

LE PONT KANCHANAPISEK À BANGKOK MÉTHODES CONSTRUCTIVES

Jean-Claude BEILLES

JMI Pacific

Guy FREMONT, Jean-Marc TANIS

EGIS-JMI

La Rocade Extérieure Sud de Bangkok, ouverte au trafic le 15 Novembre dernier, traverse le fleuve Chao Phraya dans sa partie accessible aux navires de haute mer, par un ouvrage haubané de 500 m de portée centrale et 50 m de gabarit de navigation.

L'objet de cet article est d'exposer, au travers de quelques photographies, les principes méthodologiques qui ont présidé à sa construction maintenant terminée depuis avril 2007.



Sur cet ouvrage, le Bureau d'Ingénierie JEAN MULLER INTERNATIONAL a été chargé par l'Entreprise de définir les principes méthodologiques ainsi que de suivre l'évolution de la structure (forces dans les haubans, contraintes et déformations, ce dernier point étant un impératif fonctionnel) jusqu'à la mise en place des superstructures.

Ces études ont été réalisées entre mi-2004 et mi-2007 sur la base des plans « Marché » de niveau « pré-exécution ».



1. LA STRUCTURE

En voici brièvement la description :

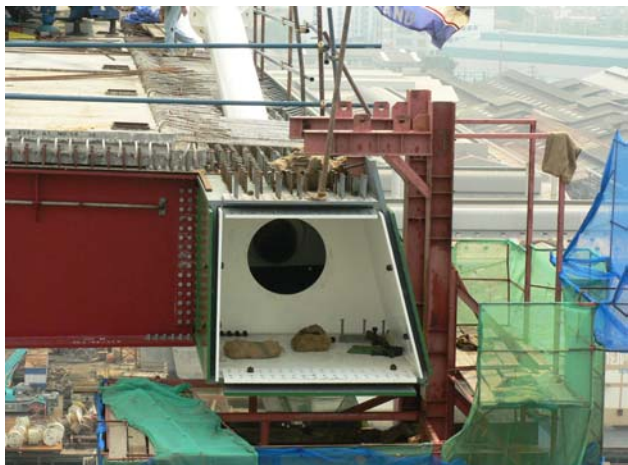
- Travure : 72m – 72 m – 76,50 m – 500 m – 76,50 m – 72m – 72 m (Total : 941 m).
- Fondations sur pieux forés.
- Pylônes en A, culminant à 180 m au-dessus du fleuve. La pointe du triangle constitue une chambre où se situent les ancrages de haubans. Ses faces extérieures sont profondément texturées puis peintes en doré.



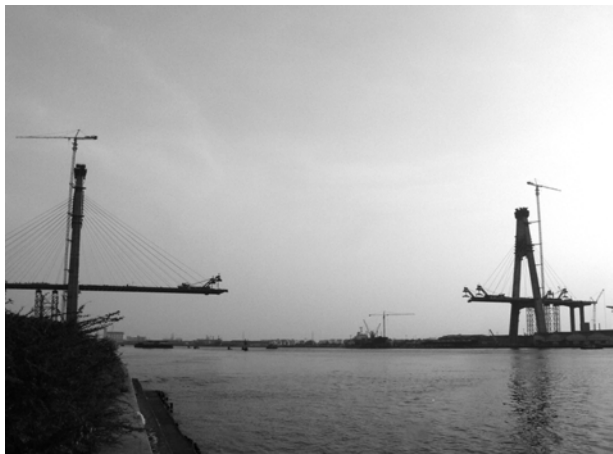
- Travées arrière lestées par contrepoids dans l'épaisseur du tablier, entre pièces de pont, ainsi qu'en tête de pile par « marteaux ».



- Tablier de 36,70 m de large, portant 2x4 voies, en ossature mixte acier/béton, composé de 2 poutres latérales en caisson de hauteur 1,65 m et de largeur moyenne de 1,70 m, de pièces de pont espacées de 4 m et surmontées d'un hourdis préfabriqué BA de 26 ou 31 cm.

