



HAL
open science

Exploitation des microzonages sismiques pour leur transcription en PPR sismiques aux Antilles françaises

Myriam Belvaux, Didier Bertil, Aude Nachbaur

► To cite this version:

Myriam Belvaux, Didier Bertil, Aude Nachbaur. Exploitation des microzonages sismiques pour leur transcription en PPR sismiques aux Antilles françaises. 9ème Colloque National de l'AFPS, Association Française de Génie Parasismique, Nov 2015, Marne-La-Vallée, France. hal-01227962

HAL Id: hal-01227962

<https://brgm.hal.science/hal-01227962>

Submitted on 12 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Exploitation des microzonages sismiques pour leur transcription en PPR sismiques aux Antilles françaises Transcription of microzonations into Seismic Risk Prevention Plans in the French Caribbean islands

Myriam Belvaux* — Didier Bertil* — Aude Nachbaur**

* BRGM

Centre scientifique et technique

3 avenue C. Guillemin, 45060 Orléans Cedex 2

m.belvaux@brgm.fr

** BRGM

Direction régionale de Martinique

Route Pointe des Nègres, 97200 Fort-de-France

RÉSUMÉ. Sur le fondement des microzonages sismiques réalisés en Martinique et en Guadeloupe entre 1994 et 2013, quatre projets de dossiers réglementaires Plans de Prévention des Risques Sismiques (PPRS) ont été élaborés pour les communes du Gosier et de Baie-Mahault (en Guadeloupe) et les communes de Fort-de-France et du François (en Martinique). Le projet de règlement précise les mesures associées à chacune des zones du document cartographique, en se focalisant sur les projets de constructions nouvelles. Des prescriptions particulières sont définies dans les zones à effets de site, dans les zones relatives à la présence de failles potentiellement actives et dans les zones soumises à la liquéfaction. La méthodologie générale de transcriptions des microzonages sismiques en PPRS comporte plusieurs étapes : la qualification de l'impact possible de chaque phénomène sur un bâtiment, la transcription de cet impact en niveau d'aléa (faible, moyen, fort), le croisement des aléas, la prise en compte des niveaux d'aléa dans le plan de zonage réglementaire, et enfin en fonction des enjeux exposés, des prescriptions réglementaires pour chaque phénomène. Ainsi par exemple des spectres de réponse élastiques adaptés aux sols mais également aux pratiques locales des bureaux d'études sont préconisés à la place des spectres des EC8.

ABSTRACT. On the basis of seismic microzonations conducted in Martinique and Guadeloupe islands between 1994 and 2013, four draft regulatory dossiers of Seismic Risk Prevention Plans (PPRS) were developed for the municipalities of Le Gosier and Baie-Mahault (in Guadeloupe) and Fort-de-France and Le François (in Martinique). The draft regulation specifies the measures associated within each area of the cartographic document, focusing on new construction projects. Specific requirements are recommended in areas prone to site effects, in areas exposed to potentially active faults and in areas subjected to liquefaction. The general methodology of transcription seismic microzonation into PPRS consists in several stages: the qualification of the possible impact of each phenomenon on a building, the transcript of this impact into a hazard level (low, medium, high), the cross-checking of hazards, the integration of hazard levels in the regulatory zonation plan, and finally according to the stakes, regulatory requirements for each phenomenon. For example, elastic response spectra adapted to soils but also to design local practices are recommended instead of the EC8 spectra.

MOTS-CLÉS : Plan de Prévention des Risques, aléa sismique, microzonage, spectres réglementaires.

KEYWORDS : Risk Prevention Plan, seismic hazard, microzonation, regulatory spectra.

1. Introduction

Antérieurement puis dans le cadre du Plan Séisme Antilles, une trentaine de microzonages sismiques ont été réalisés entre 1994 et 2014 en Martinique et en Guadeloupe, représentant près de la moitié des communes et 75 % de la population. Un des objectifs de la 2^{ème} phase du Plan Séisme Antilles (2015-2020), est « *d'élaborer, sur le fondement de ces microzonages, des plans de prévention des risques sismiques (PPRS), qui définiraient, en application de l'article R. 563-8 [du code de l'environnement], des règles de construction plus adaptées à la nature et à la gravité locale du risque, de par les valeurs caractérisant les actions sismiques locales.* » A la demande du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), des projets de dossiers réglementaires PPRS ont été élaborés pour quatre communes pilotes des Antilles : Le Gosier et Baie-Mahault en Guadeloupe, Fort-de-France et Le François en Martinique. Ci-après les références des microzonages sismiques réalisés par le BRGM sur ces communes : Monge *et al.* (1998), Bertil *et al.* (2009), Bengoubou-Valérius *et al.* (2013), Chassagneux *et al.* (1996), Auclair *et al.* (2011).

