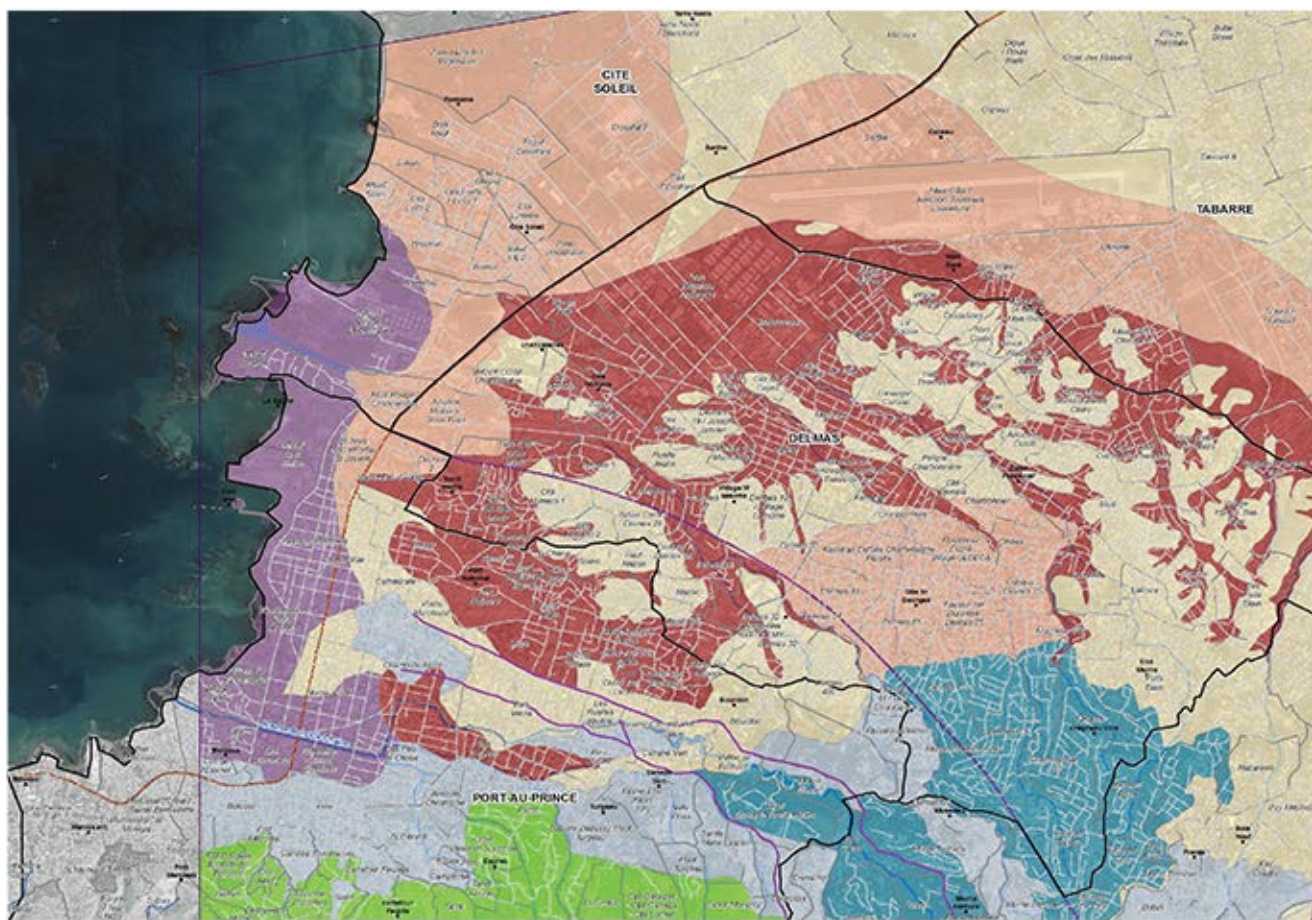




**Ministère des Travaux Publics,
Transports et Communications (MTPTC)**

Le microzonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince en 10 fiches

Octobre 2014





MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

NOTICE

« *Le Microzonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince en 10 fiches* » est une version allégée de l'étude réalisée de 2011 à 2013 en partenariat entre le BRGM, le LNBTP et le BME dans le cadre du contrat de recherche pour le MTPTC sur des fonds de l'Etat haïtien. Cette étude couvre l'agglomération de Port-au-Prince sur environ 80 km² et est répartie sur les communes de Port-au-Prince, Pétion-Ville, Delmas, Tabarre et Cité Soleil.

Cette version allégée s'adresse à tous ceux qui veulent, d'une part, se faire une idée rapide du contenu et des résultats de l'étude de microzonage et, d'autre part, prendre connaissance des principaux aléas qui peuvent affecter leurs zones résidentielles en cas de séismes majeurs dans le futur. Aux professionnels de la construction, aux Bureaux d'études spécialisées et aux aménageurs qui souhaitent obtenir beaucoup plus de détails techniques sur cette étude, nous soulignons à leur attention que le rapport final du projet comprend :

1. Un rapport de synthèse (69 p.) accompagné des cartes suivantes à l'échelle 1/25 000^e pour l'ensemble de la zone d'étude et au 1/10 000^e pour deux zooms sur les centres villes de Port-au-Prince et de Pétion-Ville :

- Planche 1 : Carte des faciès lithologiques et des failles
- Planche 2A : Carte des zones de réponse sismique homogène - Classes de sols spécifiques
- Planche 2B : Carte des zones de réponse sismique homogène - Classes de sols du code de construction IBC
- Planche 3 : Carte de zonage des effets de site topographiques
- Planche 4 : Carte d'aléa mouvement de terrain
- Planche 5 : Carte d'aléa liquéfaction

Ce rapport de synthèse et les cartes sont disponibles et téléchargeables sur les sites internet suivants :

www.mtptc.gouv.ht ; www.lnbtp.gouv.ht ; www.bme.gouv.ht

1. Un rapport géologique (86 p.)
2. Un rapport sur les mouvements de terrain (91 p.)
3. Un rapport sur les effets de site et la liquéfaction (142 p.)
4. Quatre Annexes concernant les mesures géophysiques et géotechniques (436 p.).

Pour toutes informations, contactez le LNBTP à Delmas 33, Rue Toussaint Louverture # 27, Port-au-Prince, Haïti





MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

INTRODUCTION

Contexte de l'étude

Le séisme du 12 janvier 2010 est venu rappeler de façon dramatique et brutale la menace trop longtemps sous-estimée de la forte exposition du territoire d'Haïti au risque sismique. Les dégâts considérables observés et le nombre très élevé de victimes sont liés à la conjonction de deux facteurs : la puissance du séisme au niveau du segment de faille qui a rompu et la forte vulnérabilité des bâtiments exposés. Mais, viennent aussi s'ajouter des facteurs aggravants liés à la nature même des sols et du sous-sol qui amplifient le potentiel destructeur du séisme sur certains sites avec localement des concentrations de dommages importants. Le constat d'accroissement de la vulnérabilité en Haïti, entre autres liée à l'augmentation de la démographie et donc de l'urbanisation, nécessite la

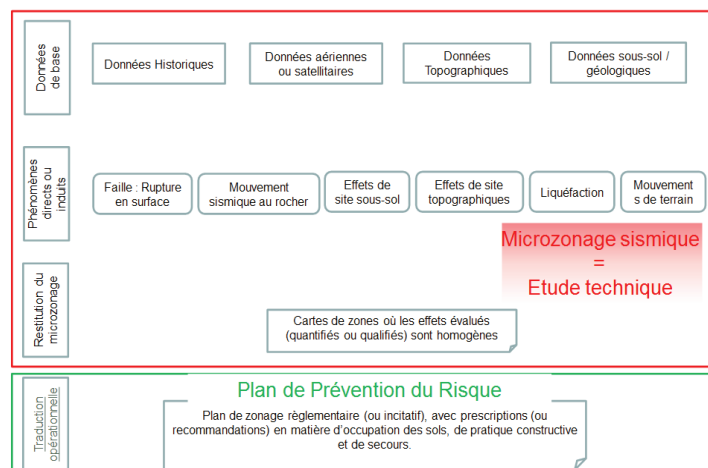


mise en place d'un programme national et régional de réduction des pertes et dommages pouvant résulter de tremblements de terre futurs. Ce programme viserait à (i) reconstruire les zones détruites, (ii) réduire la vulnérabilité sismique des zones urbaines fortement exposées aux séismes futurs, (iii) aménager de nouvelles zones urbaines en périphérie de Port-au-Prince et d'autres métropoles régionales. Pour cela, la connaissance des terrains et de leur comportement en cas de séisme est un préalable indispensable. Le microzonage sismique répond à ce besoin en déterminant une catégorisation des sites en fonction de leur niveau de danger et en identifiant les zones où des effets de site importants sont susceptibles de survenir.

A quoi sert le microzonage sismique ?

Le microzonage sismique est un outil de **connaissance de l'aléa à l'échelle d'une commune ou d'une agglomération urbaine**. Dans les actions de réduction du risque, le microzonage sismique est à la fois : a) un outil de **prévention** pour orienter l'urbanisation et réduire la vulnérabilité ; b) un outil de **prévision** dans la mesure où il cible les zones les plus dangereuses, c'est en cela un outil utile pour la planification des secours ; c) un outil d'**information** et de sensibilisation des populations sur les risques.

Plus particulièrement, le microzonage sismique permet : 1) la fourniture de paramètres techniques de mouvements du sol pour les bureaux d'étude et maîtres d'ouvrage ; 2) une aide à la mise en œuvre des règles parasismiques ; 3) la fourniture de données de base pour la réalisation de Plans de Prévention des Risques (PPR) et de Scénarios de Risque sismique ; 4) de définir un cadre de réflexion pour l'aménagement urbain ; 5) une utilisation en support de communication et de sensibilisation pour l'information préventive.



Méthodologie de réalisation d'un microzonage sismique

A qui s'adresse le microzonage sismique ?

