Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 46 (1983)

Artikel: Dommages séismiques et réparation de la cathédrale de Guatémala
Autor: Mondorf, P.E. / Asturias, José
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35862

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dommages séismiques et réparation de la cathédrale de Guatémala

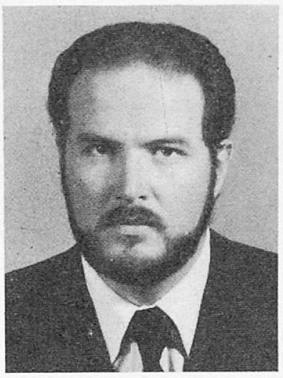
Der Dom zu Guatemala - Erdbebenbeschädigung und Instandsetzung

Cathedral of Guatemala - Seismic Damage and Restoration

P.E. MONDORF
Ing. en chef
Freyssinet International
Paris, France

Paul Mondorf, diplôme d'ingénieur civil 1953 de DTH, Univ. Tech. du Danemark. Il a travaillé chez Cowiconsult, principalement en études d'ouvrages d'art, cinq ans chez DTH, Dép. des Structures, ensuite chez Europe Etudes et Freyssinet, il a été actif dans les travaux off-shore, nucléaires et de multiples réparations d'ouvrages.

José ASTURIAS
Architecte
Président de la CEMAT
Guatemala, Guatemala



José Asturias, né en 1943, obtient son diplôme d'architecture de la Universidad Autonoma de Mexico. Professeur de la UNAM-Mexico 1966-69, ensuite de la Faculté d'Architecture USAC, Guatémala, et depuis 1975 de l'Univ. Francisco Marroquin, Guatémala.

RÉSUME

Endommagée par le violent séisme de 1976, la Cathédrale Métropolitaine de Guatémala vient d'être réparée. Datant de l'époque coloniale, maintes fois frappée par des secousses mais toujours remise en état, la cathédrale comportait des reconstructions en béton armé du début du siècle. En 1976, ces masses de béton ont bien résisté mais ont endommagé le reste et ont gêné les travaux. L'article décrit la structure, les dommages subis et les réparations qui ont fait appel à des techniques anciennes et modernes. La précontrainte a été largement employée.

ZUSAMMENFASSUNG

Der metropolitanische Dom zu Guatemala ist jetzt nach dem schweren Erdbeben von 1976 repariert worden. Aus der Kolonialzeit stammend, mehrmals durch Erdbeben beschädigt, jedoch immer wieder instandgesetzt, enthält der Dom gewisse Stahlbetonrekonstruktionen aus dem Anfang dieses Jahrhunderts. 1976 haben sich diese Bauteile gut bewährt, den restlichen Teil des Domes jedoch beschädigt und die Reparaturarbeiten erschwert. Der Artikel beschreibt die Baukonstruktion, die Beschädigungen und die Instandsetzung für die sowohl alte als auch moderne Baumetoden benötigt wurden. Es ist weitgehend Vorspannung verwendet worden.

SUMMARY

The Metropolitan Cathedral of Guatemala which was damaged by the violent 1976 earthquake, has now been repaired. The Cathedral which dates from the colonial period, and which has been hit several times by earthquakes but each time restored, comprised certain reconstructions in reinforced concrete dating from the beginning of this century. In 1976 the concrete parts resisted well but caused damage to the rest and hampered the works. The article describes the structure, the damage and the repair works which have required both ancient and modern techniques. Prestressing has been applied extensively.

1. INTRODUCTION

La Cathédrale Métropolitaine de Guatemala a été fortement endommagée par le violent séisme qui frappa le pays le 4 février 1976. Dans la ville de Guatemala l'intensité était de 6 à 7 selon l'échelle de Richter.[1]

L'histoire de la cathédrale remonte à deux siècles. En 1773 ANTIGUA GUATEMALA, capitale de la Capitanie d'Amérique Centrale, fut détruite par tremblement de terre et la capitale fut transférée à quelques 60 km jusqu'à la vallée de NUEVA GUATEMALA, réputée moins assujettie aux séismes, d'où nécessité d'une nouvelle cathédrale. Un projet en style néoclassique fut établi par MARCOS IBANEZ et approuvé par le roi d'Espagne en 1776. La construction commença vers 1783, elle était juste terminée quand, en 1821, le Guatemala accéda à l'indépendance.

Le projet initial était assez bien adapté aux conditions séismiques du pays prévoyant une construction compacte avec des tours trapues, mais les plans furent modifiés en cours de construction pour donner à la nouvelle cathédrale un aspect baroque, modifiant hauteurs et volumes au détriment de la tenue aux séismes.[2]

Depuis sa construction, la cathédrale a subi plusieurs tremblements, à peu près un tous les soixante ans. Les destructions ont souvent été importantes, mais jamais totales et après chaque cataclysme la cathédrale a été remise en état en la modifiant le moins possible.

2. DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

La cathédrale se compose de trois nefs longitudinales bordées de chapelles latérales et d'un transept qui se termine en chapelles principales. La croisée entre la nef principale et le transept est surmontée d'un dôme.

La façade principale orientée vers l'Ouest comprend un portique servant d'entrée principale, un fronton, deux tours latérales et murs d'union.