L'élaboration de PPRS nécessite de pouvoir transcrire les résultats techniques des études de microzonages en éléments réglementaires. D'une part, les caractéristiques des aléas étudiés dans les microzonages sont quantifiées sous forme de paramètres techniques souvent difficiles à interpréter en termes d'impact sur les enjeux exposés et de moyens d'actions possibles. D'autre part, les Plans de Prévention des Risques Naturels tiennent compte de la multiplicité des risques en dressant un plan de zonage multi-aléas (associé à une réglementation homogène), alors que les microzonages sismiques traitent de façon séparée les phénomènes liés à l'aléa sismique.

Les aléas sismiques considérés concernent les effets directs et induits consécutifs à la survenance d'un séisme : les ruptures de faille active en surface, les effets de site topographiques liés au relief, les effets de site lithologiques liés à la nature du sol et les phénomènes de liquéfaction. Les ouvrages couverts sont les bâtiments appartenant aux catégories d'importance II, III et IV selon la définition de l'arrêté ministériel du 22 octobre 2010 relatif aux bâtiments « à risque normal ». Enfin les PPRS proposés ne s'appliquent qu'aux projets de constructions neuves.

L'article présente la manière dont peuvent être exploités les microzonages afin de mettre en place des PPR sismiques, à travers plusieurs étapes illustrées ci-dessous et dans les paragraphes consacrés à chaque phénomène.

2. Principes généraux de règlement d'un PPRS

Les recommandations principales pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques Sismiques proviennent du guide pour la réalisation des PPR sismiques, publié en 2002 par la DPPR/SDRM (Garry et Fabriol, 2002) et des fiches thématiques du Comité d'Évaluation des PPRS (CEPPRS, 2010). Un PPR est composé : i) d'un rapport de présentation, ii) d'un plan de zonage unique pour toutes les composantes de l'aléa sismique (faille, effets de site, liquéfaction), iii) d'un règlement. Les zones du plan de zonage sont définies avec des codes de couleurs qui ont une signification en termes de niveau de contraintes et de nature des prescriptions imposées à une parcelle de terrain, indépendamment des aléas. Une harmonisation des modalités de représentation cartographique est en cours au niveau national ; néanmoins il existe des variantes en fonction des départements et des impératifs de cohérences avec les PPR multi-aléas en vigueur. Le Tableau 1 illustre le principe général de Règlements PPRN et PPRS sur l'exemple de Fort-de-France en Martinique.

Le code rouge ou violet (zone inconstructible) ne s'applique pas aux effets d'un séisme, car il est techniquement possible de construire en zone d'aléa sismique fort. Par contre l'interdiction de construire peut se discuter dans les zones d'aléa fort relatif aux effets induits (rupture de faille en surface, mouvements de terrain et liquéfaction). Si cette interdiction se justifie pour l'aléa mouvement de terrain (non traité dans le PPRS), elle est discutable pour la liquéfaction (voir §6) dans la mesure où les règles de construction parasismique prennent en compte ce phénomène.

Plan de Prévention des Risques Naturels en Martinique, 2013		Projet de Plan de Prévention des Risques Sismiques en Martinique	
Zone	Nature des prescriptions	Zone	Nature des prescriptions
Violet	Zones d'interdictions, avec possibilité d'expropriation. Aucune exception.		
Rouge	Zones d'interdictions, sauf exceptions précisées au règlement		
Orange	Zones avec prescriptions particulières et la nécessité de réaliser au préalable un aménagement global pour mise en sécurité vis-à-vis des aléas		
Orange bleu	Zones avec prescriptions particulières et la nécessité de réaliser au préalable une étude de risque		
Jaune	Zones soumises à prescriptions particulières	Jaune	Zones soumises à prescriptions particulières moyennes
		Jaune clair	Zones soumises à prescriptions particulières modérées
		Beige	Zones soumises à prescriptions particulières limitées

Tableau 1. Les différentes zones possibles et la nature des prescriptions se rapportant au zonage réglementaire en Martinique : PPRN 2013 (à gauche), projet de PPRS (à droite).

3. Transcription d'un microzonage vers un PPRS

Pour appliquer un principe général de réglementation PPRS (Tableau 1) et le décliner en prescriptions adaptées à chaque aléa, nous sommes amenés à définir un « niveau d'aléa » qualifié de faible, moyen ou fort. Premièrement, il convient de noter que ce terme de « niveau d'aléa » affiché dans les PPR est ambigu ; en effet, ces définitions sont généralement données de la façon suivante (PPR multi-aléas de Martinique, 2013) :

- Niveau d'Aléa Fort : Les risques de dommages y sont très redoutables. En général, il n'existe pas de mesures de protection efficaces et économiquement opportunes en dehors d'un aménagement de toute une zone concernée par l'aléa.

