

Pont à haubans de Coatzacoalcos II

Autor(en): **Sanchez-Sanchez, Adolpho / Paulik, Ladislav / King Revello, Carlos**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht**

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **11.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-12144>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Pont à haubans de Coatzacoalcos II

Die Schrägseilbrücke Coatzacoalcos II

Coatzacoalcos II Cable-Stayed Bridge

Adolpho SANCHEZ-SANCHEZ

Ing. Civil,
Dir. S.T.C.
Mexico, Mexique

avec la participation de Messieurs

Carlos KING REVELLO

Dir. Ponts

Juan-Manuel GARCIA CHAVEZ

Resp. Constr.

Ladislav PAULIK

Ing. en Chef,
Dir. SOGELBERG RH
Lyon, France

avec la participation de Messieurs

Jacques MATHIVAT

Ing.-cons. SECOA, Prof. ENPC

Jacques COMBAULT

Ing. en chef Campenon Bernard

RESUME

Le pont à haubans de Coatzacoalcos II au Sud du Golfe du Mexique, sera le plus grand pont mexicain et figurera dans les dix grands ponts de ce type dans le monde, aura une longueur de 1170 m, répartie en 472 m pour le viaduc d'accès et 698 m pour le pont béton haubanné dont la travée centrale fait 288 m avec des pylônes en Y renversé de 100 m de hauteur. Cet ouvrage a été calculé sous des sollicitations exceptionnelles de vents et séisme et à fait l'objet d'études spécifiques tant au niveau des structures (efforts et déformées) que de la technologie du haubanage avec des tests uniques au monde.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Schrägseilbrücke Coatzacoalcos II im Süden des Golfes von Mexico wird die grösste Brücke Mexikos sein und zu den zehn grössten Brücken dieser Art auf der Welt zählen. Sie wird eine Gesamtlänge von 1170 m haben und besteht aus einem Anschlussviadukt von 472 m Länge und der abge-spannten Brücke mit einer Länge von 698 m und einer Mittelspannweite von 288 m. Der Pylon hat die Form eines kopfstehenden Y und eine Höhe von 100 m. Das Bauwerk ist für ausserordentliche Windkräfte und Erdbeben bemessen und hat spezielle Studien auf Seite der Bemessung wie auch in der Abspanntechnik erfordert. Weltweit einmalige Grossversuche wurden durchgeführt.

SUMMARY

The Coatzacoalcos II cable-stayed bridge, situated at the south of the Mexico Gulf, will be the longest Mexican bridge and will be among the ten longest bridges of its kind in the world. Its total length will be 1170 m, with a 472 m long access viaduct and a 698 m long cable-stayed bridge with a central span of 288 m. Pylons will be 100 m high and of an upside down Y shape. This structure has been designed to resist high winds and earthquakes. It has been tested using sophisticated structural design procedures and through new technology in cable staying.



1 – HISTORIQUE

La liaison avec le SUD-EST du Mexique croise obligatoirement le fleuve navigable de COATZACOALCOS près de la ville du même nom au Sud du Golfe.

Avant l'inauguration en 1962 du premier pont COATZACOALCOS I (longueur 966 m, 2 voies routières, 1 voie ferroviaire) la traversée du fleuve s'effectuait grâce à un bac transbordeur. Le trafic, à l'époque, était de 1 300 véh/j avec coupure totale lors du passage d'un bateau, puisque l'ouvrage comporte une travée centrale levante jusqu'à 66 m de hauteur.

En 1972, le pont fut endommagé par un choc d'un bateau ce qui entraîna une coupure totale du transit de plus d'un mois pour réparation et créa une perte considérable à l'économie régionale. Cet accident et l'augmentation importante du trafic avec l'expansion du pays (17 000 véh/j en 1980) ont conduit les autorités à s'engager dans la construction d'un nouveau pont, objet de la présente communication.



Figure 1 : Vue générale du site depuis la pile 2 vers Minatitlan

Le pont de COATZACOALCOS II se situe dans une courbe très prononcée du fleuve, site qui présentait les meilleures caractéristiques géologiques pour les fondations et topographiques pour la longueur de l'ouvrage.

Il s'intègre dans le projet de déviation de la ville industrielle de COATZACOALCOS, port important du Golfe du Mexique.

L'ambiance agressive de l'environnement (mer, hygrométrie, raffinerie) et la fréquence de vents violents nous ont poussés à choisir un pont en béton plutôt que métallique pour sa meilleure stabilité aéroélastique et son meilleur comportement aux agents agressifs.

De plus, le site est situé en zone sismique.

3 – LES CONTRAINTES ET DONNEES DE BASE

Le Rio étant navigable, le gabarit minimum à respecter était de 150 m de largeur sur 35 m de hauteur.

L'ouvrage doit livrer le passage à deux sens de circulation de deux voies avec les charges AASTHO HS 20 44 (MS 18) conformes au nouveau règlement du Ministère des Communications.

Situé en région de cyclones, l'ouvrage devra supporter des vents allant jusqu'à 200 km/h, exerçant une pression maximum de 320 kg/m².

