



RÉPUBLIQUE D'HAÏTI

**MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS
(MTPTC)**

Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti

**Surcharges dues à l'usage, au vent
et considérations parasismiques**

Financement



Banque mondiale

15 Février 2011

En guise de préface

Le Ministère des Travaux Publics Transports et Communication (MTPTC), deux mois après le séisme du 12 janvier 2010 voulant imprimer la reprise des activités de construction dans une note de Presse datée du 9 février 2010 autorisait l'utilisation de quatre (4) codes internationaux pour une période d'une année.

Ce Ministère croit qu'il est nécessaire aujourd'hui de préciser certains paramètres propres à Haïti et indispensables à la conduite de calculs plus sécuritaires tout en indiquant les normes et codes qu'il autorise.

C'est dans cette optique que les « *Règles intérimaires pour le calcul de bâtiments en Haïti* » sont publiées. Elles complètent la note de presse du 9 février 2010. Toutefois, il est nécessaire de mentionner que les exigences qui s'y retrouvent sont considérées par le MTPTC comme intérimaires puisque dès la parution de Normes propres à Haïti, actuellement en préparation, elles s'effaceront pour leurs laisser la place.

Ce document s'adresse aux Ingénieurs, Architectes et Professionnels avisés de la construction. Le Ministère invite tous les utilisateurs du présent document à commenter les ambiguïtés et les erreurs qu'ils peuvent y rencontrer. Les suggestions pour renforcer le présent ouvrage sont souhaitables et seront pris en compte dans la prochaine publication ce, après révision du MTPTC.

Ce Ministère décline toute responsabilité résultante d'erreurs provenant d'une mauvaise interprétation des présentes règles.

Le Ministère des Travaux Publics Transports et Communications informe que le présent document est tiré en grande partie du rapport titré « Étude code de construction — Mesures d'urgence Haïti » élaboré par le Groupement SNC Lavalin, LGL S.A et Norbati.

Ce Ministère remercie les entités et personnes suivantes pour leur contribution dans la préparation de ce document :

Groupement SNC Lavalin, LGL S.A, Norbati
Banque Mondiale
Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales
LGL S.A
Monsieur Patrick Paultre, Ing.
Madame Viviane Saint-Dic, Ing.
Monsieur Willy Carrenard, Ing.
Monsieur Eric Calais, sismologue
RWDI Consulting Engineers & Scientists

Jacques Gabriel, Ing.
Ministre



Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti

Surcharges dues à l'usage, au vent et considérations parasismiques

Table des matières

1.0 INTRODUCTION.....	6
2.0 EXIGENCES INTÉRIMAIRES EN VUE DE LA RECONSTRUCTION	7
3.0 CODES INTERNATIONAUX AUTORISÉS EN HAÏTI	7
4.0 CATÉGORIES DE RISQUE DES BÂTIMENTS	8
5.0 SURCHARGES DUES À L'USAGE.....	8
6.0 CHARGES DUES AU VENT.....	10
7.0 CONSIDÉRATIONS PARASISMIQUES POUR LES BÂTIMENTS.....	13
7.1 Sismicité de la République d'Haïti	13
7.2 Cartes d'aléa sismique d'Haïti	15
7.3 Utilisation des cartes d'aléa sismique suivant la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05.....	25
8.0 CONCLUSION.....	28

Liste des figures

Figure 1 : Contour des vitesses du vent (en mi/h) pour l'île d'Hispaniola

Figure 2 : Zones de vent à considérer pour Haïti

Figure 3 : Failles et zones de subduction utilisées dans le développement des cartes d'aléa sismique de la République d'Haïti

Figure 4 : Sismicité historique de l'île d'Hispaniola avant 1960

Figure 5 : Accélération maximale du sol (PGA,%g) pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, sans aléa de réplique

Figure 6 : Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 7 : Spectre d'accélération pour une période de 1 s, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 8 : Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région de Port-au-Prince, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 9 : Spectre d'accélération pour une période de 1 s de la région de Port-au-Prince, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 10 : Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région Les Cayes, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 11 : Spectre d'accélération pour une période de 1 s de la région des Cayes, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 12 : Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région du Cap-Haitien, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 13 : Spectre d'accélération pour une période de 1 s de la région du Cap-Haitien, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement

Figure 14 : Spectre d'accélération pour une période de 1 s de la région du Cap-Haitien, pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans, valeur de dimensionnement



Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti

Surcharges dues à l'usage, au vent et considérations parasismiques

Figure 15 : Spectre d'accélération de la ville de Port-au-Prince (Sol B) d'après la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05, et spectre de réponse de la réplique du 23 Février 2010 enregistré à Port-au-Prince dans la direction N-S

Figure 16 : Spectre d'accélération de la ville de Port-au-Prince (Sol C) d'après la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05, et spectre de réponse de la réplique du 23 Février 2010 enregistré à Port-au-Prince dans la direction N-S

1.0 INTRODUCTION

Le présent document contient des recommandations intérimaires pour le calcul des bâtiments en Haïti, en réaction au séisme du 12 janvier 2010 qui a dévasté la capitale Port-au-Prince et de nombreuses municipalités du sud de la République.

Les recommandations s'appliquent à l'ensemble des bâtiments à construire ou à réhabiliter, à l'exception des petites constructions dont la réalisation est exécutée sans professionnel et souvent de façon informelle. Pour les petits bâtiments généralement destinés à l'habitation et aux petits commerces dont les dimensions horizontales sont relativement modestes et dont la hauteur ne dépasse pas deux niveaux (un rez-de-chaussée et un étage), un guide de construction intitulé *Guide de bonnes pratiques pour la construction de petits bâtiments en maçonnerie chaînée en Haïti* [1] a été produit et est graduellement mis à la disposition des utilisateurs.



Photo 1 - Divers types de petites habitations résidentielles de moins de deux niveaux en Haïti

2.0 EXIGENCES INTÉRIMAIRES EN VUE DE LA RECONSTRUCTION

Le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communication (MTPTC) recommande aux ingénieurs, aux bureaux d'études et de supervision, aux entreprises et aux professionnels de considérer les exigences intérimaires contenues dans ce document dans les calculs de bâtiments.

Les exigences intérimaires incluent principalement :

- une identification des normes et de codes internationaux pouvant être utilisés en Haïti;
- une définition des catégories de risque des bâtiments;
- une évaluation globale mais sécuritaire des charges de calcul à considérer (surcharges dues à l'usage, charges de vent et charges sismiques) que le gouvernement haïtien impose aux ingénieurs étrangers ou haïtiens pour la reconstruction, en leur permettant d'utiliser pour leurs calculs les normes et codes étrangers autorisés par l'État.
- Les charges permanentes ne sont pas spécifiques à Haïti et les charges dues à la pluie ne devraient pas exiger de traitement particulier si des dispositions sont prises pour éviter les accumulations sur les toitures des bâtiments. Si un toit plat est susceptible d'accumuler de l'eau de pluie, il devra être dimensionné en conséquence.

3.0 CODES INTERNATIONAUX AUTORISÉS EN HAÏTI

En attendant que la République d'Haïti soit dotée de son propre Code de construction pour le bâtiment, il faut prévoir des mesures d'urgence pour accompagner les différents intervenants dans l'effort collectif de la reconstruction. Les architectes, ingénieurs, techniciens et entrepreneurs haïtiens et étrangers sont déjà à pied d'œuvre pour réparer ou reconstruire les structures dans les zones sinistrées du pays en utilisant les codes et normes de divers pays dans leurs travaux de conception et de dimensionnement. Il existe une multitude de codes de construction (dispositions administratives, charges et règles de calcul, conformité, protection contre l'incendie, sécurité des occupants, accessibilité, mécanique, plomberie, etc.) et de normes (acier, bois, béton armé, maçonnerie, bâtiments, ponts, tours, etc.) publiés en Amérique, en Europe ou ailleurs dans le monde dont ils peuvent disposer. Un intervenant a tendance à utiliser les codes et normes de son pays d'origine, ce qui est tout à fait compréhensible, mais l'État haïtien, qui tient à exercer un certain contrôle sur la reconstruction dans le but d'en assurer la qualité, se doit d'imposer certaines balises.

Le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communication (MTPTC) informe le public en général et tous les ingénieurs, firmes d'études et de supervision et entreprises de construction qu'en attendant la parution du code de construction officiel de la République d'Haïti, les codes suivants, sans préséance, sont en vigueur jusqu'à contre ordre pour toutes les nouvelles constructions et travaux de réparation et de renforcement de bâtiments dûment autorisés : CNBC [2], ACI-318 [3], International Building Code [4], Eurocode 8 [5] et CUBiC 1985 [6]. L'utilisation d'autres codes doit recevoir l'autorisation expresse du MTPTC.

4.0 CATÉGORIES DE RISQUE DES BÂTIMENTS

Quel que soit le code de construction utilisé, il faut associer chaque bâtiment à une catégorie de risque basée sur l'usage prévu, conformément à un tableau équivalent au Tableau 1, emprunté du CNBC [2]. Les charges spécifiées (gravité, vent, séisme, etc.) sont déterminées en fonction de la catégorie de risque de chaque bâtiment. Généralement, pour les bâtiments de la catégorie de risque *normal*, les codes recommandent l'utilisation d'un coefficient égal à 1,0 et pour ceux de la catégorie de risque *faible*, présentés au Tableau 1, ils recommandent l'utilisation d'un coefficient inférieur à 1,0. Des coefficients plus élevées sont prescrits pour les bâtiments de la catégorie de risque *élevé* et des valeurs encore plus grandes sont recommandées pour les bâtiments de *protection civile*.