- Niveau d'Aléa Moyen : Il concerne des zones qui peuvent être le siège de manifestations physiques encore très dommageables notamment en raison de la constitution de leur sous-sol. Il existe cependant des mesures de nature à prévenir les conséquences du risque où à les rendre supportables à l'égard des biens et activités futurs.

- Niveau d'Aléa Faible : Les risques de dommages y sont limités.

Ce « niveau d'aléa » ne se rapporte pas uniquement à la qualification de l'ampleur d'un phénomène, mais se rapporte à la qualification de l'ampleur de son impact sur un enjeu, ce qui va au-delà de la définition d'un aléa et empiète ainsi sur la notion de risque, d'où une certaine ambiguïté. Pour la transcription d'un microzonage sismique vers un PPRS, le besoin est de transformer un aléa quantitatif étudié indépendamment des enjeux en « niveau d'aléa » qualitatif qui s'applique à un enjeu particulier (conséquences d'un séisme sur le bâti).

Deuxièmement, il convient de bien interpréter cette notion d'aléa qualifié de faible, moyen ou fort. Par exemple, un aléa faible « effet de site lithologique » ne signifie pas que le niveau de la secousse est faible. Les Antilles se situent réglementairement en « zone de sismicité forte » avec une accélération maximale horizontale fixée à 3 m/s^2 ($T=475$ ans). La secousse est donc forte, avec ou sans effet de site. Un aléa faible « effet de site » signifie que l'impact supplémentaire dû à l'amplification de la secousse liée à la configuration du sol est faible.

Enfin, ces « niveaux d'aléa » répondent au besoin de pouvoir comparer les impacts relatifs des phénomènes naturels entre eux ; ces critères se doivent donc d'être compatibles en termes de types de prescriptions à imposer.

4. Failles actives

Généralement, une faille est considérée active si elle a subi des mouvements dans les temps historiques ou géologiques récents et si elle est susceptible d'être réactivée par un séisme dans le futur. Concrètement, on considère souvent que les failles actives sont celles qui ont joué dans les 35 000 dernières années ou qui ont joué plusieurs fois dans les 500 000 dernières années. Lorsque la rupture sismique se propage jusqu'à la surface du sol, la déformation co-sismique est caractérisée par une valeur de déplacement du sol au niveau du plan de faille actif, ainsi que par la direction de ce déplacement. L'aléa rupture en surface est donc représenté par une valeur quantitative de déplacement induit en surface le long de la ligne de rupture, et associée à une probabilité d'occurrence (ici pour les PPR la période de retour associée à cette probabilité est de 475 ans).

Terrier *et al.* (2002) proposent une démarche de classification de failles actives aux Antilles françaises en fonction de leur niveau d'activité (croissant de 1 à 3) et de leur niveau de connaissance (croissant de A à C). Les derniers microzonages sismiques effectués en Guadeloupe (Bengoubou-Valérius *et al.*, 2013) cartographient les failles actives présentes sur les communes et reprennent ce système de classification. Sa transcription, en termes de dommages attendus sur des bâtiments et infrastructures implantés sur la faille, repose sur l'analyse en retour de séismes majeurs ayant produit des ruptures en surface du sol dans le monde. Les exemples de destructions généralisées de bâtiments concernent des décalages supérieurs au mètre, provoqués par des séismes de magnitude au moins égale à 7,0. Or au niveau des Antilles, la probabilité de survenance d'un séisme de cette magnitude dans un contexte intraplaque et pouvant occasionner des ruptures en surface est extrêmement faible.

Aussi dans le cadre des Plans de Prévention des Risques, une interdiction stricte de construire dans une zone de faille semble très conservatrice. En 2010, le CEPPRS (Comité d'Evaluation des PPRS) a formulé des recommandations sous la forme de fiches thématiques. Pour les failles actives, le CEPPRS considère que seuls les ouvrages « à risque normal » de catégorie d'importance IV pourront être concernés par la réglementation relative aux failles actives. Ces dispositions peuvent être :

- soit une inconstructibilité dans les zones de failles actives, dans ce cas, à la fois le tracé des zones de failles et l'activité de celles-ci devront faire l'objet d' « évidences scientifiques absolument indubitables »,
- soit des dispositions constructives particulières dans la zone de failles actives afin que la structure (et ses fondations) soit peu sensible aux déplacements différentiels du sol.

Concernant la Martinique, l'état actuel des connaissances sur les failles à terre n'est pas satisfaisant pour pouvoir effectuer correctement une analyse de leurs ruptures co-sismiques en surface. Certaines failles sont mieux renseignées que d'autres et l'interprétation de certaines discontinuités cartographiques reste encore approximative et subjective. Par conséquent, et en tenant compte des recommandations émises par le CEPPRS en 2010, les failles potentiellement actives ne sont pas traitées dans les règlements PPRS en Martinique.

