béton armé adapté à la pente



Figure 108 : Vue intérieure, plancher en bois et endommagements d'humidité

Annexe 6

Vulnérabilité du bâti des catégories d'importance III et IV

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats qui ont pu être retrouvés avec cette classification. La première colonne contient le nom des établissements et la deuxième les identifiants pour les différents bâtiments composant chaque site. Il est nécessaire de se référer au rapport original pour voir à quoi correspondent les codes :

Nom établissement	Identifiant du bâtiment	Classe de présomption de vulnérabilité
La Coccinelle	01_01	Faible
L'École en Couleurs	01_01	Très forte
L'École en Couleurs	02_01	Forte
École Primaire Dominique MIGNON	01_01	Forte
Collège Descartes	01_01	Moyenne
Collège Descartes	02_01	Faible
Association chez Elmer	01_01	Moyenne
Association chez Elmer	02_01	Forte
L'île aux Enfants	01_01	Forte
Jacques ROUMAIN (SOHANE)	01_01	Très forte
Jean de Lafontaine	01_01	Faible
Ecole de la Mangouste	01_01	Faible
Mandarine Jardin d'enfants	01_01	Moyenne
Les Petits Palmiers	01_01	Moyenne
Jean Rostand	01_01	Très forte
Jean Rostand	02_01	Faible
Jean Rostand	03_01	Faible
Ecole Victor Schoelcher	01_01	Moyenne
Les Sapotilles	01_01	Faible
Les Sapotilles	02_01	Faible
Les Sapotilles	03_01	Moyenne
Maternelle LA SAVANE	01_01	Forte
Maternelle LA SAVANE	02_01	Moyenne
Collège Saint Martin II - Soualiga	01_01	Moyenne
Collège Saint Martin II - Soualiga	01_02	Moyenne
Collège Saint Martin II - Soualiga	02_01	Faible
Collège Saint Martin II - Soualiga	03_01	Moyenne
Saint Martin III	01_01	Moyenne
Saint Martin III	02_01	Moyenne
Saint Martin III	03_01	Faible
Saint Martin III	04_01	Très faible
Saint Martin III	04_02	Très faible
Saint Martin III	04_03	Très faible
Saint Martin III	04_04	Très faible
Saint Martin III	04_05	Très faible
Saint Martin III	04_06	Très faible
Saint Martin III	04_07	Très faible
Saint Martin III	04_08	Très faible
Saint Martin III	04_09	Très faible
Saint Martin III	04_10	Très faible
Saint Martin III	04_11	Très faible

Saint Martin III	04_12	Très faible
Saint Martin III	04_13	Très faible
Saint Martin III	04_14	Très faible
Saint Martin III	04_15	Très faible
Saint Martin III	05_01	Très faible
Saint Martin III	06_01	Faible
Saint Martin III	07_01	Très faible
Saint Martin III	08_01	Très faible
Collège du Mont des Accords	01_01	Très forte
Collège du Mont des Accords	02_01	Faible
Collège du Mont des Accords	03_01	Forte
Collège du Mont des Accords	04_01	Très forte
Collège du Mont des Accords	05_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	06_01	Très forte
Collège du Mont des Accords	07_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	08_01	Forte
Collège du Mont des Accords	09_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	10_01	Extrême
Collège du Mont des Accords	11_01	Forte
Collège du Mont des Accords	12_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	13_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	14_01	Faible
Collège du Mont des Accords	14_02	Faible
Collège du Mont des Accords	15_01	Très faible
Collège du Mont des Accords	16_01	Très faible
Collège du Mont des Accords	17_01	Moyenne
Collège du Mont des Accords	17_02	Moyenne
Collège du Mont des Accords	17_03	Moyenne
Préfecture de Saint Martin	01_01	Très forte
MJC Quartier d'Orléans	01_01	Très forte
MJC Sandy Ground	01_01	Forte
MJC Sandy Ground	02_01	Forte
MJC Sandy Ground	03_01	Très forte
MJC Sandy Ground	04_01	Faible
Maison de Retraite Bethany Home	01_01	Forte
Maison de Retraite Bethany Home	01_02	Forte
Maison de Retraite Bethany Home	02_01	Forte
Maison de Retraite Bethany Home	03_01	Très faible
Dispensaire de Marigot	01_01	Forte
Musée	01_01	Forte
Musée	02_01	Forte
Salle omnisport	01_01	Forte
Salle omnisport	02_01	Moyenne
MJC Grand Case	01_01	Très forte

Tableau 41 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d'établissements publics de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.

Nom école	Identifiant du bâtiment	Classe de présomption de vulnérabilité
-----------	-------------------------	--

Cul de Sac	01_01	Faible
Cul de Sac	02_01	Forte
Cul de Sac	03_01	Moyenne
Cul de Sac	04_01	Faible
Cul de Sac	05_01	Moyenne
Cul de Sac	06_01	Forte
Emile Choisy	01_01	Forte
Emile Choisy	02_01	Moyenne
Emile Choisy	03_01	Moyenne
Emile Choisy	04_01	Faible
Emile Choisy	05_01	Faible
Emile Choisy	06_01	Faible
Emile Choisy	07_01	Très forte
Elie Gibs	01_01	Forte
Elie Gibs	02_01	Forte
Elie Gibs	03_01	Forte
Elie Gibs	04_01	Forte
Elie Gibs	05_01	Moyenne
Elie Gibs	06_01	Forte
Elie Gibs	07_01	Moyenne
Evelina Halley	01_01	Moyenne
Evelina Halley	02_01	Forte
Evelina Halley	03_01	Forte
Evelina Halley	04_01	Moyenne
Grand Case	01_01	Forte
Grand Case	02_01	Forte
Grand Case	03_01	Forte
Grand Case	04_01	Forte
Grand Case	05_01	Forte
Grand Case	06_01	Forte
Grand Case	07_01	Forte
Grand Case	08_01	Moyenne
Grand Case	09_01	Forte
Grand Case	10_01	Moyenne
Grand Case	11_01	Forte
Sandy Ground 2 (En construction)	01_01	Non définie
Sandy Ground 2 (En construction)	02_01	Non définie
Sandy Ground 2 (En construction)	03_01	Non définie
Hervé Williams 1	01_01	Moyenne
Hervé Williams 1	02_01	Moyenne
Hervé Williams 1	03_01	Moyenne
Hervé Williams 1	04_01	Moyenne
Hervé Williams 1	05_01	Moyenne
Hervé Williams 2	01_01	Forte
Hervé Williams 2	02_01	Faible
Hervé Williams 2	03_01	Faible
Hervé Williams 2	04_01	Faible
Hervé Williams 2	05_01	Faible
Hervé Williams 2	06_01	Faible
Hervé Williams 2	06_02	Faible
Hervé Williams 2	07_01	Moyenne
Hervé Williams 2	08_01	Faible

Hervé Williams 2	09_01	Faible
Hervé Williams 2	10_01	Faible
Hervé Williams 2	11_01	Moyenne
Nina Duverly	01_01	Forte
Nina Duverly	02_01	Faible
Nina Duverly	03_01	Très forte
Nina Duverly	03_02	Très forte
Nina Duverly	04_01	Très forte
Nina Duverly	05_01	Forte
Nina Duverly	06_01	Très forte
Nina Duverly	07_01	Très forte
Nina Duverly	08_01	Moyenne
Nina Duverly	09_01	Forte
Quartier d' Orléans 1	01_01	Forte
Quartier d' Orléans 1	02_01	Faible
Quartier d' Orléans 1	03_01	Forte
Quartier d' Orléans 1	04_01	Forte
Quartier d' Orléans 1	05_01	Forte
Quartier d' Orléans 1	06_01	Faible
Quartier d' Orléans 1	07_01	Très forte
Quartier d' Orléans 2	01_01	Forte
Quartier d' Orléans 2	02_01	Forte
Quartier d' Orléans 2	03_01	Forte
Quartier d' Orléans 2	04_01	Moyenne
Quartier d' Orléans 2	04_02	Moyenne
Quartier d' Orléans 2	05_01	Faible
Quartier d' Orléans 2	06_01	Faible
Quartier d' Orléans	01_01	Forte
Quartier d' Orléans	02_01	Moyenne
Quartier d' Orléans	03_01	Faible
Quartier d' Orléans	04_01	Faible
Quartier d' Orléans	05_01	Faible
Quartier d' Orléans	06_01	Faible
Quartier d' Orléans	07_01	Forte
Quartier d' Orléans	08_01	Moyenne
Quartier d' Orléans	09_01	Faible
Sandy Ground 1	01_01	Faible
Sandy Ground 1	02_01	Faible
Sandy Ground 1	03_01	Faible
Sandy Ground 1	04_01	Moyenne
Spring Concordia	01_01	Moyenne
Spring Concordia	02_01	Très faible
Spring Concordia	03_01	Moyenne
Spring Concordia	04_01	Moyenne
Simeonne Trott	01_01	Très forte
Simeonne Trott	02_01	Très forte
Simeonne Trott	03_01	Moyenne
Simeonne Trott	04_01	Forte
Simeonne Trott	05_01	Très forte
Simeonne Trott	06_01	Moyenne

Tableau 42 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc d'écoles de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.