La cathédrale est sise sur un terrain qui descend d'Ouest en Est, ce qui a permis l'établissement d'une crypte sous la moitié postérieure du bâtiment, avec une entrée directe de la rue.

Fig. 1 Cathédrale. Vue d'ensemble 1980.

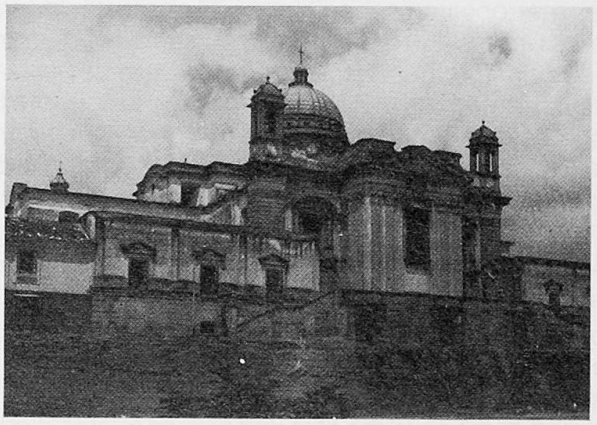


Fig. 2 Façade arrière 1978.

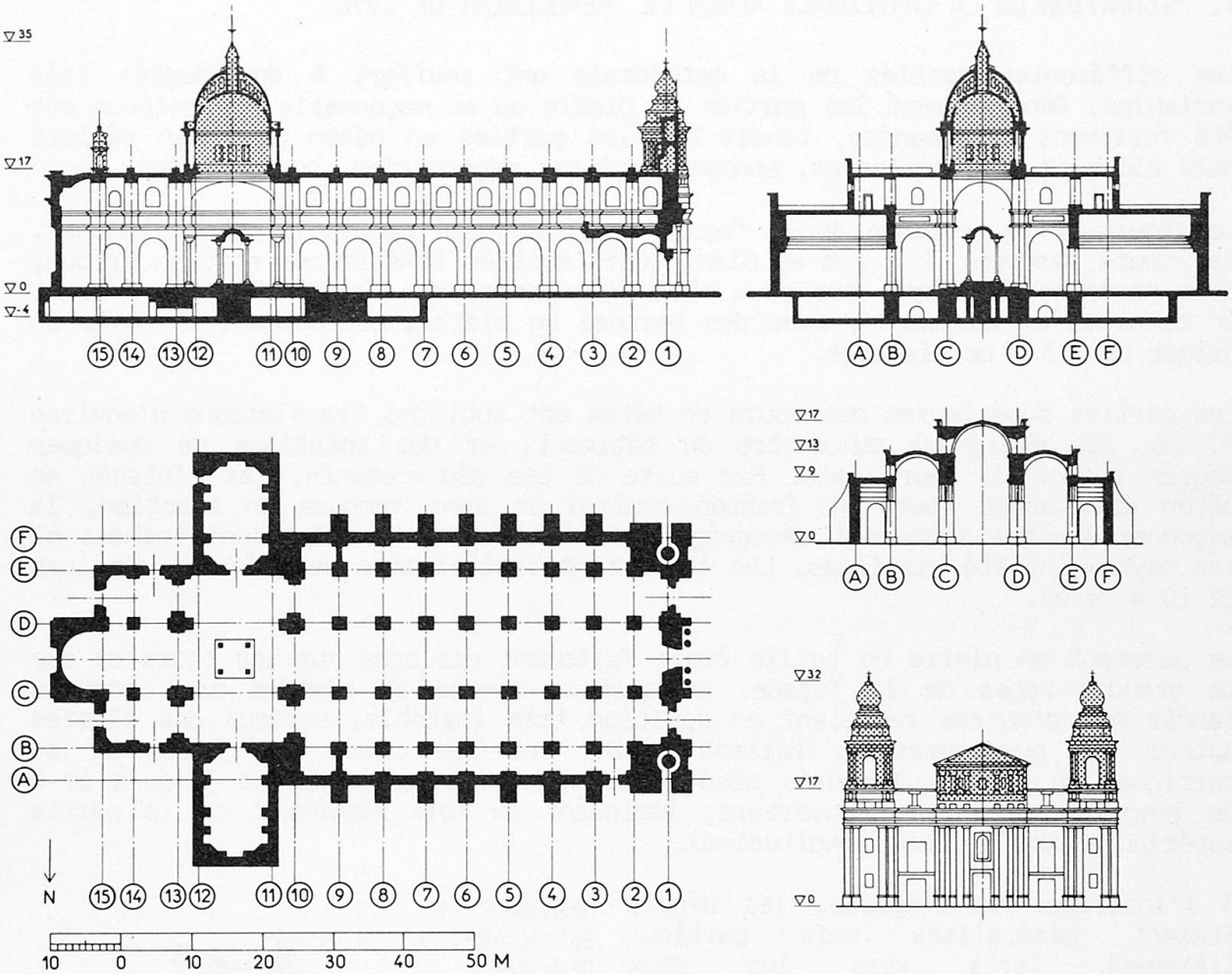


Fig. 3 Cathédrale Métropolitaine de Guatémala. Plan, sections et façade.

A juger par des puits qui ont été ouverts pendant la campagne de réparation, les murs et piliers reposent sur des semelles de quelques mètres d'épaisseur, constitués par des murs en retour, en pierre ou en brique, avec remplissage de pierres ou débris. Le terrain de fondation n'a pas donné lieu à inquiétude.