Concernant la Guadeloupe, compte tenu de la classification des failles actives réactualisée dans Bengoubou-Valérius *et al.* (2013), des ordres de grandeurs de déplacements attendus pour les systèmes de failles les plus actifs et des grandes périodes de retour des séismes sur ces failles, sont considérées :

- en aléa moyen : les failles classifiées en niveau d'activité 3,
- en aléa faible : les failles classifiées en niveau d'activité 2,
- en aléa négligeable : les failles classifiées en niveau d'activité 1, ainsi que les failles dont le niveau de connaissance est faible (niveau A).

La transcription de la cartographie des failles actives du microzonage, en aléa « rupture en surface », est illustrée pour le Plan de Prévention des Risques Sismiques de la commune de Gosier, en Figure 1a.

Dans le règlement PPRS de Guadeloupe, des prescriptions sont formulées uniquement pour les ouvrages de catégorie d'importance IV situés dans les zones d'aléa moyen « rupture en surface ». Le concepteur devra s'assurer que le bâtiment et ses fondations résistent à des déplacements différentiels verticaux possibles de 20 cm

en cas de rupture en surface de la faille. L'usage de valeurs de déplacement différentiel inférieures à 20 cm sera soumis à autorisation au regard d'une étude géologique et/ou géophysique préalable. Les zones d'aléa faible « rupture en surface » ne seront pas soumises à des préconisations particulières. Par contre, il sera demandé d'informer le citoyen sur la présence de failles (niveaux d'activité 3 et 2) identifiées sur le territoire communal.

5. Effets de site topographiques

Dans les études de microzonage sismique, les effets de site topographiques sont pris en compte par l'application d'une approche forfaitaire empirique inspirée de la précédente réglementation parasismique française PS-92, reprise au niveau européen. En effet, les règles Eurocode 8 tiennent compte de ces effets par l'application d'un coefficient multiplicateur S_T pour les ouvrages se trouvant dans les situations topographiques de rupture de pente, de crête, de falaise, de sommet, d'escarpement.

La prise en compte des effets de site topographiques dans le calcul de l'agression sismique et à l'échelle d'une parcelle visée par un projet de construction, requière une géométrie suffisamment fine du relief. Dans le cadre du PPRS, le principe est d'évaluer d'un point de vue cartographique les zones où peuvent se produire ces phénomènes. Ainsi les zones susceptibles de présenter un effet de site topographique sur un territoire communal donné n'ont qu'une valeur informative pour indiquer les secteurs où une évaluation précise de la pente à l'échelle de la parcelle est souhaitable pour l'application du coefficient multiplicateur S_T . Elle ne se substitue pas à une évaluation propre au site de construction, dont la topographie finale peut évoluer par rapport à la topographie naturelle des lieux.

Le PPRS ne donne aucune prescription spécifique autre que l'application de la réglementation nationale.

6. Effets de site lithologiques

Le zonage des effets de site lithologiques permet de définir différentes zones de réponse sismique homogène, appelées classes de sols spécifiques, car différentes des catégories de sols standards établies dans les EC8 (NF-En-1998-1, 2005, Tab. 3-1). Le microzonage sismique fournit également des spectres de réponse spécifiques propres au contexte local, qui peuvent s'avérer plus adaptés que ceux imposés par les règles nationales. Il manque cependant deux niveaux d'interprétation à ces éléments :

- une appréciation sur l'ampleur des amplifications avec leurs effets attendus sur les bâtiments, et une appréciation sur la qualité des sols de fondations,
- une qualification en aléa faible/moyen/fort qui doit permettre une meilleure comparaison avec les autres aléas et ainsi une meilleure interprétation à des fins de plan de zonage réglementaire.

Un bâtiment entre en résonance lorsque le terrain sur lequel il est fondé se met à vibrer à une période proche de sa période de résonance. Il est donc important de fournir dans un PPRS une information qualitative sur la résonance des sols, afin d'attirer l'attention des constructeurs pour qu'ils adaptent en conséquence la hauteur des bâtiments. Par exemple, sur des sols très meubles en couches relativement épaisses dont la période de résonance est élevée, on privilégiera des constructions basses, oscillant à des courtes périodes. Il est proposé de qualifier cet impact de résonance sur les bâtiments à partir des coefficients d'amplification F_a et F_v (rapport entre l'accélération d'une classe de sol et l'accélération au rocher) définis dans le code de construction IBC utilisé notamment aux Etats-Unis, pour caractériser l'effet de site d'une classe de sol pour la grande majorité des typologies de bâtiment courant :

- F_a (rapport à 0.2 s) jugé représentatif des périodes courtes qui affectent particulièrement l'oscillation des bâtiments de conception rigide et/ou de faible hauteur,
- F_v (rapport à 1.0 s) jugé représentatif des périodes moyennes à longues qui affectent particulièrement l'oscillation des bâtiments de conception souple et/ou de grande hauteur.