Nom école	Identifiant du bâtiment	Classe de présomption de vulnérabilité
Lycée Îles du Nord	01	Très forte
Lycée Îles du Nord	02	Très forte
Lycée Îles du Nord	03	Très forte
Lycée Îles du Nord	04	Très forte
Lycée Îles du Nord	05	Très forte
Lycée Îles du Nord	06	Très forte
Lycée Îles du Nord	07	Forte
Lycée Îles du Nord	08	Très forte
Lycée Îles du Nord	09	Très forte
Lycée Îles du Nord	10	Très forte
Lycée Îles du Nord	11	Très forte
Lycée Îles du Nord	12	Très forte

Tableau 43 : Classes de vulnérabilité des différents bâtiments du parc de lycées de Saint-Martin selon les rapports Dunand 2009.

Annexe 7

Scénario de risque

Ce chapitre synthétise les résultats obtenus pour le scénario de risque sismique sur la collectivité de Saint-Martin et pour le bâti de catégorie d'importance II à usage d'habitation en présentant les cartes de résultats présentés dans le rapport principal au format A3 pour une meilleure visibilité et en donnant un tableau de synthèse des résultats par polygone.

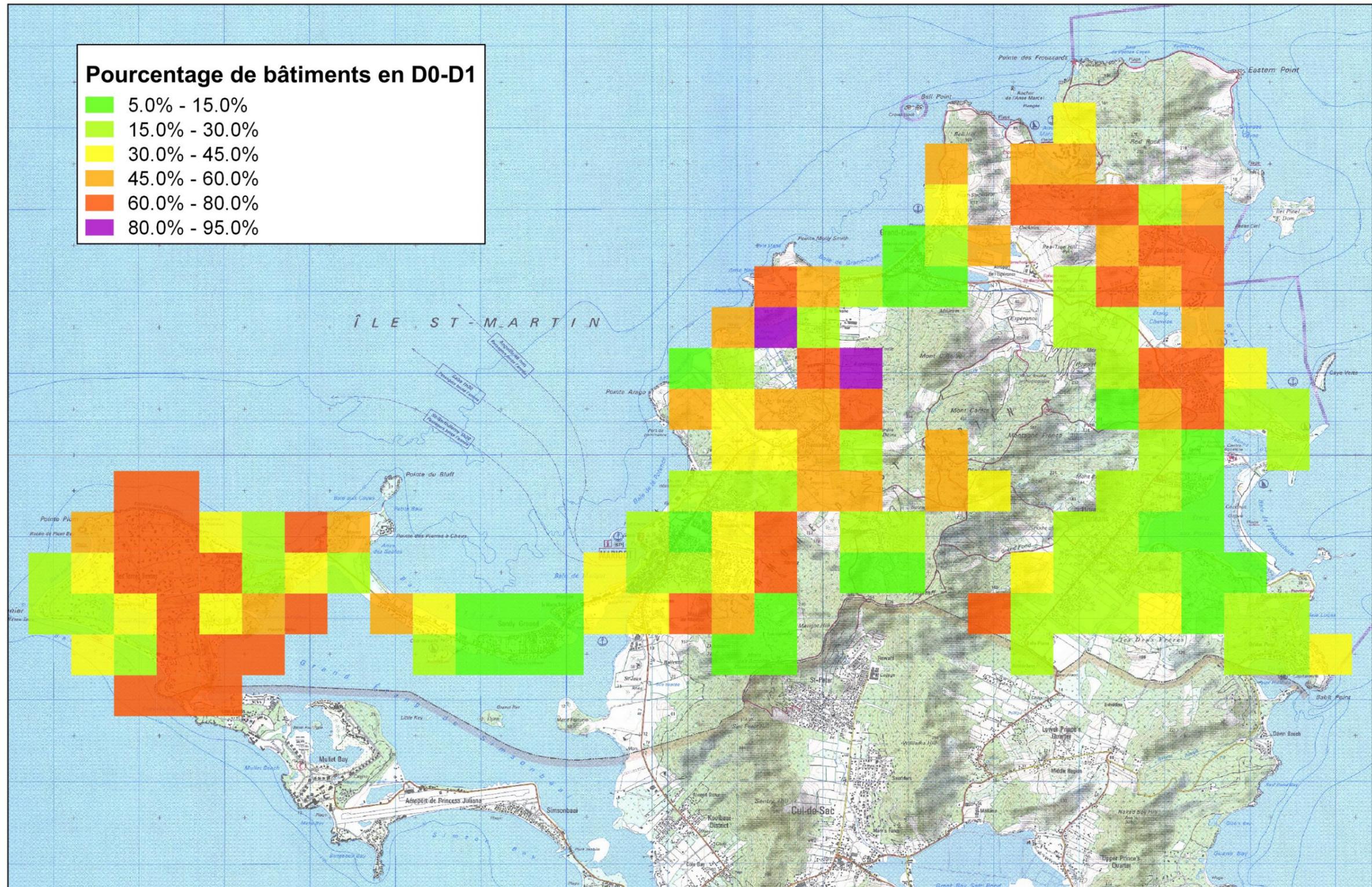


Figure 109 : Pourcentage de bâtiments en état de dommages D0-D1

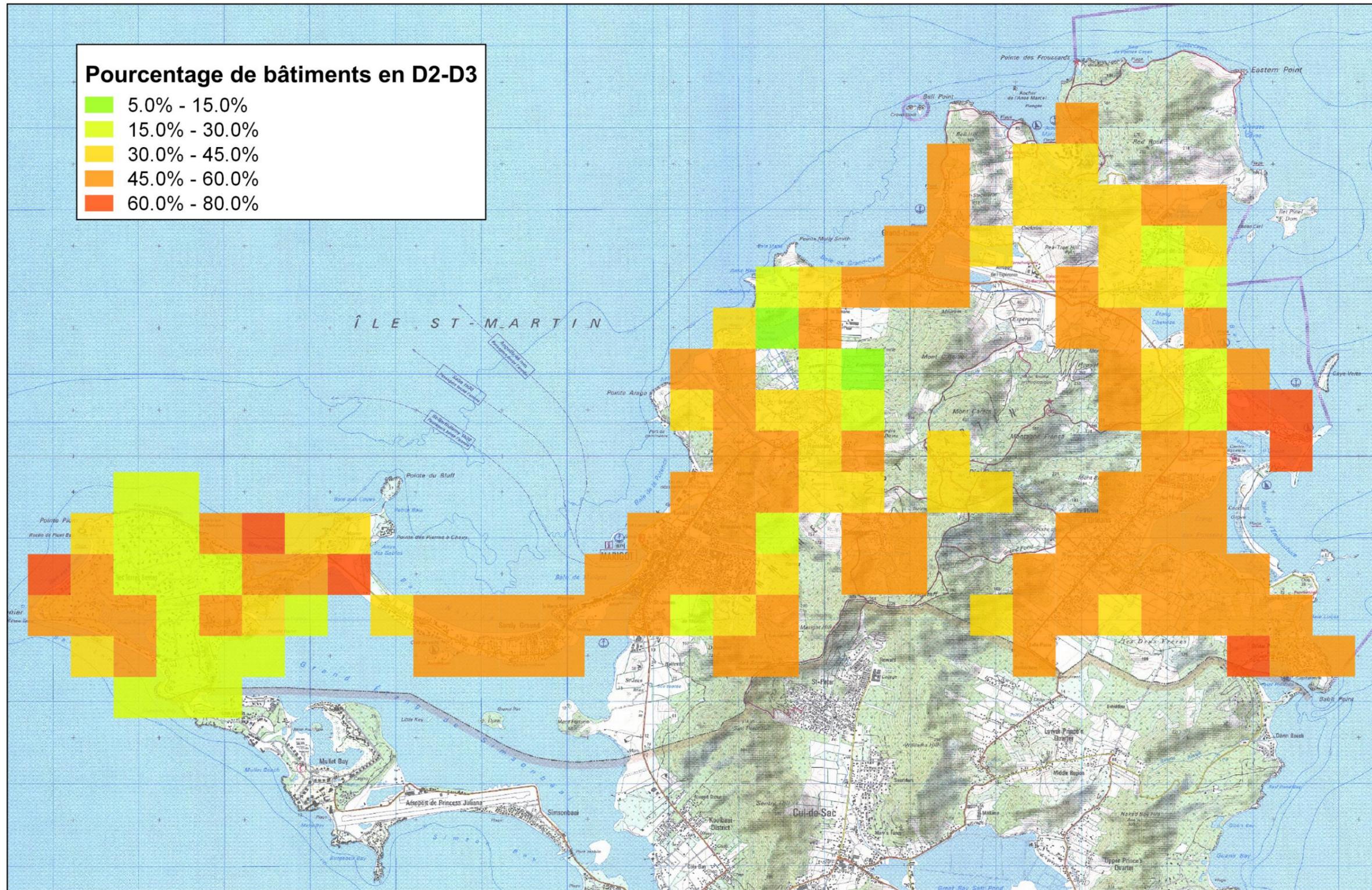