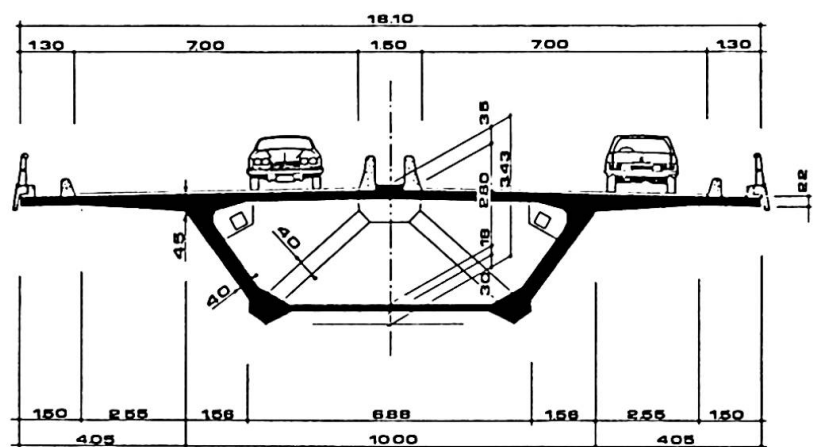


Figure 2 : Coupe transversale

S'agissant d'une région sismique, il est nécessaire de prendre en compte un séisme suivant deux spectres différents dans les trois dimensions avec des combinaisons du type : $\pm 0,3 S_x \pm 0,3 S_y \pm 0,3 S_z$.

Enfin les différentes températures à considérer ont été :

- ± 6° C de variation uniforme,
- 10° C de différence de température entre haubans et tablier,
- 6° C de différence de température entre fibres supérieure et inférieure du tablier.

4 – LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Les choix respectifs des paramètres fondamentaux de l'ouvrage ont été faits en prenant comme critères :

- le meilleur comportement statique et dynamique des structures,
- les facilités d'exécution tenant compte de l'évolution technologique souhaitée,
- l'aspect architectural de l'œuvre.

Cet ouvrage, qui sera le plus grand du pays, figurera dans la série des dix plus grands du Monde de ce type, aura une longueur totale de 1 170 m répartie en 472 m pour le viaduc d'accès comportant des travées de 60 m, et 698 m pour l'ouvrage principal haubané, objet de la présente communication, dont les travées sont respectivement de 30 - 49 - 112 - 288 - 112 - 60 et 46 m (environ). (Figure 3 : Coupe longitudinale).

Le mode de suspension axial est longitudinalement du type semi-éventail, comportant 17 haubans (de 37 à 61 torons de 150 mm² de section sous gaine métallique injectée de 205 mm de diamètre) ancrés dans le tablier tous les 7,20 m et passant dans le mât en déviation.

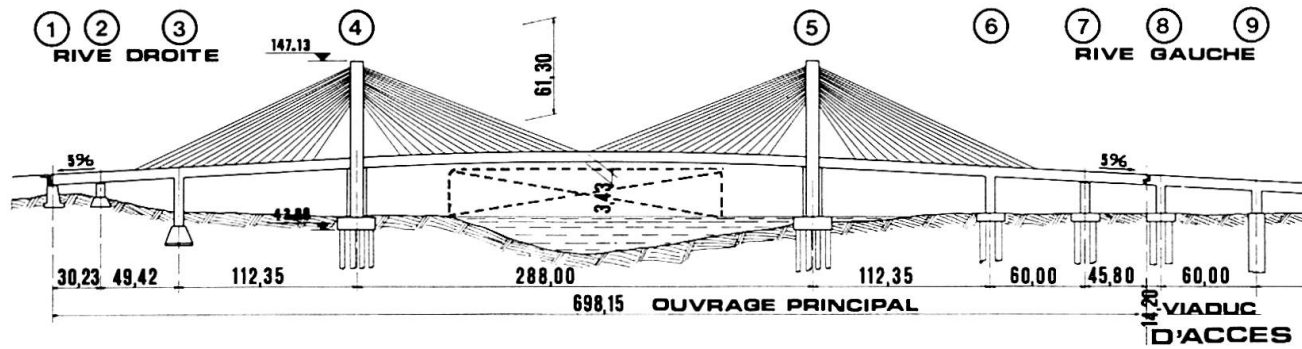


Figure 3 : Coupe longitudinale

En raison des sollicitations importantes dans le sens transversal (vent et séisme), le pylône choisi a été du type Y renversé, ce qui ne conduit à aucun élargissement du tablier.

Les appuis 2 - 3 - 6 et 7 sont de type classique, de section rectangulaire évidée, armée et précontrainte pour les plus sollicitées. Les appuis 4 et 5 ont une hauteur de 97 m, le tablier passant à 35 m au-dessus du niveau du fleuve, et ont fait l'objet d'études tant structurelles qu'architecturales.

Les piles principales et adjacentes sont encastrees dans le tablier, les autres étant équipées d'appuis glissants longitudinalement et comportant des butées en béton pour la transmission des efforts sismiques transversaux.