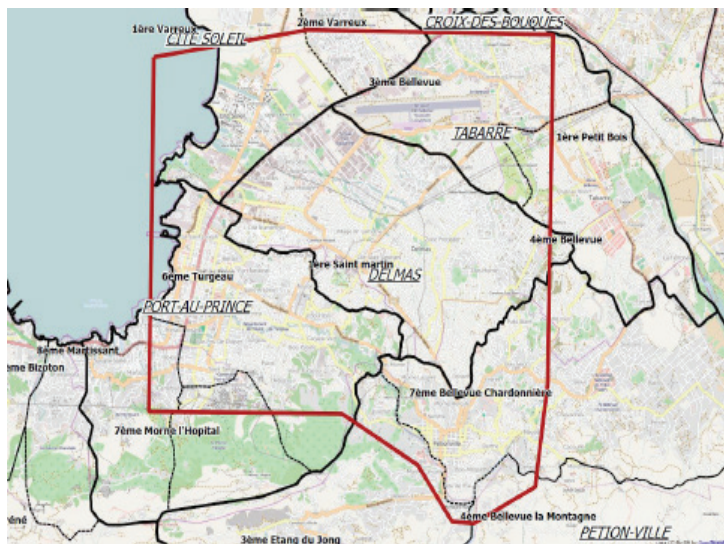
Destiné aux décideurs, aux aménageurs, aux constructeurs, aux ingénieurs structure, aux architectes mais aussi au public, le microzonage sismique a un caractère opérationnel, très appliqué, utilisable aussi bien pour la reconstruction des zones détruites du territoire haïtien que pour la mise en place d'une politique préventive d'aménagement du territoire, prenant en compte les risques naturels.

Description de la zone couverte par le projet

Le microzonage sismique de Port-au-Prince couvre la zone urbaine de Port-au-Prince sur environ 80 km².

La zone d'étude concerne 5 communes :

- ☐ Port-au-Prince (sections communales de Turgeau, Morne l'Hôpital et Martissant)
- ☐ Delmas (section communale de Saint Martin) sur la quasi-totalité de la commune
- ☐ Pétion-Ville (sections communales de Bellevue, Chardonnière, Bellevue la Montagne et Etang du Jong)
- ☐ Cité Soleil (sections communales de Vareux)
- ☐ Tabarre (section communale de Bellevue)



Délimitation de la zone d'étude (en rouge)

Les exécutants du projet

L'étude du microzonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince a été réalisée en partenariat entre le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de la France, le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) et le Bureau des Mines et de l'Energie (BME), dans le cadre du contrat de recherche pour le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) sur des fonds de l'état Haïtien (Trésor public) agréés par le Ministère de la Planification et de la Coopération Externe (MPCE). Ce travail a bénéficié de l'appui du PNUD en tant que facilitateur, de la collaboration du Centre National d'Information Géo-Spatiale (CNIGS) et d'informations et des données fournies par la Faculté des Sciences (FDS-Urgeo) de l'Université d'Etat d'Haïti (UEH). Le mémorandum de coopération a été signé le 25 mai 2010. L'étude a été exécutée de septembre 2011 à décembre 2013.

Référence

*Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100-Fr.
Décembre 2013*





MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

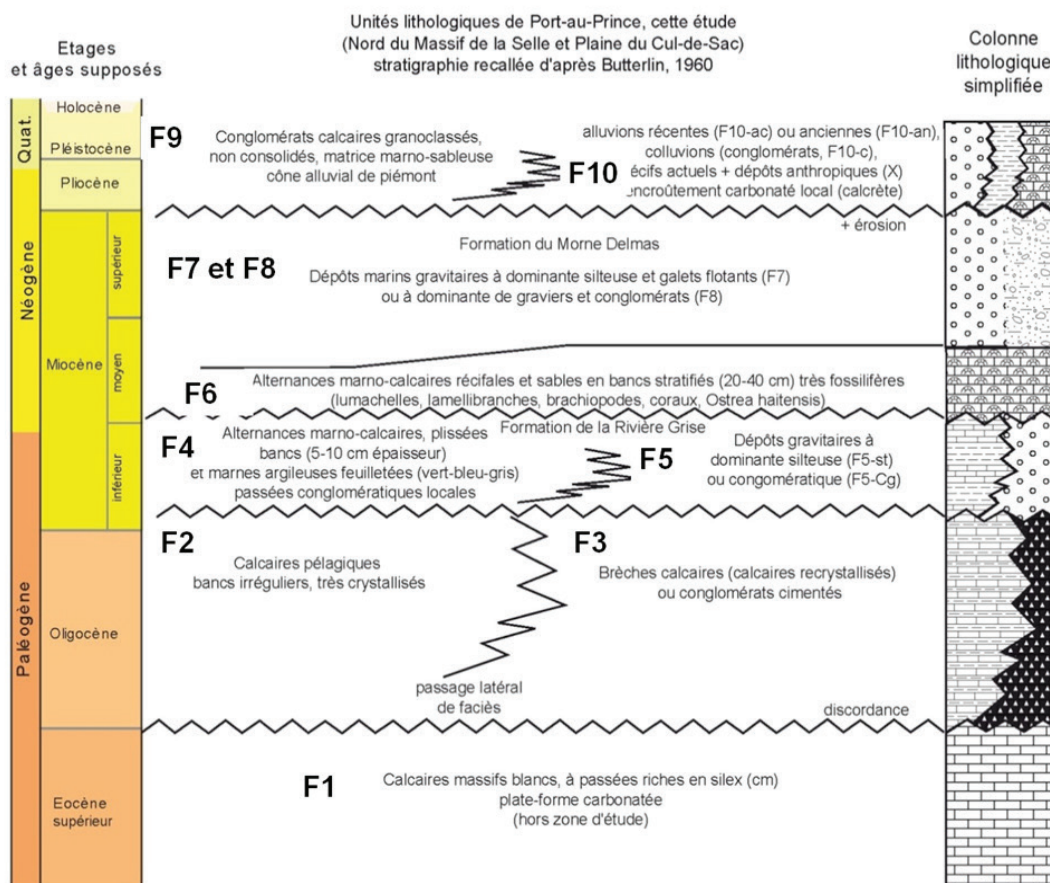
FACIÈS GÉOLOGIQUES ET FAILLES

De façon générale, les microzonages doivent permettre de mieux prendre en compte le risque sismique dans la politique d'aménagement des villes. L'étude géologique des terrains constitue une des premières étapes nécessaires à l'élaboration du microzonage. Il s'agit de décrire la nature et l'épaisseur des formations superficielles ainsi que la nature du substratum. L'étude géologique doit aussi préciser la géométrie des terrains y compris la présence de failles potentiellement actives. La cartographie des faciès géologiques constitue une donnée d'entrée nécessaire à l'identification des différentes zones sismiques susceptibles de produire des réponses de sols distinctes. Dans le cadre du projet de microzonage sismique, l'agglomération de Port-au-Prince a fait l'objet d'une cartographie géologique à l'échelle 1/25 000.

Faciès géologiques observés

Les sédiments observés sur la zone d'étude sont des sédiments détritiques, c'est-à-dire formés de débris de roches.

D'un point de vue général, le substratum rocheux se compose de trois classes granulométriques principales : les silts, les marnes et les conglomérats (ou brèches). Les faciès sableux sont rarement rencontrés. Les marnes sont fréquemment associées aux calcaires pour constituer des alternances « marno-calcaires » parfois fossilisées.



Synthèse lithostratigraphique du secteur étudié

Les différents faciès rencontrés ont été classés en 10 types ou unités géologiques, du plus ancien au plus récent, **F1** (d'âge Eocène supérieur) à **F10** (d'âges Plio-Quaternaire à Actuel). Ces faciès sont essentiellement dominés par les carbonates remaniés, produits d'érosion du Massif de la Selle situé au Sud de Port-au-Prince.



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

ALÉA SISMIQUE D'HAÏTI : ALÉA RÉGIONAL

L'aléa sismique indique la probabilité d'une action sismique prenant en compte la contribution des tremblements de terre possibles (de magnitude ou intensité différentes) susceptibles d'affecter un site ou une zone donnée pour une période de temps donnée. **L'aléa régional** considère un sol rocheux homogène. **L'aléa local** prend en compte les effets liés aux configurations géologiques et topographiques locales qui peuvent perturber l'aléa régional.

Le microzonage sismique procède à l'évaluation et à la cartographie de **L'aléa local** qui prend en compte l'influence du sol sur les effets locaux des séismes. Cet aspect sera abordé dans les fiches # 4, 5, 6 et 7.

Evaluation de l'aléa régional

L'aléa sismique d'Haïti a été réévalué en 2010 par l'USGS, United States Geological Survey (Frankel et al., 2010) selon une méthodologie d'évaluation probabiliste de l'aléa sismique. Les cartes produites correspondent à l'accélération maximale du sol (PGA), l'accélération spectrale à 0,2 sec. (SS pour courte période), l'accélération spectrale à 1,0 sec. (S1 pour longue période), avec une probabilité de dépassement de 2% en 50 ans (période de retour 2475 ans).

Cette évaluation d'aléa est utilisée comme référence d'aléa régional pour le code de construction CNBH 2012 d'Haïti. Pour le présent microzonage sismique, l'aléa régional est basé sur les cartes de Frankel et al. (reprises pour le code CNBH).

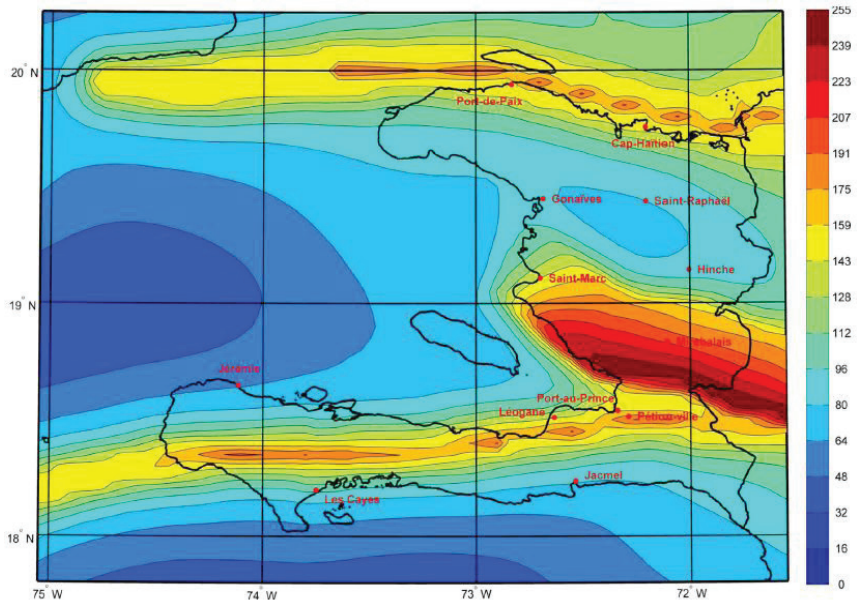


Figure 1. Aléa régional pour la période spectrale de 0,2s (accélérations en %g) et la période de retour 2475 ans d'après Frankel et al. (2010).

