

Groupe	Mission	Immeuble	Type	Catégorie	Document	Date du rapport	Consultant
AMS-B	Bridgetown (Barbade)	Chancellerie	Propriété	1 occupation immédiate (OI)	Phase 1/2 de l'évaluation sismique	Octobre 2010	JL Richards

Norme utilisée	Type de structure ASCE	Type de structure NRC	IPS
Norme ASCE 31-03 telle que modifiée par le MAECI et le CNBC 2005	Charpentes contreventées en acier avec diaphragmes rigides (S2)	Charpente contreventée en acier (CCA)	S.O.

Objectif : Déterminer la performance sismique de la structure et présenter 3 options de modernisation parasismique pour fournir un système de résistance aux forces sismiques (SRFS) avec une capacité suffisante pour l'événement sismique de conception.

Description de l'immeuble :

- Construit en 1984.
- Deux étages au-dessus du sol avec un niveau de sous-sol partiel.
- Poteaux en acier, solives en acier, dalles de plancher en béton sur tabliers métalliques et semelles en béton armé (BA).
- Finition avec des panneaux de mortier ou de plâtre et des vitrages.
- Les revêtements de finition intérieure sont variés et se composent de vitrages, de maçonnerie de béton et de cloisons en plaques de parement.
- Les charpentes contreventées en acier avec des poteaux en acier profilé de charpente creux (APCC), des poutres en acier de construction, des entretoises diagonales en acier de construction et des diaphragmes de tablier sont tabliers métalliques ou des tabliers métalliques composites avec des diaphragmes en BA.
- Fondations et sous-sol :
 - Fondations non visibles, dalle de sous-sol et murs de fondation visibles dans le vide sanitaire au niveau du sous-sol.
 - Les murs du sous-sol sont constitués de blocs de maçonnerie en béton, les poteaux en APCC reposent sur des plaques de base fixées aux fondations par deux boulons d'ancrage.
 - Dalle de béton dans le vide sanitaire en bon état.
 - Taches efflorescentes dans les murs de maçonnerie en béton.

- La corrosion d'une poutre en acier et d'une poutre à treillis dans une salle d'approvisionnement au sous-sol serait causée par l'humidité provenant de l'appareil de climatisation.
- Rez-de-chaussée, deuxième étage et toit :
 - Les poteaux, les poutres, les contreventements et le tablier acier de construction du plancher et du toit ont été observés en retirant sélectivement les panneaux de plafond acoustique suspendus.
 - Pas de corrosion/de détérioration.
- Façade extérieure :
 - Consiste en un vitrage et des panneaux en béton ou en maçonnerie.
 - Pas de dommage/de détérioration visible.

Type de sol : Site de classe C présumé.

Système de résistance aux forces latérales : Charpentes contreventées constituées de poteaux en APCC et de poutres en W avec des contreventements diagonaux en forme de L.

Forces latérales appliquées à la structure au centre de masse et qui sont fonction du déplacement de la structure (accélération) et du poids inertiel de la structure. Les forces latérales suivent le chemin de charge depuis les diaphragmes du plancher ou du toit jusqu'aux fondations en passant par les SRFS.

- *Diaphragmes* :
 - Les dessins de structure ne font aucune référence aux considérations sismiques et les contreventements latéraux sont spécifiquement désignés comme des contreventements. Dans la conception sismique, les diaphragmes d'étage et les raccords de diaphragme sont plus importants pour la performance du bâtiment.
 - L'absence de support latéral dans la direction N-S dans le toit de l'étage supérieur nécessite des éléments de contreventement latéraux supplémentaires le long des bords E et O (analyse fondée sur des hypothèses selon lesquelles des entretoises supplémentaires seront installées).
 - Les assemblages soudés des diaphragmes du toit ne présentent pas un modèle d'espacement acceptable par rapport aux solives pour le transfert des charges latérales (il faudrait dire qu'un espacement supérieur à 300 mm n'est pas pris en compte), un grand espacement entre les soudures donne un élément moins rigide avec une capacité de cisaillement inférieure.
 - Le tablier métallique in situ ne se comporterait pas de manière satisfaisante lors de l'événement sismique de conception.
 - Le modèle d'assemblage du diaphragme du deuxième étage n'est pas acceptable selon les normes canadiennes pour le transfert des charges latérales et ne fonctionnerait pas de façon satisfaisante pendant l'événement sismique de conception.