Les éléments constitutifs du bâtiment sont essentiellement des murs et piliers, arches et voutes en maçonnerie de brique, recouverts, selon les endroits, par des parements en pierre ou par des enduits de mortier ou de platre.

La cathédrale comprend certaines parties en béton armé qui reposent sur les maçonneries et qui ont été réalisées en remplacement d'autres effondrées sous le séisme de 1917-18. Il s'agit notamment des moitiés supérieures des grandes tours et du fronton de la façade principale, du dôme y compris ses murs et colonnade porteurs, des petits clochers sur la façade arrière et de certaines voutes derrière la façade et près de la coupole. Il existe également un réseau de nervures en béton armé, placées sur les toits ou incrustées dans les murs. Ces nervures renforcent les nefs longitudinales et transversale et relient les tours à l'ensemble.

La cathédrale est entourée d'une série de bâtiments de faible hauteur abritant archevêché, sacristies, écoles etc, dont certains sont contigus à la cathédrale.

3. SITUATION DE LA CATHEDRALE APRES LE TREMBLEMENT DE 1976

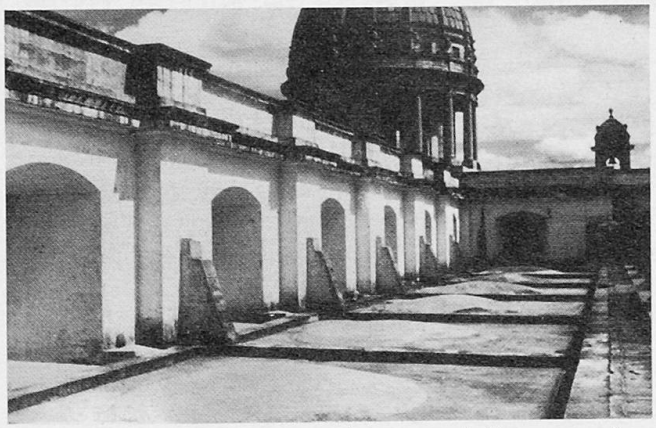
Les différentes parties de la cathédrale ont souffert à des degrés très variables. Généralement les parties en pierre ou en maçonnerie non retenue ont été fortement endommagées, tandis que les parties en béton ont bien résisté mais elles se sont déplacées, endommageant des maçonneries sous-jacentes.

Les tours et le portique de la façade Ouest ont été particulièrement touchés. Ces tours mesurent 7 x 7 m en plan, leurs moitiés inférieures sont en brique, avec parement de pierre sur deux côtés. Au centre de chaque tour, il y avait un escalier en colimaçon, avec des marches en pierre, contournant un noyau en brique de 2.3 m de diamètre.

Les parties supérieures des tours en béton ont subi des translations d'environ 20 cm, les éloignant du centre du bâtiment, et des rotations de quelques degrés autour de leurs axes. Par suite de ces déplacements, les liaisons en béton armé entre tours et fronton central se sont rompues en traction, la maçonnerie s'est fortement désagrégée, les marches d'escalier sont tombées et les noyaux ont été cisaillés. Les tours sont restées avec des défauts d'aplomb de 10 à 20 cm.

Le parement en pierre de taille était fortement disloqué sur les tours et sur de grandes zones de la façade. Un certain nombre de pierres sont tombées tandis que d'autres restaient en position très instable, surtout des pierres autour des ouvertures ou faisant angle. Sur les côtés des tours et du portique, de grandes fissures béantes se sont ouvertes mesurant jusqu'à 10 m de longueur et 15 cm d'ouverture, indiquant un fort mouvement de la partie supérieure dans le sens longitudinal.

A l'intérieur de l'église, les dégats étaient généralisés mais particulièrement forts vers les deux extrémités. Il y avait des fissures longitudinales dans les voutes, des fissures radiales en arches, des fissures transversales tendant à séparer les extrémités du reste du bâtiment, des fissures circulaires autour des petites coupoles et des fissures en X sur les façades des piliers séparant les nefs.



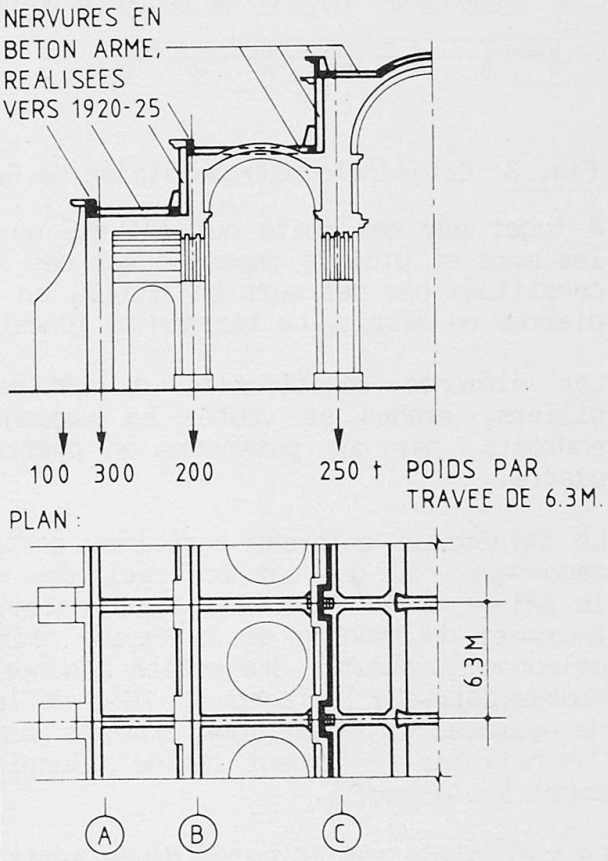


Fig. 4-5 Renforts exist. en béton armé. Charges verticales d'une travée.