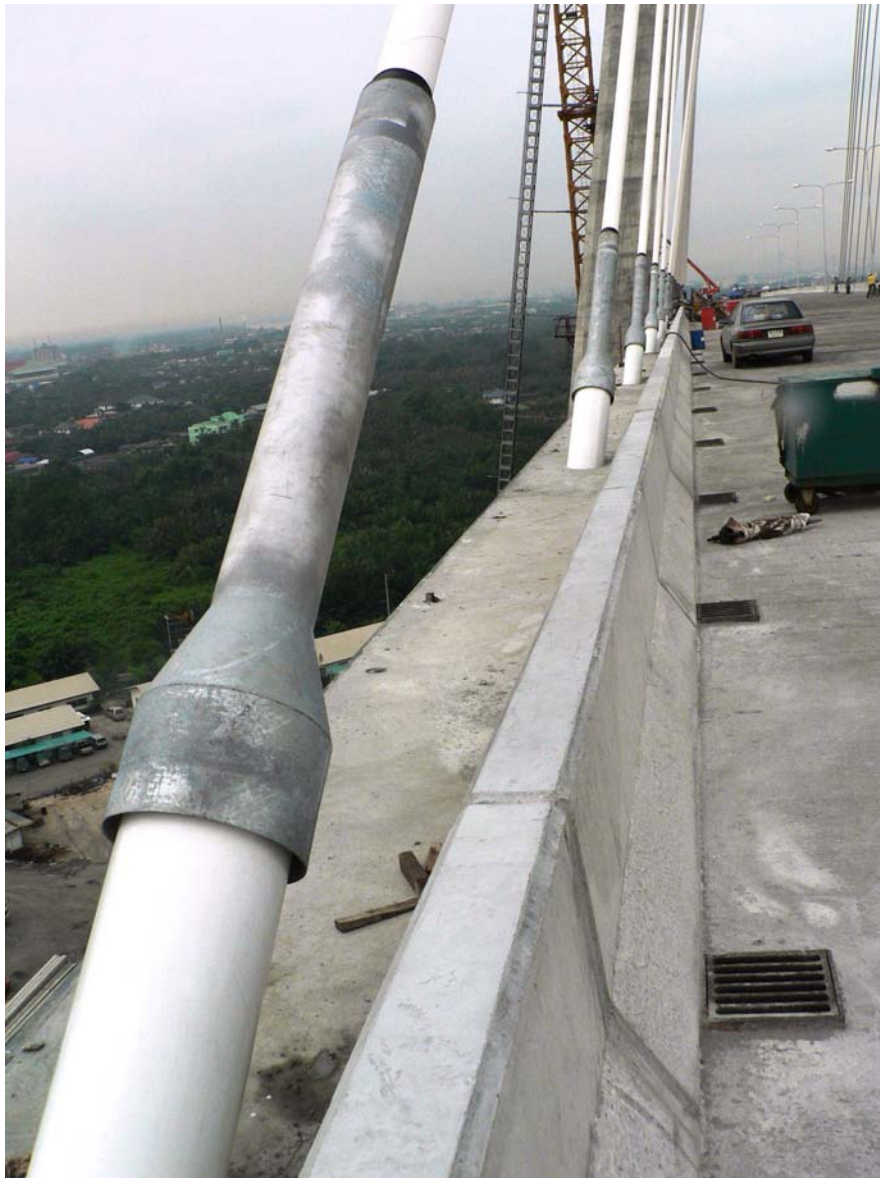


- Construction des voussoirs sur barge par éléments de 12 m, puis hissage par un équipage mobile (VSL) ancré sur le tablier, et assemblage par boulonnage HR.





- Haubanage par 2 nappes latérales de 2 fois 21 unités (21 en travées arrière et 21 en travée centrale) 75T15 max, ancrées tous les 12 m dans les poutres latérales, et en tête du pylône, tous 2 à 3 m, dans des « boîtes » d'ancrage métalliques.



- Le « vent en construction » a été étudié en soufflerie atmosphérique sur modèle réduit. Il a montré qu'aucune précaution particulière n'était à prendre, sinon un blocage latéral du fléau contre les pylônes.

2. MÉTHODES

Démarrage du tablier



Le premier voussoir est assemblé en place sur consoles temporaires accrochées au pylône. Les deux suivants sont assemblés sur tours et profilés en tête.