Tableau 1 – Catégories de risque des bâtiments

Usage	Catégorie de risque
Les bâtiments dont l'effondrement représente un risque faible de pertes de vie humaine : bâtiments à faible occupation humaine, petits bâtiments de stockage, bâtiments de ferme, étables	Faible
Tous les bâtiments sauf ceux des trois autres catégories	Normal
Les bâtiments susceptibles d'être utilisée comme refuge de protection civile : écoles, centres communautaires Les installations contenant des produits toxiques, explosifs ou dangereux en quantité suffisante pour représenter un danger : entrepôts, usines de fabrication	Élevé
Les bâtiments de protection civile où sont fournis les services essentiels en cas de catastrophe : hôpitaux, centrales téléphoniques, centrales électriques et sous-stations de distribution, centres de contrôle pour tout type de transport public, stations de pompage, de traitement et de stockage de l'eau, bâtiments qui remplissent des fonctions de défense nationales critiques, installations d'intervention en cas d'urgence (postes de pompiers, postes de police, poste de sauvetage et installations qui abritent leurs véhicules), installations de communications (stations de radio et de télévision)	Protection civile

5.0 SURCHARGES DUES À L'USAGE

Quel que soit le code de construction utilisé, les surcharges dues à l'usage seront équivalentes à celles définies aux Tableaux 2 et 3 ou les charges sont exprimées sous deux unités (i) l'unité Internationale et (ii) l'unité Américaine. Les surcharges dues à l'usage (ou surcharges de gravité) présentées aux Tableaux 2 et 3 sont inspirées des Tableaux 4.1.5.3 et 4.1.5.10 de l'édition 2005 du Code National du Bâtiment du Canada [2]. Il s'agit respectivement de surcharges uniformément réparties et de surcharges concentrées spécifiées sur une surface de plancher et de toit. Les valeurs proposées sont des valeurs **minimales** qui peuvent être utilisées de façon optimale en suivant les recommandations des codes autorisés quant à leur application, leur réduction en fonction des surfaces considérées et leur combinaison avec d'autres charges. Chaque code a ses particularités et c'est la responsabilité de l'utilisateur d'exercer son jugement dans l'application des surcharges dues à l'usage.

On doit **choisir** entre la surcharge uniformément répartie et la surcharge concentrée celle qui produit l'effet le plus critique, chaque surcharge étant placée dans la position causant les efforts maximaux. La surcharge uniformément répartie doit être au moins égale à la valeur correspondante indiquée au Tableau 2 et doit être appliquée soit à toute la surface, de manière uniforme, soit à une partie quelconque de la surface, selon la valeur qui produit l'effet le plus critique dans l'élément en cause.

Dans le cas de surcharges concentrées résultant de l'utilisation d'une surface de plancher ou de toit, la surcharge prévue ne doit pas être inférieure aux valeurs du Tableau 3 en considérant qu'elle s'applique sur un carré de 75 cm de côté et qu'elle s'exerce à l'endroit où elle produit un effet maximal.

Tableau 2 – Surcharges réparties uniformément sur une surface de plancher ou de toit

Utilisation de la surface	Charge min. spécifiée, en kPa	Charge min. spécifiée, en psf
<ul style="list-style-type: none"> • Aires de stockage¹ • Balcons intérieurs où peuvent se réunir des spectateurs • Cuisines (sauf celles des habitations) • Espaces servant au commerce de gros et de détail • Issues et escaliers de secours • Corridors, halls et allées de plus de 1,2 m de largeur (voir exceptions plus bas) • Mezzanines où peuvent se réunir des spectateurs • Passerelles • Lieux de réunion avec sièges fixes ou non (auditoriums, églises, foyers et halls d'entrée, gymnase, musées, pistes de danse, promenoirs, salles à manger, salles de spectacle, stades, tribunes et gradins, autres lieux d'utilisation semblable) 	4,8	100
<ul style="list-style-type: none"> • Garages : <ul style="list-style-type: none"> • Automobiles • Autobus non chargés et camions légers • Camions et autobus chargés • Trottoirs et voies d'accès privées pour automobiles au-dessus d'un espace à découvert¹ 	2,4 6,0 12,0	50 125 250
<ul style="list-style-type: none"> • Usines¹ 	6,0	125
<ul style="list-style-type: none"> • Aires réservées à l'équipement et locaux techniques (chambres de transformateurs, installations mécaniques sauf ascenseurs et monte-charges, salles des machines, salles des génératrices)¹ • Locaux de récréation ne servant pas à des réunions • Salles d'opération et laboratoires 	3,6	75
<ul style="list-style-type: none"> • Bureaux (sauf les salles d'entreposage des dossiers et les salles d'ordinateur) <ul style="list-style-type: none"> • Au rez-de-chaussée et au sous-sol • Aux étages au-dessus du rez-de-chaussée 	4,8 2,4	100 50

<ul style="list-style-type: none"> Bibliothèques <ul style="list-style-type: none"> Salles de lecture et d'étude Salles de rayonnage 	<p>2,9 7,2</p>	<p>60 150</p>
<ul style="list-style-type: none"> Lieux de réunion avec au moins 80% de la surface occupée par des sièges fixes à dossier (églises, salles d'audience, salles de conférence, salles de spectacles) Salles de classe avec sièges fixes ou non Salles de toilette 	<p>2,4</p>	<p>50</p>
<ul style="list-style-type: none"> Aires résidentielles <ul style="list-style-type: none"> Chambres et pièces de séjour dans les immeubles d'appartements, les hôtel et collèges Autres aires que les chambres Escaliers intérieurs des logements Chambres de patients 	<p>1,9</p>	<p>40</p>
<ul style="list-style-type: none"> Toits 	<p>1,0</p>	<p>20</p>
<ul style="list-style-type: none"> Corridors, halls et allées de 1,2 m de largeur ou moins Tous les corridors des aires résidentielles des étages au-dessus du premier étage dans les immeubles d'appartements et les hôtels Les balcons intérieurs et les mezzanines où ne peuvent se réunir des spectateurs 	<p>Aires calculées pour résister au moins à la charge prévue pour les usages qu'elles desservent, à condition qu'elles ne soient pas utilisées comme aires de spectacle</p>	

Le calcul des surcharges doit tenir compte de leur utilisation et les valeurs retenues doivent être égales ou supérieures à celles indiquées au Tableau 2.

Tableau 3 – Surcharges concentrées spécifiées sur une surface de plancher ou de toit

Utilisation de la surface	Surcharge min. concentrée en kN	Surcharge min. concentrée en lb
• Surface de toit	1,3	290
• Plancher de salle de classe	4,5	1 010
• Plancher de bureau, de bâtiments industriels, de salles d'hôpital, de scènes	9,0	2 020
• Surfaces supportant des automobiles	11	2 470
• Surfaces supportant des véhicules d'un poids brut inférieur à 3 600 kg	18	4 050
• Surfaces supportant des véhicules d'un poids brut supérieur à 3 600 kg mais inférieur à 9 000 kg	36	8 090
• Surfaces supportant des véhicules d'un poids brut supérieur à 9 000 kg	54	12 140
• Trottoirs et voies d'accès pour véhicules au-dessus d'un espace à découvert	54	12 140

6.0 CHARGES DUES AU VENT

Des vitesses de référence et pressions dynamiques de référence du vent sont proposées pour permettre le calcul de bâtiments en se servant des cinq codes et normes de construction

suivants reconnus à travers le monde: ASCE 7-05 [7], CNBC [2], BS 6399-2 [8], EN 1991-1-4 [9] et CUBiC [6]. Ces données permettent donc aux concepteurs d'utiliser les codes et normes des États Unis, du Canada, de la Grande Bretagne (seulement pour les charges dues au vent), de l'Europe et des Caraïbes, en tenant compte des particularités de chacun.

Les résultats de quatre études exhaustives sur les vents extrêmes causés par les ouragans dans les Caraïbes [Références 10-13] ont été considérés pour produire les vitesses et pressions de calcul pour Haïti. Les auteurs de la référence la plus récente [13] avaient pour objectif de développer des vitesses de vent pour les Caraïbes, qui pouvaient être utilisées avec la norme ASCE-7-2005. Toutes les vitesses de vent de cette référence ont été produites comme des valeurs associées à des rafales de vent de 3 secondes mesurées à une hauteur de 10 mètres en terrain plat non obstrué pour différentes périodes de retour. Des graphiques montrant des contours de vitesses de vent pour l'Île d'Hispaniola (Haïti et la République Dominicaine) ont ainsi été dérivés pour chacune des périodes de retour considérées et sont montrés sur la Figure 1. Ces données ont servi à définir les quatre Zones de vent montrées sur la Figure 2 pour Haïti. La vitesse de référence du vent pour la zone la plus faible (Zone I) est de 100 mi/h (160 km/h) et celle pour la zone la plus élevée (Zone IV) est égale à 130 mi/h (208 km/h). Ces valeurs sont consistantes avec celles considérées pour la République Dominicaine et la Jamaïque.

Il convient de noter que les vitesses de vent considérées dans les codes de construction sont des vitesses calculées pour une certaine probabilité de dépassement à un site particulier plutôt que la plus grande vitesse mesurée lors d'une tempête. L'œil d'un ouragan, où les plus grandes vitesses sont mesurées, est petit comparé à la dimension de la dépression et ceci doit être pris en considération dans l'évaluation des facteurs de risques pour un site particulier.

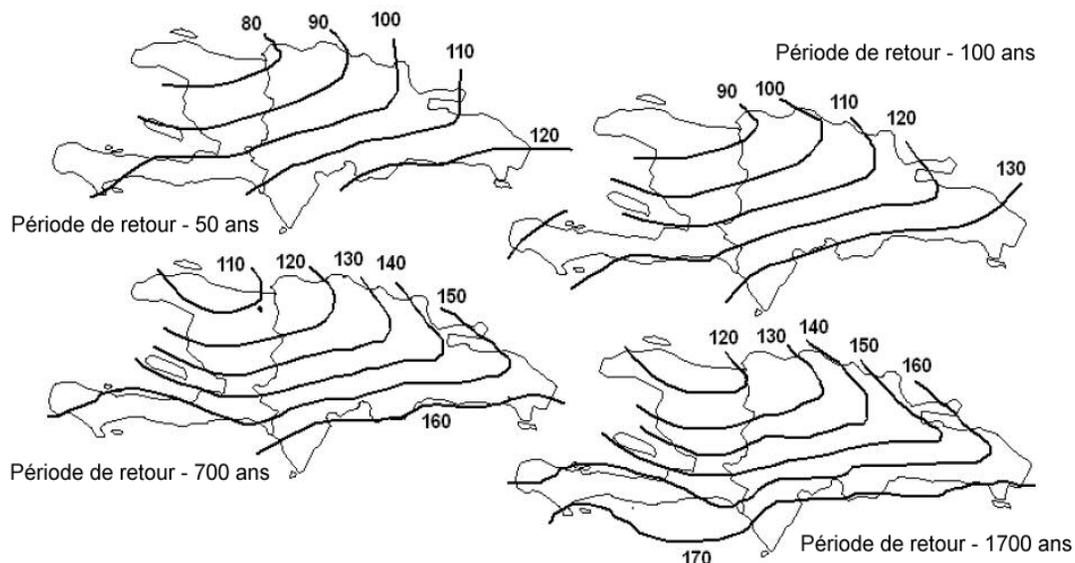


Figure 1 – Contours de vitesses de vent en mile/heure (mi/h) pour l'Île d'Hispaniola (Haïti et République Dominicaine) [Référence 13]