Figure 110 : Pourcentage de bâtiments en état de dommages D2-D3

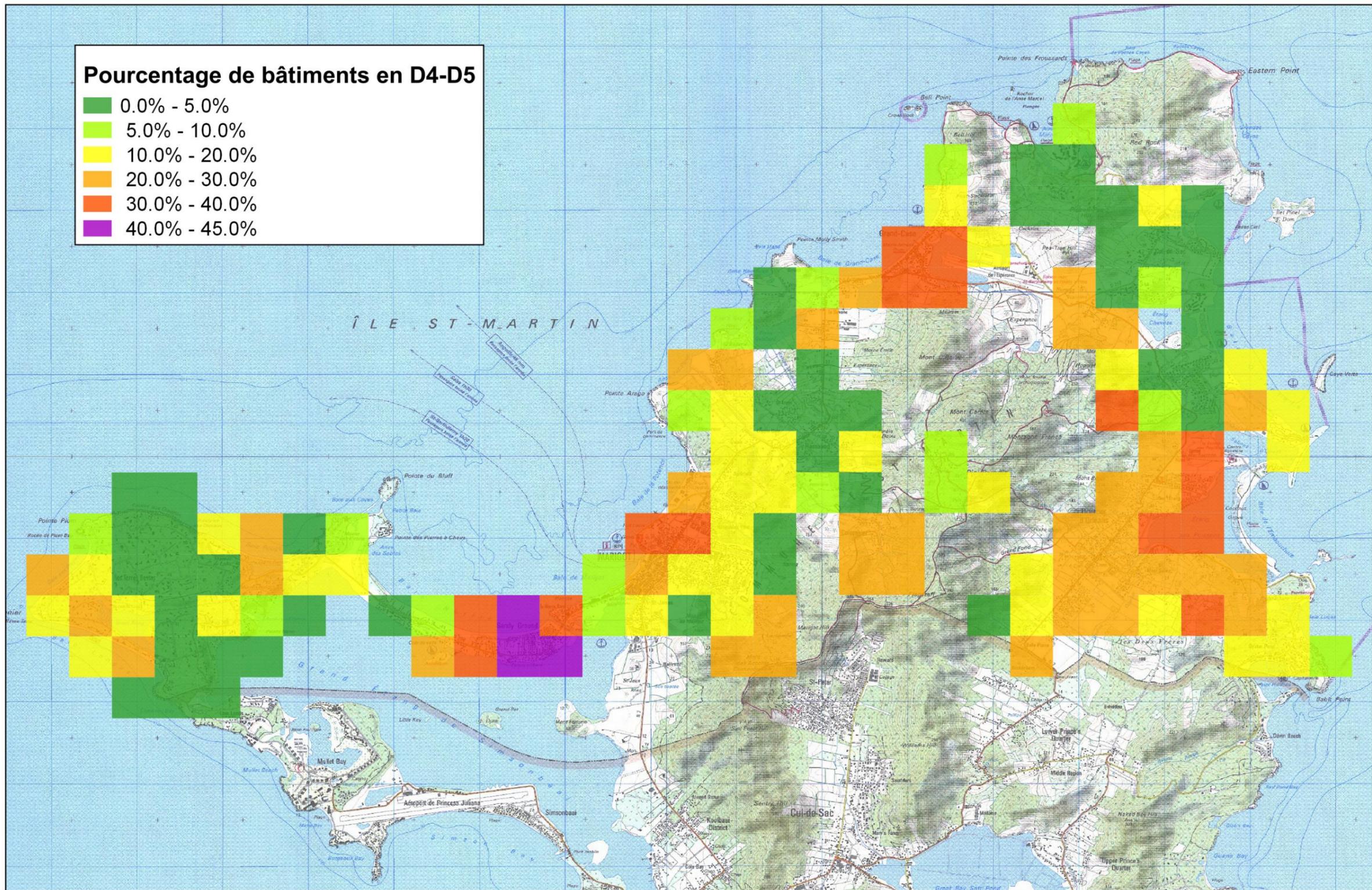


Figure 111 : Pourcentage de bâtiments en état de dommages D4-D5

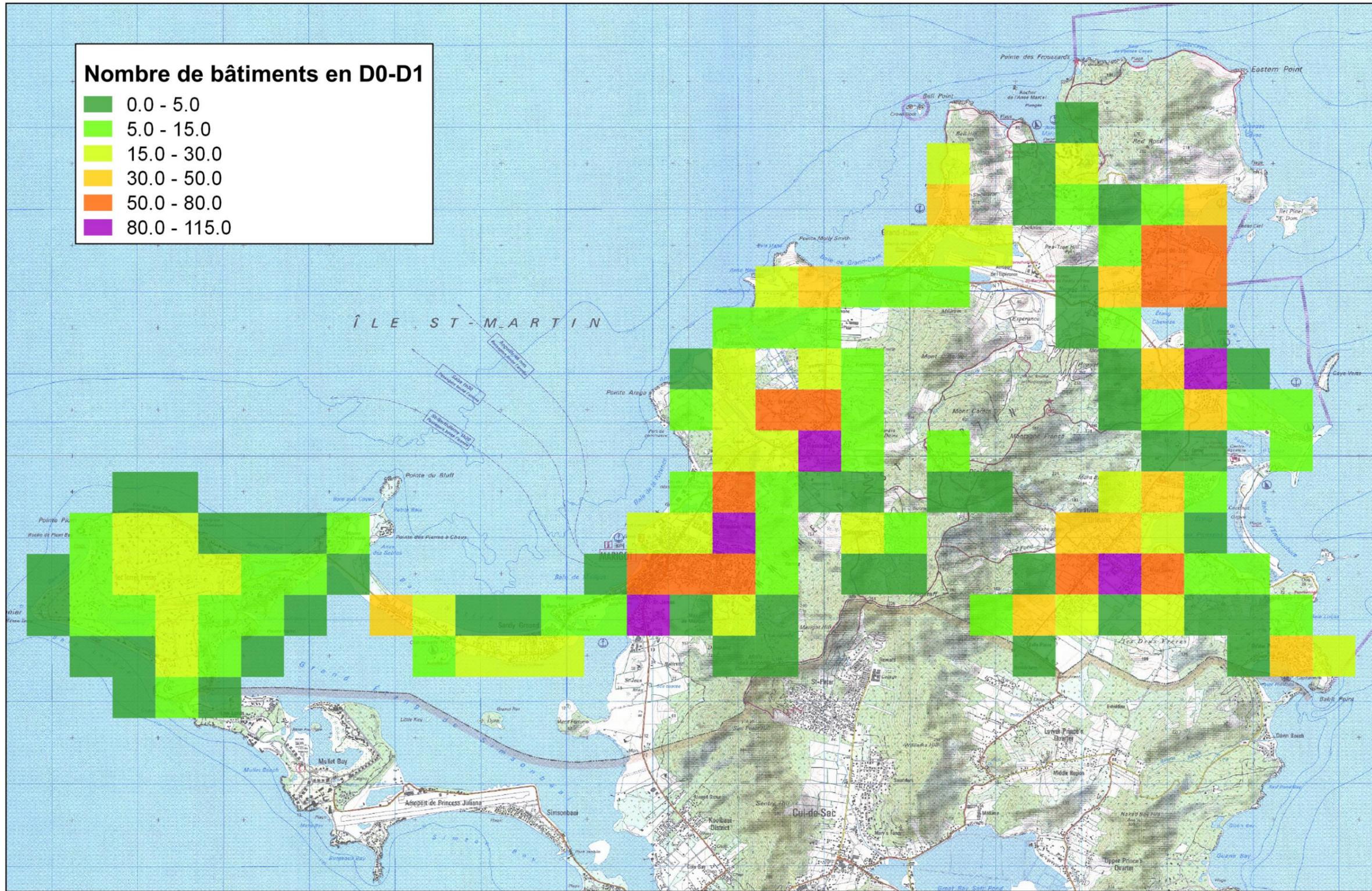


Figure 112 : Nombre de bâtiments en état de dommages D0-D1

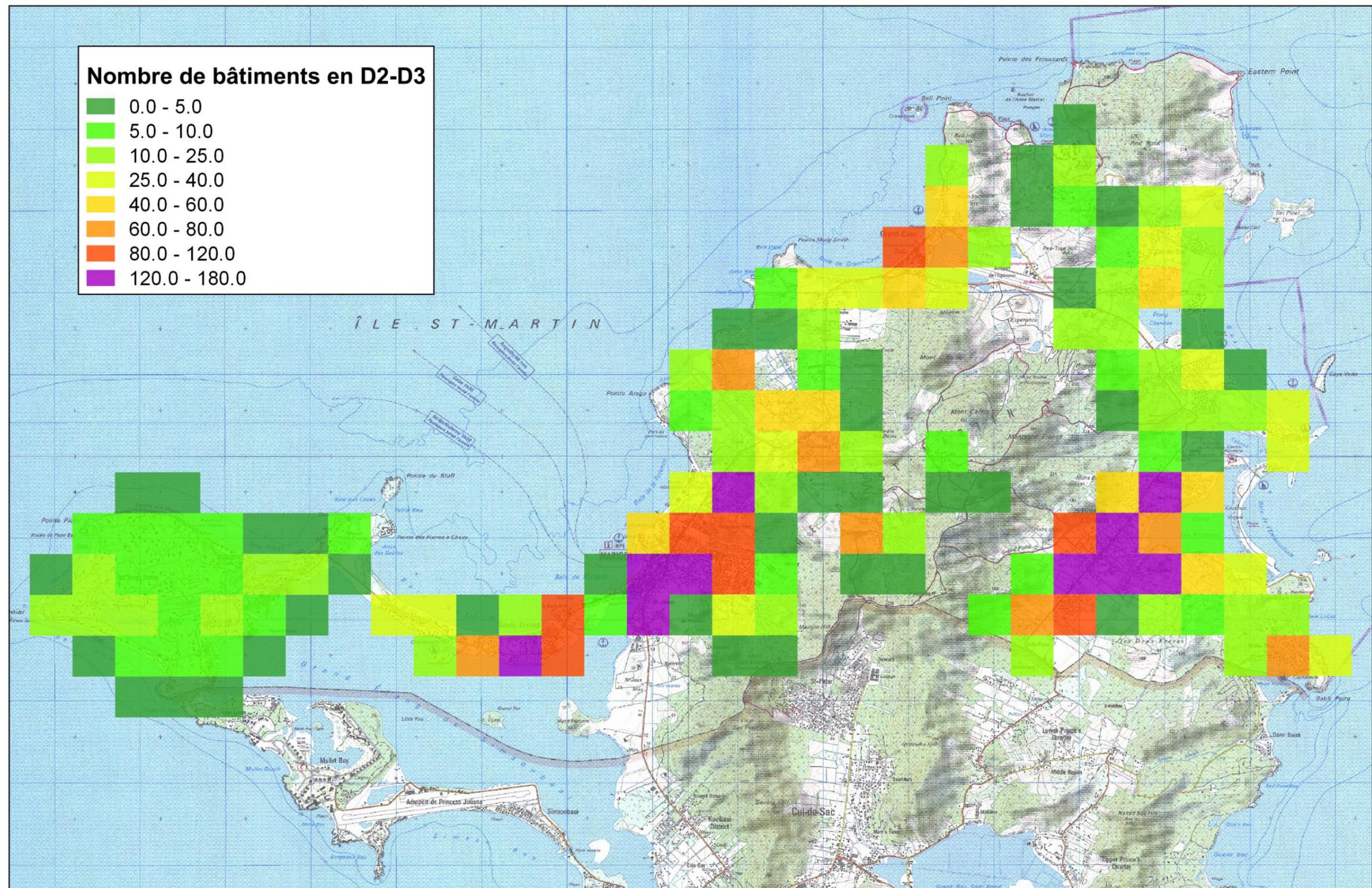


Figure 113 : Nombre de bâtimets en état de dommages D2-D3

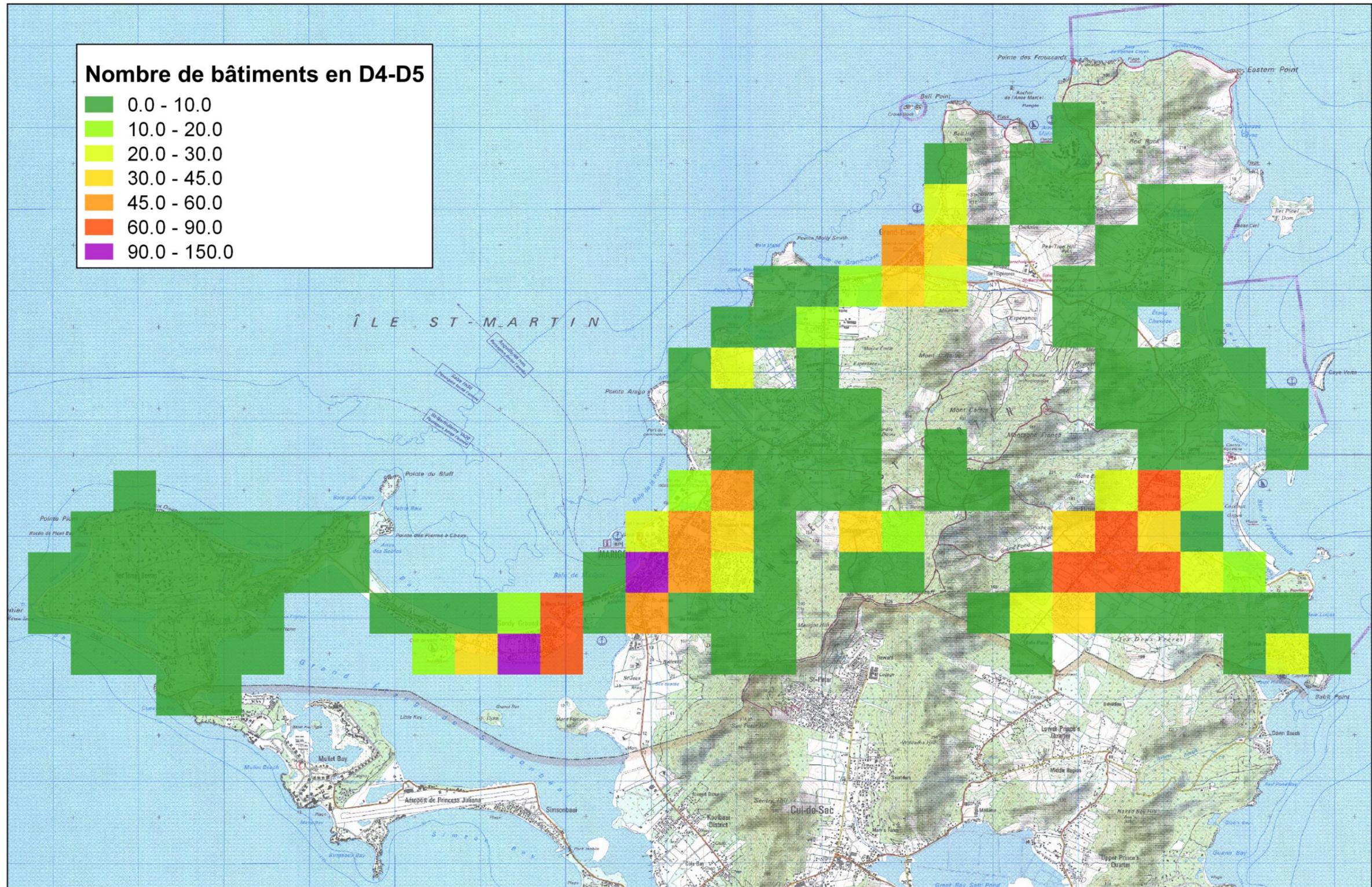


Figure 114 : Nombre de bâtiments en état de dommages D4-D5

Tableau 44: Dommages aux bâtiments de catégorie d'importance II en pourcentage et en nombre.