Ergots de blocage horizontal. Ils assurent la stabilité horizontale du fléau durant la construction. Ils sont calculés pour une force maximale de 600 t qui correspond au pire cas de déséquilibre entre les deux demi-fléaux.



Ils sont plus tard utilisés pour ouvrir, par vérinage, l'espace entre extrémités de fléaux, juste avant bétonnage de clavage, ce qui permet après clavage et relâchement des vérins, de créer une compression dans le hourdis supérieur à mi-portée.

Les « marteaux » des piles arrière :



Voussoirs-coques préfabriqués (réalisés sur long banc) qui serviront de coffrage perdu aux marteaux de contrepoids des piles arrière. Ils seront assemblés à la grue et par câbles de précontrainte.

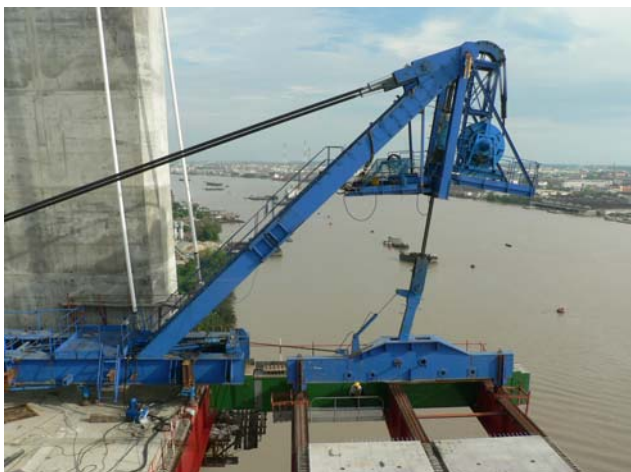
Assemblage du voussoir courant



Voussoir en attente de hissage. Quatre pré-dalles sont déjà installées (il n'a pas été possible d'en monter plus en raison de la résistance limite de la pièce de pont d'extrémité de fléau, fortement sollicitée lors du hissage).



Hissage d'un voussoir (250 t) par équipage mobile. Cet équipage est celui déjà utilisé sur les deux autres ponts haubanés « Industrial Ring Road » voisins qui venaient juste d'être terminés.



Partie avant de l'équipage mobile en fin de hissing et partie arrière montrant l'accrochage par gros goujons et anneaux en tôles épaisses soudées aux pièces de pont.



Poutres-caissons de deux voussoirs consécutifs en cours d'alignement



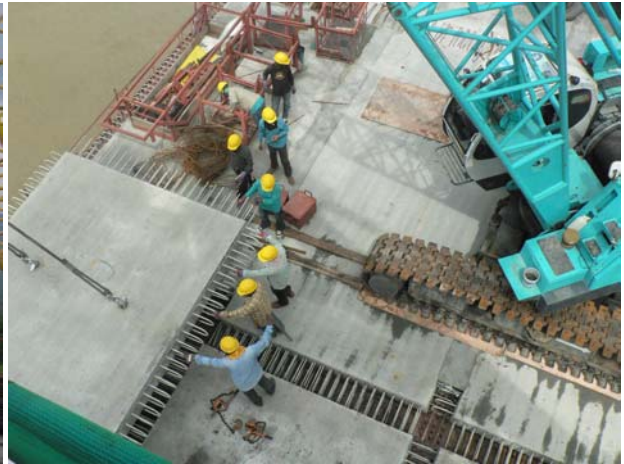
Le boulonnage peut commencer, du moins pour l'une des poutres latérales, car, en raison des chargements très différents du voussoir « n », qui supporte l'équipage mobile et qui a déjà toutes ses pré-dalles, et le voussoir « n+1 » en cours d'assemblage et qui supporte seulement la moitié des pré-dalles, il y a une différence de rotation de 0,7 %.

Une inclinaison correspondante transversale du voussoir « n+1 » est donc nécessaire pour assembler parfaitement les poutres de rive. Pour l'autre poutre, encore accrochée à l'équipage mobile, quelques boulons sont mis en place et serrés « imparfaitement » car les tôles et couvre-joints sont « imparfaitement » en contact.

Au fur et à mesure que les opérations de mise en tension des haubans, de pose des pré-dalles et de relâchement de l'équipage mobile se réalisent, la différence de rotation s'amenuise et les boulons peuvent être placés et serrés.