La qualification de l'importance des effets de site repose ainsi sur les gammes de valeurs des coefficients d'amplification F_a et F_v données dans le Tableau 2.

Effet de site sur bâtiment rigide ou de faible hauteur		Effet de site sur bâtiment souple ou de grande hauteur	
faible à moyen	$F_a < 1.3$	faible à moyen	$F_v < 1.5$
moyen à fort	$F_a 1.3 \text{ à } 1.7$	moyen à fort	$F_v 1.5 \text{ à } 2.5$
fort	$F_a > 1.7$	fort	$F_v > 2.5$

Tableau 2. Critères de qualification d'impact de l'amplification lié à l'effet de site lithologique.

En fonction de la nature géotechnique des sols et de ses propriétés mécaniques, la portance des sols peut varier et le mode de fondation pour les projets de bâtiment doit être adapté. Il est proposé de qualifier la portance des sols en trois niveaux :

- « faible à moyenne » pour les sols mous sur lesquels des fondations spéciales sont à prévoir,
- « moyenne à bonne » pour des sols où le mode de fondation doit être apprécié au cas par cas,
- « bonne » pour des sols présentant des conditions optimales pour des projets courants.

L'information qualitative sur la portance du sol de fondation repose sur trois critères : le type de sol de la classification du guide CP-MI Antilles, la valeur du paramètre $V_{S,30}$ (qui fournit l'équivalence en classes de sols A à E de la réglementation nationale), le rapprochement avec le niveau d'aléa liquéfaction lorsqu'il est présent.

Les deux types de qualifications ci-dessus, en termes d'impact de l'amplification de la secousse dans certaines gammes de périodes d'une part, et d'impact de la nature des sols sur la fondation d'un bâtiment d'autre part, sont simplifiés afin de définir un niveau d'aléa adapté à chaque classe à effet de site. Sont considérées :

- en aléa moyen : les formations géologiques susceptibles de présenter un effet de site qualifié de « fort », ou une portance qualifiée de « faible à moyenne »,
- en aléa faible : les formations géologiques susceptibles de présenter un effet de site qualifié de « faible à moyen » ou de « moyen à fort », ou une portance qualifiée de « moyenne à bonne »,
- en aléa nul (rocher) : les terrains ne présentant pas d'effet de site ou une portance qualifiée de « bonne ».

Pour ce phénomène on ne définit pas d'aléa fort, car l'effet de site lithologique constitue une aggravation de l'aléa sismique régional, déjà défini comme fort par la réglementation nationale dans toutes les Antilles françaises. La transcription d'un zonage en classes de sol, en aléa « effet de site lithologique », est illustrée pour le Plan de Prévention des Risques Sismiques de la commune de Gosier, en Figure 1b.

En termes de prescription réglementaire, il n'y a pas d'obligation à distinguer les trois niveaux d'aléa « effet de site lithologique ». On peut avoir des prescriptions identiques pour l'aléa nul, faible et moyen (cas des PPRS en Martinique) ou définir des prescriptions supplémentaires pour l'aléa moyen (cas des PPRS en Guadeloupe). Par ailleurs, les prescriptions réglementaires sont modulées en fonction de l'importance des bâtiments.

Pour les bâtiments de catégories d'importance II et III, les spectres forfaitaires de la norme sont remplacés par les spectres spécifiques définis dans le microzonage. Ces spectres spécifiques sont à utiliser en tout point du territoire communal qu'il soit susceptible ou non de présenter des effets de site lithologiques. L'utilisation des règles simplifiées du guide CP-MI Antilles (2004) est possible pour les maisons individuelles respectant les conditions d'application.