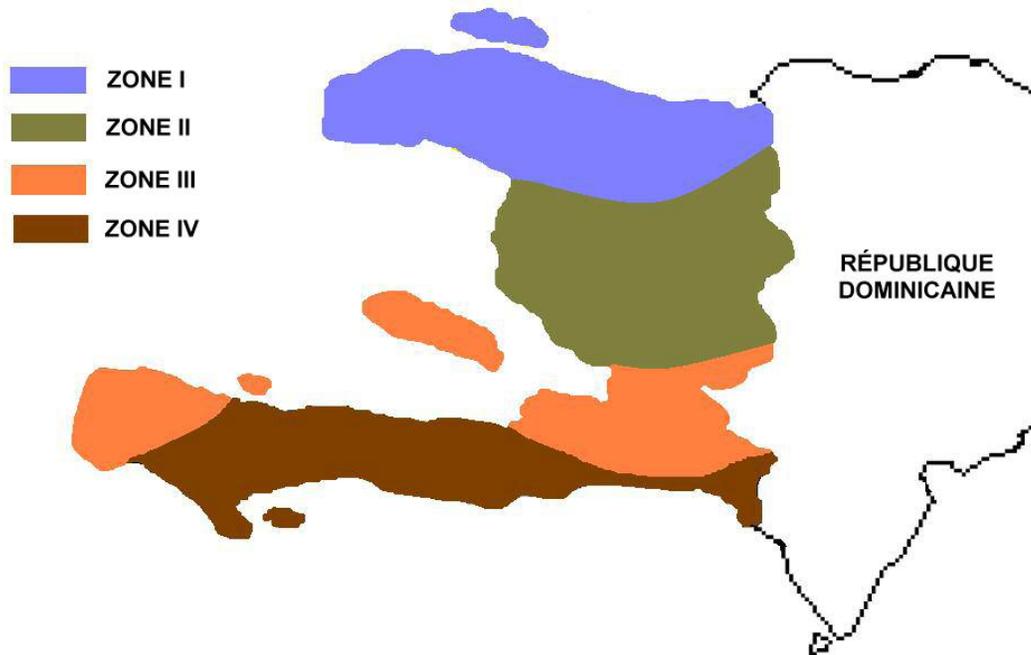


Figure 2 – Zones de vent à considérer pour Haïti

Les vitesses de référence et pressions dynamiques de référence du vent, compatibles avec les recommandations des cinq codes de construction retenus pour l'évaluation des pressions spécifiées exercées par le vent, sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Vitesses de référence et pressions dynamiques de référence du vent compatibles avec les recommandations des codes de construction retenus pour l'évaluation des pressions spécifiées exercées par le vent

ASCE Éditions 7-98 à 7-05, Chapitres 2 et 6 (Code américain) [Référence 7]				
Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse de référence du vent (mi/h)	100	110	120	130
Vitesse de référence du vent (m/s)	45	49	54	58
Note: Vitesses de référence associées à des rafales de vent de 3 secondes mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué (exposition de Catégorie C de l'ASCE 7)				
BS 6399-2 :1997 (Code britannique) [Référence 8]				
Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse de référence du vent (m/s)	31	35	38	41
Note: Vitesses de référence associées à des vitesses horaires moyennes de vent mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué				

CNBC 2005, Part 4 – Règles de calcul (Code canadien) [Référence 2]				
Zone de vent	I	II	III	IV
Pression dynamique de référence du vent (kPa)	0,61	0,73	0,87	1,02
Note: Pressions dynamiques de références associées à des vitesses horaires moyennes de vent mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué (exposition de Catégorie A du CNBC)				
Eurocode EN 1991-1-4 et EN 1990 (Code européen) [Référence 9]				
Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse fondamentale de référence du vent (m/s)	32	35	39	42
Note: Vitesses de référence associées à des vitesses fondamentale moyennes de vent mesurées sur une période de 10 minutes à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué				
CUBiC 1985 (Code des Caraïbes) [Référence 6]				
Zone de vent	I	II	III	IV
Pression dynamique de référence du vent (kPa)	0,68	0,82	0,98	1,15
Vitesse de référence du vent (m/s)	33	37	40	43
Note: Pressions dynamiques de référence et vitesses de référence associées à des vitesses moyennes de vent mesurées sur une période de 10 minutes à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué. Il convient de noter que la prochaine édition de CUBiC, en phase de rédaction, proposerait l'adoption des recommandations de l'ASCE 7 pour le vent [14].				

7.0 CONSIDÉRATIONS PARASISMIQUES POUR LES BÂTIMENTS

Il faut impérativement que les structures soient conçues pour démontrer un comportement sismique ductile en respectant certaines règles de conception prévues à cet effet. Cependant, l'analyse du comportement sismique de telles structures devient un problème complexe car il s'agit d'un phénomène dynamique où les propriétés de la structure changent lorsque la plastification des composantes de la structure se produit pendant les oscillations de la charpente. Le problème est d'autant plus complexe qu'il est difficile de prédire ce que seront les caractéristiques des mouvements du sol produits par d'éventuels séismes importants, tant sur le plan de la durée et de l'amplitude des mouvements forts, que des fréquences dominantes ou encore de la forme et de la séquence des ondes de forte amplitude.

Sismicité de la République d'Haïti

Le problème en Haïti vient du fait que, malgré la connaissance de la tectonique des Caraïbes, peu ou pas de mesures des mouvements et des accélérations des sols ont été prises à différents endroits stratégiques du pays lors de séismes récents (quelques décennies) pour permettre l'élaboration de **spectres de calcul** qui sont couramment utilisés dans les calculs parasismiques des bâtiments. Les ingénieurs doivent disposer de ces données pour dimensionner convenablement les structures de la République d'Haïti pour qu'elles résistent aux séismes, quels que soient les codes et normes de calcul utilisés.

L'Île d'Hispaniola est incontestablement une zone de forte sismicité puisqu'elle est traversée d'est en ouest par plusieurs failles et qu'elle est bordée au nord et au sud par d'importantes zones de subduction, comme le montre la Figure 3. Plusieurs tremblements de terre majeurs se sont produits sur l'Île d'Hispaniola au cours des ans. La figure 4 montre les principaux séismes qui ont été répertoriés avant 1960. La ville de Port-au-Prince a été détruite par des tremblements de terre en 1751 et 1771. Elle a été partiellement détruite par le séisme du 12 janvier 2010 et la probabilité qu'un autre tremblement de terre important se produise au sud-est de Port-au-Prince est assez élevée. Il faut donc imposer la prise en compte de considérations parasismiques dans le calcul des bâtiments en Haïti et principalement dans sa capitale, Port-au-Prince.

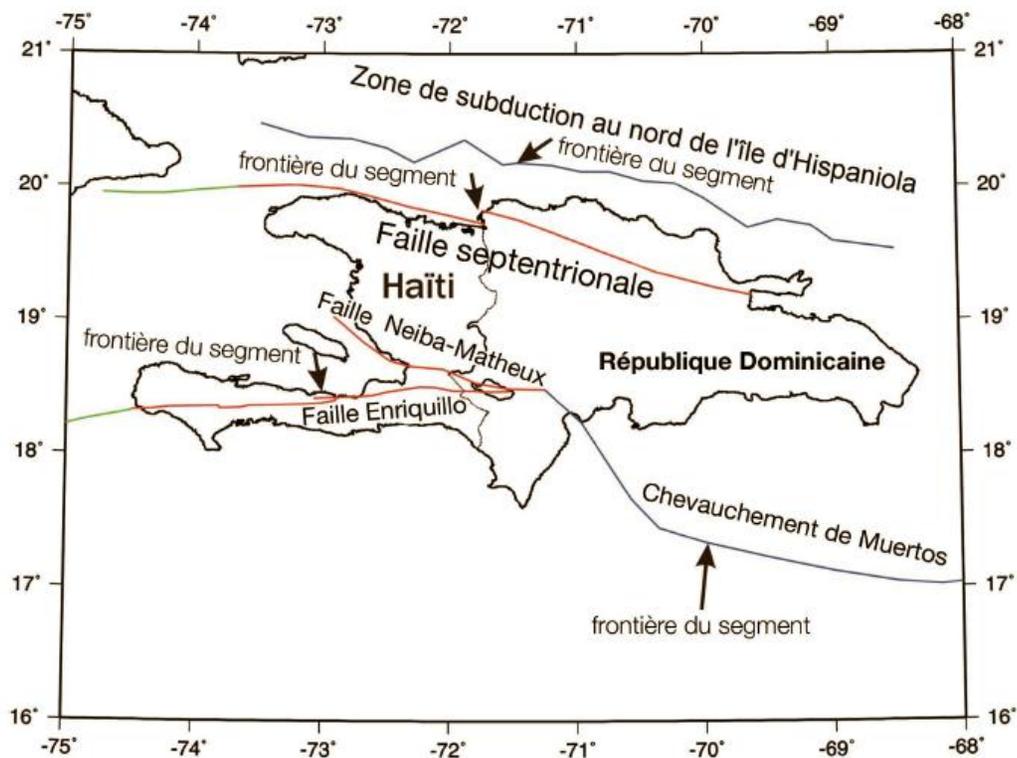


Figure 3 – Failles et zones de subduction utilisées dans le développement des cartes de l'aléa sismique de la République d'Haïti



Figure 4 – Sismicité historique de l'Île d'Hispaniola avant 1960

Cartes d'aléa sismique d'Haïti

Des cartes d'aléa sismique ont été dérivées **spécifiquement** pour Haïti par l'*United States Geological Survey* (USGS) en appliquant la même méthode qui a été utilisée pour dériver les cartes des États-Unis et du Canada [15]. Les cartes obtenues sont reproduites aux Figures 5 à 7. La figure 5 présente la carte des *accélérations maximales du sol* (PGA) exprimées en pourcentage de l'accélération due à la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), avec une probabilité de dépassement de 2 % en 50 ans (période de retour de 2 500 ans) compatible avec les probabilités de dépassement utilisées dans les codes modernes. On note la très haute sismicité d'Haïti et en particulier de sa capitale, Port-au-Prince (68 % de g).