La Figure 1 ci-dessus présente la carte d'accélération spectrale SS à 0,2 sec. exprimée en pourcentage de l'accélération due à la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). **Les cartes d'accélérations SS et S1 sont celles utilisées comme référence d'aléa régional dans les codes de construction basés sur l'IBC.**

Sur cette carte de Frankel et al. (2010) (Fig. 1), l'aléa régional au Nord de la Plaine du Cul-de-Sac (Chaîne Matheux-Neiba) est beaucoup plus élevée qu'à proximité du système de faille Tiburon-Pétionville, ce qui semble en incohérence avec le contexte tectonique qui indique une activité sismique prédominante sur les deux systèmes de faille majeurs : Septentrional au Nord et Tiburon-Pétion-Ville au Sud. Une remise à niveau de la carte d'aléa sismique est nécessaire dans un futur proche. Pour Port-au-Prince, on considère que le niveau d'aléa de cette carte est suffisamment représentatif. Par contre, il devra certainement être reconsidéré pour toute la partie centrale de l'île.

Evaluation de l'aléa régional pour l'agglomération de Port-au-Prince

Sur la seconde Figure (Fig.2), la zone d'étude de microzonage est représentée en rouge sur la carte d'aléa sismique pour la période de retour 2475 ans et la période spectrale 0.2 sec. Les limites des communes concernées par le microzonage sont représentées en noir.

L'aléa régional n'est pas uniforme sur la zone d'étude. Il est plus fort à Pétion-Ville et diminue graduellement vers la Plaine du Cul-de-Sac avec un minimum sur la commune de Cité-Soleil. Ces variations d'aléa régional sont prises en compte pour le calcul des effets de site lithologiques (Fiches 3 et 4).

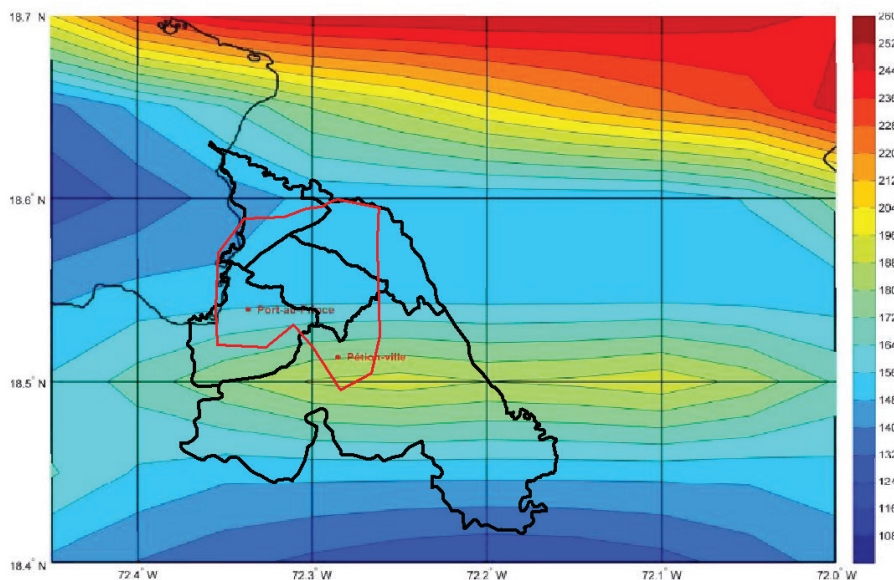


Figure 2. Aléa régional pour la période spectrale de 0.2 sec. (accélérations en %g) et la période de retour 2475 ans

Spectres de référence au rocher sur la zone d'étude

Les spectres d'accélération au rocher (sol B, selon la classification NEHRP) sont calculés selon le code ASCE-7-05 repris dans le code IBC 2009 et CNBH. Ces spectres et les paramètres associés sont représentés sur la Figure 3 et le Tableau ci-dessous.

Commune	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)	PGA rocher (g)	T_0 (s)	T_s (s)
Cité Soleil	1.48	0.51	0.39	0.07	0.35
Tabarre	1.54	0.56	0.41	0.07	0.36
Delmas	1.54	0.56	0.41	0.07	0.36
Port-au-Prince	1.56	0.58	0.42	0.07	0.37
Pétionville	1.79	0.67	0.48	0.07	0.37

Paramètres associés aux spectres de référence au rocher

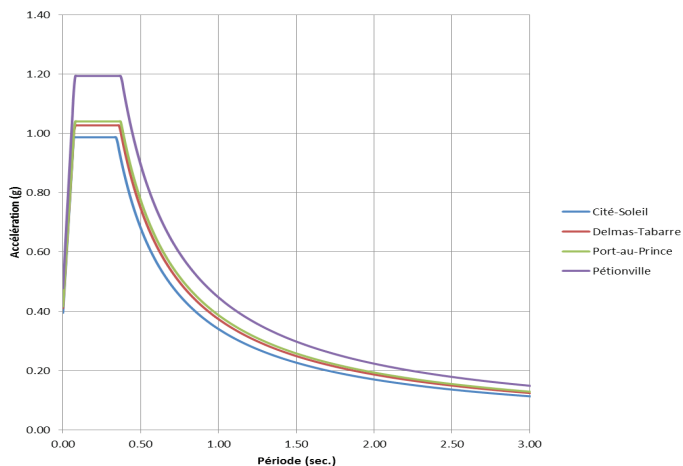


Figure 3. Spectres de référence au rocher pour les communes concernées par le microzonage sismique

N.B. Un spectre d'une classe de sol est construit à partir de deux paramètres S_{DS} et S_{D1} calculés à partir, d'une part des paramètres S_S et S_1 calculés à partir des valeurs d'accélération aux périodes 0,2 sec. et 1,0 sec. de l'aléa au rocher (période de retour 2475 ans), et d'autre part de coefficients d'amplification F_a (pour S_{DS}) et F_v (pour S_{D1}). Ces coefficients quantifient l'amplification en accélération spectrale par rapport à un sol rocheux (classe B) pour les périodes 0,2 sec. (F_a) et 1,0 sec. (F_v). Les périodes du plateau T_0 et T_s sont déduites de ces deux valeurs.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

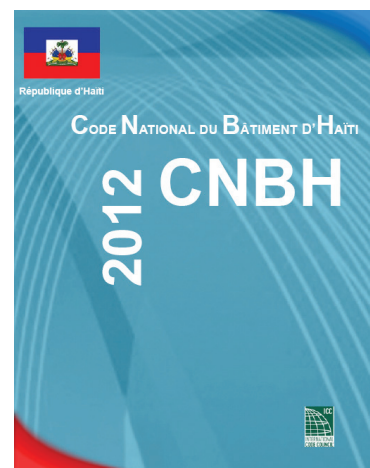
MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

ZONAGE EN CLASSES DE SOL IBC (NEHRP)

Règles parasismiques en Haïti

Les règles parasismiques applicables en Haïti sont énoncées dans le Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH, 2012) édité par le MTPTC.

Les dispositions des codes de l'International Code Council (ICC) et en particulier celles de l'International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC, 2009) et de l'International Building Code (IBC, 2009), sont reconnus comme les principaux codes de référence du CNBH. Les recommandations de l'IRC (2009) s'appliquent aux logements résidentiels pour une ou deux familles et ne dépassant pas trois niveaux. Les recommandations de l'IBC (2009) s'appliquent aux autres bâtiments.



Classification des sols

Pour l'IBC (2009), la réponse d'un site est établie de manière forfaitaire en fonction de la catégorie de sol selon la classification établie dans le NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program). Dans cette classification, le paramètre principal permettant de différencier les sols est basé sur la vitesse moyenne de propagation des ondes de cisaillement (VS) dans les 30 premiers mètres (paramètre V_{s30}). NSPT est le nombre de coups au Pénétromètre Standard SPT (Standard Penetration Test) ; c_u est la cohésion non drainée. Le Tableau ci-dessous résume cette classification.

Mesures géophysiques MASW

Classes de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT} (cps/30cm)	c_u (kPa)
A	Rocher « dur »	>1500	-	-
B	Rocher	760-1500	-	-
C	Rocher « mou » ou sol ferme	360-760	> 50	> 250
D	Sol « mou »	180-360	15-50	70-250
E	Sol très « mou »	< 180	< 15	< 70

Classes de sol du Code IBC

Pour déterminer l'influence du contraste de vitesse dans un sol, il est nécessaire de caractériser la succession des formations présentes dans le sous-sol. Ceci a été fait à partir de la méthode de mesures géophysiques MASW (Multi Channel Analysis of Surface Wave). Celles-ci fournissent deux types d'information : a) la vitesse moyenne des ondes S sur les 30 premiers mètres qui donne la qualification du type de sol selon les codes de construction et b) le profil de vitesse avec la profondeur ; si le contraste observé est important, l'effet de site est

significatif.