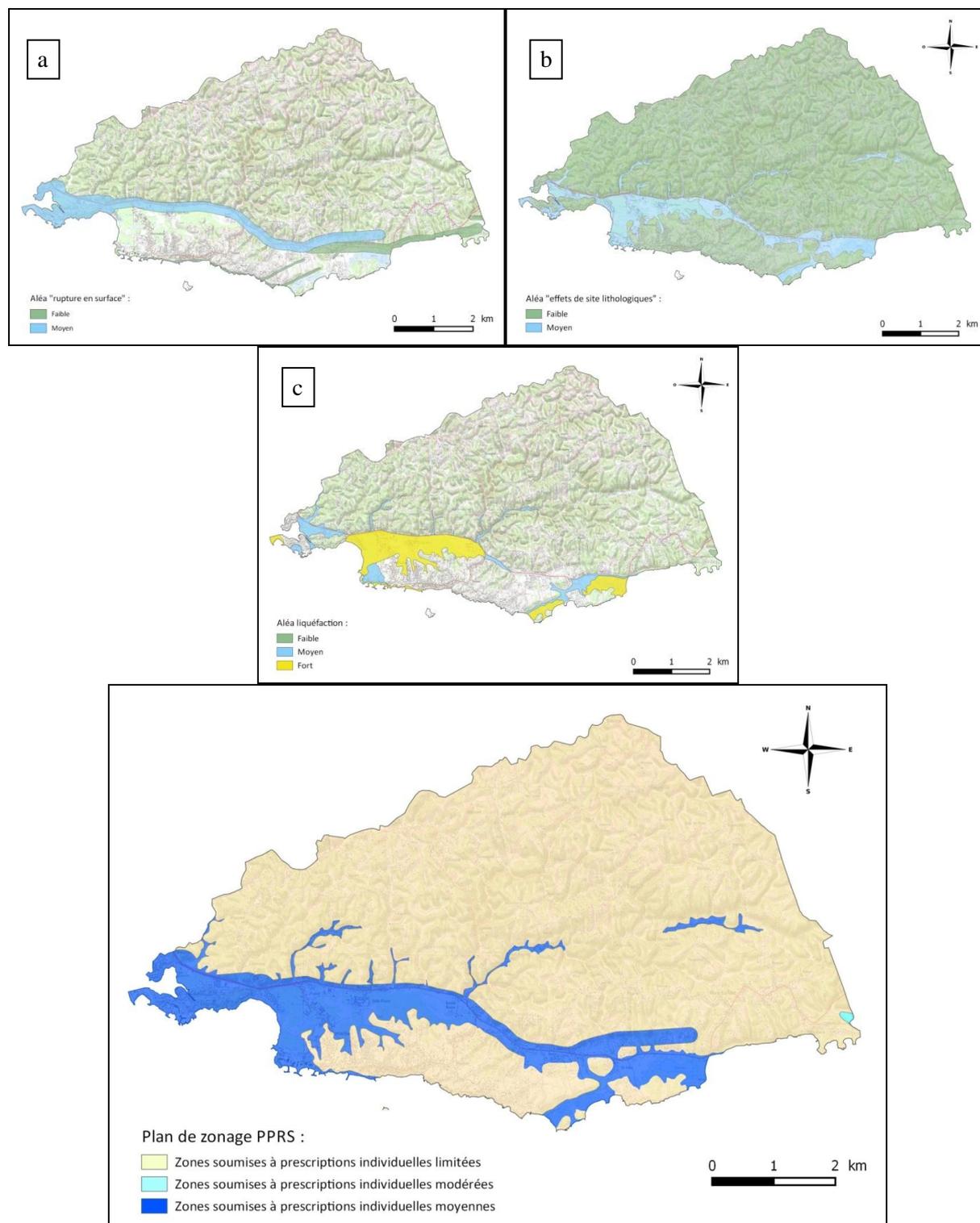


Figure 1. Cartographie des aléas (a) rupture de faille en surface, (b) effet de site lithologique, (c) liquéfaction ; et croisement de ces trois aléas en plan de zonage PPRS pour la commune du Gosier.

Pour tous les bâtiments projetés dans les zones d'aléa moyen, un avis géotechnique est nécessaire pour définir le mode de fondation le plus adapté. Cet avis préalable, au minimum de niveau G2-AVP (au sens de la norme NF-P 94-500 qui définit les missions d'études géotechniques normalisées), est recommandé dans le cas des projets de maisons individuelles, et obligatoire pour les autres bâtiments de catégorie d'importance II et pour les bâtiments de catégorie d'importance III et IV.

Pour les bâtiments de la catégorie d'importance IV conçus sur isolateurs parasismiques, un spectre spécifique au site devra être calculé conformément aux exigences des règles nationales EC8. Les valeurs d'accélération spectrales à retenir *in fine* ne devront pas être inférieures au 2/3 des valeurs du spectre EC8 correspondant à la classe de sols du site d'implantation du projet. Pour les bâtiments de catégorie d'importance IV autres que ceux conçus sur isolateurs, le spectre à retenir sera le plus pénalisant entre le spectre spécifique du microzonage et le spectre EC8, et ceci en fonction de la période propre de la structure.

7. Liquéfaction des sols

Le phénomène de liquéfaction induit une perte momentanée de portance de certains types de sols. Pour qu'il y ait liquéfaction sous l'action d'un séisme, il faut premièrement qu'il y ait susceptibilité du sol à la liquéfaction, i.e. que l'on soit en présence d'un terrain granulaire, dans un état peu compact, peu contraint et saturé. Deuxièmement, il faut qu'il y ait opportunité à la liquéfaction, i.e. que le terrain subisse des secousses sismiques suffisamment énergétiques par rapport à la résistance mécanique du sol.