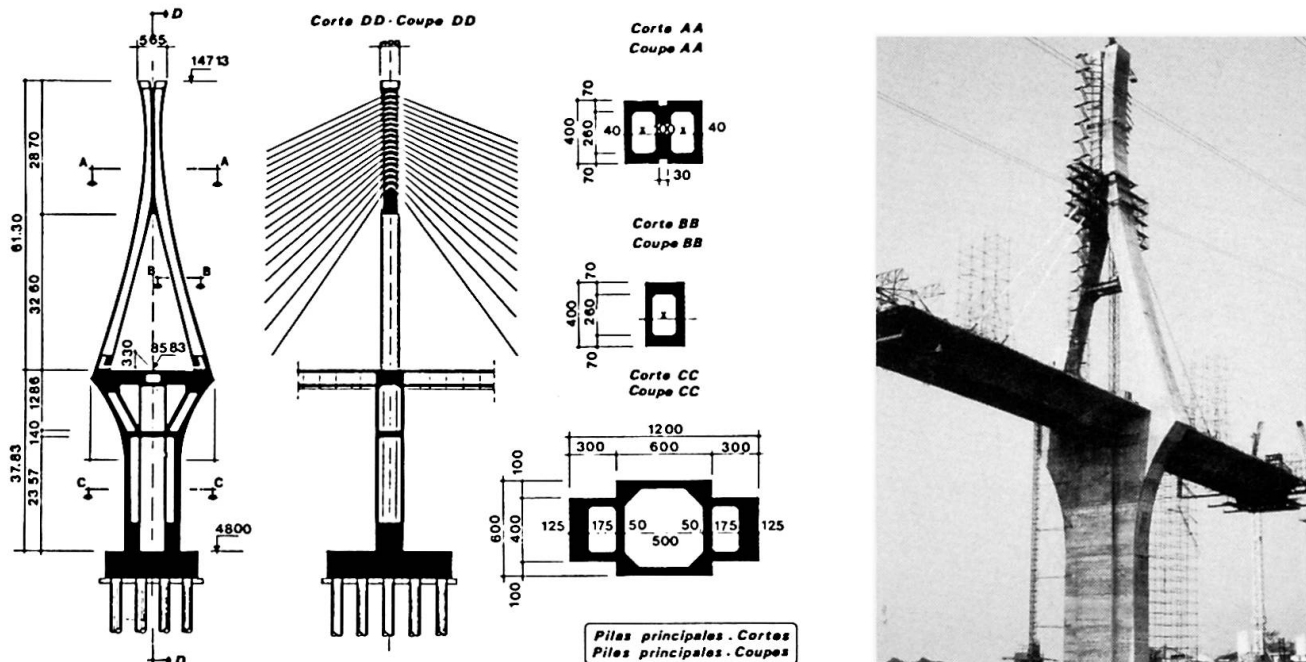


Figure 4 : Piles principales – Coupes



Les fondations sont du type profond, sur pieux de 2,50 m de diamètre et de 30 m de profondeur, avec élargissement en base de 3,50 m. Les piles principales comportent 18 pieux reliés par une semelle en béton armé de 6 m d'épaisseur, réalisée à l'abri d'un batardeau circulaire de 30 m de diamètre.

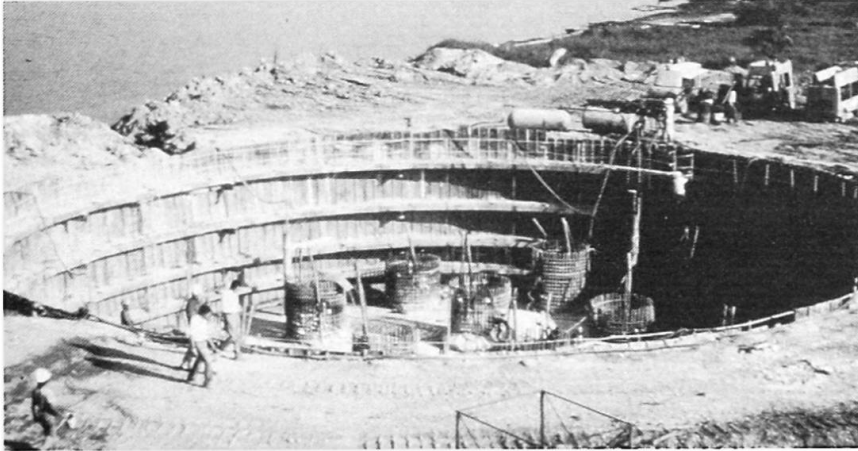


Figure 5 : Fondations des piles principales

Le tablier est constitué d'un caisson de 3 m de hauteur avec des âmes inclinées. La largeur du hourdis supérieur est de 18 m, avec deux chaussées de 7 m, un terre plein central de 1,50 m où s'ancrent les haubans, et deux trottoirs latéraux de passage de 1,30 m.

Le mode de construction est du type classique par encorbellements successifs réalisés à l'aide d'un équipage mobile permettant l'édification de voussoirs complets de 3,53 m de longueur. Chaque voussoir présente des butons préfabriqués avec uniquement au droit des ancrages une précontrainte extérieure 2 x 12 K 13 dans une gaine métallique injectée.