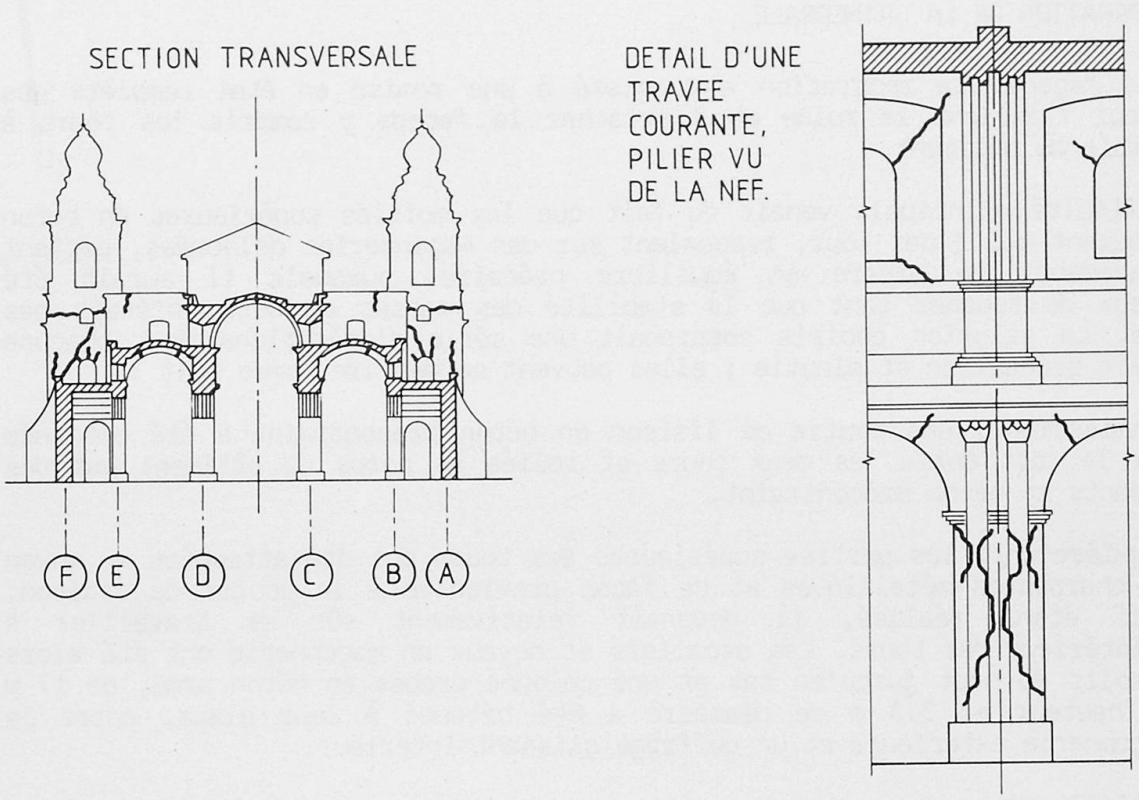


Fig. 6 Fissures typiques provoquées par le séisme de 1976.

Le dôme était intact mais tous ses supports étaient cisaillés indiquant des balancements dans les deux directions.

La façade arrière présentait des dégats semblables à ceux de la façade principale. Les deux petits clochers se sont éloignés du centre du bâtiment, leurs liaisons en béton armé ont été déchirées et la maçonnerie sous-jacente s'était désagrégée.