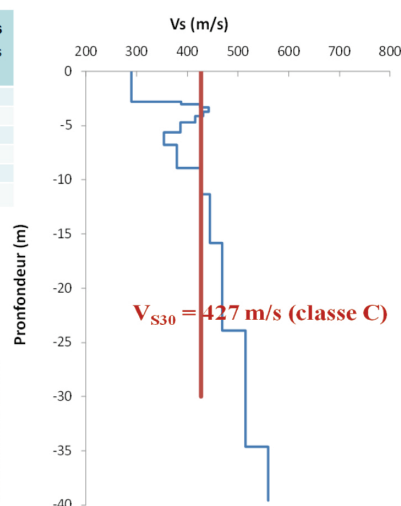
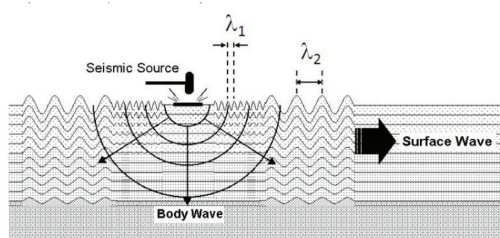
Dans le cadre du projet de Microzonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince, 168 sites de mesures MASW ont été utilisés dont 88 effectués par le LNBTP.



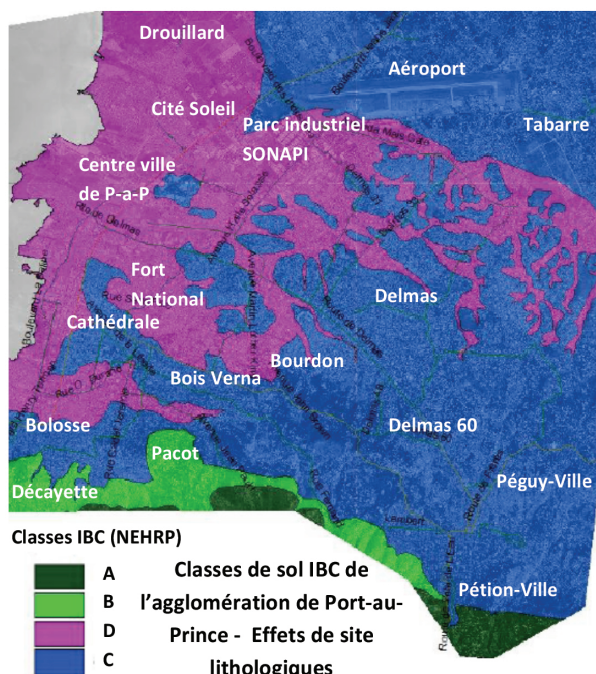
Principe des mesures de MASW

Classe de site	Description générale	Vitesse des ondes de cisaillement V_s (m/sec)
A	Rocher dur	> 1500
B	Rocher	760 - 1500
C	Sol très denses et rocher meuble	360 - 760
D	Sol raide	180 - 360
E	Sol d'argile meuble	< 180
F	Sol instable	

Classes de sol du Code IBC



Exemple de profil de vitesse avec la profondeur



Description des classes de sol IBC de l'agglomération de Port-au-Prince

a) Les calcaires pélagiques (F2) de Montagne Noire, de Morne Calvaire et du Morne l'Hôpital, d'une part, les calcaires bréchiqes (F3) de Deshermites, La Grotte, de haut Carrefour-feuilles, de Décayette, d'autre part, sont classés en A et B. Ces sols sont des rochers avec des vitesses de cisaillement allant de 760 à plus de 1500 m/s.

b) Les alluvions conglomeratiques (F9) de Pétion-Ville, Delmas 75, les colluvions (F10C) de Tabarre, Maïs gâté, Clercine et une bonne partie de la formation de Delmas (F5, F6, F7, F8) constituée de marno-calcaires fossilifères, de silts, de sable et de conglomerats, les marno-calcaires ou argiles, les silts calcaires à passées conglomeratiques (F4) de Saint-Gérard, Déprez, Turgeau, Bolosse, Pacot sont classés en C qui est une classe de rocher "mou" ou sol ferme ayant une vitesse de cisaillement variant entre 360 et 760 m/s.

c) Le centre-ville de Port-au-Prince, constitué d'alluvions marines (F10-ma) et de dépôts anthropiques est classé en D, sol "mou" avec des vitesses variant de 180 à 360 m/s. Une bonne partie de Delmas se trouve classée aussi en D.

En résumé, les hauteurs de la ville au Sud sont caractérisées par des roches compétentes présentant des caractéristiques géomécaniques relativement bonnes (classes A et B). A l'inverse, les zones basses (Bicentenaire, centre-ville, zone portuaire, Cité Soleil, Chancerelles) sont formées de sol mou (classe D) susceptibles de présenter les effets de site les plus importants. Les zones intermédiaires sont principalement constituées des dépôts marins de la formation du Morne Delmas classée en grande partie en C, d'après la classification IBC.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

ZONAGE EN CLASSES DE SOL DES EFFETS DE SITE LITHOLOGIQUES

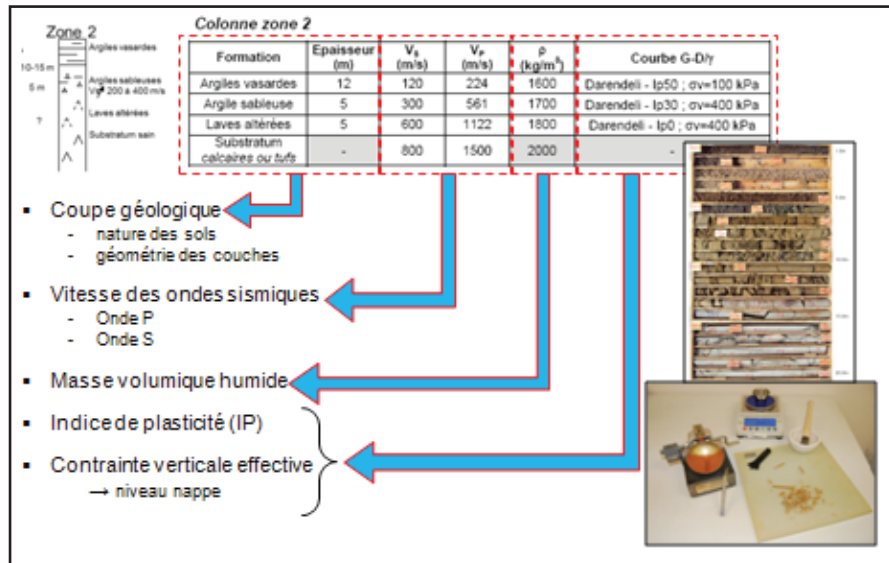
Objectif du zonage en classes de sol spécifiques

Ce zonage consiste à identifier et cartographier les zones présentant des caractéristiques géologiques et géomécaniques cohérentes et une réponse sismique homogène ; l'objectif est de fournir, en chaque zone, des mouvements sismiques adaptés au sous-sol. Ce zonage se fait en plusieurs étapes :

a) analyse croisée des informations géologiques, géophysiques et géotechniques ; les informations géophysiques se réfèrent aux mesures MASW qui déterminent le contraste d'impédance entre les couches de sol et aux mesures H/V qui permettent de déterminer la fréquence de résonance d'un site ;

b) identification des zones homogènes ;

c) définition d'une ou plusieurs colonnes de sol représentatives associées à chaque zone ; ces colonnes décrivent la nature et l'épaisseur de la couverture superficielle, et la nature du substratum sismique lorsqu'il a été atteint. Le substratum sismique est un milieu rocheux qui se distingue en principe par son faible niveau d'altération ou de fracturation ; il constitue le milieu rocheux de référence. Il est généralement admis que le substratum sismique présente une vitesse V_S au minimum égale à 800 m/s, ce qui correspond à la classe B de la classification NEHRP ;



Paramètres nécessaires (géologiques, géophysiques et géotechniques) à la définition des colonnes de sol

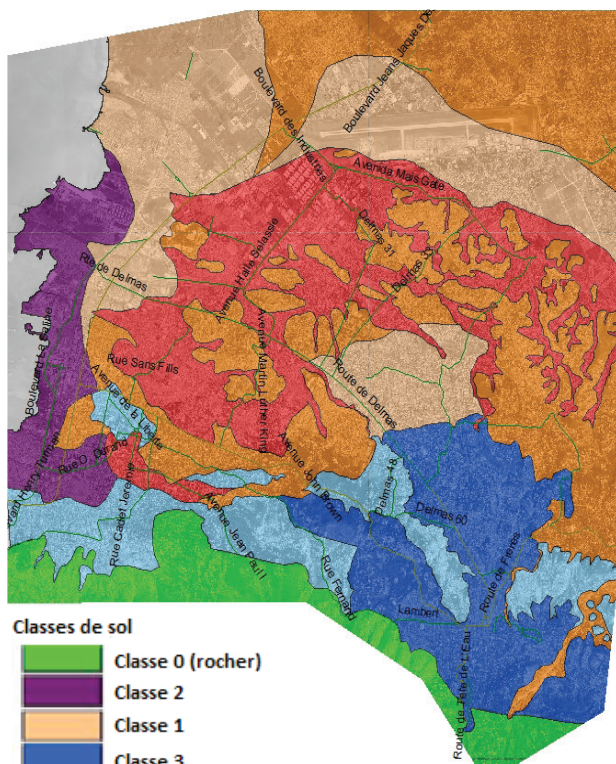
d) calcul des réponses sismiques associées à chaque zone ;

e) regroupement de zones pour obtenir le zonage sismique final.

Classes de sol et spectres associés

Le zonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince est défini en 7 classes de sol. Le rocher affleurant (classe 0 en vert) n'est présent qu'au niveau de la bordure sud de la zone d'étude sur les communes de Port-au-Prince et Pétion-Ville. Les 6 autres classes de sols sont réparties sur le reste de l'agglomération.

De fortes amplifications sont possibles pour les immeubles souples ou de grande hauteur sur les sols de la classe 2. À l'inverse sur les sols de classes 5 et 6 les bâtiments rigides ou de faible hauteur, sont susceptibles de subir une agression plus forte.