Boulonnage terminé ainsi que la première mise en tension des haubans.



Pose des pré-dalles (25 t chacune) par grue mobile (poids 100 t).



Vue d'ensemble des pré-dalles avant clavage.



Mise en tension des haubans, par paires transversalement



Enfilage des torons un par un

Il y a quatre mises en tension :

- « de boulonnage », au moment de l'assemblage,
- de poids propre du voussoir complet,
- des charges complètes, y compris les superstructures,
- de réglage final du profil en long, après clavage, pour les haubans centraux seulement.

La première mise en tension a été réalisée « en forces » calculées suivant les conditions réelles de chargement et de température.

Les suivantes l'ont été « en longueurs à vide », comme si les haubans étaient coupés « à longueur », avant mise en place.

Deux corrections de profil en long ont dû être réalisées en cours de route, correction aisées (peu de variation de force dans les haubans) en raison de la très grande flexibilité du tablier.

Finalement, le profil en long final à mi-travée centrale (500 m), sous charges permanentes, n'est que 100 mm au-dessous du profil théorique, pour les mêmes conditions de température.

Accostage sur piles arrière





Les charpentes de 2 voussoirs sont posées à la grue sur les marteaux des piles, puis boulonnées entre elles et à l'extrémité du fléau.



Les contrepoids sont bétonnés et les pré-dalles posées.



Clavage central



Hissage du voussoir de clavage.



Systèmes d'alignement horizontal - câble « oblique » en plan et vertical (vérinage d'un côté sous une « potence » ancrée de l'autre).



Clavage des poutres latérales après mise en place d'une fourrure de 200 mm (fabriquée au dernier moment).

3. CONCLUSIONS SUR LES MÉTHODES

- Le principal défi concernait l'assemblage théoriquement « impossible » des voussoirs en raison des rotations différentielles des poutres-caissons et leur quasi indéformabilité transversale. Cette difficulté a été tournée grâce à l'astuce de l'« inclinaison » ainsi qu'à une phase supplémentaire de mise en tension des haubans, dite « de boulonnage » ou seul le poids propre du voussoir est accroché, pendant que l'on procède aux premiers boulonnages.
- Des poutres latérales en « I » auraient permis un temps d'assemblage plus court grâce à boulonnage plus aisé du à la flexion « verticale » des âmes, mais nous n'aurions pas bénéficiés de trois avantages du caisson, à savoir :
 - la facilité d'accès aux ancrages,
 - la protection des ancrages vis-à-vis des intempéries,
 - l'esthétique.



- L'équipage mobile utilisé - issu d'un autre chantier précédent (ponts haubanés de la Rocade Industrielle, toujours à Bangkok), était beaucoup trop lourd puisqu'il était dimensionné pour lever des voussoirs de 500 t (cas de la Rocade Industrielle), au lieu de 250 t dans l'ouvrage de la Rocade Extérieure, valeur limite vis-à-vis de la résistance de la pièce de pont qui supporte l'équipage mobile en charge. Avec un équipage mobile plus léger, le différentiel de rotation aurait été fortement amélioré.
- Les solutions adoptées pour la réalisation des marteaux des piles arrière (coques préfabriquées), ainsi que pour les blocages horizontaux et le clavage, ont été des francs succès.
- L'accrochage des voussoirs à l'équipage mobile par « anneaux » soudés a été très pratique mais une solution par tiges verticales précontraintes, adoptée récemment sur les ponts haubanés voisins d' Industrial Ring Road (Bangkok) aurait pu être compétitive économiquement.

4. PARTICIPANTS

Maître d'Ouvrage	Ministère des Transports – Service des Autoroutes, Thaïlande
Maître d'œuvre	Groupe AEC/TEC/PB Asia, Bangkok
Projet Technique	Parsons & Brinkerhoff, New York
Entreprise	CH. Karnchang PCL, Thaïlande
Haubans	Freyssinet, France
Levage des voussoirs	VSL, Suisse

Essais aérodynamiques (au vent turbulent), en soufflerie Force, Danemark

Conseil Méthodes,
Calculs d'exécution « en phases » détaillées (logiciel « BC »)
eAccompagnement des travaux sur site Jean Muller International.