

LE PONT HAUBANÉ DE MUAR EN MALAISIE LA NOUVELLE SELLE MULTI-TUBULAIRE DE HAUBANS

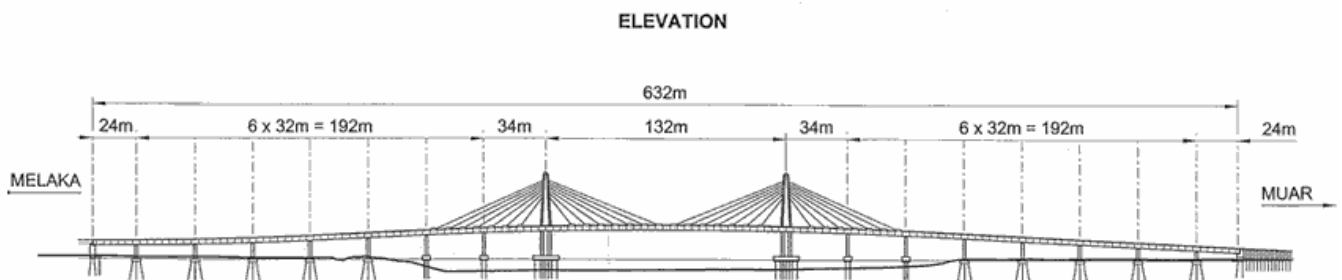
Guy FREMONT, Jean-Marc TANIS
EGIS JMI

1. INTRODUCTION

L'ouvrage est situé sur la rivière MUAR, à 40 km au sud de MELAKA en Malaisie, permet, depuis 2004, d'éviter la traversée chaotique de la ville voisine de même nom.

Sa longueur totale est de 632 m, subdivisés en une travée centrale haubanée de 132 m et deux rampes d'accès de 8 travées de 32 m (24 m pour les rives).

La conception de l'ouvrage, puis l'Avant-Projet, les Etudes d'exécution et l'Assistance Technique au chantier, ont été confiés à EGIS JMI.



L'ouvrage porte, dans chaque direction, deux voies de 3,50 m, une bande dérasée de gauche (on roule à gauche) de 1,70 m, une bande dérasée de droite de 0,50 m, une longrine support de barrière de sécurité de 0,50 m et une corniche-caniveau.

Le tablier est un mono-caisson de 2,50 m de hauteur, haubané sur son axe dans la travée centrale et les travées qui lui sont adjacentes.

Le vide intérieur du caisson est largement utilisé pour le passage de câbles électriques et de télécommunications.

Une double barrière centrale GBA assure la sécurité des véhicules ainsi que la protection des haubans situés sur l'axe de l'ouvrage.

La travée centrale ménage un gabarit de navigation 15 m x 100 m.

2. LA STRUCTURE

2.1. Les fondations

En site terrestre, ce sont des pieux préfabriqués en béton précontraint de diamètre externe 600 mm, verticaux et inclinés, et de charge admissible 2,50 MN. Ils ont été descendus à 40 m, les entures étant réalisées par soudure de sabots métalliques aux extrémités de chaque élément de 10 m.

En site fluvial, ce sont des tubes métalliques épais (19 mm), de diamètre 1,05 m, battus "ouverts" au refus.

En tête, un remplissage de béton armé et des anneaux d'acier soudés intérieurement assure la transition des efforts entre le béton armé du massif de fondation et la chemise métallique.

La fiche des pieux est d'environ 50 m et la charge admissible par pieu est 6,2 MN. Il y en a 19 par pylône.



2.2. Les appuis (hors pylônes) en élévation:

Les piles de travées d'accès, en site terrestre, sont deux simples poteaux rectangulaires 1,10 m x 1,50 m, fortement rapprochés du fait de la forme du caisson.

Un voile plein, arrêté à 4 m de la tête, assure le contreventement et l'appui, grâce à une large échancrure, du cintre mobile comme il sera expliqué ci-après.

En tête, le tablier s'appuie sur les piles arrière par des appareils d'appui glissants monodirectionnels à pot d'élastomère ; sur les pylônes, il est encastré.

La culée Sud est du type classique : un simple chevêtre sur pieux et des murs en retour.