- La membrure périphérique existante n'a pas une capacité suffisante pour transférer les forces de compression et de tension du diaphragme au SRFS.
- Les diaphragmes du tablier existants n'ont pas une capacité suffisante pour transférer les forces de cisaillement dans le diaphragme au SRFS, en particulier autour des ouvertures du diaphragme, où la largeur du diaphragme est réduite ou dans le toit où le diaphragme est relié à des poutres en acier légères (une mise à niveau pour améliorer la résistance au cisaillement des diaphragmes du tablier en acier est nécessaire).
- *Poteaux en APCC* : On a supposé que les forces sismiques pouvaient être transférées au SRFS à partir de diaphragmes en acier.
- *Entretoises diagonales* : La capacité de traction est fondée uniquement sur la résistance de l'élément, car aucun détail d'assemblage n'est fourni. D'après les vérifications d'élançement, aucun élément de contreventement ne se situe dans la plage admissible pour supporter des forces de compression et est donc considéré comme un élément de tension pure.

Sismicité	PGA à 10 %/50 ans (m/s ²)	Estimation de la PGA à 2 %/50 ans (g)	Tremblements de terre importants
Élevée	S.O.	0,377*	<ul style="list-style-type: none"> • Îles Caïmans M6,8, 2004 • Martinique M7,4, 2007 • Haïti M7,0, 2010.

* Environ 90 % de la valeur d'Ottawa

Irrégularités de construction :

- Aucune

PHASE 1 – ÉVALUATION SISMIQUE

Rapports demande/capacité :

	Rapports demande/capacité pour les poteaux en APCC (Cf/Cr ou Tf/Tr) + Mf/Mr		Rapports demande/capacité pour les poutres en acier (Vf/Vr)	Rapports demande/capacité pour les entretoises diagonales en tension	
	60 %	1,06		60 %	1,25
Maximum	100 %	1,11	0,16	100 %	2,02
	150 %	1,75		150 %	3,13

Moyenne	60 %	0,556	0,0861	60 %	0,651
	100 %	0,662		100 %	0,996
	150 %	0,518		150 %	1,541
Écart-type	60 %	0,275	0,0575	60 %	0,307
	100 %	0,330		100 %	0,425
	150 %	0,518		150 %	0,688

- Les poteaux du rez-de-chaussée au deuxième étage ont des rapports D/C plus élevés que ceux du plancher au toit.
- 7 poteaux sur 16 sont supérieurs à 1,0 (100 %).
- Les rapports D/C pour les poutres en cisaillement sont tous inférieurs à 1 et les poutres ont une flexion négligeable. Il est probable que la surrésistance et la ductilité soient suffisantes pour permettre les déformations inélastiques requises par l'événement sismique de conception. Aucun détail n'est fourni pour les assemblages poutre-poteau, de sorte que l'adéquation de l'assemblage ne peut être commentée.

Éléments de la liste de vérification non conformes :

3.7.4 Structure de base : 2 diaphragmes séparés, la distance entre le centre de masse de l'étage et le centre de rigidité de l'étage dépasse 20 % du bâtiment pour le plus petit. Rouille visible sur une poutre et une solive en acier dans la salle des fournitures d'entretien. Le nombre de travées contreventées dans chaque direction est inférieur à 3 comme l'exige l'OI (redondance). Contrainte axiale dans les entretoises diagonales supérieure au maximum autorisé. L'ancrage des poteaux en acier n'est pas en mesure de développer la capacité de soulèvement de la fondation. Les détails des assemblages des diaphragmes aux charpentes en acier sont inconnus.

3.7.4 Structures supplémentaires : Ratios d'élançement des éléments diagonaux supérieurs à la valeur maximale. Détails de l'assemblage inconnus.