ID	Type	V _{i,moy}	Intensité	D0	D1	D2	D3	D4	D5	ND0	ND1	ND2	ND3	ND4	ND5
1634	ISO	0.64	8.1	23.72%	29.01%	22.98%	15.35%	7.49%	1.46%	129.77	158.67	125.71	83.94	40.95	7.97
1636	LOT	0.45	8.9	28.01%	37.01%	24.48%	8.99%	1.48%	0.04%	2.52	3.33	2.20	0.81	0.13	0.00
1637	LOT	0.45	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	11.07	22.48	15.64	5.83	0.96	0.03
1638	COL	0.55	9.0	10.04%	28.48%	33.87%	21.13%	6.11%	0.36%	1.00	2.85	3.39	2.11	0.61	0.04
1639	LOT	0.45	8.9	27.46%	37.22%	24.71%	9.08%	1.49%	0.04%	4.67	6.33	4.20	1.54	0.25	0.01
1640	LOT	0.45	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.37	4.82	3.35	1.25	0.21	0.01
1641	COL	0.55	9.0	9.24%	28.44%	34.28%	21.46%	6.21%	0.37%	0.83	2.56	3.09	1.93	0.56	0.03
1642	COL	0.55	8.9	13.61%	28.65%	32.04%	19.69%	5.67%	0.34%	0.95	2.01	2.24	1.38	0.40	0.02
1643	COL	0.55	8.9	12.68%	28.61%	32.52%	20.06%	5.78%	0.34%	0.25	0.57	0.65	0.40	0.12	0.01
1644	COL	0.4	9.1	30.49%	40.98%	21.46%	6.25%	0.80%	0.02%	0.30	0.41	0.21	0.06	0.01	0.00
1645	COL	0.55	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	0.43	1.98	2.51	1.59	0.46	0.03
1646	CV	0.76	9.1	0.94%	6.39%	18.62%	30.57%	29.38%	14.10%	5.66	38.55	112.28	184.38	177.16	85.04
1647	ISO	0.7	9.1	1.88%	10.97%	23.99%	30.66%	23.68%	8.83%	3.97	23.18	50.71	64.80	50.04	18.66
1649	ISO	0.7	9.1	1.57%	10.57%	23.79%	30.80%	24.11%	9.16%	1.16	7.84	17.64	22.83	17.87	6.79
1650	COL	0.72	9.1	0.36%	6.28%	22.15%	35.76%	28.92%	6.53%	0.01	0.19	0.66	1.07	0.87	0.20
1651	COL	0.55	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	0.06	0.28	0.36	0.23	0.07	0.00
1652	COL	0.55	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	0.06	0.28	0.36	0.23	0.07	0.00
1653	COL	0.55	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	0.19	0.85	1.08	0.68	0.20	0.01
1654	CV	0.72	8.5	8.73%	21.35%	27.48%	24.42%	14.10%	3.92%	60.49	147.87	190.37	169.15	97.65	27.14
1655	COL	0.55	9.2	5.17%	25.82%	35.63%	24.73%	8.07%	0.58%	0.05	0.26	0.36	0.25	0.08	0.01
1656	COL	0.72	9.2	0.87%	5.92%	18.40%	32.84%	32.17%	9.80%	0.05	0.36	1.10	1.97	1.93	0.59
1657	COL	0.72	9.2	1.96%	8.16%	18.24%	30.50%	31.01%	10.13%	0.08	0.33	0.73	1.22	1.24	0.41
1658	CV	0.7	9.3	0.87%	6.66%	19.12%	32.09%	31.11%	10.14%	1.23	9.39	26.96	45.25	43.86	14.30
1659	ISO	0.68	9.0	1.97%	11.89%	26.23%	32.87%	22.51%	4.54%	0.89	5.35	11.80	14.79	10.13	2.04
1660	ISO	0.68	9.1	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	7.52	7.93	3.55	0.90	0.10	0.00
1661	LOT	0.45	8.6	23.72%	29.01%	22.98%	15.35%	7.49%	1.46%	129.77	158.67	125.71	83.94	40.95	7.97

Microzonage sismique de Saint-Martin – annexes techniques

1662	ISO	0.68	8.8	4.08%	17.81%	30.43%	29.73%	15.62%	2.33%	0.20	0.89	1.52	1.49	0.78	0.12
1663	LOT	0.45	8.8	30.97%	39.97%	21.49%	6.62%	0.92%	0.02%	1.55	2.00	1.07	0.33	0.05	0.00
1664	LOT	0.45	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	2.63	2.77	1.24	0.32	0.03	0.00
1665	ISO	0.68	8.9	2.84%	14.36%	28.03%	31.60%	19.60%	3.57%	0.80	4.02	7.85	8.85	5.49	1.00
1666	ISO	0.68	9.1	2.04%	12.13%	26.47%	32.81%	22.17%	4.38%	0.55	3.27	7.15	8.86	5.99	1.18
1667	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.05	2.02	1.36	0.49	0.08	0.00
1668	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.41	8.50	5.70	2.05	0.33	0.01
1669	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	2.31	4.45	2.98	1.08	0.17	0.00
1670	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.26	2.43	1.63	0.59	0.09	0.00
1671	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.20	8.09	5.43	1.96	0.31	0.01
1672	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	3.78	7.29	4.88	1.76	0.28	0.01
1673	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.62	8.90	5.97	2.15	0.34	0.01
1674	LOT	0.45	8.9	26.39%	40.20%	24.08%	8.07%	1.22%	0.03%	9.76	14.88	8.91	2.99	0.45	0.01
1675	LOT	0.45	8.9	27.23%	40.16%	23.61%	7.81%	1.16%	0.03%	2.18	3.21	1.89	0.62	0.09	0.00
1676	LOT	0.45	8.9	28.91%	40.08%	22.66%	7.27%	1.06%	0.03%	6.07	8.42	4.76	1.53	0.22	0.01
1677	LOT	0.45	8.7	35.95%	39.72%	18.67%	5.04%	0.60%	0.01%	10.07	11.12	5.23	1.41	0.17	0.00
1678	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.62	8.90	5.97	2.15	0.34	0.01
1679	ISO	0.7	9.1	3.40%	10.84%	20.27%	29.03%	27.33%	9.13%	4.42	14.09	26.35	37.74	35.53	11.87
1680	ISO	0.66	8.8	5.20%	18.26%	29.38%	28.89%	15.76%	2.51%	34.17	119.95	193.00	189.83	103.53	16.52
1681	ISO	0.74	8.9	4.88%	14.88%	26.23%	30.51%	19.84%	3.67%	8.59	26.18	46.17	53.69	34.92	6.46
1682	ISO	0.66	8.4	14.11%	25.29%	26.55%	21.03%	11.09%	1.93%	18.63	33.38	35.05	27.76	14.64	2.54
1683	ISO	0.68	9.0	2.86%	13.05%	26.37%	31.96%	21.51%	4.26%	3.78	17.22	34.81	42.19	28.39	5.62
1684	ISO	0.64	7.7	29.72%	37.47%	22.64%	8.48%	1.63%	0.07%	4.46	5.62	3.40	1.27	0.24	0.01
1685	ISO	0.68	7.8	19.15%	34.92%	28.60%	13.79%	3.35%	0.19%	29.31	53.42	43.76	21.10	5.13	0.29
1686	ISO	0.66	7.8	22.72%	33.86%	25.99%	12.89%	4.04%	0.49%	64.29	95.84	73.56	36.48	11.45	1.38
1687	ISO	0.64	8.2	20.64%	30.44%	24.52%	15.37%	7.35%	1.68%	6.81	10.05	8.09	5.07	2.43	0.56
1688	ISO	0.64	7.8	28.58%	36.59%	22.96%	9.40%	2.27%	0.20%	10.58	13.54	8.49	3.48	0.84	0.07
1689	LOT	0.45	7.7	71.28%	22.39%	5.40%	0.87%	0.07%	0.00%	7.84	2.46	0.59	0.10	0.01	0.00
1690	LOT	0.45	8.4	44.75%	31.93%	16.87%	5.57%	0.86%	0.02%	6.26	4.47	2.36	0.78	0.12	0.00
1691	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	2.16	0.66	0.15	0.02	0.00	0.00