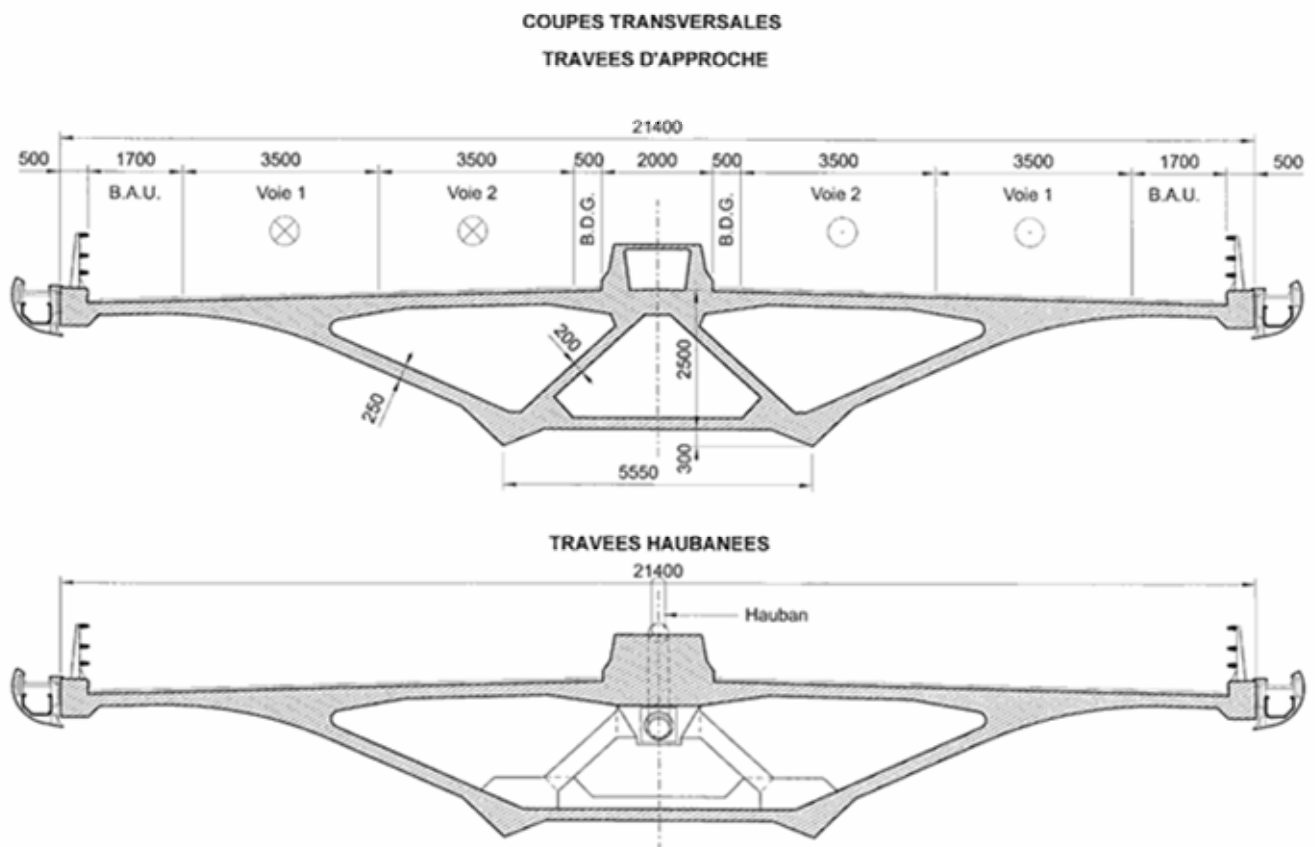
Ses abords sont en remblais renforcés appuyés sur une dalle-champignon en béton armé et un maillage serré 2,10m x 2,10m de pieux battus Dia 350mm.

Au Nord, la culée est, en fait, une pile de transition à double ligne d'appuis, adaptée au tablier, d'un tout autre type (poutres), de l'échangeur en amont.

2.3. Le tablier

C'est un mono-caisson large - 21,40 m -, en béton précontraint, de hauteur constante - 2,50 m (sur l'axe)-, structuralement continu sur toute sa longueur.

Extérieurement, il présente des âmes fortement inclinées, adaptées à la suspension axiale par les haubans de la travée centrale et à un minimum de prise au vent.



La précontrainte longitudinale est réalisée par câbles intérieurs au béton, "rectilignes", en unités 12 et 19K15 (Procédés Freyssinet). Dans la travée centrale, cette précontrainte est complétée par des câbles externes 19T15, ancrés dans les blocs d'ancrage des haubans.

Le hourdis supérieur est précontraint transversalement par câbles " plats " 5T15 disposés tous les 0,80 m.

Dans les travées d'accès et les 2x2 travées adjacentes à la travée centrale, le caisson du tablier présente deux âmes centrales en V inversé, constituant ainsi avec les âmes externes une ossature transversale triangulée indéformable.

Certains câbles inférieurs de précontrainte ont été emmenés "au-delà des lignes d'appui", en raison de la sensibilité de l'ossature aux tassements différentiels et au gradient vertical de température dans le tablier.

Les travées d'accrochage « arrière » des haubans ont été lestées sur la dernière pile avant pylône, par un gros béton, afin d'éviter le décollement des appareils d'appui.

En outre, la double GBA centrale a été, dans cette zone, remplie de gros béton en son milieu pour la même raison.

Dans la travée principale, les âmes centrales sont "remplacées" par des butons-tirants à 45°.

Pour les voussoirs de haubans, ils sont précontraints (un câbles 10 K15 par tirant) pour permettre de suspendre les âmes latérales aux haubans

Aux extrémités inférieures des tirants, des « moustaches » au caisson permettent d'assurer l'ancrage des aciers au-delà du nœud d'intersection âme/hourdis inférieur/ tirant.

Pour les voussoirs intermédiaires situés entre ceux de haubans, l'effort de compression est remonté dans les âmes latérales par 2 câbles transversaux 3 T15 inférieurs et latéraux.