L'ouvrage présente une précontrainte longitudinale réalisée pour la première fois au Mexique, en 12 et 19 K 15, ancrée dans des bossages préfabriqués et une précontrainte transversale du type 12 Ø 7 tous les 44 cm.

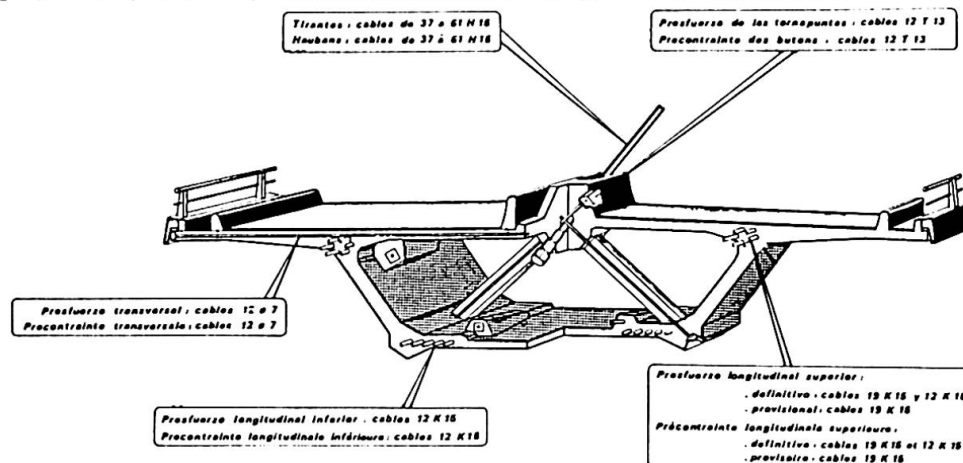


Figure 6 : Principe de précontrainte du tablier

Les séquences de réalisation ont été :

- exécution des fléaux sur piles 2 - 3 - 6 et 7 en encorbellement classique,
- exécution de la partie restante sur pile 1 avec échaffaudage au sol, et sur pile 7 par haubanage provisoire des quatre derniers voussoirs avant l'articulation, et ce après avoir procédé aux clavages des travées adjacentes,
- exécution des fléaux sur piles 4 et 5 en encorbellement classique jusqu'au 10ème voussoir,
- mise en place des deux premiers haubans et exécution de la partie restante haubanée avec trois voussoirs en encorbellement (équipage en position de coulage du quatrième) par rapport au dernier hauban tendu. Le cycle normal d'exécution est de 1 hauban par quinzaine, soit 14,50 m de tablier.

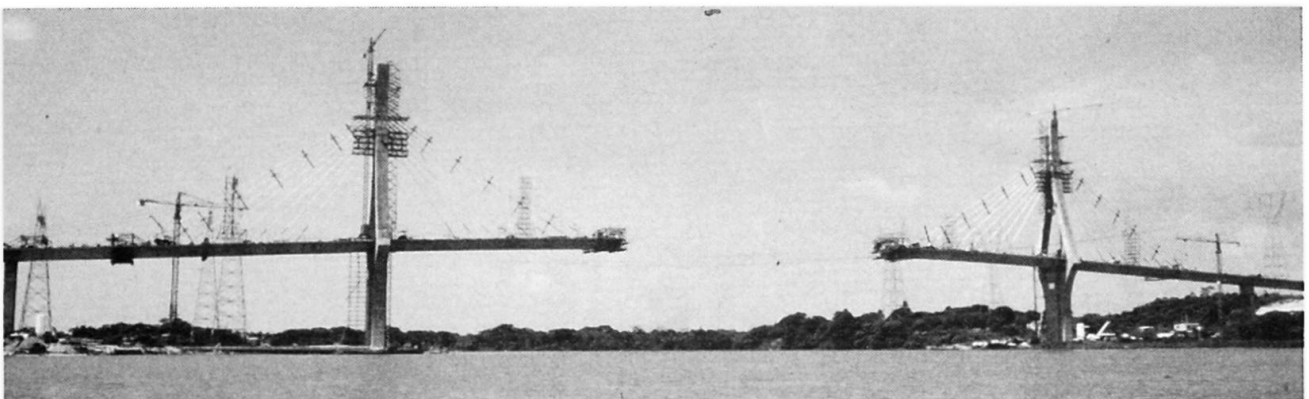


Figure 7 : Vue générale du chantier après clavage latéral

A l'exception des deux premiers haubans, qui sont montés à l'aide d'une tour provisoire, tous les haubans sont hissés grâce à un appareil dénommé " bicyclette " qui roule et prend appui sur le dernier hauban tendu et est stabilisé transversalement par des jambes butant sur les deux haubans antérieurs. Ces appareils sont munis de galets sur lesquels roulent les gaines métalliques, après soudure en partie basse par éléments de 12 m. A partir des plates-formes mobiles du mât sont introduits les torons un par un, par l'intermédiaire d'une fenêtre entre le tube de transition et la gaine courante, à travers des grilles de classification (fig. 9).



Figure 9 : Enfilage de torons.