3.8 Risques géologiques du site et fondations : Le potentiel de liquéfaction et de faille de surface est inconnu. Le rapport entre la dimension horizontale du SRFL au niveau de la fondation et la hauteur du bâtiment est inférieur aux valeurs minimales, les travées contreventées sont vulnérables au renversement.

3.9.1 Éléments non structuraux de base : Unités en MNR non contreventées. Détails des ancrages de bardage, des assemblages d'isolation de bardage et des pièces d'insertion inconnus. L'équipement mécanique de plus de 20 lb et la tuyauterie d'extinction des incendies ne sont pas renforcés. Aucun raccord souple n'a été noté sur le système d'extinction des incendies.

3.9.2 Éléments non structuraux intermédiaires : Le vitrage des fenêtres extérieures ne comporte pas de film de sécurité.

3.9.3 Éléments non structuraux supplémentaires : Les sommets des cloisons qui s'étendent jusqu'à la ligne de plafond ne sont pas contreventés latéralement à la structure du bâtiment. Les

bords des plafonds intégrés ne sont pas séparés des murs fermés par le minimum de $\frac{1}{2}$ pouce requis. Le vitrage extérieur n'est pas un verre de sécurité feuilleté ou renforcé par traitement thermique. Pas de loquets sur certaines portes et certains tiroirs d'armoires. L'équipement électrique et le câblage associé ne sont pas contreventés latéralement. Les conduites de fluides et de gaz ne sont pas contreventées. Les détails des robinets d'arrêt requis ne sont pas connus.

PHASE 2 – ÉTUDE DES OPTIONS DE MODERNISATION

Options de modernisation parasismique

- I. Remplacement des éléments de contreventement
- II. Travées contreventées supplémentaires

Mises à niveau initiales des chemins de charge

Chaque option de modernisation nécessite cinq améliorations de base des éléments clés du chemin de charge pour transférer les charges sismiques aux SRFS et aux fondations. La CH pourrait être encore améliorée par l'installation d'amortisseurs à friction dans les travées contreventées. Ils dissipent l'énergie sismique en augmentant l'amortissement de la structure et en diminuant la fonction de force.

1. Amélioration de la capacité du toit / mise à niveau des diaphragmes du toit
 - a. Le diaphragme du toit n'a pas une capacité suffisante pour transférer les forces de cisaillement au SRFS.
 - b. Les options permettant d'augmenter la capacité comprennent : des entretoises horizontales avec des diaphragmes en acier supplémentaires ou le remplacement du diaphragme existant par un tablier en acier de calibre supérieur avec un modèle d'assemblage adapté pour résister aux charges appliquées.
2. Amélioration de la capacité du diaphragme du 2^e étage/mises à niveau du diaphragme du 2^e étage
 - a. Selon le niveau de conception et la stratégie de modernisation, il peut être nécessaire de mettre à niveau la capacité de cisaillement.
 - b. Mêmes options que pour le toit, en soudant le tablier en acier aux éléments de soutien pour créer un modèle d'assemblage acceptable afin de développer la résistance du diaphragme.
3. Amélioration de l'assemblage des diaphragmes du tablier au SRFS/mises à niveau de l'assemblage entre le diaphragme et le SRFS
 - a. Absence de chemin de charge clairement défini entre le diaphragme et le SRFS, ce qui indique la possibilité que les diaphragmes d'étage se détachent de leurs soutiens pendant un événement sismique.
 - b. Remplacement de la cornière périphérique existante par une section en acier plus grande pour à la fois transférer les charges au SRFS et résister aux forces de tension et de compression générées par la flexion du diaphragme du tablier.
4. Entretoises de toit horizontales