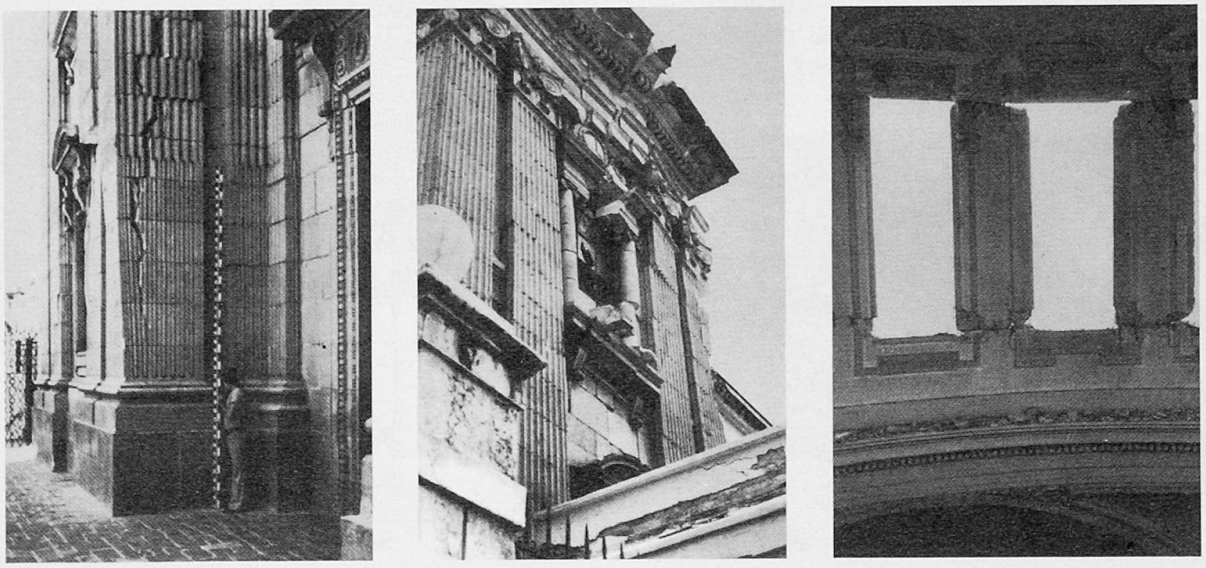


Fig. 7-8-9 Dégâts 1976. Respectivement tour Nord, tour Sud, supports du dôme.

4. REPARATION DE LA CATHEDRALE

Pour la façade, la réparation a consisté à une remise en état complète des tours qui frisaient la ruine et à attacher la façade y compris les tours à l'ensemble du bâtiment.

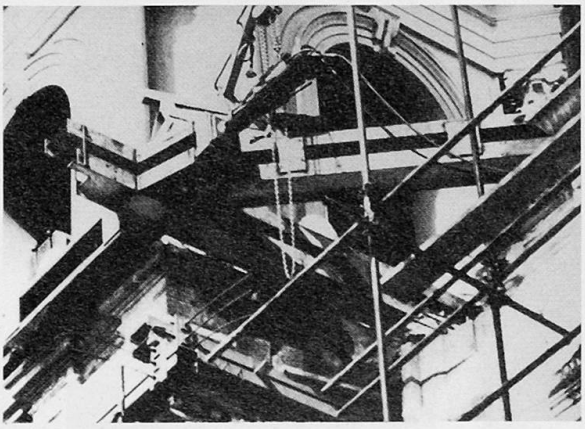
La difficulté principale venait du fait que les moitiés supérieures en béton armé, pesant 400 t par tour, reposaient sur des maçonneries délabrées, portant des parements de pierre en équilibre précaire, auxquels il aurait été hasardeux de toucher tant que la stabilité des masses de béton n'était pas assurée. La solution choisie comprenait une série d'opérations dont chacune demandait précaution et minutie ; elles peuvent se décrire comme suit :

- Premièrement, une poutre de liaison en béton précontraint a été bétonnée sur le toit entre les deux tours et reliée au corps du bâtiment par des tirants en béton précontraint.

- Deuxièmement, les parties supérieures des tours ont été attachées au moyen de charpentes métalliques et de façon provisoire à la poutre de liaison. Ceci étant réalisé, il devenait relativement sûr de travailler à l'intérieur des tours. Les escaliers et noyaux en maçonnerie ont été alors démolis du haut jusqu'en bas et une colonne creuse en béton armé, de 17 m de hauteur et 3.5 m de diamètre a été bétonné à leur place, entre la maçonnerie extérieure et un coffrage glissant intérieur.

- Troisièmement, les parties supérieures des tours ont été fixées de façon permanente à la poutre de liaison, ce qui demandait un travail minutieux en sous-oeuvre, comprenant démolition partielle de maçonnerie, mise en place de gaines et armatures, bétonnage, enfilage et mise en tension de câbles ancrés dans la poutre de liaison.

Une fois que les parties supérieures des tours étaient bien attachées à la poutre de liaison, la seconde phase de la réhabilitation des tours pouvait commencer. Elle comprenait la dépose du parement de pierre, l'exécution en surface de la maçonnerie d'une ossature légère en béton armé destinée à la retenir, l'ancrage de l'ossature à la colonne creuse par barres d'acier dur,



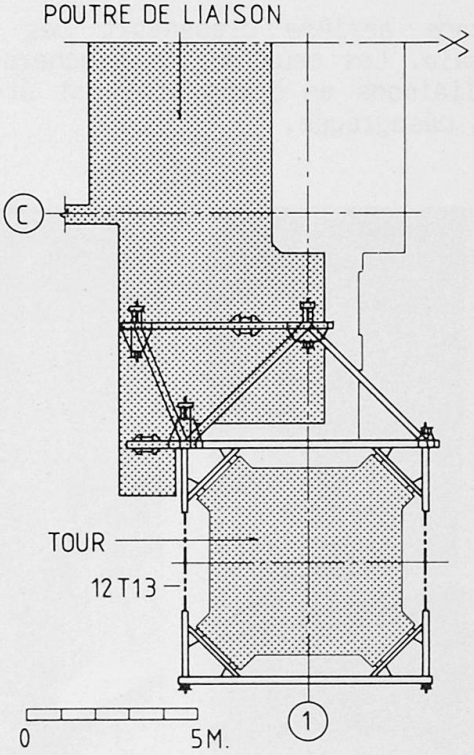


Fig. 10-11 Fixation provisoire des tours à l'aide de charpentes métalliques.