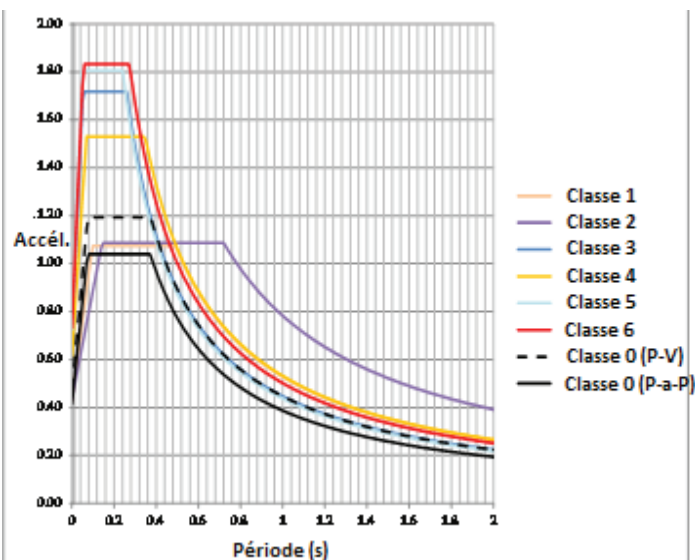
Classes de sol

- Classe 0 (rocher)
- Classe 2
- Classe 1
- Classe 3
- Classe 5
- Classe 4
- Classe 6

Zonage en classes de sol des effets de site lithologiques

	S_{D0} (g)	S_{D1} (g)	PGA (g)	PGA rocher (g)	T_0 (s)	T_s (s)	Fa	Fv
Classe 0	1.56-1.79	0.58-0.67	0.42-0.48	0.42-0.48	0.07	0.37	1.00	1.00
Classe 1	1.07	0.53	0.43	0.41	0.10	0.49	1.05	1.41
Classe 2	1.09	0.78	0.43	0.42	0.14	0.72	1.04	2.02
Classe 3	1.72	0.44	0.69	0.48	0.05	0.26	1.44	1.00
Classe 4	1.53	0.53	0.61	0.42	0.07	0.35	1.47	1.37
Classe 5	1.81	0.44	0.72	0.42	0.05	0.24	1.74	1.13
Classe 6	1.83	0.5	0.73	0.42	0.06	0.27	1.76	1.30

Tableau 1. Paramètres associés aux spectres de réponse spécifiques des classes à effets de site lithologiques. Pour la classe 0, deux valeurs de paramètres sont indiquées pour les roches affleurant à Port-au-Prince et Pétion-Ville. Dans ce Tableau, les coefficients Fa et Fv indiquent les amplifications attendues par rapport à un sol rocheux (classe 0) autour de la période 0.2s et 1.0 s respectivement.



Spectres de réponse en accélération des 7 classes de sols délimitées sur l'agglomération de Port-au-Prince (aléa régional et aléa local)

Classes de sol	Effets de site sur bâtiment rigide ou de faible hauteur	Effets de site sur bâtiment souple ou de grande hauteur
Classe 0	sans effets de site	sans effets de site
Classe 1	faible à moyen	moyen à fort
Classe 2	faible à moyen	fort
Classe 3	moyen à fort	faible à moyen
Classe 4	moyen à fort	moyen à fort
Classe 5	fort	faible à moyen
Classe 6	fort	moyen à fort

Tableau 2. Information qualitative sur les effets de site attendus pour chaque classe de sol

Les classes de sols définies pour l'agglomération de Port-au-Prince peuvent être qualifiées en trois niveaux d'effets de site « faible à moyen », « moyen à fort », « fort » (Tableau 2). Ces niveaux sont déterminés en fonction des valeurs des coefficients Fa et Fv. On distingue : a) Les effets sur les bâtiments de courte période propre ($< 0,2$ s), généralement des bâtiments à structures rigides ou de faible hauteur, ils sont corrélés au coefficient Fa du spectre de réponse ; b) Les effets sur les bâtiments de période propre plus longue ($> 0,2$ s) généralement des bâtiments à structures plus souples ou de plus grande hauteur, ils sont corrélés au coefficient Fv du spectre de réponse.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013



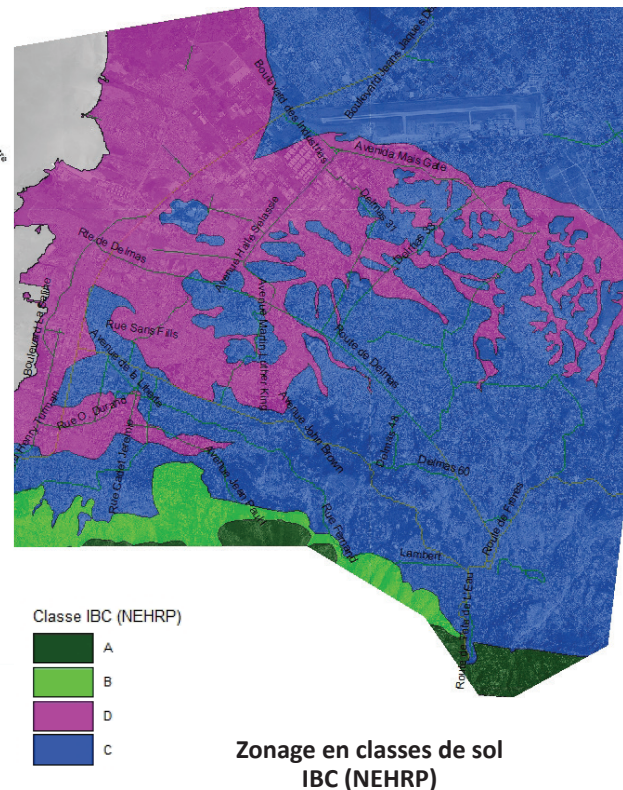
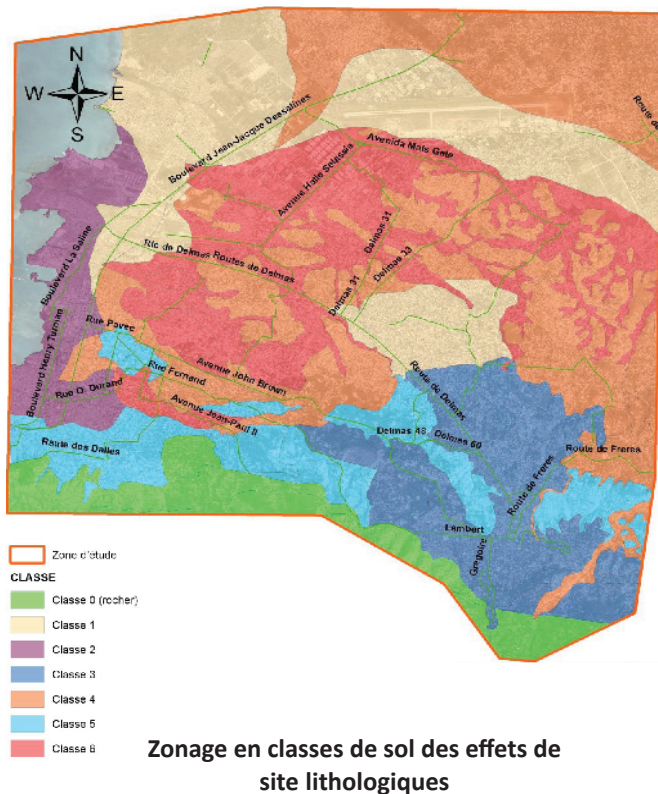
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

COMPARAISON ENTRE SPECTRES SPÉCIFIQUES ET SPECTRES IBC

Une comparaison des spectres spécifiques au microzonage (Fiche 5) avec les spectres du zonage en classes de sol NEHRP (Fiche 4) a été menée dans le cadre de cette étude. Pour chacune des 7 classes d'effets de site lithologiques, il a été associé une ou plusieurs classes de sol NEHRP (IBC, 2009) en fonction des valeurs de V_{s30} obtenues. Cette comparaison a abouti aux équivalences suivantes :

- le spectre spécifique de la classe 1 est très proche du spectre IBC sol D ;
- le spectre spécifique de la classe 2 est supérieur au spectre IBC sol D aux périodes supérieures à 0,6 seconde, ce qui affecte davantage les bâtiments de grande hauteur à longue période propre, ie plus de cinq étages ;
- pour les classes 3 à 6, le spectre spécifique est systématiquement pénalisant sur les courtes périodes (inférieures à 0,4-0,5 s) par rapport aux spectres IBC. 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 bas ou de hauteur intermédiaire, ie 4-5 étages -période inférieure à 0,4 s).
- au contraire pour les classes 3 et 5, le spectre spécifique est systématiquement moins pénalisant pour les plus longues périodes (supérieures à 0,35 s) que les spectres IBC, ce qui affecte les bâtiments à plus longue période propre (bâtiments de plus de 3-4 étages).

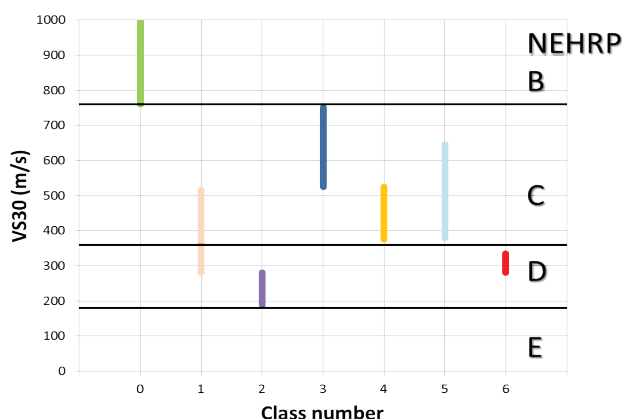


Cette comparaison montre que les résultats du microzonage sismique permettent de réduire le conservatisme inhérent des spectres normatifs là où cela est possible, et à l'inverse de repérer certaines zones avec un potentiel d'amplification marqué pour lesquels un dimensionnement selon des prescriptions supérieures à celles de la norme est nécessaire et justifié.