- a. Le niveau du toit nécessite un contreventement horizontal à certains endroits pour assurer l'assemblage entre une petite partie du diaphragme du toit qui est séparée du diaphragme principal et le SRFS dans la direction N-S.
 - b. Important car le bâtiment existant n'a pas de moyen défini pour retenir latéralement cette partie du toit dans la direction N-S.
5. Mises à niveau des fondations
- a. Mises à niveau des fondations des travées contreventées
 - b. Installation d'ancrages au roc pour résister à un soulèvement important de la fondation par le SRFS, jugée nécessaire dans tous les cas.
 - c. La mise à niveau de l'assemblage poteau-fondation pour résister aux forces de tension élevées présentes dans les conditions de soulèvement, impliquerait une plaque de base en acier plus grande et un pilier en béton pour accueillir plus de boulons d'ancrage afin de transférer les forces aux ancrages au roc.
- I. Remplacement des éléments de contreventement
- Remplacer les éléments de contreventement diagonaux dans les travées contreventées par des éléments plus grands pour augmenter la capacité du SRFS.
 - Hypothèse selon laquelle les diaphragmes du deuxième étage et du toit seront mis à niveau pour augmenter leurs capacités de cisaillement et les fondations seront mises à niveau pour résister aux forces de soulèvement.
 - Lors de la conception de bâtiments à charpente contreventée, il est nécessaire que les éléments diagonaux soient le point du SRFS où la déformation se produit. Au fur et à mesure que la résistance du SRFS augmente, la résistance requise des autres composants doit également être augmentée, notamment l'assemblage des éléments, le transfert de cisaillement entre les charpentes contreventées et les diaphragmes, les diaphragmes et la capacité des fondations.
 - Les forces sismiques ne sont distribuées qu'à 4-5 travées contreventées dans les directions N et S, les forces sismiques sont plus concentrées, ce qui entraîne des charges plus élevées dans les diaphragmes du tablier adjacents aux travées contreventées et dans les fondations qui supportent les travées contreventées.
 - Les revêtements de finition intérieure dans la zone de chaque travée contreventée seront enlevés pour permettre l'accès aux éléments de contreventement existants.
 - Résultat final : une travée contreventée avec des éléments de contreventement diagonaux ayant une capacité de résistance à la traction plus élevée.
- II. Travées contreventées supplémentaires
- Ajout d'entretoises diagonales à des charpentes en acier actuellement non contreventées dans la CH pour augmenter la capacité du SRFS.
 - Le placement se ferait le long du périmètre du bâtiment, comme les travées contreventées existantes, de façon à ne pas interférer avec les détails architecturaux, tels que les grandes fenêtres de l'entrée principale et de façon à ce que le centre de

rigidité ne soit pas décalé par rapport au centre de masse. Le déplacement entraînerait une amplification des forces de cisaillement dans le bâtiment en raison d'une torsion accrue.

- L'augmentation du nombre de travées contreventées dans une direction de charge donnée est un moyen efficace de répartir les forces sismiques appliquées à un bâtiment sur un plus grand nombre d'éléments RFS, ce qui permet de réduire les charges dans chaque élément et contribue à la redondance de la structure (élément non conforme de la liste de vérification).
- La magnitude des forces dans les travées contreventées serait répartie sur un plus grand nombre de travées, ce qui réduirait les forces associées dans les diaphragmes et réduirait le niveau des travaux nécessaires pour renforcer les diaphragmes et les fondations.
- Les revêtements de finition intérieure dans la zone de chaque travée contreventée doivent être modifiées ou enlevées pour permettre l'accès aux éléments en acier existants. Chaque travée supplémentaire nécessiterait l'installation de plaques pour des détails d'assemblage similaires à ceux du site.

Option de modernisation	Cas de charge	Estimation des coûts (dollars canadiens)**	Durée estimative	Niveau d'intrusion
Remplacer les éléments de contreventement existants	60 %	0,710 M\$	8 à 16 mois	Élevé
	100 %	0,850 M\$	8 à 16 mois	Élevé
	150 %	1,30 M\$	8 à 16 mois	Élevé
Travées contreventées supplémentaires	60 %	0,42 M\$	8 à 16 mois	Élevé
	100 %	0,50 M\$	8 à 16 mois	Élevé
	150 %	0,73 M\$	12 à 16 mois	Élevé