Récemment une carte relative au macro zonage sismique de la région Métropolitaine de Port-au-Prince a été réalisée, les utilisateurs pourront y retrouver les aires de cette Région correspondantes au sol de catégories B et C mentionné dans les pages suivantes du présent document. Cette carte pourra être téléchargée à partir des adresses suivantes :

http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/haiti/macrozonation/out/PaP_geomap_2010_FR.zip ou bien

http://www.lnbtp.gouv.ht/macrozonage/out/PaP_geomap_2010_FR.zip

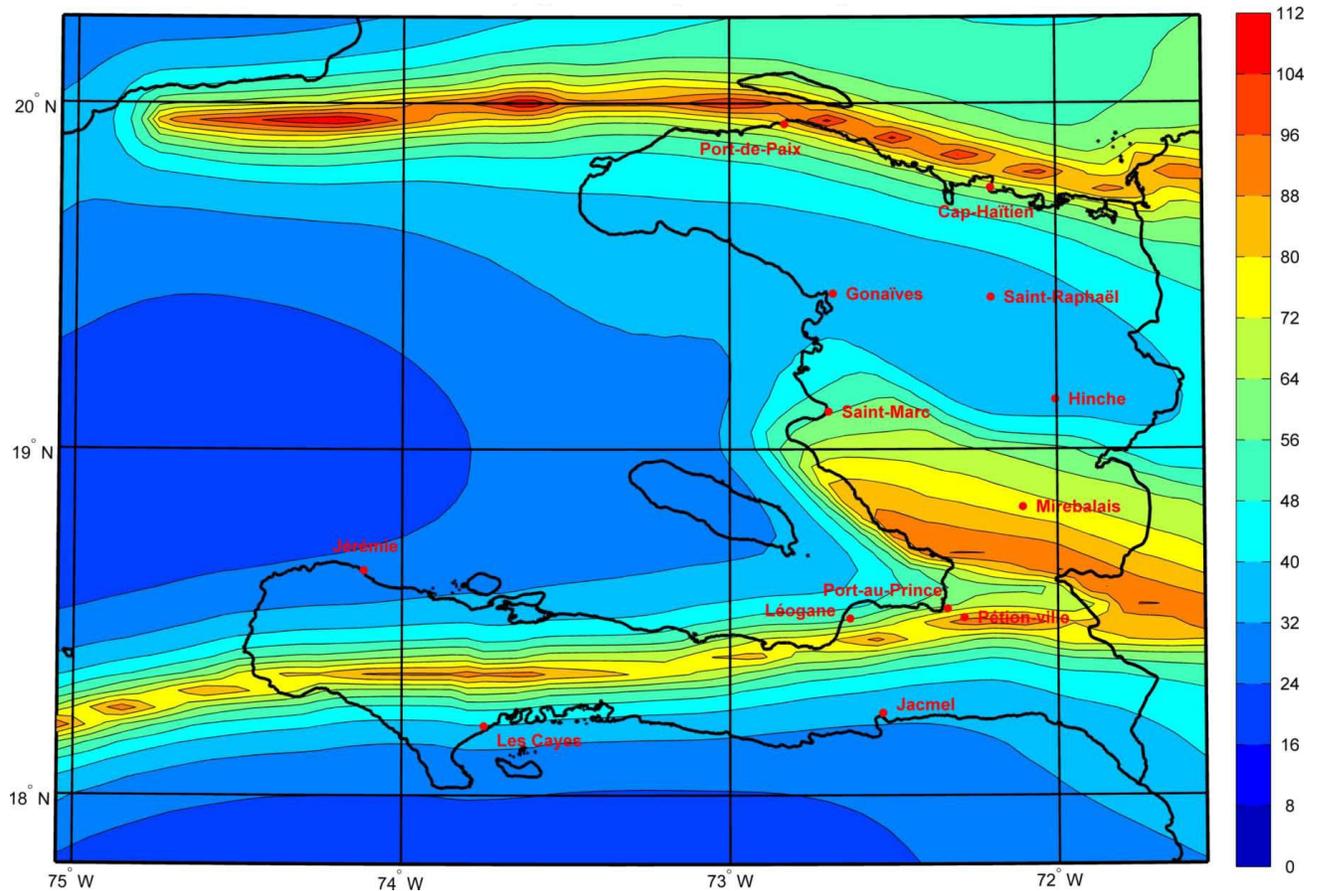


Figure 5- Accélération maximale du sol (PGA, %g) pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans, sans aléa de réplique (données USGS)

Les accélérations spectrales à 0,2 seconde (courte période T) et à 1,0 seconde (longue période T) avec une probabilité de dépassement de 2 % en 50 ans sont présentées aux Figures 6 et 7. Des agrandissements de ces cartes pour Port-au-Prince, Les Cayes et Cap-Haïtien sont présentés aux Figures 8 à 13. Ces cartes sont spécifiques à Haïti et sont susceptibles d'évoluer dans le temps. Elles sont à la base des recommandations de la plupart des codes de calcul parasismique internationaux.