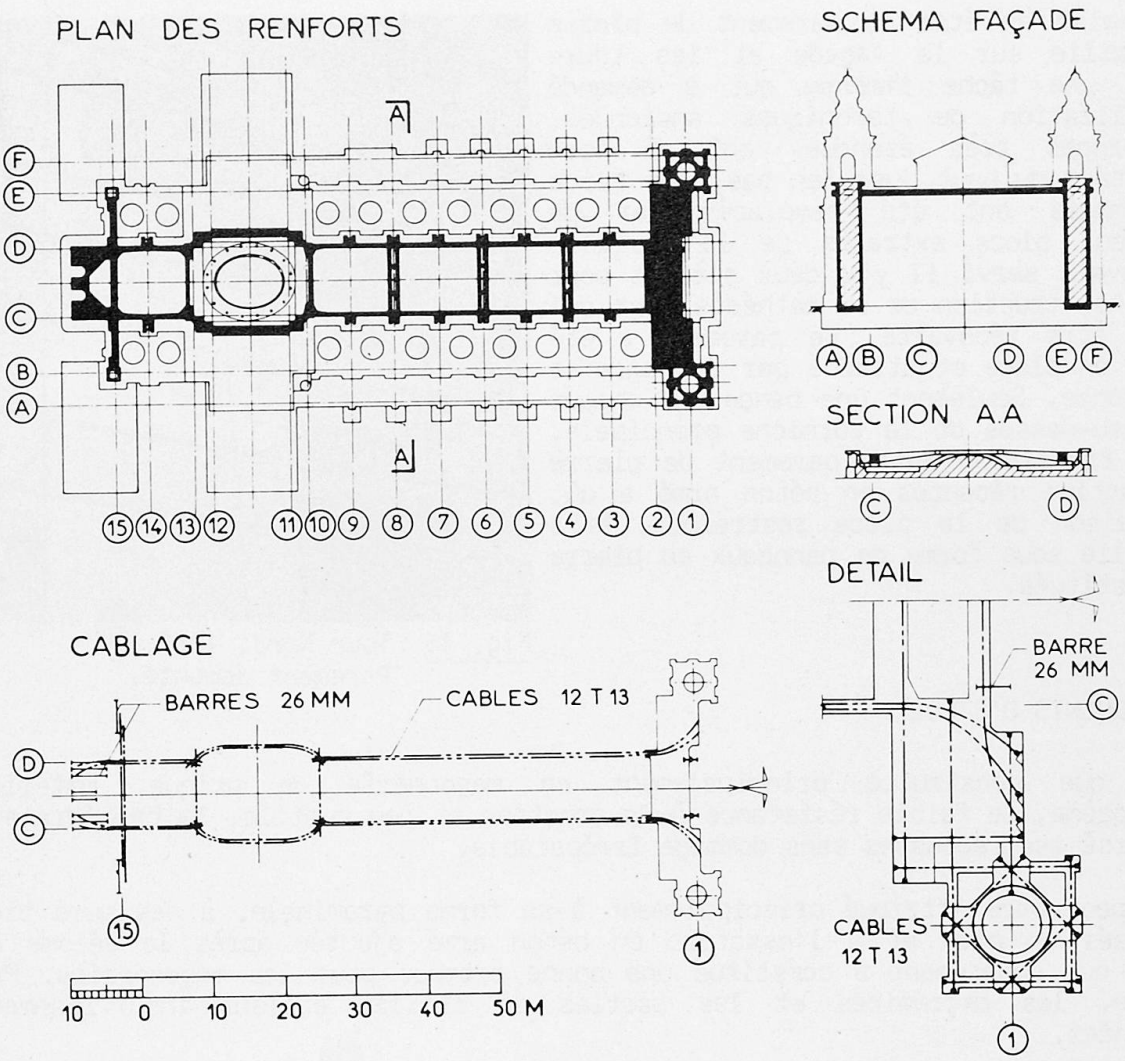


Fig. 12 Renforts en béton précontraint, réalisés en 1977-80.

la remise en place du parement de pierre et l'injection des vides au mortier de ciment sous basse pression.

Le dôme était en bon état mais ses supports devaient être remplacés ou réparés. Afin de se libérer de leur charge pendant les travaux, une charpente métallique a été montée sur le toit permettant le levage du dôme au moyen de 16 paires de vérins plats. Le dôme a été levé en avril 78 et par cette opération son poids a été déterminé à 510 T recoupant l'estimation à 10% près. Ensuite les murs cisaillés ont été démolis par groupes et refaits, les colonnes ont été réparées et le dôme de nouveau assis dessus par vidange de boîtes à sable.

Les réparations de la façade arrière comprenaient la continuation des tirants sur le toit et leur ancrage au moyen de barres d'acier dur fixées à une traverse en béton incrustée dans la façade à un niveau d'environ deux tiers de sa hauteur. Les petits clochers ont été attachés aux tirants par une poutre de liaison.

Les réparations à l'intérieur de l'église ont consisté en la réparation des voutes, arches, murs et piliers comprenant des travaux de pierre et de maçonnerie très étendus et le renouvellement d'enduits rendant à l'église son aspect esthétiquement agréable et rassurant.