** Les coûts sont fondés sur la moyenne nord-américaine (NA) de la main-d'œuvre et des matériaux.

Mises à niveau des composants non structurels

Composants non structurels	Danger	Solution	Coût estimé (dollars canadiens)
Murs en maçonnerie	Lors d'un événement sismique, possibilité que des parties des murs en béton armé et des cloisons de la CH basculent dans la zone adjacente du bâtiment.	Installation d'une cornière en acier pour contreventer le sommet de ces murs.	10 000 \$

Fenêtres	Rien n'indique que les fenêtres contiennent du verre de sécurité ou qu'elles sont traitées avec un film de sécurité. Le but du verre/film de sécurité est d'empêcher la vitre de se détacher du cadre et/ou de se briser lors d'un événement sismique ou autre.	Application d'un film de sécurité ou remplacement des fenêtres existantes par des fenêtres de sécurité.	25 000 dollars pour le film de sécurité ou 75 000 dollars pour le remplacement des fenêtres
Conduites d'alimentation en gaz	Les dommages causés aux conduites d'alimentation en gaz naturel ont un potentiel élevé de provoquer un incendie de bâtiment.	Installation de supports pour les conduites de gaz et le système d'extinction des incendies	200 \$ par entretoise
Fourniture d'extinction des incendies		Des raccords souples pour permettre le déplacement latéral du système sans	150 \$ CAD par raccord
		compromettre les tuyaux	
Gros mobilier et équipements mécaniques/électriques	Les armoires et les bibliothèques peuvent présenter un risque pour la sécurité, car elles peuvent basculer sur les occupants ou bloquer les sorties de secours.	Ancrage des meubles aux murs adjacents. Le contreventement des luminaires/des équipements suspendus doit également être pris en compte.	S.O.

Recommandations du rapport :

- Amélioration des chemins de charge
 - Ajout d'entretoises horizontales ou d'un diaphragme en acier de plus grande capacité sur le toit ou le remplacement du diaphragme du toit existant par un tablier en acier de calibre supérieur avec un modèle d'assemblage adapté aux charges appliquées.

- Mettre à niveau la capacité du diaphragme du deuxième étage en utilisant les mêmes méthodes que celles pour le diaphragme du toit. Il s'agirait également de souder le tablier en acier aux éléments de soutien afin de créer un modèle de connexion acceptable pour développer la résistance du diaphragme.
- Remplacement de la cornière périphérique existants le long du périmètre des diaphragmes afin de transférer adéquatement les charges au SRFS.
- Placement d'entretoises horizontales au niveau du toit à certains endroits, des entretoises sont nécessaires pour assurer un assemblage entre la petite partie du diaphragme du toit qui est séparée du diaphragme principal et le SRFS dans la direction nord-sud.
- Mise en place d'ancrages au roc et d'autres mises à niveau des fondations afin de fournir une capacité de soulèvement suffisante aux charpentes contreventées pour résister à l'événement sismique de conception.
- La résistance de l'acier de construction composant le SRFS doit être confirmée par des essais intrusifs (essais de matériaux).
- L'ajout de nouvelles travées contreventées et le remplacement des éléments de contreventement existants par des amortisseurs à friction seront poursuivis si le seuil de capacité de 150 % est atteint.
- Intégration d'amortisseurs à friction, pour réduire l'impact de la modernisation en termes de calendrier de construction, de coût et d'impact sur les occupants.
- Modernisation des éléments non structuraux.

Notes de l'examineur :

- La résistance des diaphragmes du tablier en acier s'est avérée insuffisante pour transférer les charges au SRFS, les éléments de contreventement diagonaux se sont avérés avoir une capacité insuffisante et les fondations ont été jugées avoir une capacité de soulèvement insuffisante.
- Les masses effectives des 2 étages ont été vérifiées et il s'est avéré qu'elles ne variaient pas de plus de 50 %, conformément à la norme ASCE.
- La distance estimée entre le centre de masse de l'étage et le centre de rigidité de l'étage est supérieure à 20 %, en raison d'un diaphragme de toit plus petit dont le centre de rigidité se trouve sur le bord extérieur du bâtiment.
- Les contraintes axiales dans les poteaux soumis à des forces de renversement se sont avérées inférieures à la limite de capacité.
- Contraintes axiales dans les éléments de contreventement diagonaux supérieures à la limite de capacité.
- L'assemblage des poteaux en acier dans les charpentes contreventées de RFL ne peut développer la capacité de traction et la capacité de soulèvement de la fondation, les forces de soulèvement/tension dans tous les poteaux dépassent la capacité de l'ancrage.
- Les rapports largeur/épaisseur de tous les éléments de la charpente se situent dans la plage autorisée.