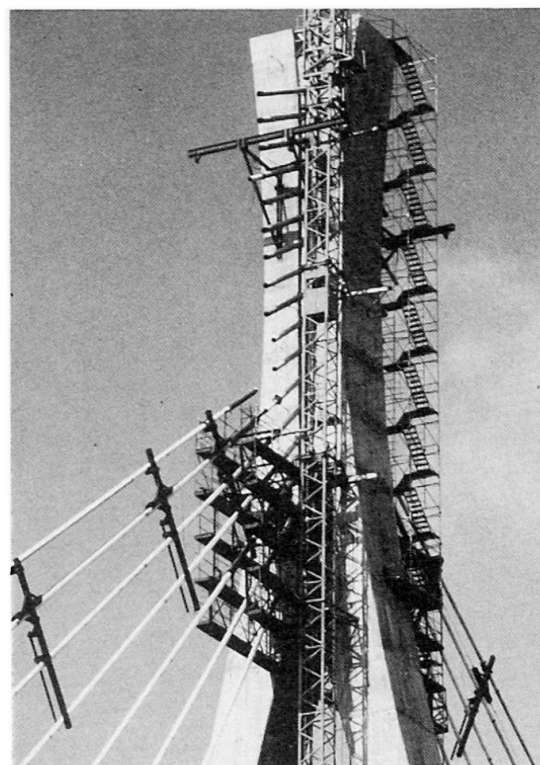


Figure 8 : Plate-forme supérieure et " bicyclette "

Après blocage par vissage du tube de transition inférieur sur l'ancrage, on tend à la tension initiale du calcul. On mesure et les déplacements du mât et du tablier, et la température, afin de comparer ces valeurs à celles calculées (profil pratique et théorique), pour calculer des corrections éventuelles et ainsi assurer une parfaite géométrie finale.

Avec un décalage de trois haubans on procède alors à l'injection selon le procédé original suivant :

- Surtension du hauban à injecter, à la valeur maximum de sa vie, simultanément de part et d'autre du mât. Ce processus nous a permis dans une phase connue du calcul de peser les réactions du hauban et d'effectuer une comparaison fiable avec le calcul prévisionnel. Les différences constatées ont été inférieures à 1 %, montrant la fiabilité du module de calcul. Outre cette vérification, la surtension a pour objet d'assurer par la suite, à la détension, une compression du coulis d'injection, augmentant ainsi la sécurité quant à une éventuelle fissuration du coulis par traction.
- Blocage du tube courant avec le tube de transition, par injection à la résine de l'espace entre tube coupleur et ces derniers.
- Injection de huit des haubans, simultanément de part et d'autre de la pile, à partir du tablier vers les mâts, à l'aide d'un coulis de ciment refroidi, jusqu'au réservoir d'exudation en partie supérieure du mât.
- Détension du hauban après prise du coulis.

Toutes ces opérations ont fait évidemment l'objet d'un contrôle très strict, ce qui a permis de claver la travée centrale avec seulement un décalage entre fléaux de 4 mm.

5 – LES ETUDES PARTICULIERES

Cet ouvrage a fait l'objet d'études spéciales et originales, qu'il est intéressant de faire connaître et qui seront développées :

- 1 - Etude de répartition des travées latérales de 60 m ou 112 m. La travée la plus longue a été finalement choisie pour des raisons essentiellement esthétiques, le surcoût n'étant pas significatif.
- 2 - Une étude des fondations profondes des appuis principaux a été réalisée, tout d'abord suivant la technique des caissons havés, méthode très utilisée au Mexique.
- 3 - Et plus tard avec utilisation de gros pieux coulés en place, méthode toute nouvelle dans le pays, à l'époque. Un essai " in situ " a été réalisé sur un pieu de 0,90 m de diamètre et de 25 m de profondeur avec un chargement cyclique de 80 à 520 t, ce qui détermina la capacité portante finale.



4 - L'étude des effets du séisme (les premières études de stabilité générale ayant mis en évidence l'effet prépondérant du séisme dans le dimensionnement) a été faite par superposition de différents modes de vibration avec deux types de spectres mexicains. L'analyse réalisée dans les trois directions avec combinaison $aS_x + bS_y + cS_z$ a donné comme résultat un déplacement de 38 cm sous séisme vertical et un déplacement de 18 cm en haut du mât sous séisme transversal. De plus, l'Institut d'Ingénierie Mexicain a étudié l'influence d'une réponse sismique suivant les différentes phases de mouvement des appuis.

5 - Etude des effets du vent réalisée à l'ONERA sur modèle réduit en soufflerie, pour appréhender le phénomène de " flottement " à deux degrés de liberté flexion-torsion du tablier, et le phénomène d'échappement tourbillonnaire et les vibrations induites. Avec un coefficient d'amortissement de $5 \cdot 10^{-3}$, le déplacement vertical en bout de console, dans l'axe de la grande travée de 288 m, pourra atteindre une valeur de l'ordre de 16 cm correspondant à un angle de torsion de 1 degré.