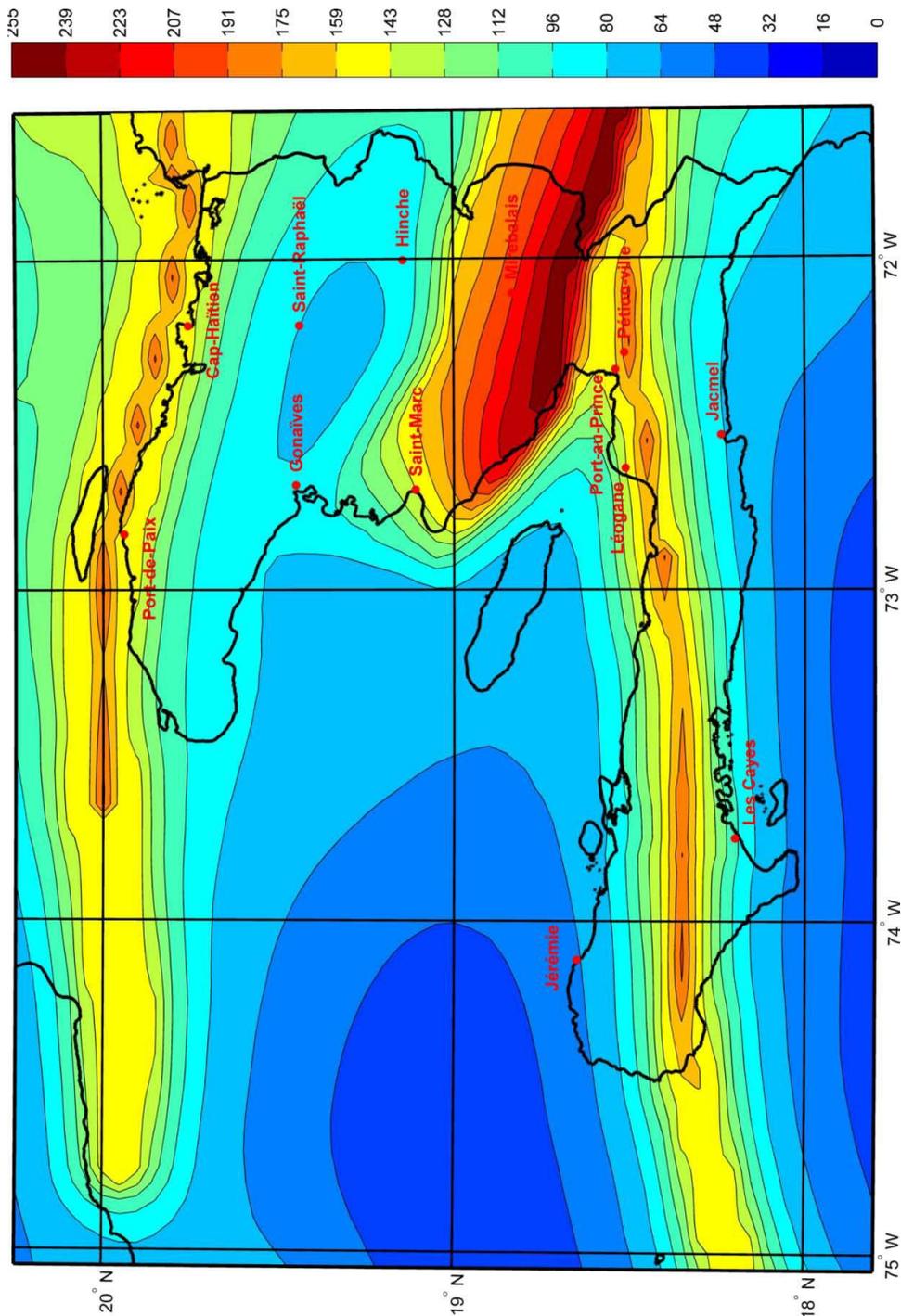


Figure 6- Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

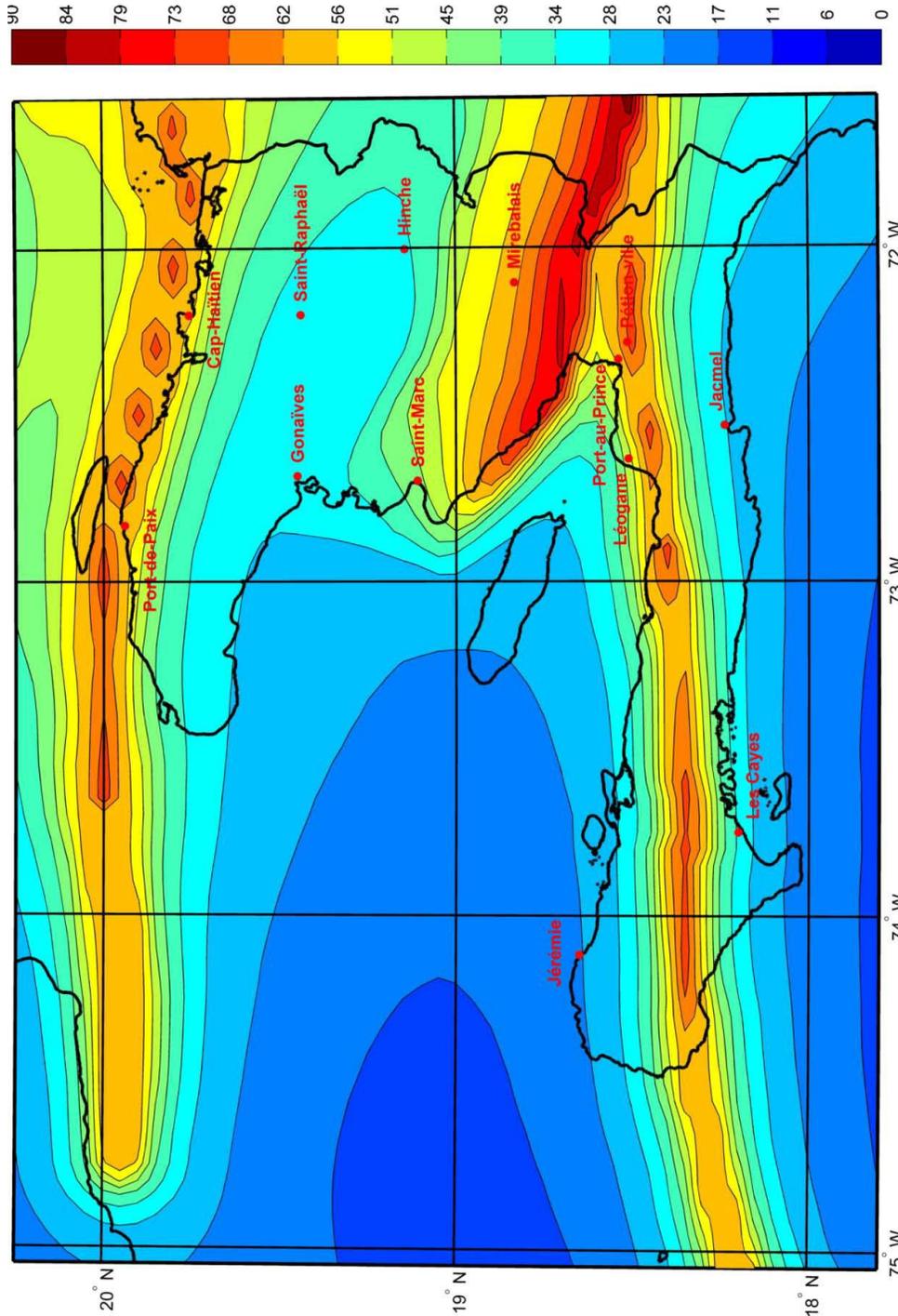


Figure 7- Spectre d'accélération pour une période de 1,0 s, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

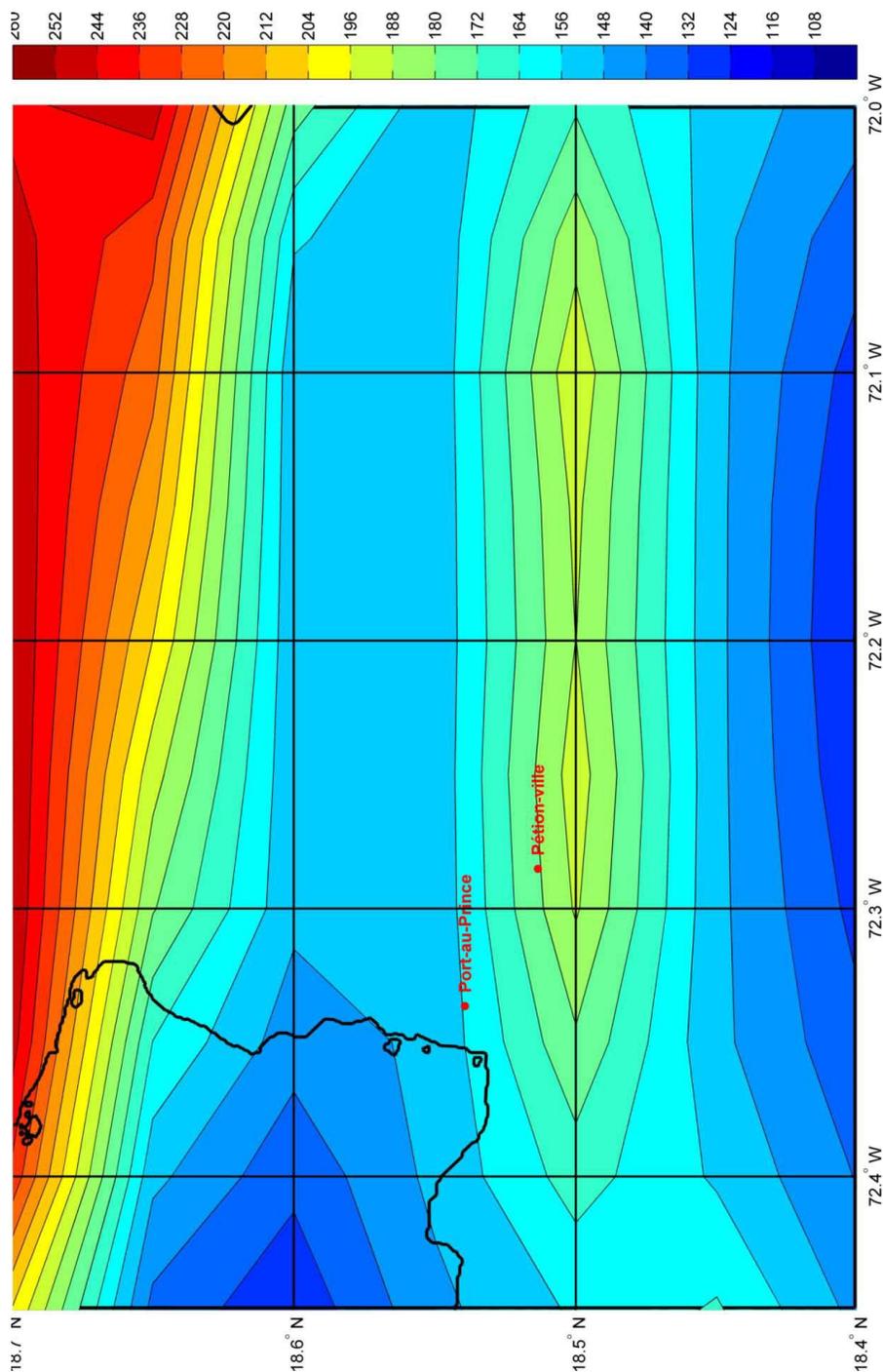


Figure 8- Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région de Port-au-Prince, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

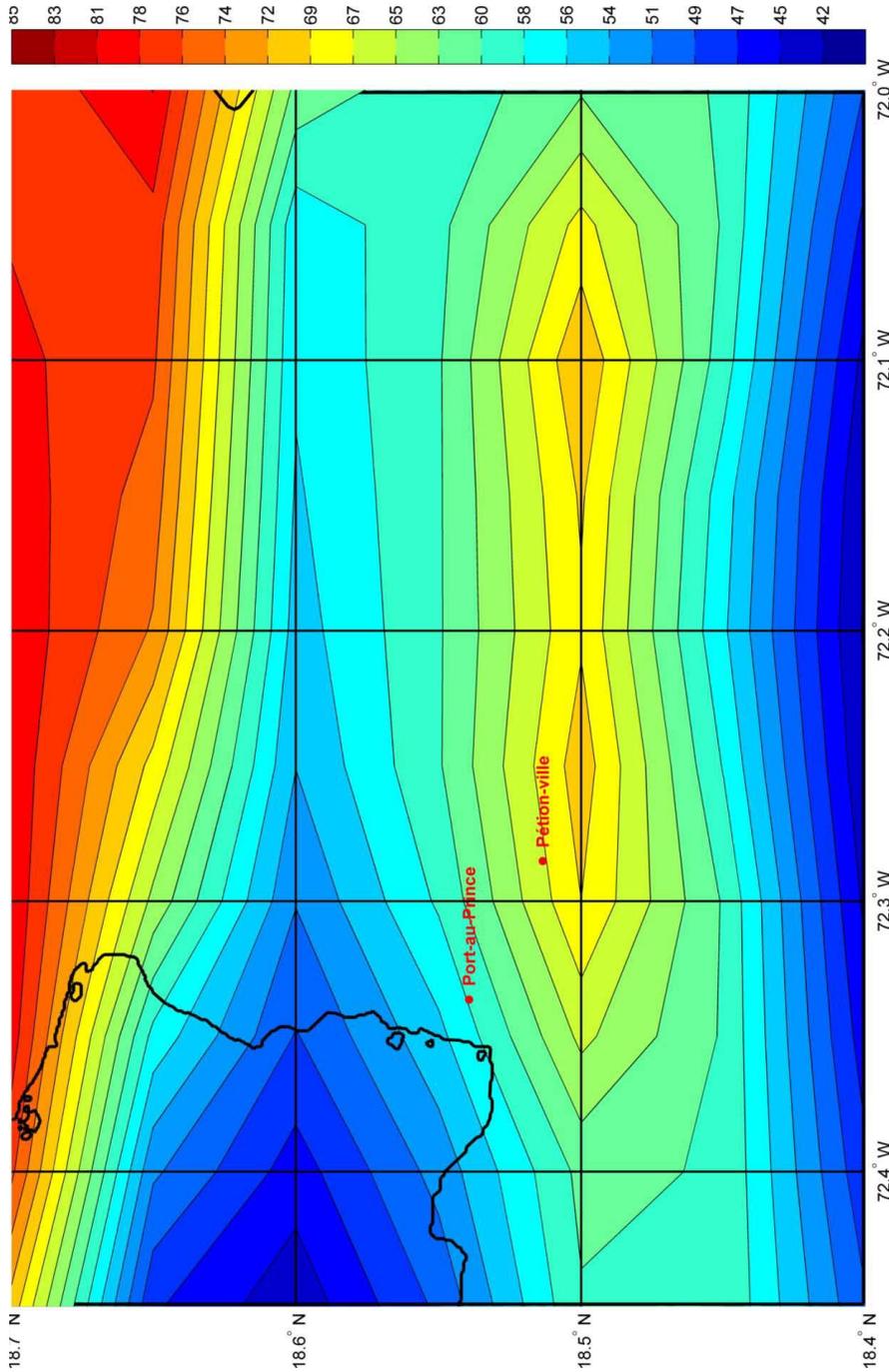


Figure 9- Spectre d'accélération pour une période de 1,0 s de la région de Port-au-Prince, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