La remise en état du parement de pierre de taille sur la façade et les tours était une tâche immense qui a demandé l'application de techniques anciennes. Des zones très étendues ont dû être démontées du haut jusqu'en bas, les blocs endommagés ont été remplacés par de nouveaux blocs extraits de la carrière qui avait servi il y a deux siècles pour la cons- truction de la cathédrale et qui a dû être réouverte. Le parement a été remis en place et attaché par des agrafes de bronze. Seulement une bande sur chaque tour au-dessus de la corniche principale, à la transition entre parement de pierre et parties récentes en béton armé a dû, en raison de la place restreinte, être rétablie sous forme de panneaux en pierre reconstituée.

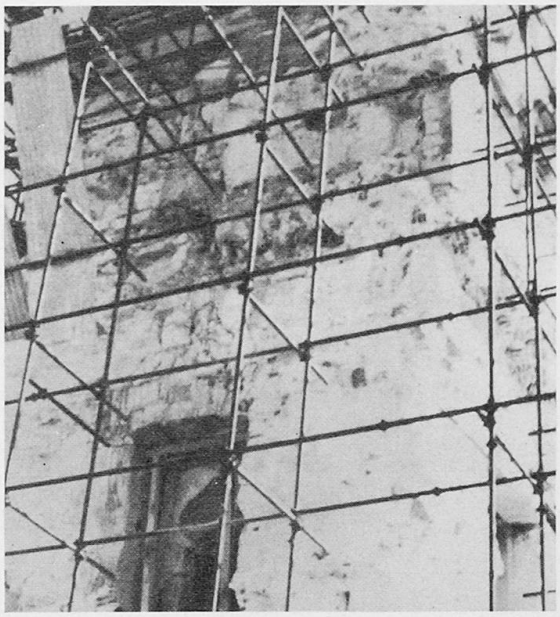


Fig. 13 Tour Nord, 1979. Parement démonté.

5. ELEMENTS D'ETUDE

Bien que construite principalement en maçonnerie de brique, matériau hétérogène, de faible résistance à la traction et peu ductile, la cathédrale a traversé les secousses sans dommage irréparable.

Ceci peut être attribué principalement à sa forme pyramidale, à des murs bien disposés en plan et à l'ossature en béton armé ajoutée après le séisme de 1917, qui apparement a constitué une bonne retenue pour les maçonneries. Par contre, les extrémités et les parties en saillie étaient insuffisamment attachées.

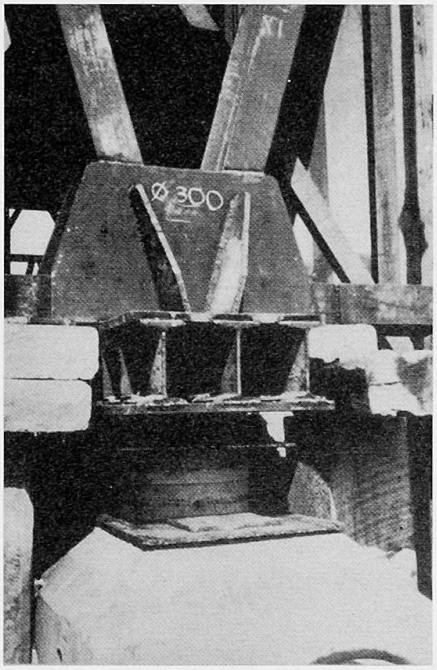


Fig. 14 Levage du dôme par vérins plats.

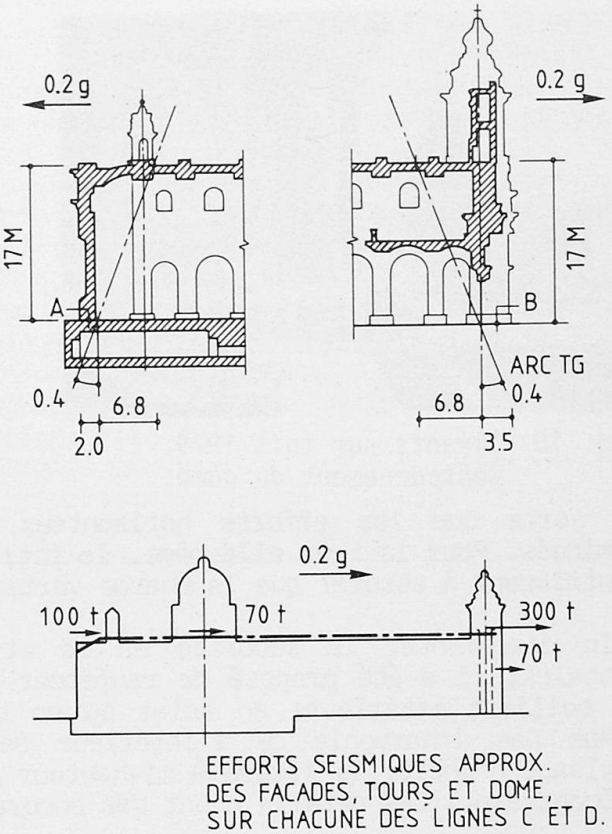
L'idée directive de la réparation a été de respecter l'authenticité du bâtiment existant et d'en constituer un corps continu à l'intérieur duquel la transmission des charges verticales et horizontales pouvait être suivie. La cathédrale devait rester une structure poids et même si on était amené à incorporer du béton armé ou précontraint, les charges verticales devaient toujours transiter par les maçonneries afin de permettre la transmission des charges horizontales par mobilisation du frottement interne. Par contre, les efforts de précontrainte, le cas échéant, ne devaient pas être transmis directement par les maçonneries car l'absence de vides ne pouvait pas être garantie.