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
IBC (NEHRP)	A-B	C-D	D	C	C	C	D
PGA spectres IBC		0.41 g	0.42 g	0.48 g	0.42 g	0.42 g	0.42 g

Correspondance des 7 classes de sols avec les classes NEHRP correspondantes sur la base des vitesses V_{s30}

	Type NEHRP	Fa NEHRP	Fv NEHRP	Fa Cette étude	Fv Cette étude
Classe 0	A-B	0.8-1.0	0.8-1.0	1	1
Classe 1	C-D	1	1.3-1.5	1.05	1.41
Classe 2	D	1	1.5	1.04	2.02
Classe 3	C	1	1.3	1.44	1.00
Classe 4	C	1	1.3	1.47	1.37
Classe 5	C	1	1.3	1.74	1.13
Classe 6	D	1	1.5	1.76	1.30



Correspondance des 7 classes de sols avec les classes NEHRP correspondantes sur la base des vitesses VS30. Les coefficients d'amplifications Fa et Fv ne sont pas équivalents

Gammes de VS30 correspondant à chaque classe de sol (droites verticales colorée) et comparaison avec les VS30 associées aux classes de sols NEHRP (délimitées par les droites horizontales noires)

Il est à noter que les coefficients d'amplifications Fa et Fv des spectres NEHRP ne correspondent pas aux coefficients des classes de sol de cette étude. En particulier, les spectres forfaitaires des classes C et D ne permettent pas la prise en compte des fortes accélérations obtenues sur les courtes périodes (< 0.25 s) pour les classes 3, 4, 5 et 6.

En conclusion, le zonage en classes de sol NEHRP est moins fin que le zonage en 7 classes de sol spécifiques. Basé uniquement sur des critères de valeurs de vitesses des ondes de cisaillement dans les trente premiers mètres (VS30), il ne permet pas de distinguer les différences de comportement des sols (amplifications à courte période et/ou à longue période) du zonage en classes de sol spécifique qui prend en compte des colonnes de sols précisément décrites et des profondeurs souvent supérieures à 30 m.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013





MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

EFFETS DE SITE TOPOGRAPHIQUES

Définition

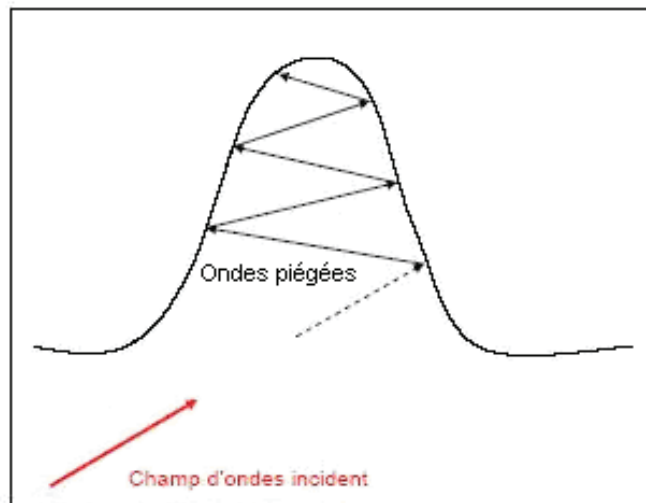
On observe pour certaines configurations topographiques des amplifications notoires d'un signal sismique, entraînant une augmentation locale de l'intensité du tremblement de terre. Ce phénomène d'effet de site topographique est lié au piégeage des ondes sismiques au niveau de zones de rupture de pente, de crête, de bordure de plateau, de sommet.

Bien que l'amplification puisse dans certains cas être très importante, elle est difficile à quantifier du fait de la complexité physique du phénomène. En effet, celle-ci dépend à la fois de la nature des ondes sismiques considérées, de leur incidence, de la géométrie 3D du relief, mais également des formations géologiques en place. Aussi la modélisation quantitative est encore du domaine de la recherche.

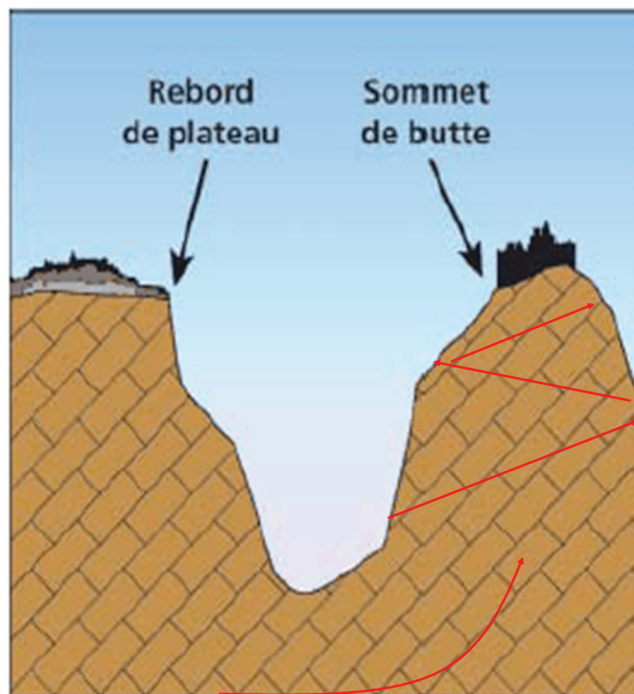
Prise en compte

Du fait de la complexité du phénomène, il n'existe pas à ce jour de méthode validée ou de modèle opérationnel permettant une évaluation des amplifications du signal sismique liées à la topographie.

A titre d'exemple, les règles de dimensionnement parasismique américaines IBC ne prennent pas en compte ce phénomène. A fortiori, les effets de site topographiques ne sont le plus souvent pas pris en compte dans le cadre des microzonages sismiques. Cependant, la prise en compte de ces effets de site, dans le cadre du microzonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince, est abordée par l'application d'une approche forfaitaire empirique inspirée de la réglementation parasismique française, reprise récemment au niveau européen. En effet, les règles parasismiques françaises PS-92 ainsi que les règles parasismiques européennes Eurocode 8 (EC8) tiennent compte de ces effets par l'application d'un coefficient multiplicateur d'amplification pour les ouvrages se trouvant dans les situations topographiques particulières (zones de rupture de pente marquée, de crêtes, de bordures de plateau et de sommets de butte).



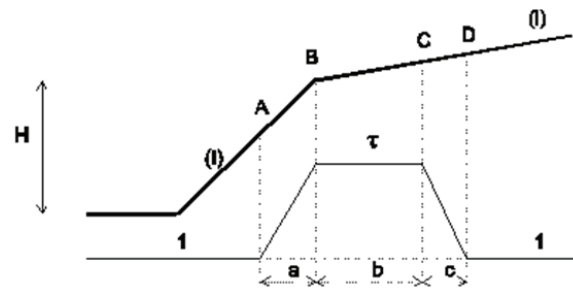
Principe des effets topographiques



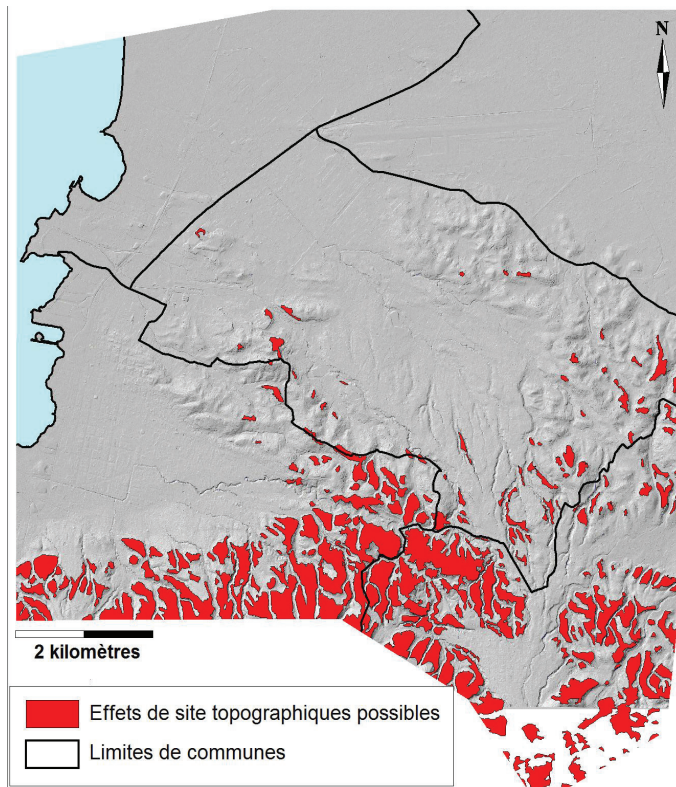
Zones à risque d'effets de site topographiques

Approche forfaitaire empirique

La cartographie des zones exposées à un effet de site topographique est donc faite de façon qualitative en indiquant les zones où un coefficient multiplicatif τ (tau) (prenant une valeur entre 1 et 1.4) pourrait être applicable. D'après la figure ci-contre, τ prend la valeur 1 à l'aval du point A et à l'amont du point D (coefficient $\tau=1$: pas d'effet de site). τ prend la valeur 1.4 entre AB, BC et CD (coefficient $\tau=1.4$: effet max pris en compte).



S'il n'existe pas beaucoup d'informations sur les conditions topographiques d'un site, il est proposé d'appliquer le coefficient forfaitaire le plus pénalisant $\tau=1.4$.



Zonage des effets de site topographiques possibles au niveau de l'agglomération de Port-au-Prince

Cartographie de l'aléa effets de site topographiques

Les effets de site topographiques se concentrant au niveau de crêtes, de barres rocheuses ou de versants présentant une forte pente, il est évident que la résolution du MNT utilisé pour les calculs conditionne très fortement les résultats de l'analyse, tant en termes d'ampleur du phénomène que d'étendue des zones de susceptibilité. A cet égard, il semble souhaitable de pouvoir disposer d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) le plus précis possible. Pour le microzonage de l'agglomération de Port-au-Prince, Il a été utilisé un MNT avec une résolution de 10 m.

La partie Sud de l'agglomération de Port-au-Prince où les terrains présentent une topographie agitée, constitue la zone à risque fort d'effets de site topographiques. Ce phénomène devra être pris en compte pour le dimensionnement d'ouvrage. Le caractère obligatoire ou non en fonction de la classe de bâtiment devra être donné par les règles parasismiques applicables en Haïti ou défini par le Plan de Prévention des Risques.

Cette prise en compte consiste à appliquer le coefficient multiplicatif forfaitaire τ à appliquer à la totalité du spectre spécifique défini pour le sol et le type de bâtiment sur le site de construction.