1692	ISO	0.66	9.1	2.96%	13.57%	26.41%	31.58%	21.21%	4.28%	1.15	5.29	10.30	12.31	8.27	1.67
1693	LOT	0.45	7.9	64.78%	26.34%	7.44%	1.33%	0.10%	0.00%	16.20	6.58	1.86	0.33	0.03	0.00
1694	LOT	0.62	7.9	28.41%	37.47%	22.16%	9.24%	2.51%	0.21%	6.82	8.99	5.32	2.22	0.60	0.05
1695	CV	0.72	9.2	1.56%	9.62%	22.91%	31.98%	25.55%	8.38%	3.88	23.88	56.85	79.37	63.41	20.80
1696	ISO	0.74	9.2	2.51%	10.48%	23.44%	32.55%	25.14%	5.87%	1.96	8.18	18.31	25.42	19.64	4.59
1697	ISO	0.66	7.9	21.55%	32.56%	25.86%	13.98%	5.24%	0.81%	11.21	16.93	13.45	7.27	2.72	0.42
1698	ISO	0.66	7.8	23.89%	34.84%	25.62%	11.73%	3.42%	0.50%	4.06	5.92	4.36	1.99	0.58	0.08
1700	CV	0.7	9.3	28.90%	37.19%	23.05%	8.94%	1.82%	0.09%	4.91	6.32	3.92	1.52	0.31	0.02
1701	ISO	0.66	8.5	3.64%	11.72%	22.14%	29.97%	25.35%	7.18%	0.80	2.58	4.87	6.59	5.58	1.58
1702	ISO	0.64	7.7	43.77%	28.59%	18.21%	7.77%	1.60%	0.06%	3.06	2.00	1.27	0.54	0.11	0.00
1703	ISO	0.66	9.3	3.10%	14.00%	26.89%	31.55%	20.55%	3.91%	1.99	8.96	17.21	20.19	13.15	2.50
1704	LOT	0.45	8.5	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.89	3.64	2.44	0.88	0.14	0.00
1705	ISO	0.66	9.1	56.72%	27.39%	11.75%	3.57%	0.54%	0.02%	12.48	6.03	2.59	0.79	0.12	0.00
1706	LOT	0.45	9.1	51.82%	29.32%	13.58%	4.48%	0.77%	0.03%	32.13	18.18	8.42	2.78	0.48	0.02
1707	LOT	0.45	8.1	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	3.76	3.96	1.77	0.45	0.05	0.00
1708	LOT	0.45	8.3	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	4.14	4.36	1.95	0.50	0.05	0.00
1709	LOT	0.45	8.6	45.25%	35.75%	14.92%	3.67%	0.40%	0.01%	2.71	2.15	0.90	0.22	0.02	0.00
1710	LOT	0.45	8.6	16.87%	31.61%	28.08%	16.39%	6.14%	0.91%	22.10	41.41	36.78	21.48	8.05	1.19
1711	LOT	0.45	8.4	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	4.51	4.76	2.13	0.54	0.06	0.00
1712	ISO	0.68	8.0	10.53%	27.61%	31.32%	21.47%	8.16%	0.91%	0.95	2.49	2.82	1.93	0.73	0.08
1713	LOT	0.45	8.6	16.58%	30.45%	26.90%	16.69%	7.74%	1.64%	21.22	38.98	34.43	21.37	9.91	2.09
1714	ISO	0.64	8.5	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	4.32	1.33	0.31	0.04	0.00	0.00
1715	ISO	0.68	8.1	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	5.76	1.77	0.41	0.06	0.00	0.00
1716	LOT	0.45	7.7	38.18%	39.35%	17.52%	4.45%	0.49%	0.01%	20.24	20.86	9.29	2.36	0.26	0.00
1717	LOT	0.45	7.7	21.55%	40.09%	26.91%	9.81%	1.60%	0.05%	4.31	8.02	5.38	1.96	0.32	0.01
1718	LOT	0.45	8.6	12.03%	35.86%	32.95%	15.67%	3.35%	0.13%	0.84	2.51	2.31	1.10	0.23	0.01
1719	LOT	0.45	9.1	15.36%	35.10%	31.40%	14.84%	3.17%	0.13%	6.60	15.09	13.50	6.38	1.36	0.05
1720	LOT	0.45	9.4	28.64%	36.80%	23.02%	9.26%	2.11%	0.16%	8.02	10.31	6.45	2.59	0.59	0.04
1721	LOT	0.45	9.3	2.96%	13.57%	26.41%	31.58%	21.21%	4.28%	1.15	5.29	10.30	12.31	8.27	1.67
1722	ISO	0.64	7.7	64.78%	26.34%	7.44%	1.33%	0.10%	0.00%	16.20	6.58	1.86	0.33	0.03	0.00

Microzonage sismique de Saint-Martin – annexes techniques

1723	LOT	0.45	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.17	4.42	3.07	1.14	0.19	0.01
1724	LOT	0.45	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.57	5.22	3.63	1.35	0.22	0.01
1725	COL	0.55	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	0.37	1.70	2.15	1.36	0.40	0.02
1726	LOT	0.45	9.2	19.33%	37.82%	28.70%	11.85%	2.23%	0.08%	7.73	15.13	11.48	4.74	0.89	0.03
1727	LOT	0.45	9.1	21.29%	38.52%	27.52%	10.73%	1.89%	0.06%	6.81	12.32	8.81	3.43	0.60	0.02
1728	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	14.40	4.43	1.02	0.15	0.01	0.00
1729	LOT	0.45	7.8	66.27%	24.10%	7.60%	1.80%	0.23%	0.01%	16.57	6.03	1.90	0.45	0.06	0.00
1730	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	10.80	3.32	0.77	0.11	0.01	0.00
1731	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	6.48	1.99	0.46	0.07	0.00	0.00
1732	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	7.20	2.21	0.51	0.07	0.00	0.00
1733	LOT	0.45	8.6	39.41%	33.85%	19.18%	6.52%	1.01%	0.03%	6.31	5.42	3.07	1.04	0.16	0.00
1734	ISO	0.64	8.3	19.32%	29.01%	25.09%	16.97%	8.07%	1.53%	34.01	51.05	44.17	29.88	14.21	2.70
1735	LOT	0.62	9.1	2.19%	17.42%	33.77%	31.39%	13.81%	1.41%	2.43	19.34	37.48	34.85	15.33	1.57
1736	ISO	0.66	9.1	4.11%	14.47%	25.91%	30.35%	20.73%	4.43%	91.40	321.77	576.13	675.05	461.09	98.54
1737	ISO	0.66	9.3	2.09%	10.96%	23.55%	31.74%	25.16%	6.49%	2.20	11.51	24.73	33.33	26.41	6.82
1738	ISO	0.64	9.1	2.99%	16.70%	30.12%	30.20%	16.90%	3.10%	4.79	26.71	48.19	48.32	27.04	4.96
1739	LOT	0.45	9.1	7.44%	28.90%	35.28%	21.82%	6.20%	0.36%	6.92	26.88	32.81	20.29	5.76	0.34
1740	COL	0.4	9.1	30.58%	40.97%	21.42%	6.23%	0.79%	0.02%	1.22	1.64	0.86	0.25	0.03	0.00
4736	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	10.50	20.24	13.57	4.89	0.78	0.02
5736	COL	0.72	9.4	0.14%	3.43%	15.88%	33.09%	35.66%	11.80%	0.03	0.69	3.18	6.62	7.13	2.36
6736	COL	0.72	9.4	0.14%	3.43%	15.88%	33.09%	35.66%	11.80%	0.04	0.96	4.45	9.27	9.98	3.30
7736	LOT	0.45	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	17.44	33.59	22.52	8.12	1.30	0.04
8701	ISO	0.66	7.7	25.17%	36.30%	25.84%	10.58%	2.04%	0.08%	1.51	2.18	1.55	0.63	0.12	0.00
8736	LOT	0.45	8.5	40.61%	33.42%	18.66%	6.31%	0.98%	0.03%	8.12	6.68	3.73	1.26	0.20	0.01
9700	ISO	0.74	9.3	2.83%	9.77%	20.68%	31.09%	27.78%	7.86%	1.87	6.45	13.65	20.52	18.33	5.18
9701	COL	0.72	7.8	11.95%	34.33%	31.66%	16.47%	4.99%	0.59%	9.32	26.78	24.70	12.85	3.89	0.46
9702	LOT	0.45	8.1	57.99%	25.34%	11.60%	4.22%	0.82%	0.03%	20.30	8.87	4.06	1.48	0.29	0.01
9715	LOT	0.45	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	25.91	7.97	1.84	0.27	0.02	0.00
9721	LOT	0.45	9.4	12.03%	35.86%	32.95%	15.67%	3.35%	0.13%	4.57	13.63	12.52	5.95	1.27	0.05
9736	COL	0.55	9.3	4.26%	23.49%	35.34%	26.64%	9.51%	0.76%	0.51	2.82	4.24	3.20	1.14	0.09

Tableau 45 : Dommages aux logements en pourcentage et en nombre absolu par quartier.