6 - Etude aux éléments finis (calcul spatial) de la répartition des efforts à différents voiles de la partie supérieure des piles principales (liaison entre le tablier, les bras du pylône et le cœur de la pile).

7 - Etude aux éléments finis (modèle spatial) de la répartition des efforts dans le tablier entre hourdis inférieur, supérieur, butons et ancrages.

8 - Les haubans étant des éléments essentiels pour la stabilité de la structure, le choix de leurs composants a fait l'objet d'études spécifiques et pour certaines inédites.

a) Calcul pour chaque hauban des variations de tension résultant à la fois des différents chargements et des variations angulaires (vent, charges d'exploitation, fluage, gradient de température) et de l'existence du tube de transition.

b) Différentes recherches pour le passage des haubans dans le mât (tube déviateur, ancrages doubles croisés à une ou deux nappes). Le système de déviation a été retenu pour son économie et son esthétique (alignement de la nappe des haubans).

c) Enfin des tests uniques au monde ont été réalisés pour cet ouvrage à l'EMPA (Suisse) :

1 - Test dynamique comparatif des ancrages de deux fournisseurs, sur des ancrages de 37 torons injectés avec une charge maximum de $0,45 R_G$. Trois séries de 2×10^6 cycles ont été faites successivement, avec une amplitude croissante correspondant à 16 - 22 et 26 kg/mm^2 , avec, entre chaque série, un test statique allant à $0,70 R_G$ (la puissance de l'installation ne pouvant aller au-delà sans démontage ; il s'agit de test en traction pure à 4,2 Hz).

2 - Test dynamique à la fatigue sur un système de déviation dans le mât, avec un hauban de 12 T 15 injecté, muni de sa gaine métallique et des tubes de transition en sortie du bloc bas simulant le tablier et dans le bloc haut simulant le mât, avec un rayon de courbure de 2,50 m conduisant à des pressions de contact équivalentes à celle de l'ouvrage réel. La tension du hauban varie entre 600 et 750 MPA, avec une variation angulaire de $3 \cdot 10^{-3}$ radian. Il est à noter que le test est beaucoup plus représentatif de la réalité que les tests classiques, puisque s'ajoutent aux variations de tension axiale les surtensions dues au mouvement angulaire des câbles. La fréquence trop rapide de 4,2 Hz a contribué à une perte d'adhérence du tube coupleur, mais le système a tenu $2,1 \cdot 10^6$ cycles.

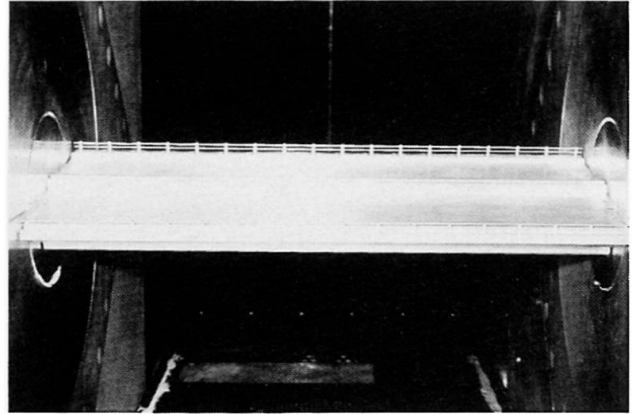


Figure 10 : Essais de l'O.N.E.R.A.

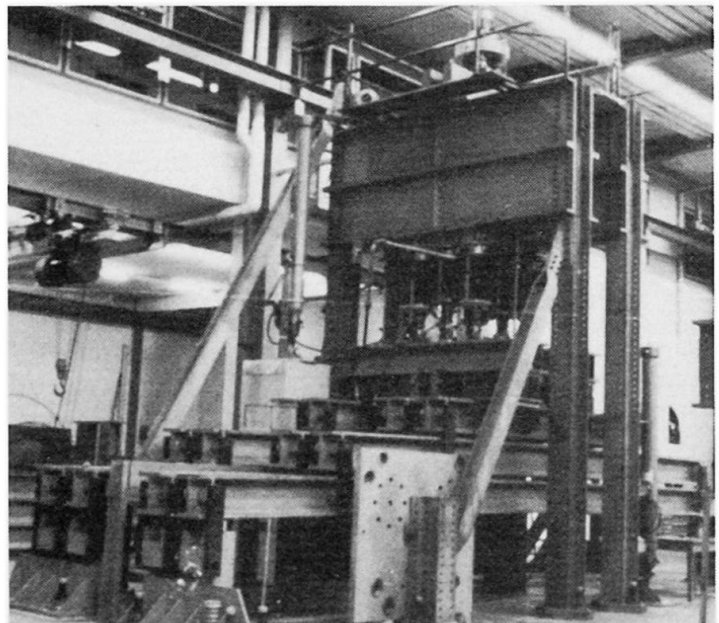


Figure 11 : Test de la résistance à la fatigue d'ancrages 37 T 15.