Dans les études de microzonage sismique, l'évaluation du risque de liquéfaction s'appuie principalement sur les normes (PS-92, puis EC8 partie 5) et sur le guide de microzonage sismique de l'AFPS (1993) qui hiérarchise les études en 4 niveaux : études des paramètres d'identification des sols et études de niveaux A, B et C. En fonction de la méthodologie utilisée et des données disponibles, les cartographies de l'aléa liquéfaction issues des microzonages menés aux Antilles françaises présentent des variantes (les zones d'aléa nul à faible sont parfois regroupées, la distinction entre aléa fort et très fort est parfois délicate, etc.). Surtout cette qualification repose sur des niveaux d'appréciation différents :

- Les études les plus anciennes (Fort-de-France en 1996 ou Pointe-à-Pitre et Baie-Mahault Est en 1998) reposent essentiellement sur des considérations géologiques. Elles sont donc similaires à une étude qualitative de niveau A selon la définition du guide AFPS (1993) et définissent des niveaux de susceptibilité. Rappelons que ces études anciennes utilisaient abusivement le terme « aléa » plutôt que susceptibilité qui eût été plus adapté.

- Les études les plus récentes (François, Le Gosier, Baie-Mahault Ouest, et l'étude de risque liquéfaction sur Fort-de-France en 2011) sont des études de niveau C plus complètes répondant mieux à la définition d'un aléa (intensité et période d'occurrence). Elles examinent de nombreux critères dont l'intensité de liquéfaction, à partir de l'indice global de liquéfaction I_L associé à des niveaux de probabilité, d'intensité et d'aléa (Tableau 3). Cette qualification de l'aléa liquéfaction peut être reprise sans modification pour l'instruction d'un PPR sismique.

Valeurs de I_L	Probabilité	Intensité	Aléa
$I_L = 0$	Pas de liquéfaction	Pas de désordre	Nul
$0 < I_L \leq 5$	Liquéfaction peu probable	Désordres peu dommageables	Faible
$5 < I_L \leq 15$	Liquéfaction probable	Désordres dommageables	Moyen
$I_L > 15$	Liquéfaction quasi-certaine	Désordres très dommageables (entraînant la ruine)	Fort

Tableau 3. Association des valeurs d'indice de liquéfaction aux niveaux de probabilité, d'intensité et d'aléa liquéfaction (d'après AFPS, 1993).

Les cartographies de l'aléa liquéfaction à des fins de Plan de Prévention des Risques Sismiques font apparaître au plus quatre niveaux : nul/faible/moyen/fort (cas du Gosier en Figure 1c).

Sur le plan réglementaire, les secteurs identifiés comme soumis aux aléas liquéfaction faibles, moyens et forts font l'objet de prescriptions en cas de nouvelle construction sur ces terrains.

Les zones classées en aléa liquéfaction fort ou moyen présentent de manière avérée des terrains susceptibles de liquéfier en cas de séisme. Par conséquent, l'étude géotechnique de ces sols préalable à la construction devra être systématique pour en connaître l'épaisseur et pour quantifier les conséquences du phénomène sur le bâti. Cette étude devra être au minimum de niveau G2-AVP avec la mise en œuvre de moyens permettant d'estimer le risque de liquéfaction ; si ce risque est avéré il est demandé de réaliser une étude de niveau G2-PRO.

Les prescriptions sont moins contraignantes en zones d'aléa liquéfaction faible, car il faut commencer par s'interroger sur la présence ou non de terrains véritablement liquéfiables. Ainsi pour les projets de maisons individuelles en zones d'aléa faible, il est recommandé de réaliser une étude de type G1-PGC accompagnée de la mise en œuvre d'outils appropriés (type sondage CPTu) pour vérifier la propension des terrains à liquéfier. Par contre, ces études sont rendues obligatoires pour les autres bâtiments de catégorie d'importance II, ainsi que pour ceux des catégories d'importance III et IV.

Dans les zones à urbaniser (enjeux forts futurs) soumises à un aléa liquéfaction fort, s'est posée la question de prescrire des opérations préalables à l'aménagement de ces secteurs, qui prendraient en compte le risque de liquéfaction par des traitements globaux visant à le réduire et à ne pas l'aggraver sur les parcelles alentours. Dans le règlement PPRS, il est demandé d'étudier la possibilité de réaliser une étude d'aménagement global du périmètre, qui devra définir les recommandations, prescriptions ou interdictions applicables aux aménagements et constructions futurs.

8. Etablissement de la carte réglementaire

Le plan de zonage réglementaire est une carte unifiée qui résulte d'un double croisement : le croisement entre niveau d'aléa et niveau de prescriptions, et le croisement des trois aléas en chaque point du territoire.

La première étape consiste à établir un principe général de règlement pour chaque aléa analysé. Si le phénomène est présent sur le territoire de la commune, on évalue pour chaque niveau d'aléa les dispositions générales en termes de règles d'urbanisme, les prescriptions particulières en termes de règles de construction, et le code de couleur à y associer. La deuxième étape est cartographique puisqu'elle consiste à croiser les couches SIG des différents aléas sismiques. Lorsque plusieurs aléas sont présents sur un même périmètre, c'est le niveau de contrainte le plus élevé qui est retenu dans le plan de zonage. Pour la commune de Gosier, le croisement concerne les aléas rupture en surface, effets de site lithologiques et liquéfaction (Figure 1).