ID	Type	V _{i,moy}	Intens.	LD0	LD1	LD2	LD3	LD4	LD5	NLD0	NLD1	NLD2	NLD3	NLD4	NLD5
1634	ISO	1.35	8.1	23.72%	29.01%	22.98%	15.35%	7.49%	1.46%	129.77	158.67	125.71	83.94	40.95	7.97
1636	LOT	0	8.9	28.01%	37.01%	24.48%	8.99%	1.48%	0.04%	2.52	3.33	2.20	0.81	0.13	0.00
1637	LOT	0.01	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	11.07	22.48	15.64	5.83	0.96	0.03
1638	COL	0.07	9.0	10.04%	28.48%	33.87%	21.13%	6.11%	0.36%	6.02	17.09	20.32	12.68	3.67	0.22
1639	LOT	0	8.9	27.46%	37.22%	24.71%	9.08%	1.49%	0.04%	4.67	6.33	4.20	1.54	0.25	0.01
1640	LOT	0	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.37	4.82	3.35	1.25	0.21	0.01
1641	COL	0.07	9.0	9.24%	28.44%	34.28%	21.46%	6.21%	0.37%	5.55	17.06	20.57	12.87	3.73	0.22
1642	COL	0.03	8.9	13.61%	28.65%	32.04%	19.69%	5.67%	0.34%	4.08	8.60	9.61	5.91	1.70	0.10
1643	COL	0.03	8.9	12.68%	28.61%	32.52%	20.06%	5.78%	0.34%	3.80	8.58	9.76	6.02	1.73	0.10
1644	COL	0	9.1	30.49%	40.98%	21.46%	6.25%	0.80%	0.02%	12.20	16.39	8.59	2.50	0.32	0.01
1645	COL	0.13	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	6.18	28.29	35.85	22.69	6.59	0.39
1646	CV	23.93	9.1	0.89%	6.30%	19.05%	31.90%	29.97%	11.88%	8.71	61.51	185.97	311.38	292.58	115.97
1647	ISO	5.21	9.1	1.54%	9.64%	22.95%	31.61%	25.55%	8.72%	4.26	26.68	63.53	87.52	70.72	24.14
1649	ISO	1.81	9.1	1.26%	9.23%	22.72%	31.72%	26.00%	9.08%	1.22	8.96	22.06	30.80	25.25	8.81
1650	COL	0.98	9.1	0.36%	6.28%	22.15%	35.76%	28.92%	6.53%	0.22	3.77	13.29	21.46	17.35	3.92
1651	COL	0.08	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	3.71	16.98	21.51	13.61	3.95	0.24
1652	COL	0.08	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	3.71	16.98	21.51	13.61	3.95	0.24
1653	COL	0.11	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	4.95	22.63	28.68	18.15	5.27	0.31
1654	CV	12.1	8.5	6.79%	19.62%	27.66%	26.21%	15.75%	3.96%	78.43	226.54	319.31	302.59	181.85	45.70
1655	COL	0.02	9.2	5.17%	25.82%	35.63%	24.73%	8.07%	0.58%	1.03	5.16	7.13	4.95	1.61	0.12
1656	COL	0.65	9.2	0.87%	5.92%	18.40%	32.84%	32.17%	9.80%	0.43	2.96	9.20	16.42	16.09	4.90
1657	COL	0.8	9.2	1.96%	8.16%	18.24%	30.50%	31.01%	10.13%	1.37	5.71	12.77	21.35	21.70	7.09
1658	CV	4.6	9.3	0.46%	4.74%	16.83%	32.12%	34.02%	11.83%	1.46	15.03	53.40	101.90	107.94	37.52
1659	ISO	2.36	9.0	1.54%	10.33%	25.10%	33.57%	24.28%	5.18%	4.35	29.12	70.78	94.67	68.48	14.61
1660	ISO	0.71	9.1	1.13%	8.68%	23.37%	34.05%	26.62%	6.15%	1.02	7.81	21.03	30.64	23.96	5.53
1661	LOT	0	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	7.52	7.93	3.55	0.90	0.10	0.00
1662	ISO	0.1	8.8	2.49%	14.08%	28.89%	32.27%	19.07%	3.21%	0.25	1.41	2.89	3.23	1.91	0.32
1663	LOT	0	8.8	30.97%	39.97%	21.49%	6.62%	0.92%	0.02%	1.55	2.00	1.07	0.33	0.05	0.00

Microzonage sismique de Saint-Martin – annexes techniques

1664	LOT	0	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	2.63	2.77	1.24	0.32	0.03	0.00
1665	ISO	0.48	8.9	1.69%	10.93%	25.70%	33.36%	23.45%	4.87%	0.95	6.12	14.39	18.68	13.13	2.72
1666	ISO	0.42	9.1	1.18%	8.89%	23.65%	34.07%	26.28%	5.94%	0.64	4.80	12.77	18.40	14.19	3.21
1667	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.05	2.02	1.36	0.49	0.08	0.00
1668	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.41	8.50	5.70	2.05	0.33	0.01
1669	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	2.31	4.45	2.98	1.08	0.17	0.00
1670	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.26	2.43	1.63	0.59	0.09	0.00
1671	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.20	8.09	5.43	1.96	0.31	0.01
1672	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	3.78	7.29	4.88	1.76	0.28	0.01
1673	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.62	8.90	5.97	2.15	0.34	0.01
1674	LOT	0	8.9	26.39%	40.20%	24.08%	8.07%	1.22%	0.03%	9.76	14.88	8.91	2.99	0.45	0.01
1675	LOT	0	8.9	27.23%	40.16%	23.61%	7.81%	1.16%	0.03%	2.18	3.21	1.89	0.62	0.09	0.00
1676	LOT	0	8.9	28.91%	40.08%	22.66%	7.27%	1.06%	0.03%	6.07	8.42	4.76	1.53	0.22	0.01
1677	LOT	0	8.7	35.95%	39.72%	18.67%	5.04%	0.60%	0.01%	10.07	11.12	5.23	1.41	0.17	0.00
1678	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	4.62	8.90	5.97	2.15	0.34	0.01
1679	ISO	3.78	9.1	2.44%	9.16%	18.67%	29.23%	29.86%	10.64%	7.14	26.79	54.62	85.49	87.33	31.13
1680	ISO	6.56	8.8	4.11%	15.99%	28.41%	30.37%	17.97%	3.15%	35.70	138.83	246.66	263.65	156.01	27.33
1681	ISO	1.36	8.9	4.15%	13.59%	25.32%	31.06%	21.52%	4.36%	9.31	30.43	56.72	69.58	48.21	9.76
1682	ISO	0.94	8.4	11.94%	23.94%	26.77%	22.36%	12.60%	2.40%	20.82	41.75	46.69	38.99	21.98	4.18
1683	ISO	2.01	9.0	1.81%	9.92%	23.77%	33.24%	25.49%	5.77%	4.78	26.19	62.76	87.74	67.29	15.24
1684	ISO	0.04	7.7	29.72%	37.47%	22.64%	8.48%	1.63%	0.07%	4.46	5.62	3.40	1.27	0.24	0.01
1685	ISO	2.36	7.8	14.10%	33.22%	31.29%	16.68%	4.43%	0.27%	43.14	101.65	95.76	51.05	13.57	0.84
1686	ISO	1.67	7.8	19.40%	33.14%	27.60%	14.49%	4.76%	0.61%	72.56	123.93	103.20	54.18	17.80	2.29
1687	ISO	0.16	8.2	20.64%	30.44%	24.52%	15.37%	7.35%	1.68%	6.81	10.05	8.09	5.07	2.43	0.56
1688	ISO	0.1	7.8	28.58%	36.59%	22.96%	9.40%	2.27%	0.20%	10.58	13.54	8.49	3.48	0.84	0.07
1689	LOT	0	7.7	71.28%	22.39%	5.40%	0.87%	0.07%	0.00%	7.84	2.46	0.59	0.10	0.01	0.00
1690	LOT	0	8.4	44.75%	31.93%	16.87%	5.57%	0.86%	0.02%	6.26	4.47	2.36	0.78	0.12	0.00
1691	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	2.16	0.66	0.15	0.02	0.00	0.00
1692	ISO	0.34	9.1	2.30%	11.50%	24.76%	32.38%	23.75%	5.30%	1.19	5.92	12.76	16.69	12.24	2.73
1693	LOT	0	7.9	64.78%	26.34%	7.44%	1.33%	0.10%	0.00%	16.20	6.58	1.86	0.33	0.03	0.00