3 - Test dynamique de $2 \cdot 10^6$ cycles sur toron, à 0,8 Rg et avec une amplitude de 20 kg/mm^2

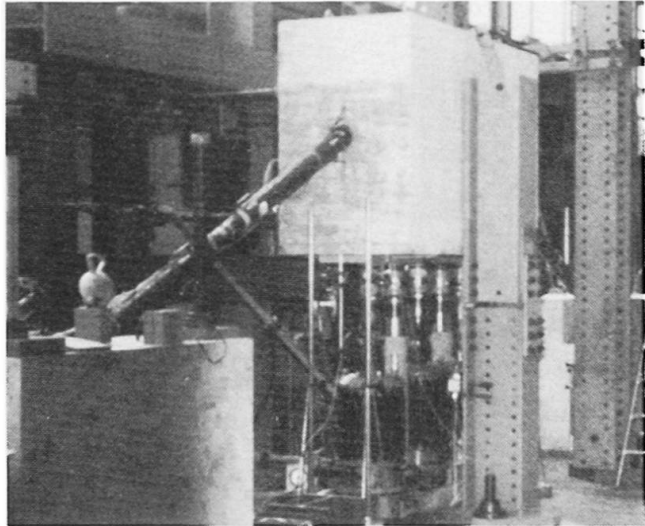


Figure 12 : Test de résistance à la fatigue sur un câble 12 T 15 dévié.

6 – QUANTITES ET DATES

L'ouvrage représente $25\,000 \text{ m}^3$ de béton, 3500 t d'acier de béton armé, 670 t d'acier de précontrainte dont 100 pour la précontrainte transversale, 170 t pour la précontrainte longitudinale définitive, 400 t pour les haubans. Le projet comporte 480 plans.

Les études de faisabilité ont démarré en 1979, les travaux de fondations ont débuté à la mi avril 1980, le clavage central a été réalisé le 8 mars 1984, les épreuves ont eu lieu en juillet 1984. Il faut de plus ne pas perdre de vue que le rythme du chantier a été très affecté à la fin de 1982 par la crise économique.

7 – CONCLUSIONS

Cette réalisation, fruit d'une coopération technique Franco-Mexicaine en tout point de vue remarquable, sera un symbole manifeste de l'expansion du Mexique, qui se hisse ainsi au niveau technique des pays les plus avancés en matière de construction de pont.

BIBLIOGRAPHIE

1. Projet et construction des ponts à haubans de COATZACOALCOS II et TAMPICO. Communication de A. SANCHEZ-SANCHEZ – L. PAULIK - Congrès F.I.P. Stockholm. Juin 1982.
2. Revue I.A.B.S.E. STRUCTURES C-28/83 - Constructions récentes-Part II 15 pages 94-95, Pont de COATZACOALCOS II (Mexique) L. PAULIK - P. SAINTIER.

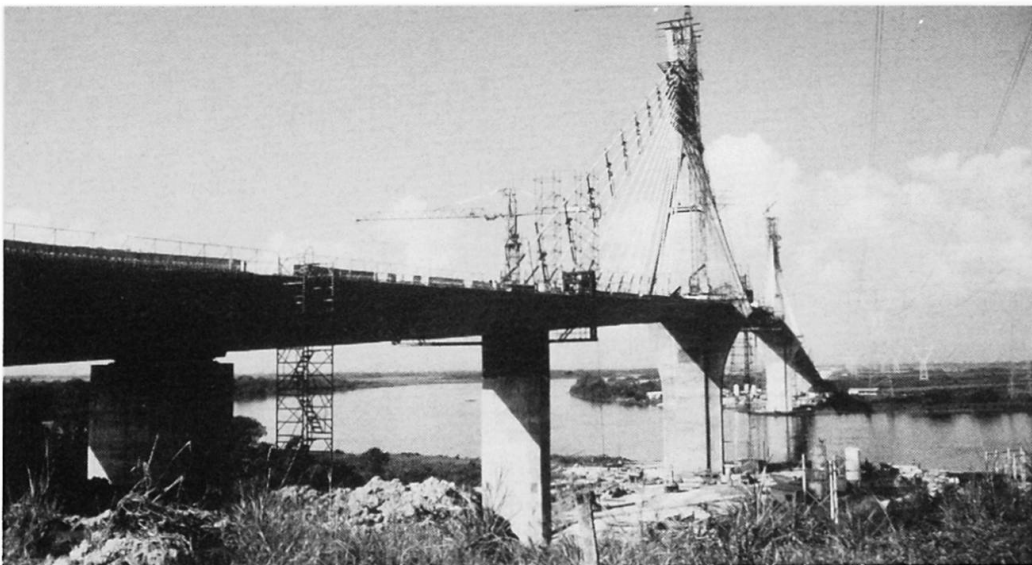


Figure 13 : Vue générale du pont.