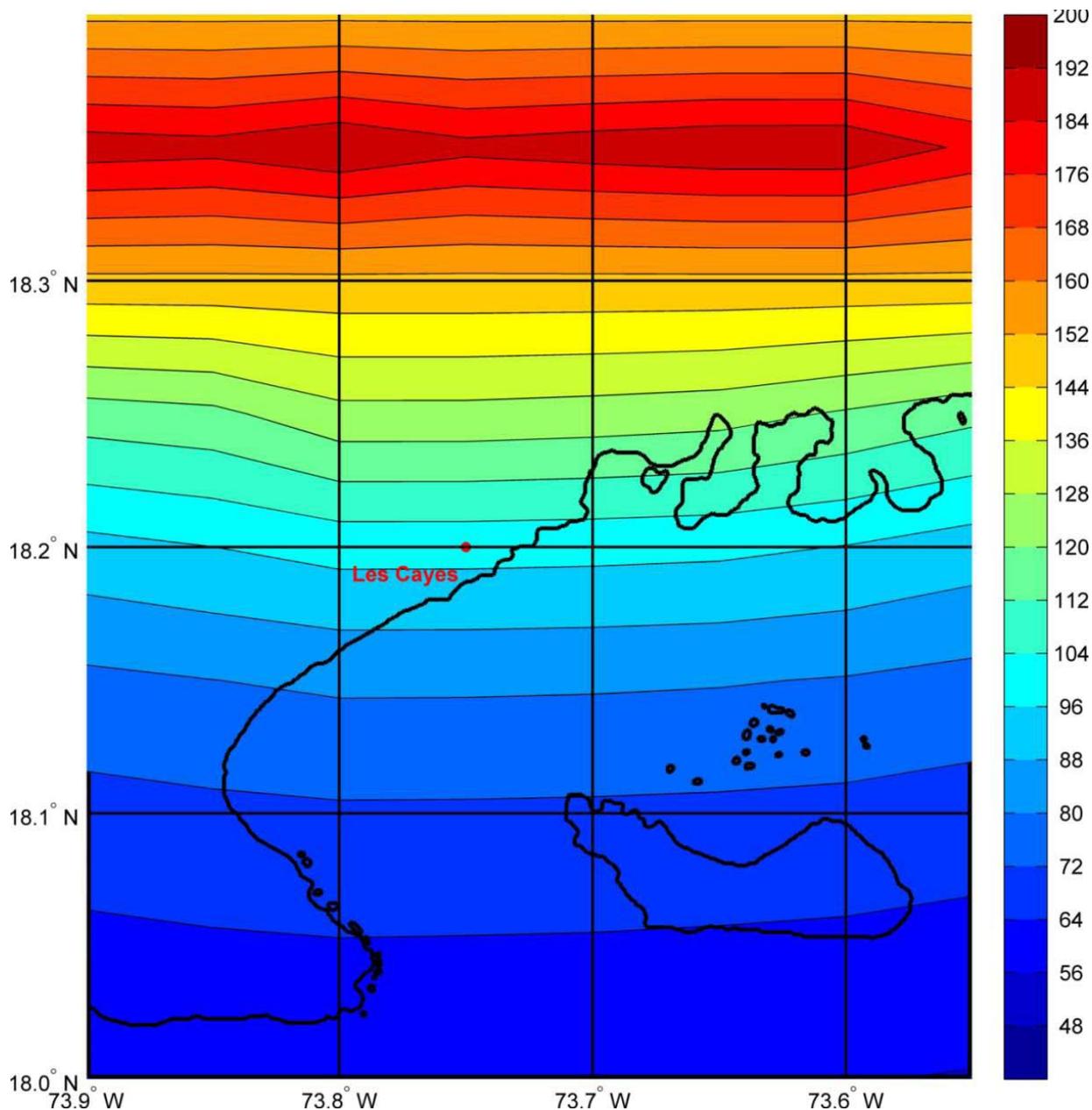


Figure 10 – Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région de Les Cayes, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

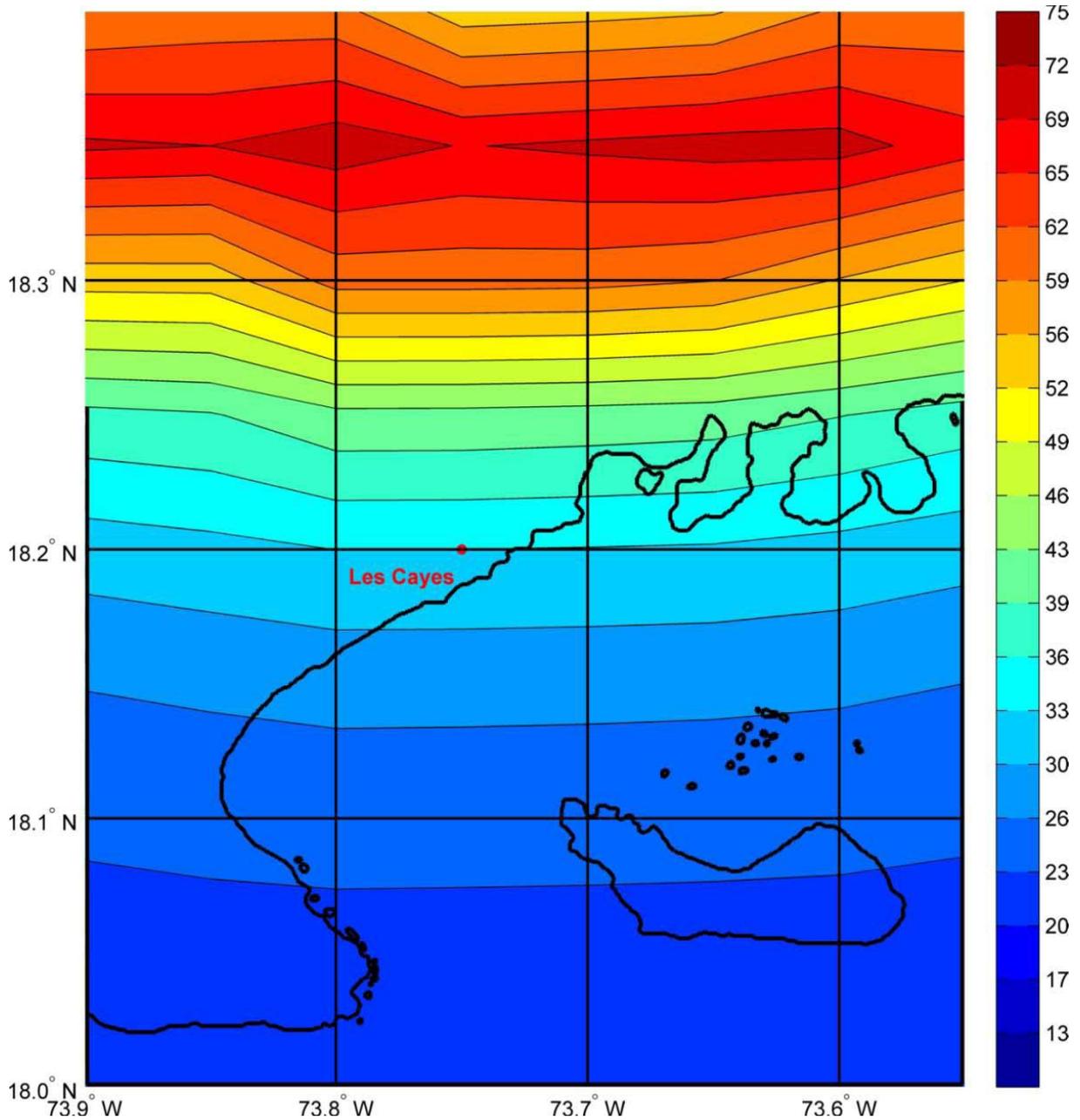


Figure 11 – Spectre d'accélération pour une période de 1,0 s de la région de Les Cayes, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

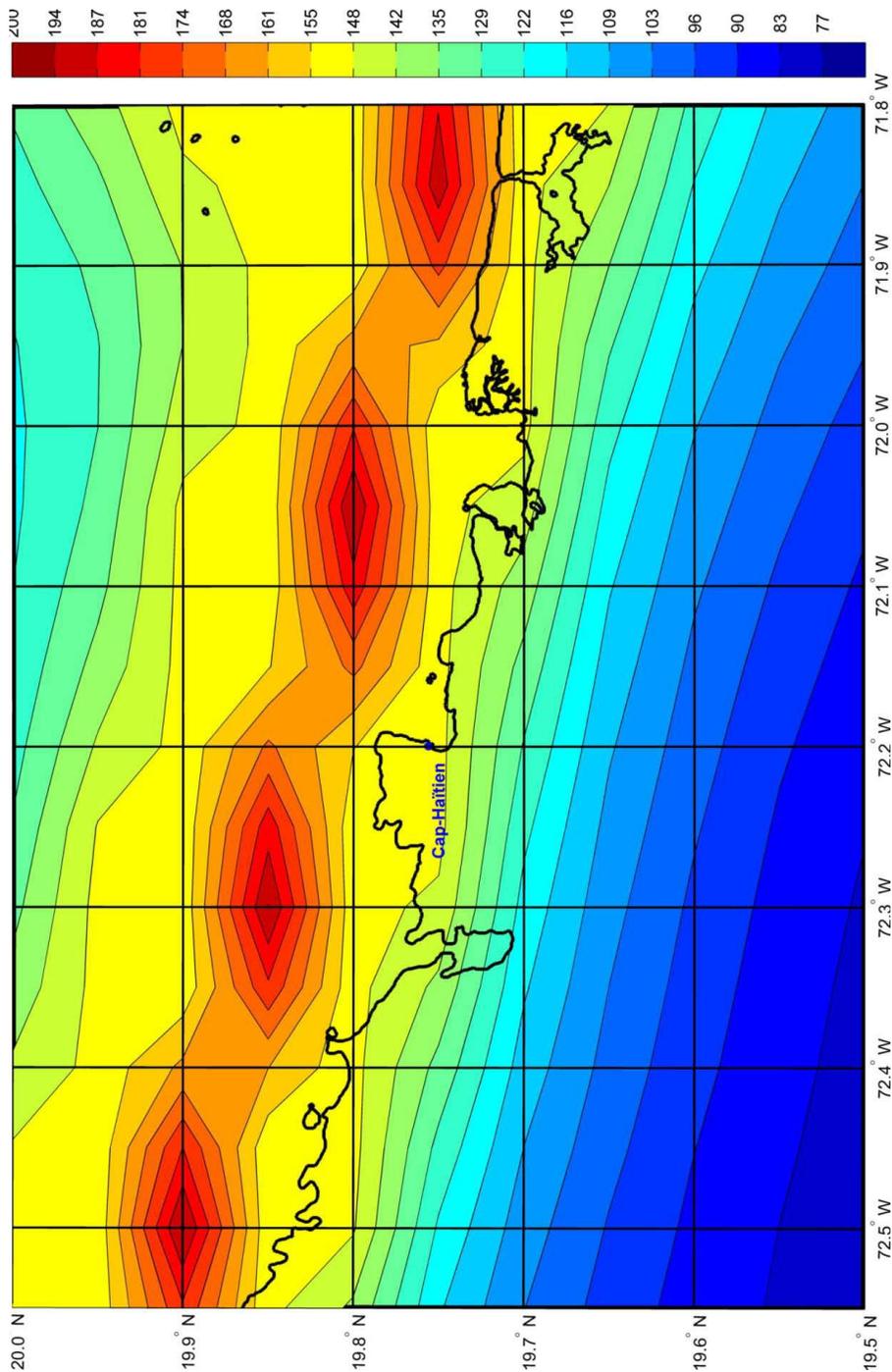


Figure 12- Spectre d'accélération pour une période de 0,2 s de la région de Cap Haïtien, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