1694	LOT	0.03	7.9	28.41%	37.47%	22.16%	9.24%	2.51%	0.21%	6.82	8.99	5.32	2.22	0.60	0.05
1695	CV	7.17	9.2	1.02%	7.55%	21.04%	32.88%	28.59%	8.92%	4.23	31.24	87.04	136.00	118.24	36.90
1696	ISO	1.21	9.2	2.08%	9.26%	22.17%	32.68%	26.93%	6.88%	2.07	9.20	22.04	32.49	26.77	6.84
1697	ISO	0.32	7.9	18.40%	31.77%	27.26%	15.50%	6.06%	1.01%	12.64	21.83	18.73	10.65	4.16	0.69
1698	ISO	0.1	7.8	20.43%	34.24%	27.40%	13.31%	4.02%	0.61%	4.59	7.69	6.16	2.99	0.90	0.14
1700	CV	3.19	9.3	0.26%	4.71%	18.29%	33.65%	32.90%	10.20%	0.60	11.06	42.96	79.04	77.29	23.97
1701	ISO	0.17	8.5	11.80%	22.49%	24.29%	21.68%	15.39%	4.36%	2.81	5.35	5.78	5.16	3.66	1.04
1702	ISO	0.05	7.7	28.90%	37.19%	23.05%	8.94%	1.82%	0.09%	4.91	6.32	3.92	1.52	0.31	0.02
1703	ISO	0.28	9.3	2.99%	10.18%	20.46%	29.97%	27.68%	8.72%	0.87	2.96	5.95	8.71	8.05	2.54
1704	LOT	0	8.5	43.77%	28.59%	18.21%	7.77%	1.60%	0.06%	3.06	2.00	1.27	0.54	0.11	0.00
1705	ISO	0.52	9.1	2.42%	11.89%	25.28%	32.46%	23.09%	4.86%	2.04	10.06	21.38	27.45	19.53	4.11
1706	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	1.89	3.64	2.44	0.88	0.14	0.00
1707	LOT	0	8.1	56.72%	27.39%	11.75%	3.57%	0.54%	0.02%	12.48	6.03	2.59	0.79	0.12	0.00
1708	LOT	0	8.3	51.82%	29.32%	13.58%	4.48%	0.77%	0.03%	32.13	18.18	8.42	2.78	0.48	0.02
1709	LOT	0	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	3.76	3.96	1.77	0.45	0.05	0.00
1710	LOT	0	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	4.14	4.36	1.95	0.50	0.05	0.00
1711	LOT	0	8.4	45.25%	35.75%	14.92%	3.67%	0.40%	0.01%	2.71	2.15	0.90	0.22	0.02	0.00
1712	ISO	1.78	8.0	12.40%	29.75%	29.98%	19.01%	7.63%	1.23%	32.49	77.95	78.55	49.80	20.00	3.22
1713	LOT	0	8.6	37.61%	39.64%	17.73%	4.51%	0.50%	0.01%	4.51	4.76	2.13	0.54	0.06	0.00
1714	ISO	0.05	8.5	10.53%	27.61%	31.32%	21.47%	8.16%	0.91%	0.95	2.49	2.82	1.93	0.73	0.08
1715	ISO	1.78	8.1	12.23%	28.77%	28.59%	18.94%	9.30%	2.18%	31.31	73.64	73.20	48.48	23.81	5.57
1716	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	4.32	1.33	0.31	0.04	0.00	0.00
1717	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	5.76	1.77	0.41	0.06	0.00	0.00
1718	LOT	0	8.6	38.18%	39.35%	17.52%	4.45%	0.49%	0.01%	20.24	20.86	9.29	2.36	0.26	0.00
1719	LOT	0	9.1	21.55%	40.09%	26.91%	9.81%	1.60%	0.05%	4.31	8.02	5.38	1.96	0.32	0.01
1720	LOT	0	9.4	12.03%	35.86%	32.95%	15.67%	3.35%	0.13%	0.84	2.51	2.31	1.10	0.23	0.01
1721	LOT	0	9.3	15.36%	35.10%	31.40%	14.84%	3.17%	0.13%	6.60	15.09	13.50	6.38	1.36	0.05
1722	ISO	0.08	7.7	28.64%	36.80%	23.02%	9.26%	2.11%	0.16%	8.02	10.31	6.45	2.59	0.59	0.04
1723	LOT	0	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.17	4.42	3.07	1.14	0.19	0.01
1724	LOT	0	9.1	19.76%	40.14%	27.93%	10.40%	1.72%	0.05%	2.57	5.22	3.63	1.35	0.22	0.01

Microzonage sismique de Saint-Martin – annexes techniques

1725	COL	0.13	9.1	6.18%	28.29%	35.85%	22.69%	6.59%	0.39%	6.18	28.29	35.85	22.69	6.59	0.39
1726	LOT	0.01	9.2	19.33%	37.82%	28.70%	11.85%	2.23%	0.08%	7.73	15.13	11.48	4.74	0.89	0.03
1727	LOT	0.01	9.1	21.29%	38.52%	27.52%	10.73%	1.89%	0.06%	6.81	12.32	8.81	3.43	0.60	0.02
1728	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	14.40	4.43	1.02	0.15	0.01	0.00
1729	LOT	0	7.8	66.27%	24.10%	7.60%	1.80%	0.23%	0.01%	16.57	6.03	1.90	0.45	0.06	0.00
1730	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	10.80	3.32	0.77	0.11	0.01	0.00
1731	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	6.48	1.99	0.46	0.07	0.00	0.00
1732	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	7.20	2.21	0.51	0.07	0.00	0.00
1733	LOT	0	8.6	39.41%	33.85%	19.18%	6.52%	1.01%	0.03%	6.31	5.42	3.07	1.04	0.16	0.00
1734	ISO	0.76	8.3	19.32%	29.01%	25.09%	16.97%	8.07%	1.53%	34.01	51.05	44.17	29.88	14.21	2.70
1735	LOT	0.47	9.1	2.19%	17.42%	33.77%	31.39%	13.81%	1.41%	2.43	19.34	37.48	34.85	15.33	1.57
1736	ISO	20.22	9.1	3.31%	12.53%	24.44%	31.11%	23.15%	5.46%	97.26	368.27	718.13	914.42	680.23	160.54
1737	ISO	1.21	9.3	1.62%	9.16%	21.67%	31.95%	27.68%	7.92%	2.25	12.70	30.07	44.33	38.40	10.99
1738	ISO	0.68	9.1	2.99%	16.70%	30.12%	30.20%	16.90%	3.10%	4.79	26.71	48.19	48.32	27.04	4.96
1739	LOT	0.3	9.1	7.44%	28.90%	35.28%	21.82%	6.20%	0.36%	27.69	107.52	131.23	81.17	23.06	1.34
1740	COL	0	9.1	30.58%	40.97%	21.42%	6.23%	0.79%	0.02%	13.76	18.44	9.64	2.80	0.36	0.01
4736	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	10.50	20.24	13.57	4.89	0.78	0.02
5736	COL	4.48	9.4	0.14%	3.43%	15.88%	33.09%	35.66%	11.80%	0.50	12.34	57.16	119.13	128.37	42.49
6736	COL	4.18	9.4	0.14%	3.43%	15.88%	33.09%	35.66%	11.80%	0.47	11.52	53.35	111.19	119.82	39.66
7736	LOT	0	9.1	21.01%	40.47%	27.13%	9.78%	1.56%	0.04%	17.44	33.59	22.52	8.12	1.30	0.04
8701	ISO	0.03	7.7	21.52%	35.76%	27.84%	12.26%	2.52%	0.10%	1.71	2.83	2.21	0.97	0.20	0.01
8736	LOT	0	8.5	40.61%	33.42%	18.66%	6.31%	0.98%	0.03%	8.12	6.68	3.73	1.26	0.20	0.01
9700	ISO	0.83	9.3	2.40%	8.73%	19.45%	30.89%	29.41%	9.11%	2.02	7.33	16.34	25.95	24.70	7.65
9701	COL	1.86	7.8	11.95%	34.33%	31.66%	16.47%	4.99%	0.59%	37.29	107.12	98.79	51.39	15.57	1.84
9702	LOT	0	8.1	57.99%	25.34%	11.60%	4.22%	0.82%	0.03%	40.59	17.74	8.12	2.96	0.57	0.02
9715	LOT	0	7.7	71.98%	22.13%	5.10%	0.74%	0.05%	0.00%	25.91	7.97	1.84	0.27	0.02	0.00
9721	LOT	0	9.4	12.03%	35.86%	32.95%	15.67%	3.35%	0.13%	4.57	13.63	12.52	5.95	1.27	0.05
9736	COL	0.11	9.3	4.26%	23.49%	35.34%	26.64%	9.51%	0.76%	6.14	33.83	50.90	38.36	13.69	1.09



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Service géologique régional Guadeloupe
Parc d'activités de Colin
La Lézarde
97170 - Petit-Bourg - Guadeloupe
Tél. : 05 90 41 35 48