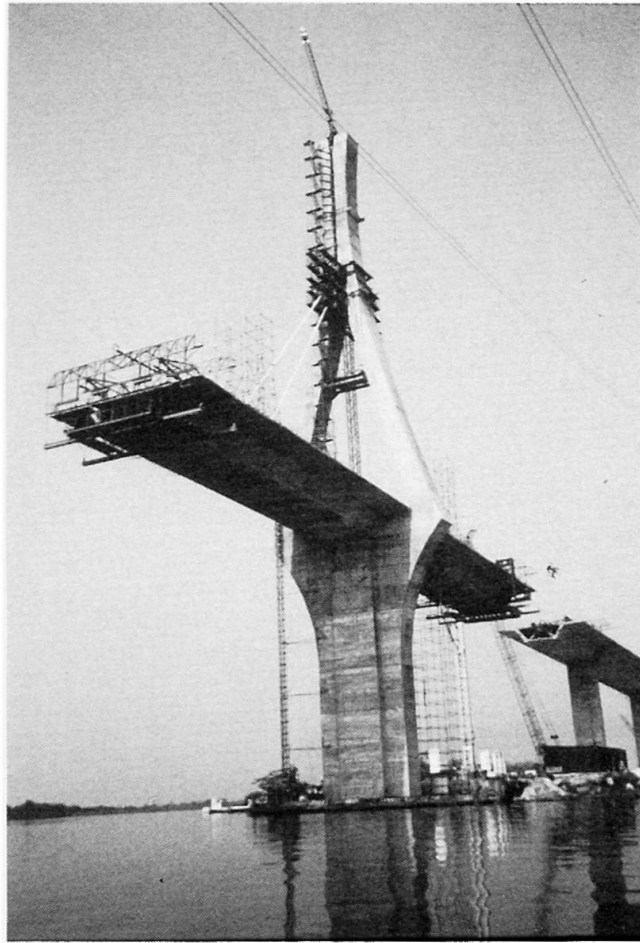


Figure 14 : Un grand fléau en cours de construction

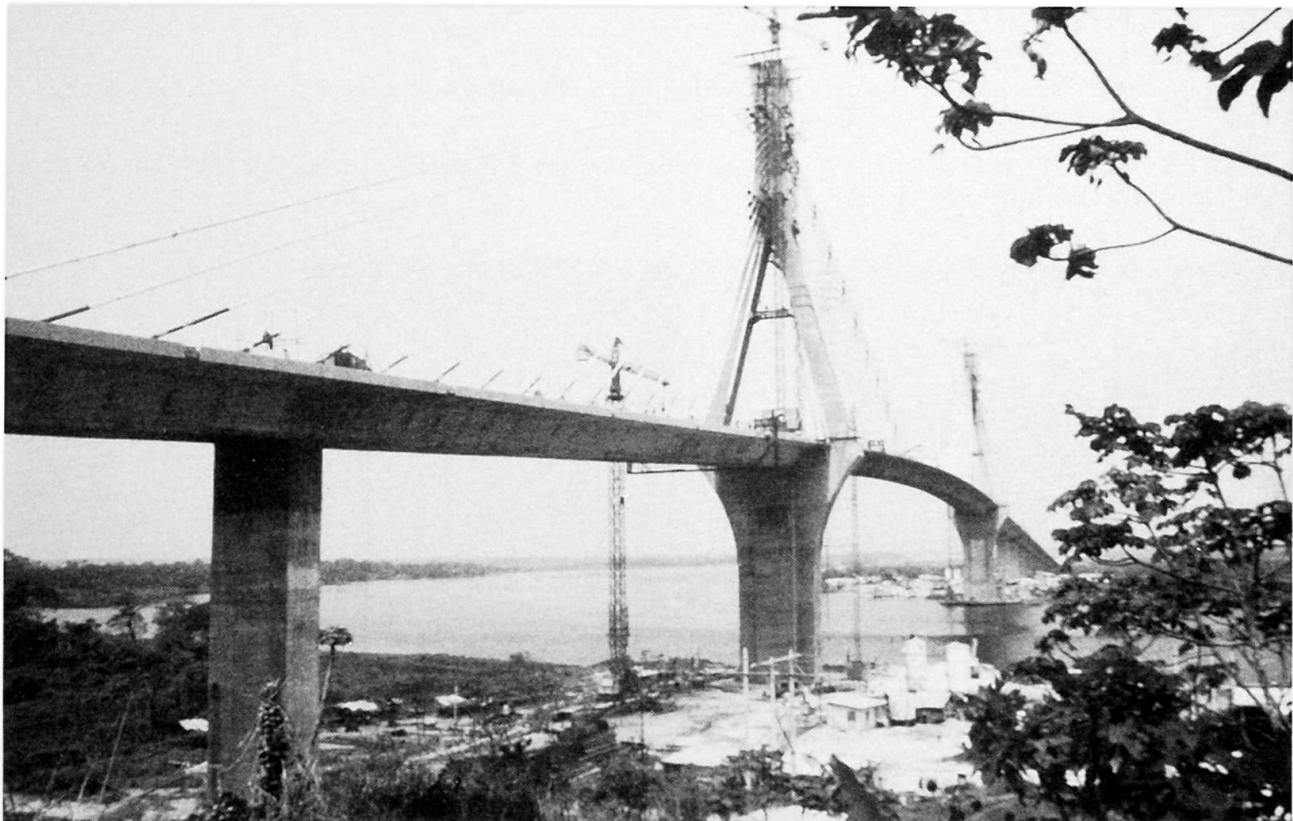


Figure 15 : Le pont achevé