En tout état de cause, ce coefficient empirique apparait aujourd'hui comme étant le seul outil disponible pour (1) localiser relativement précisément les zones susceptibles aux effets de site topographiques et (2) procéder à une évaluation de premier ordre de ces effets, et est donc très utile à des fins d'aménagement.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

MOUVEMENTS DE TERRAIN

Contextes topographique et géologique de la zone d'étude

La ville de Port-au-Prince est située dans un bassin de direction générale Est-Ouest bordé à l'ouest par le littoral du Golfe de la Gonave. Les frontières Nord et Sud de la ville sont constituées par deux reliefs majeurs, respectivement la Chaîne des Matheux (au Nord) et le Massif de la Selle (au Sud). Le territoire étudié est donc une large plaine (la plaine du Cul-de-Sac) qui s'élève progressivement pour atteindre 200 m d'altitude au Sud et qui est incisée largement à l'Est, par la Rivière Grise et sa plaine alluviale.

Cette plaine est entaillée profondément par de nombreuses ravines qui drainent les contreforts du Massif de la Selle. Ces ravines sont des chenaux dont les berges se présentent sous la forme de parois très raides de l'ordre de la dizaine de mètres de hauteur.

Du point de vue géologique (Réf. Fiche # 2), les massifs de calcaire blancs (F2) et les brèches calcaires ou conglomérats cimentés (F3) constituent les contreforts du Massif de la Selle, limite Sud de la zone d'étude. Les formations marno-calcaires (F4, F5 et F6) forment les chaînons de la plaine du Cul-de-Sac visibles au Nord du Massif de la Selle jusqu'à la Rivière Grise située à l'Est. Les formations peu consolidées constituées de silts et de conglomérats (F7 et F8) recouvrent en grande partie la partie basse (plaine) de la zone d'étude. Les formations les plus récentes sont peu consolidées, elles sont constituées de conglomérats calcaires (F9) et d'alluvions ou de colluvions (F10) qui recouvrent l'intégralité de la plaine.

Typologie des mouvements de terrain de la zone d'étude

Au vu des observations, il a été retenu deux catégories de mouvements de terrain susceptibles d'affecter la zone étudiée :

a) des glissements de terrain correspondant à un déplacement généralement lent, sur une pente, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables, pouvant concerner l'ensemble d'un versant, le long d'une surface de rupture de profondeur variable. Ces glissements affectent des formations de moyenne à forte cohésion, comme les formations marno-calcaires mais également les silts (F4 à F8).

b) des chutes de bloc, plus localisées correspondant au détachement isolé ou non, d'une pierre ou d'un bloc, d'une falaise ou d'un versant. Le mouvement est brutal, souvent sans indice visible précurseur. Ces chutes de blocs affectent nécessairement des horizons massifs rocheux, tels que les horizons calcaires. Sur le secteur étudié, ces événements concernent les formations calcaires de l'Oligocène (F2), les brèches calcaires miocènes (F3) et les encroûtements/bancs calcaires qui coiffent les formations silteuses et marno-calcaires miocènes.



Glissement de Musseau en novembre 2008



Chute de blocs sur la chaussée de la route Pan Américaine

Concernant le phénomène d'érosion de berges il s'agit d'un problème d'érosion des sols sous l'effet de la vitesse et de la turbulence d'un cours d'eau. Il a été fréquemment observé le long des ravines, indépendamment des formations affleurantes.

Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

La carte d'aléa ci-contre distingue les lieux concernés par des événements de type glissement de terrain (G1) des événements chutes de blocs (C), Il ressort que l'aléa glissements concerne près de la moitié du territoire étudié, tandis que le phénomène de chutes de bloc, concentré sur la frontière Sud de la zone étudiée, sur les contreforts du Massif de la Selle, concerne moins de 10%. Par son emprise et l'ampleur de ses dégâts, les glissements de terrain restent largement le phénomène le plus fréquent et le plus dommageable. La carte d'aléa distingue :

Les zones d'aléa faible à nul :

Il s'agit notamment des zones plates ou de faible pente (inférieures à 5°).

Les zones d'aléa modéré, G1 (vert) :

Il s'agit de zones de faible pente (entre 5 et 10° en moyenne), concernées par des formations marneuses, marno-calcaires ou silts miocènes (Formations F4 à F8).

Les zones d'aléa moyen, G12 et C2 (jaune) :

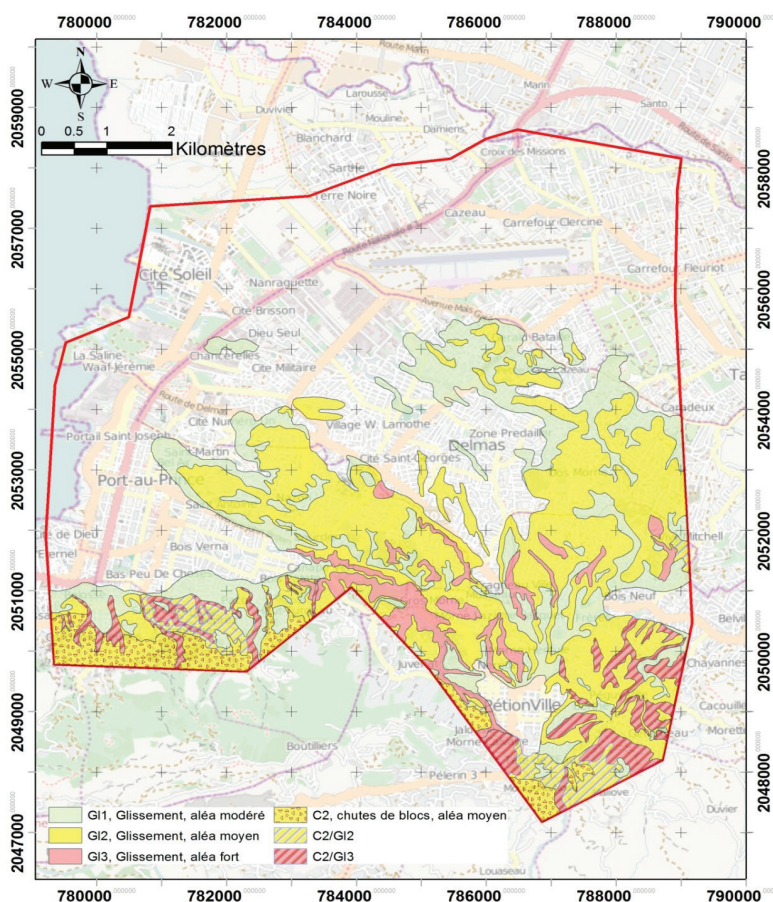
G12 : Il s'agit soit de zones de faible pente (10 à 20° en moyenne) avec une géologie défavorable (marnes, marno-calcaires, silts, alluvions), soit encore de zones soumises à la propagation de glissements venant de l'amont, mais d'ampleur limitée ;

C2 : ce sont des zones qui concernent les terrains rocheux de pente généralement supérieure à 15°, ainsi que les zones exposées à la propagation de blocs venant de l'amont.

Les zones d'aléa fort, G13 (rose) : Il s'agit des pentes moyennes à fortes avec une géologie ou une occupation du sol défavorable, ou des zones soumises à la propagation de glissements venant de l'amont et de forte ampleur. On retrouve ainsi en aléa fort les ravines et les pieds de versant, réceptacles des matériaux glissés en provenance de versants et éventuellement remobilisables sous forme de coulées de boues dans les ravines. Ces zones peuvent aussi concerner des secteurs exposés à des chutes de blocs très fréquentes, sur des pentes supérieures à 30°. Toutefois, le volume impliqué est généralement faible, il ne s'agit pas d'éboulement rocheux de plusieurs milliers de m³ et à fortiori d'écroulement rocheux.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013



Carte de l'aléa mouvements de terrain



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

LIQUÉFACTION DES SOLS

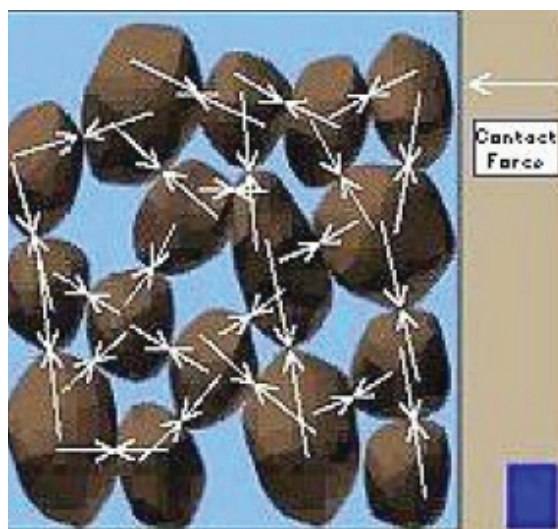
Le phénomène et les effets attendus

La liquéfaction est une perte de résistance au cisaillement du sol créée par une quasi annulation de la contrainte effective par augmentation de la pression interstitielle. Celle-ci est entre autre causée par les sollicitations cycliques générées par un séisme. Les retours d'expériences montrent que la liquéfaction concerne uniquement les sols situés à moins de 20 m de profondeur et qu'elle se produit le plus souvent sur des sols non cohérents lâches et saturés, tels que, par exemple, des alluvions récentes ou des remblais hydrauliques non compactés.

Les conséquences de ce phénomène se manifestent en surface par des déformations du sol, d'autant plus importantes que l'épaisseur de sol liquéfié est grande : apparition de « volcans de sable », tassement, poinçonnement, glissement latéral, etc. Ces déformations peuvent être particulièrement dommageables pour les constructions.



Sol à l'état initial - Représentation des forces de contact entre les grains



Sol soumis à une sollicitation sismique -Augmentation de la pression interstitielle, diminution des forces de contact et liquéfaction

Pour ce qui concerne la zone d'étude, la liquéfaction induite par le séisme de 2010 a préférentiellement affecté les zones récemment remblayées (postérieures à 1967). Les zones plus anciennement remblayées (antérieures à 1967) ont également été touchées, mais de manière moins importante. Comme en témoignent les observations réalisées hors zone d'étude, les terrains « en place » (antérieurs au 18e siècle) pourraient également avoir été affectés, mais s'ils l'ont été sur la zone d'étude, cela s'est fait de manière peu visible.