Pour la maçonnerie, nous avons supposé une résistance à la traction pratiquement nulle et un coefficient de frottement de l'ordre de 0.4, donc plus qu'il ne faut, dans des cas simples, pour transmettre un impact de 0.2 g.

Considérant des murs en maçonnerie soumis aux impacts horizontaux, deux cas typiques se distinguent. Un mur soumis à l'impact transversal risque de se renverser tandis que soumis à l'impact longitudinal, un coin triangulaire à chaque extrémité a tendance à se dégager, vu que la cohésion du mur n'est pas assurée. Dans le premier cas, la stabilité peut être obtenue en ancrant le mur à un niveau approprié et en vérifiant les sections en flexion composée. Dans le deuxième cas, la stabilité peut s'obtenir à l'aide de tirants qui assurent le monolithisme d'un coin suffisamment important pour être en équilibre.

Ces principes ont conduit à placer sur le toit de l'église en direction longitudinale, des tirants qui pour des raisons de sécurité vont d'une extrémité à l'autre. Ces tirants sont ancrés aux deux bouts et en des points intermédiaires. Pour le dimensionnement, et vérifiant de façon classique les équations de projection et de moment, nous avons considéré l'impact venant des masses situées au delà des lignes inclinées d'arc tg 0.4 avec la verticale commençant suffisamment à l'intérieur du mur pour permettre la transmission de la contrainte de compression correspondante (fig.15).

Dans le sens transversal, la bonne tenue du bâtiment pendant le dernier séisme a permis de conclure qu'il n'avait pas besoin de renforcement supplémentaire, sauf au niveau de la façade.
Les tours présentaient un problème à part, vu qu'en tout cas il était nécessaire d'attacher les parties supérieures pour pouvoir travailler en dessous. En cas de séisme transversal, les tours, reliées entre elles par la poutre de liaison, seront soutenues par le mur de façade. En cas de séisme longitudinal pendant les travaux, tout l'impact des tours serait transmis aux murs longitudinaux et donc aux piliers par l'intermédiaire des tirants tandis qu'une fois les travaux terminés, les maçonneries des tours sont attachées aux colonnes creuses et contribueront à résister au renversement des tours



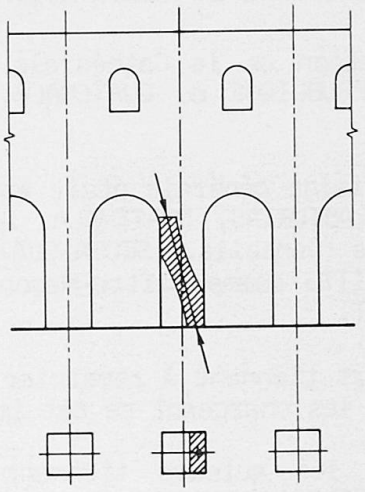


Fig. 15 Principes adoptés pour le renfort et schéma de transmission des charges.

Fig. 16 Tirants sur toit 1979. Contournement du dôme.

Fig. 17 Réfection du parement, 19/9.

de sorte que les efforts horizontaux transmis aux piliers s'en trouvent diminués. Pour la tour elle-même, le retrait et le fluage de la colonne creuse contribuent à assurer que la charge verticale passe par les maçonneries.

Afin d'augmenter la securité de la structure vis-à-vis des charges horizontales, il a été proposé de renforcer les piliers de la grande nef au moyen de colliers extérieurs en acier ou en bronze, d'une forme telle qu'elle ne rompe pas l'harmonie de l'intérieur de la cathédrale. De plus, il a été envisagé d'ancrer la façade à mi-hauteur par des tirants assez courts en béton précontraint. Ces détails n'ont pas encore trouvé leur solution définitive.

6. INTERVENANTS ET REMERCIEMENTS

La réparation de la Cathédrale Métropolitaine a été réalisée de 1977 à 1980 par la REPUBLIQUE du GUATEMALA, Ministère des Travaux Publics, comme Maître d'ouvrage.

La supervision générale était assurée par le Ministère. L'étude a été réalisée par José ASTURIAS, GUATEMALA, Architecte et EUROPE ETUDES, FRANCE et MEXICO Ingénieurs Conseils. SECSA-GUATEMALA était Entrepreneur Général avec John HALL-HIBBITTS comme Maître-Maçon. La précontrainte a été réalisée en système FREYSSINET.

Les auteurs tiennent à remercier les Autorités de la confiance qu'elles leur a montré en les chargeant de cet important travail.

En plus, les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude à son Eminence CARDINAL MARIO CASARIEGO, Archevêque de GUATEMALA pour le profond intérêt avec lequel il a toujours suivi les travaux.

REFERENCES

1. Proceedings. International Symposium on the February 4th, 1976 Guatemalan Earthquake and the Reconstruction Process.

2. ANGULO INIGUEZ, Diego :
Planos de Monumentos Arquitectonicos de America y Filipinas existentes en el Archivo de Indias. Sevilla.
Laboratorio de Arte. Universidad de Sevilla 1939.