Suite à ces croisements, l'établissement de la carte réglementaire PPRS sur chacun des territoires est issu de plusieurs échanges entre le BRGM et chacune des DEAL ; les DEAL ayant le souci d'assurer une cohérence entre ces nouveaux PPRS et les PPR multi-aléas en vigueur, le BRGM ayant le souci de proposer une démarche homogène entre la Guadeloupe et la Martinique. La représentation finale des règlements dans les documents de PPRS constitue donc un compromis entre ces deux tendances.

9. Conclusion

Quatre projets de dossiers réglementaires Plans de Prévention des Risques Sismiques (PPRS) ont été élaborés pour les communes du Gosier et de Baie-Mahault (en Guadeloupe) et les communes de Fort-de-France et du François (en Martinique). Les règlements PPRS précisent les prescriptions associées à chacune des zones du plan de zonage. Des prescriptions particulières sont définies dans les zones à effets de site, dans les zones relatives à la présence de failles potentiellement actives et dans les zones soumises à la liquéfaction. Par exemple, le PPRS

définir des spectres de réponse alternatifs aux spectres réglementaires, qui prennent en compte les caractéristiques locales des sols. Ces projets de PPRS ont été présentés et discutés lors de plusieurs séances de concertation entre le BRGM, la CCIAPSA, la DGPR, les DEAL Martinique et Guadeloupe, des professionnels de la construction et les services techniques et d'urbanisme des collectivités concernées. Le contenu et la présentation des pièces réglementaires PPRS ont dû s'adapter à chacun des territoires, pour garantir une cohérence optimale avec les PPR multi-aléas en vigueur en tenant compte des spécificités réglementaires de chacune des deux îles.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les partenaires institutionnels, le Bureau des Risques Naturels Terrestres à la DGPR/MEDDE et les Pôles Risques Naturels des DEAL de Guadeloupe et de Martinique, pour leur implication.

10. Bibliographie

- AFPS, *Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique*, novembre 1993.
- AFPS, *Guide de construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles dit « Guide CP-MI Antilles »*, Recommandations AFPS Tome IV, 2004, 144 p.
- Auclair S., Abad J., Barras A.V., Belvaux M., Bertil D., Le Moigne B., Monfort-Climent D., Vanoudheusden E., Microzonage sismique de la commune du François (Martinique). Rapport BRGM/RP-60016-FR, 2011, 148 p.
- Bengoubou-Valérius M., Roullé A., Agastin L., Bourdon E., Noury G., Monfort-Climent D., Terrier M., Bertil D., Auclair S., et al., Microzonage sismique de la commune du Gosier (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-61986-FR, 2013.
- Bertil D., Roullé A., Mompelat J.M., Auclair S., Bengoubou-Valérius M., Bitri A., Chauvet M., Gehl P., et al., Microzonage sismique des communes de Baie-Mahault et Lamentin (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-57487-FR, 2009, 174 p.
- CEPPRS, *Comité d'Evaluation des Plans de Prévention du Risque Sismique. Fiches thématiques.* http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/fiches_ceprs_novembre2010.pdf, 2010.
- Chassagneux D., Martin C., Monge O., Samarcq F., Sedan O., Microzonage sismique des communes de Schoelcher, Fort-de-France et Le Lamentin : effets de site et liquéfaction. Rapport BRGM R39186, 1996, 93p.
- Fabriol H., Garry G., *Plan de prévention des risques naturels (PPR) : Risques sismiques - Guide méthodologique*, La Documentation Française, 112 p., 2002, ISBN 2-11-005156-6.
- IBC, International Building Code. International Code Council, ICC, 4051 West Flossmoor Road, Country Club Hills, IL 60478, USA, 1ST printing, 2009, 650p.
- NF P06-013, *Règles de construction parasismique : règles PS applicables aux bâtiments, dites règles PS92 (P 06-030-1)*, AFNOR, Paris, décembre 1995.
- NF En 1998-1, *Eurocode 8, Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments (P 06-030-1)*, AFNOR, Paris, septembre 2005.
- NF En 1998-5, *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, septembre 2005.
- Monge O., Vermeersch F., Martin C., Microzonage sismique de l'agglomération pointoise : extension aux communes des Abymes et du Gosier et homogénéisation. Rapport BRGM/RP-39213-FR, 1998, 78 p.
- Terrier M., Combes Ph., et al., 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, 2002, 118 p.
- Vanoudheusden E., Abad J. et Noury G., Évaluation et prévention des risques de liquéfaction sur la commune de Fort-de-France (Martinique) – Rapport des phases 2, 3 et 4. Rapport BRGM RP-60143-FR, 2011, 141 p.