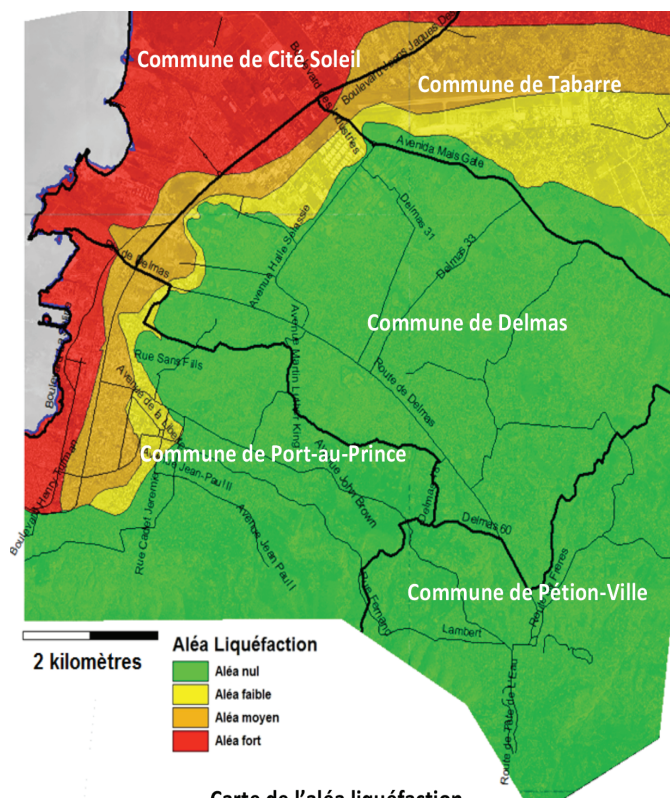
Ace stade, il est important de rappeler que les phénomènes observés ont été induits par un séisme de magnitude 7.0. Un séisme de magnitude supérieure aurait naturellement engendré de plus nombreux phénomènes de liquéfaction et ceux-ci auraient été plus intenses.



Effet de la liquéfaction – Glissement latéral observé sur le port de Port-au-Prince (Haïti) suite au séisme du 12 janvier 2010



Effet de la liquéfaction - Exemple de poinçonnement du sol de fondation à Léogâne (Haïti), séisme du 12 janvier 2010 (M = 7.0)



Cartographie de l'aléa

La carte d'aléa liquéfaction a été réalisée sur la base d'études géotechniques ponctuelles et des données géologiques (Fiche 2). Les niveaux d'aléa, classés nul, faible, moyen et fort sont les suivants :

- Pour la zone de remblais du Bicentenaire (faciès dépôts anthropiques) : aléa fort.

- Pour la zone d'alluvions fluvio-marines récentes (faciès F10-ma) :

- au niveau de l'estuaire de la Rivière Grise : aléa fort,

- dans la zone médiane du centre-ville : aléa moyen puis faible en remontant vers la place de l'Indépendance,

- bas de la route de Delmas (quartier Croix des Bossales et Cité Soleil) : aléa moyen.

- Pour la zone des alluvions fluviales les plus récentes (F10-ac1) : aléa fort, puis moyen et enfin faible en s'éloignant de l'axe de l'estuaire et de l'axe de la Rivière Grise.

- Pour la zone des alluvions fluviales les plus anciennes (F10-ac2) : aléa nul.

Environ 36 % de la zone d'étude est concernée par un aléa non nul.

Référence

Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC-63100- Fr.
Décembre 2013



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

MICROZONAGE SISMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION DE PORT-AU-PRINCE

CONCLUSION - RECOMMANDATIONS

Avertissements. Les cartes ont été réalisées à une échelle donnée et correspondent à un état de connaissance donné. Il convient donc d'être prudent lors d'analyses à une échelle plus précise (celle d'une parcelle par exemple), particulièrement si on est à proximité d'une limite de zone. **Le microzonage sismique ne dispense pas la nécessité de réaliser des études géotechniques ponctuelles.**

Cette étude ne concerne que certains aléas spécifiques (effets de site, faille, mouvement de terrain, liquéfaction). Pour une appréciation correcte des risques naturels au niveau d'un site, ces cartes doivent être croisées également avec d'autres aléas : inondations, submersion marine, cyclones, tsunami, etc.

La cartographie de microzonage sismique est un outil d'information et la base sur laquelle peut s'appuyer une réglementation parasismique locale à mettre en place. Les décisions d'application relèvent des autorités nationales et locales.

Conclusions. Les principaux résultats de l'étude sont fournis sous forme de cartes à l'échelle 1/25 000 et des zooms sur Port-au-Prince et Pétion-Ville à l'échelle 1/10 000 dont la lecture permet de connaître, en tout point de l'agglomération de Port-au-Prince :

- ☐ la répartition des faciès géologiques et le tracé des failles actives (Fiche 2);
- ☐ l'aléa sismique régional (Fiche 3);
- ☐ le zonage en classes de sol suivant la classification IBC (NEHRP) (Fiche 4);
- ☐ les zones de réponse sismique homogène par classes d'effets de site lithologiques (Fiche 5) ;
- ☐ les zones susceptibles de présenter une amplification du mouvement sismique liée à la topographie (Fiche 7) ;
- ☐ les zones susceptibles de présenter un aléa mouvements de terrain faible, moyen et fort (Fiche 8)
- ☐ les zones susceptibles de liquéfaction (Fiche 9).

Quel que soit le site d'implantation projeté dans la capitale d'Haïti, il est nécessaire de considérer l'aléa sismique comme un aléa fort sur toute l'agglomération de Port-au-Prince. L'étude de microzonage sismique montre néanmoins que dans ce contexte d'aléa sismique élevé, les effets attendus ne sont pas identiques suivant les secteurs :

- ❖ L'aléa régional est plus élevé vers Pétion-Ville que vers Cité Soleil du fait de la proximité avec le système de failles actives Pétion-Ville/Tiburon.
- ❖ Les terrains à topographie agitée du Sud sont particulièrement impactés par les effets de site topographiques sur les crêtes, rebord de talus et fortes pentes, avec en plus, un aléa mouvement de terrain fort sur de larges secteurs.
- ❖ A l'inverse, sur les terrains plus plats du littoral et de la Plaine du Cul-de-Sac, si l'aléa régional est légèrement moins élevé du fait d'un plus grand éloignement des sources sismiques et d'une topographie plus favorable, les effets les plus sensibles concernent la lithologie des sols : moindre qualité des sols de fondations, aléa liquéfaction élevé, amplifications des secousses liées aux effets de site lithologiques.
- ❖ Le sous-sol de Port-au-Prince est par endroit très complexe et hétérogène.

Dans un tel contexte d'aléa fort, la construction parasismique est une nécessité si on souhaite réduire le risque sismique de manière significative. La carte par classes d'effets de site lithologiques constitue un outil d'aide pour définir les modalités de construction parasismique adaptées au site d'implantation, en particulier par :

- l'application de spectres de réponse élastiques spécifiques pour les bâtiments à étages ;
- la conception de bâtiments, soit plus rigides, soit plus souples, et qui ne rentrent pas en résonance avec les sols sur lesquels ils sont fondés.

Recommandations. 1) Pour ce qui concerne les failles actives, nous recommandons de tenir compte des failles f1, f3 et f4, et proposons de réduire les incertitudes sur leur tracé et leur taux d'activité. A cette fin, l'analyse pourrait être poursuivie par des reconnaissances géophysiques locales puis la réalisation de tranchées paléosismiques et la datation des formations géologiques. Nous préconisons toutefois, dans la mesure du possible, d'éviter dans ces zones faillées, la construction des bâtiments à forts enjeux tels que les écoles, les hôpitaux, les centres de secours ou les bâtiments stratégiques en cas de crise.

2) En ce qui a trait aux classes de sol, il est recommandé, dans certains cas, de privilégier le zonage en 7 classes de sol spécifiques. En effet, le zonage en classes de sol NEHRP est moins fin que le zonage en 7 classes de sol spécifiques. Basé uniquement sur des critères de valeurs de vitesses des ondes de cisaillement dans les trente premiers mètres (VS30), le NEHRP ne permet pas de distinguer les différences de comportement des sols (amplifications à courte période et/ou à longue période) du zonage en classes de sol spécifiques qui prend en compte des colonnes de sols précisément décrites et des profondeurs souvent supérieures à 30 m.

3) Pour ce qui concerne les effets de site topographiques, pour tout projet à l'échelle d'une parcelle, il reste nécessaire d'évaluer la pente du terrain, pour déterminer si on doit appliquer un coefficient multiplicatif forfaitaire τ au spectre de dimensionnement et éventuellement moduler la valeur de ce coefficient en fonction de la pente. Par défaut, la valeur maximale de ce coefficient forfaitaire est $\tau = 1.4$. Les conditions de prise en compte (valeur du coefficient, critères de pente, catégorie d'importance du bâtiment concerné) seront fixées par la réglementation parasismique nationale ou locale.

4) En ce qui a trait aux mouvements de terrain, il est recommandé de transposer les cartes d'aléa produites en document réglementaire de type Plan de Prévention des Risques (PPR) appelé à fournir des préconisations pour l'aménagement des zones suivant leur degré d'aléa : nul à négligeable, modéré, moyen et fort. Dans certaines zones, du fait de l'intensité et la fréquence de l'aléa, la constructibilité est conditionnée à la réalisation d'une étude préalable destinée à rendre compatible le projet (construction, installations, ouvrages ou équipements) avec le risque considéré.

5) Il est recommandé de mettre en place des adaptations constructives individuelles ou collectives pour limiter les effets de la liquéfaction sur les constructions. L'ensemble des méthodes existantes sont classées en quatre groupes selon leur principe d'action : a) Substitution du sol liquéfiable 2) Amélioration du sol 3) Gestion de la nappe 4) Adaptation des fondations. Une étude spécifique approuvée par le LNBTP permettrait de proposer des solutions adaptées au contexte de Port-au-Prince.

Référence

*Microzonage sismique de Port-au-Prince :
Rapport de synthèse BRGM/RC -63100- Fr.
Décembre 2013*



Impression réalisée par



Mars 2015

Port-au-Prince, Haïti