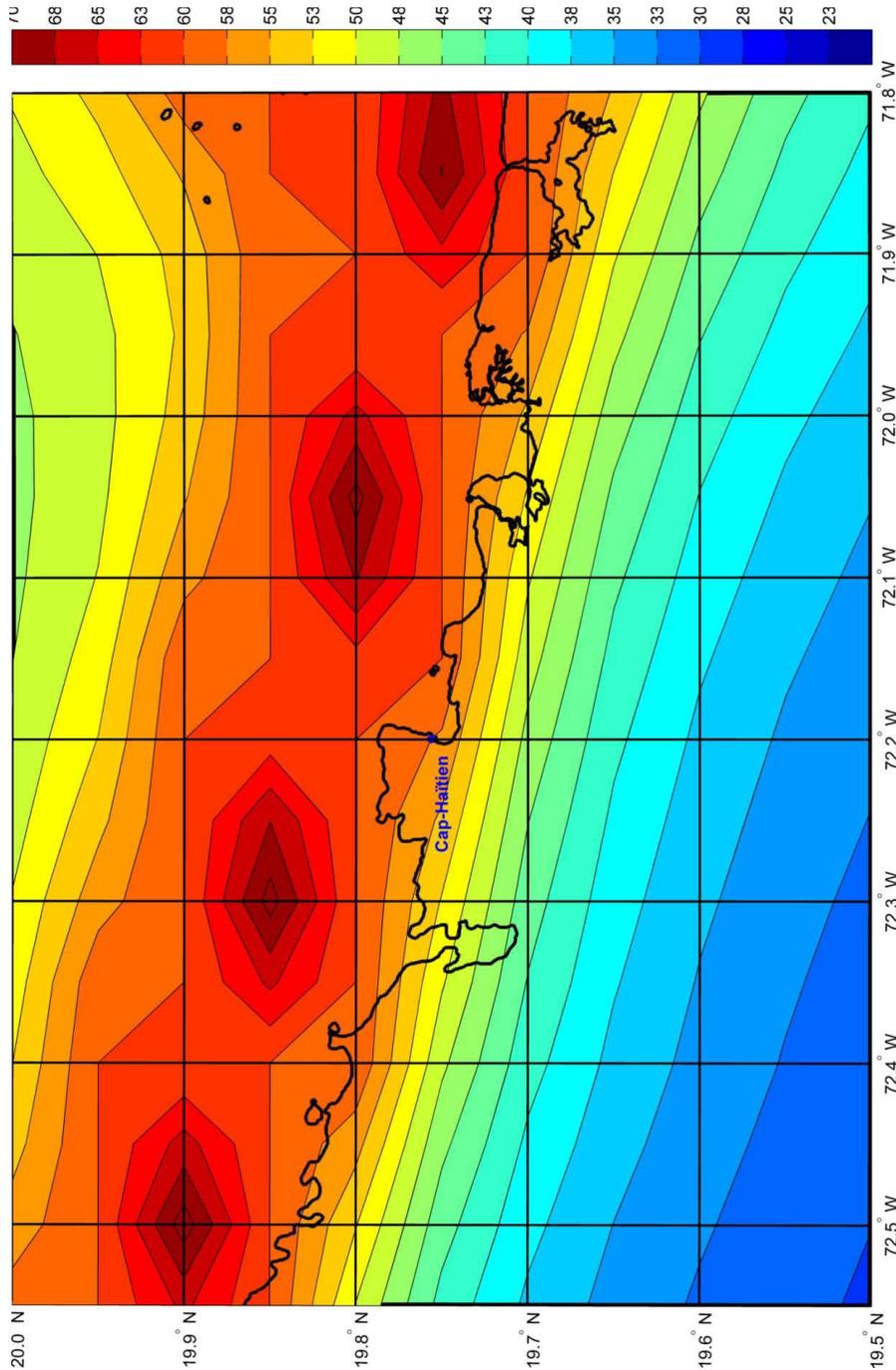


Figure 13- Spectre d'accélération pour une période de 1,0 s de la région de Cap Haïtien, pour 2 % de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (données USGS)

7.3 Utilisation des cartes d'aléa sismique suivant la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05

Pour la norme **ASCE 7-05** [17], il est recommandé d'utiliser les valeurs du *coefficient de surcapacité* W_o , telles que présentées dans le code. Ces valeurs vont de pair avec le *coefficient de modification de la force sismique* R dont les valeurs sont très élevées, comparées aux valeurs du *coefficient de modification de force liée à la ductilité* R_a du code CNBC-05. Il est toutefois recommandé que le coefficient de modification de la force sismique R **ne soit jamais supérieur à 5,0**. Le coefficient de surcapacité W_o ne doit pas être réduit car il majore la charge et correspond à des valeurs très élevées du coefficient R . Les structures ductiles nécessitent en effet un très bon contrôle de la qualité des matériaux et de la construction (ce qui n'est pas toujours le cas en Haïti) et ne devraient être considérées qu'en tenant compte de ces impératifs. Il convient de noter que le type de *sol de référence* est le **Type B** avec des valeurs de *coefficients d'accélération et de vitesse de l'emplacement* F_a et F_v égaux à 1,0 pour toutes les valeurs de S_s et S_1 , les *réponses spectrales de l'accélération* avec un amortissement de 5%, exprimées par rapport à l'accélération gravitationnelle (g) pour une courte et une longue période T , respectivement.

Pour le Code **CNBC-05** [2], il est recommandé d'utiliser **une valeur de 1,0** pour le *coefficient de modification de force lié à la sur-résistance* R_o pour toutes les structures (R_o est équivalent à W_o de la norme ASCE 7-05), tant qu'un meilleur contrôle de la qualité des matériaux, particulièrement du béton, ne sera pas assuré. Étant donné les méthodes de construction en Haïti, le coefficient R_o devrait rarement dépasser 1,3. Les valeurs du coefficient de modification de force liée à la ductilité R_a peuvent être utilisées mais un contrôle strict de la qualité des matériaux doit être assuré pour des valeurs de R_a supérieures ou égales à 2,0. Dans le code canadien, le type de sol de référence est le **Type C** avec des valeurs de coefficients d'accélération et de vitesse de l'emplacement F_a et F_v égaux à 1,0 pour toutes les valeurs de $S_a(0,2)$ et $S_a(1,0)$, les *réponses spectrales de l'accélération* avec un amortissement de 5 %, exprimées par rapport à l'accélération gravitationnelle (g) pour une période T de 0,2 et de 1,0 seconde, respectivement. On notera la différence de type de sol de référence entre les deux codes considérés, même si les tableaux des *Catégories de sol en fonction de la réponse sismique des emplacements* sont les mêmes. L'utilisation des cartes d'aléa sismique d'Haïti suivant le code CNBC-05 peut se faire en calculant les valeurs d'accélération spectrale pour les périodes manquantes ($T = 0,5$ et $2,0$ s) en utilisant les formules proposées à l'article 9.4.1.2.6 de la Référence [7]. Ainsi, $S_a(0,5) = 2 \times S_a(1,0)$ et $S_a(2,0) = 0,5 \times S_a(1,0)$. Toutefois, considérant les méthodes de construction en Haïti, il est fort peu probable que la période T soit aussi élevée que 2,0 secondes.

Le Tableau 5 présente les valeurs des *accélérations maximales du sol (PGA)* et des *accélérations spectrales* (S_s et S_1) pour les périodes de 0,2s et 1,0s obtenues des cartes d'aléa sismique proposées par l'USGS pour les principales villes d'Haïti. Les accélérations spectrales (S_a) pour les périodes de 0,5s et 2,0s, requises pour l'utilisation du code CNBC-05, sont aussi présentées. Les valeurs retenues pour le dimensionnement ont été obtenues en utilisant la méthode proposée par le NEHRP [16], puisqu'il est plus réaliste d'utiliser ces valeurs plutôt que les valeurs interpolées, dans l'état actuel des choses. .

Tableau 5- Accélérations maximales du sol (PGA) et accélérations spectrales avec une probabilité de dépassement de 2 % dans 50 ans. Valeurs de dimensionnement pour différentes villes d'Haïti

Ville	Latitude	Longitude	PGA	S_s $S_a(0,2)$	$S_a(0,5)^1$	S_1 $S_a(1,0)$	$S_a(2,0)^2$
Cap-Haïtien	19.7562	-72.1997	0,66	1,51	1,15	0,58	0,29
Gonaïves	19.4500	-72.6833	0,35	0,81	0,58	0,29	0,15
Hinche	19.1434	-72.0039	0,36	0,88	0,66	0,33	0,17
Jacmel	18.2381	-72.5341	0,34	0,81	0,57	0,29	0,14
Jérémie	18.6500	-74.1167	0,26	0,62	0,44	0,22	0,11
Léogane	18.5108	-72.6339	0,55	1,42	0,98	0,49	0,24
Les Cayes	18.2000	-73.7500	0,40	0,99	0,65	0,33	0,16
Mirebalais	18.8333	-72.1053	0,77	2,05	1,21	0,61	0,30
Pétion-Ville	18.5135	-72.2852	0,85	1,79	1,33	0,67	0,33
Port-au-Prince	18.5393	-72.3364	0,68	1,57	1,16	0,58	0,29
Port-de-Paix	19.9397	-72.8312	0,81	1,54	1,19	0,59	0,30
Saint-Marc	19.1089	-72.6976	0,55	1,44	0,87	0,44	0,22
Saint-Raphaël	19.4392	-72.1997	0,35	0,80	0,63	0,32	0,16

¹ $S_a(0,5) = 2 \times S_a(1,0)$

² $S_a(2,0) = 0,5 \times S_a(1,0)$

Les Figures 14 et 15 montrent, à titre d'exemple, les spectres d'accélération selon la norme ASC7-05 et le code CNBC-05 pour la ville de Port-au-Prince, correspondant à une probabilité de dépassement de 2 % en 50 ans (période de retour de 2 500 ans). Les figures 14 et 15 montrent les spectres correspondant aux sols de catégorie **B** et **C**, pour le Code CNBC-05 et pour la norme ASCE 7-05. La réduction de 2/3 recommandée par le Code CNBC-05 pour les courtes périodes est montrée en ligne pointillée et la réduction de 2/3 sur toutes les périodes recommandée par la norme ASCE 7-05 a été appliquée sur le spectre de l'ASCE. Pour la construction du spectre correspondant au code CNBC-05, les valeurs spectrales ont été obtenues d'après les formules de l'ASCE 7-05 qui n'utilise que les valeurs spectrales à 0,2 s et 1,0 s. Il convient de noter que le coefficient de vitesse de l'emplacement F_v , pour le sol de catégorie **B**, est égal à 1,0 pour la norme ASCE 7-05 et à 0,8 pour le Code CNBC-05 pour $S_a(1,0) \geq 0,5$. En effet, les catégories de sol de référence pour lesquelles les facteurs F_a et F_v sont égaux à 1,0 ne sont pas les mêmes pour la norme ASCE (sol de catégorie **B**) et le code CNBC (sol de catégorie **C**). Les deux spectres se comparent bien lorsque l'on considère les courbes par catégorie de sol dont la définition est strictement identique dans les deux codes.