- Aucun élément de contreventement n'était dans les limites de la plage autorisée pour supporter les forces de compression et on a supposé que le contreventement était uniquement en tension.
- Rapport base/hauteur du SRFL dans la plage autorisée.
- Les éléments de fondation sont retenus par une semelle filante, ce qui permet d'assurer un niveau de sécurité adéquat.
- La participation de masse pour le premier mode dans la direction Y et la participation de masse pour le second mode dans la direction X sont conformes ou supérieures au minimum recommandé par le commentaire J du CNBC.
- Charges latérales appliquées à une excentricité de 10 % par rapport au centre de masse pour une analyse statique et dynamique équivalente afin de tenir compte de la torsion.
- Les masses effectives des 2 étages ne changent pas de plus de 50 % comme spécifié dans l'ASCE.
- Contraintes axiales inférieures à la limite autorisée.
- Le nombre de travées contreventées dans chaque direction est insuffisant pour l'OI.
- Rapport demande/capacité pour les fondations supérieur à 17, les fondations actuelles ne sont pas en mesure de résister au soulèvement causé par l'événement sismique de conception.
- Hypothèses faites pour l'analyse :
 - Dimensions des éléments et détails de renforcement, comme indiqué sur les dessins de structure.
 - Propriétés des matériaux telles qu'indiquées sur les dessins de structure.
 - Site de classe C, pas de prise en compte du glissement de terrain en pente ou de la liquéfaction de la plate-forme sous-jacente.
 - Ne pas tenir compte des effets locaux ou proches du défaut.

Commentaires et observations de l'examineur :

- L'ajout de travées contreventées est l'option la moins chère, pour 150 %, et fournirait plus de matériel pour résister aux forces latérales.
- Le rapport recommande de poursuivre une combinaison d'ajout de nouvelles entretoises et de remplacement de celles existantes et d'ajout d'amortisseurs à friction aux entretoises existantes, mais le coût de cette combinaison n'a pas été estimé.
- Les résultats de la phase 1 n'ont pas été vérifiés avec les résultats finaux de l'étude géotechnique de la phase 2, car l'étude géotechnique a été réalisée après coup.
 - D'après le rapport géotechnique, le site de classe A serait appropriée pour cette structure, ce qui réduirait considérablement les forces sismiques.

Rapport examiné par : Liza Rozina, étudiante en génie civil


Commentaires/recommandations de l'ingénieur en structure :

Remarques :

- La chancellerie BDGTN est située dans une zone où le risque sismique est moyen, soit environ 90 % de celui d'Ottawa.
- La chancellerie BDGTN a été identifiée comme devant subir d'importantes rénovations de mi-vie.
- Ce bâtiment semble présenter un risque limité.
- Le coût des mises à niveau s'élève de 420 000 à 1,30 million de dollars.
- Le rapport D/C maximum est de 2,1.
- Les préoccupations soulevées récemment quant à la présence d'une topographie karstique ont été atténuées par des études géotechniques approfondies.
- Le rapport géotechnique a mis à jour la classe du site à la classe A.

Recommandations :

- Compte tenu du risque sismique global de ce bâtiment, les mesures suivantes sont recommandées :
 - Maintenir l'occupation de la CH actuelle telle quelle jusqu'à ce que le projet de rénovation de mi-vie soit programmé, avec les réserves mentionnées ci-dessous.
 - Mettre à jour le rapport avec une analyse du site de classe A et inclure l'option de l'amortisseur à friction comme une priorité élevée.
 - Réévaluer ces recommandations après avoir reçu le rapport révisé.


X
Damian deKrom
Structural Engineer

1^{er} mai 2012