Le spectre d'accélération de la réplique du 23 février 2010 de magnitude 4,7 enregistrée à Port-au-Prince, dont l'accélération maximale du sol (PGA) dans la direction horizontale N-S était de 0,159g, est aussi tracé sur les Figures 14 et 15 (voir les figures B.6 et C.16 du rapport présenté à l'Annexe 4 de la Référence [17]). Ce spectre d'une réplique de faible magnitude est compatible avec les spectres proposés quand on considère que le séisme du 12 janvier 2010 a relâché au-delà de 900 fois plus d'énergie que la réplique du 23 février 2010. Il souligne la grande accélération spectrale mesurée pour les structures avec des courtes périodes, structures très rigides et de faible hauteur très courantes en Haïti.

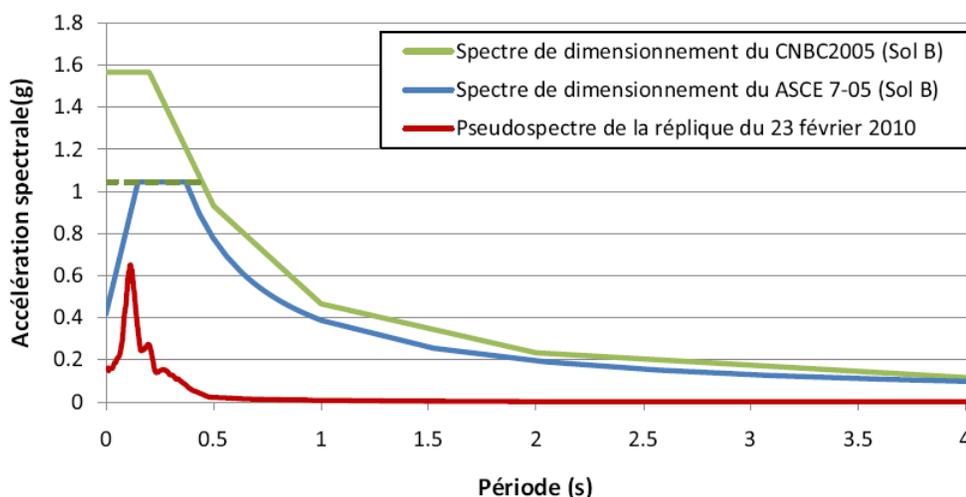


Figure 14- Spectre d'accélération de la ville de Port-au-Prince (CNBC-05 sol B et ASCE 7-05 et IBC 2006 sol B) d'après la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05, et spectre de réponse de la réplique du 23 février 2010 enregistré à Port-au-Prince dans la direction N-S

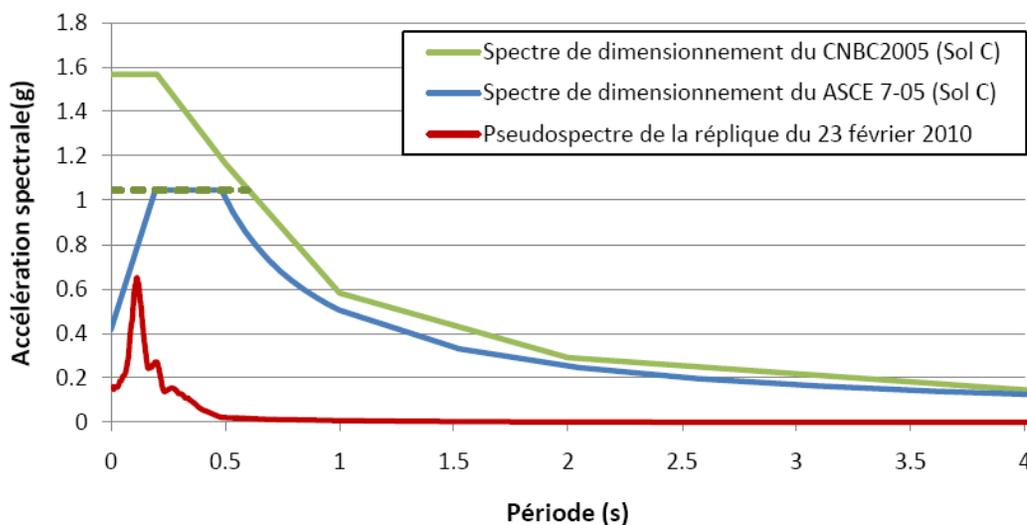


Figure 15- Spectre d'accélération de la ville de Port-au-Prince (CNBC-05 sol C et ASCE 7-05 et IBC 2006 sol C) d'après la norme ASCE 7-05 et le code CNBC-05, et spectre de réponse de la réplique du 23 février 2010 enregistré à Port-au-Prince dans la direction N-S

Il convient de noter que le Code ASCE 7-05, à l'article 9.5.5.2.1, permet une réduction appréciable de l'accélération spectrale pour les bâtiments de 5 niveaux ou moins, dont la période T n'excède pas 0,50 seconde. Il est toutefois sécuritaire de ne pas tenir compte de cette réduction pour les bâtiments de catégorie de risque élevé et les bâtiments de protection civile.

Les données présentées dans cette section peuvent être utilisées pour le dimensionnement des structures et bâtiments en Haïti avec les codes modernes de construction utilisant une probabilité de dépassement de 2 % en 50 ans (période de retour de 2 500 ans).

8.0 CONCLUSION

Les règles intérimaires pour le calcul des bâtiments en Haïti, sont tirées en grande partie du document titré « Mesures d'urgences » préparé par le Groupement SNC Lavalin, LGL S.A et Norbati indiqué à la référence [17] des présentent règles.

Pour une information plus détaillée sur les mesures intérimaires, il est proposé de consulter la Référence [17] publiée sur le site du MTPTC www.mtptc.gouv.ht

Références

- [1] MTPTC, MICT, **Guide de bonnes pratiques pour la construction de petits bâtiments en maçonnerie chaînée en Haïti**, 2010, 121p.
- [2] CNBC, **Code National du Bâtiment- Canada 2005 (CNBC-05)**, Conseil National de Recherche du Canada, 12^e Édition, Ottawa, Ontario, Canada 2005.
- [3] American Concrete Institute, **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)**, ACI, P.O. BOX 9094, Farmington Hills, MI 48333, 1995, 369p.
- [4] International Code Council, **IBC- International Building Code**, ICC, 4051 West Flossmoor Road, Country Club Hills, Il. 60478, USA, 2nd printing, May 2009, 650p.
- [5] Comité Européen de Normalisation, **Eurocode 8 : Conception et Dimensionnement des Structures pour leur Résistance aux Séisme**, Parties 1-6, EN-1998, Bruxelles, Belgique, 1998.
- [6] CUBiC, **Caribbean Uniform Building Code**, Parts 1-3, Caribbean Community Secretariat, Georgetown, Guyana, 1985.
- [7] ASCE 7-05 – **Minimum design Loads for Buildings and Other Structures**, American Society of Civil Engineers, 2005.
- [8] BS 6399-2;1997 – British Standard – **Loading for Buildings – Part 2: Code of Practice for Wind Loads**, 1997.
- [9] Comité Européen de Normalisation, **Eurocode 1 : Actions on structures – Part 1-4 : General actions – Wind actions**, EN-1991, Bruxelles, Belgique, 1991.
- [10] Shellard, H.C., **Extreme wind speeds in the Commonwealth Caribbean**, BAPE Journal, December 1972.
- [11] Rocheford, B.A., **Extreme wind speeds in Barbados and Antigua**, Caribbean Meteorological Institute, 1972.
- [12] Davenport, A.G., Georgiou, P.N. and Surry, D., **A hurricane wind risk study for the Eastern Caribbean, Jamaica and Belize with special consideration to the influence of topography**, Report for the Pan-Caribbean Disaster Prevention and Preparedness Project (PCDPPP), 1985.
- [13] Vickery, P.J. and Wadhwa, D., **Development of design wind speed maps for the Caribbean for application with wind load provisions of ASCE 7**, A report prepared for Pan American Health Organization and funded by United States Agency for International Development (USAID), 2008.



Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti

Surcharges dues à l'usage, au vent et considérations parasismiques

- [14] Gibbs, T., **Wind hazard maps for the Caribbean basin**, A presentation prepared for Pan American Health Organization and funded by United States Agency for International Development, 2008.
- [15] Frankel, A., Harmsen, S., Mueller, C., Calais, E. and Haase, J., **Documentation for initial seismic hazard maps for Haïti**, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1067, 2010, 12p
- [16] NEHRP, **Recommended Seismic Previsions for New Buildings and Other Structures**, FEMA P-750/2009 Edition.
- [17] SNC-Lavalin, LGL S.A. et Norbati Consultants, **Étude code de construction - Mesures d'urgence – Haïti** (dossier # 502817), (disponible sur le site du MTPTC), 2010, 180p.



Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti

Surcharges dues à l'usage, au vent et considérations parasismiques

Edition MTPTC

15 Février 2011