2.4. Les haubans / Les selles d'ancrage dans les pylônes

La travée centrale est accrochée aux pylônes par 2 x 7 haubans axiaux 37 à 75H15.

L'espacement entre les ancrages de haubans est de 8 m sur le tablier et de 1,40 m sur le pylône.

JMI et FREYSSINET ont mis au point une conception de selle constituée d'un complexe multitubulaire de tubes individuels séparés.

Chaque toron de hauban file d'une seule traite d'un ancrage de travée centrale à l'ancrage correspondant de travée latérale, l'ancrage dans le pylône s'effectuant "à sec" dans la selle par frottement du toron (gaine PEHD) avec le tube (aluminium) du toron de la selle.

Il y a autant de tubes dans la selle que de torons dans le hauban, l'espace entre tubes étant injecté par un coulis à très haute performance.

Il s'en suit que chaque toron est facilement remplaçable si besoin est et qu'il n'y a plus d'usure par contact mutuel entre torons, puisque ces derniers sont physiquement séparés.

Il n'y a aucune interruption de la protection contre la corrosion (pas de découpe de la gaine individuelle du toron), la gaine globale du hauban fini est naturellement prolongée dans le pylône sans discontinuité et, enfin, le pylône peut être réduit en épaisseur transversale au minimum de non-flambement.



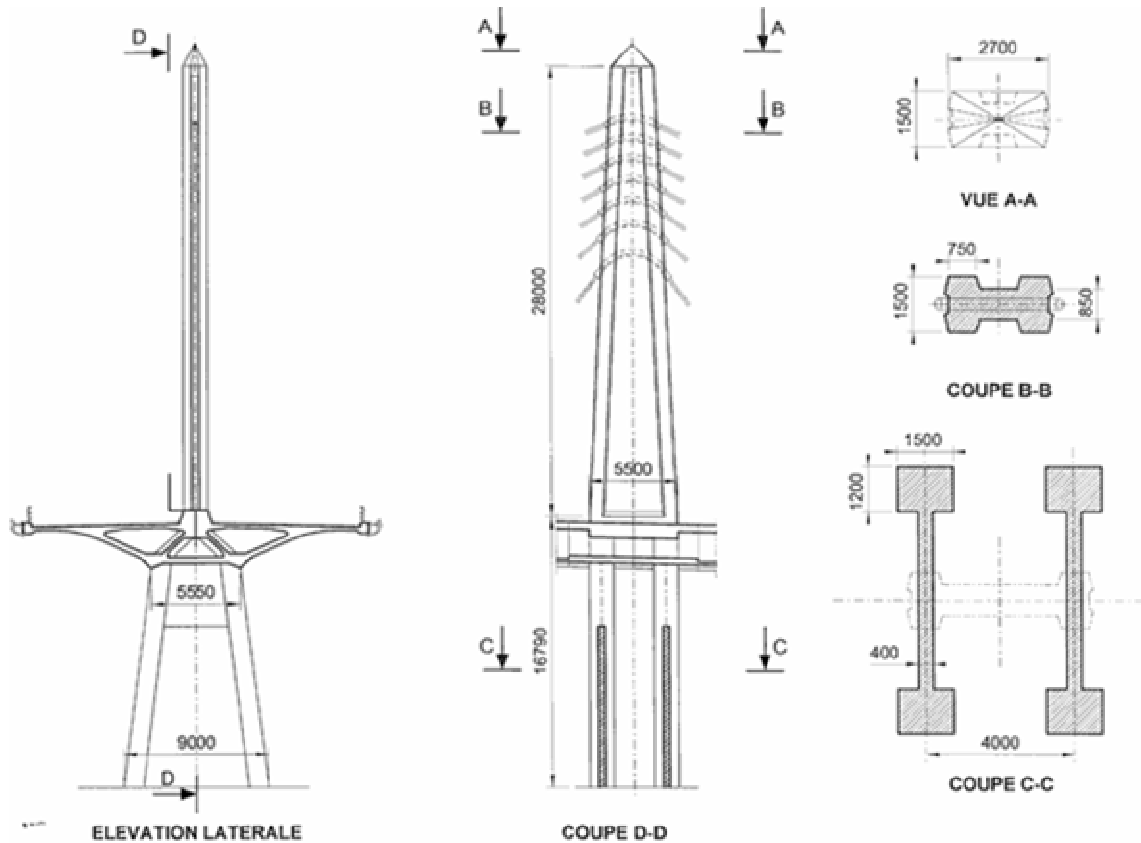
Cette solution de selle est donc une amélioration décisive à la selle classique injectée. Elle est issue de la technique du "Toron Cohérent" développée par Freyssinet sous la marque Coherstrands®; en effet, sans cette « cohérence », le toron glisserait dans sa gaine individuelle, rendant impossible l'ancrage par frottement.

Cette solution a, depuis lors, été employée à plusieurs reprises sur des ponts dits « extradossés ».

2.5. Les pylônes

Hauts de 30 m au dessus du tablier, ils sont de dimensions transversales minimales, adaptées aux selles tubulaires évoquées précédemment et à la sécurité au flambement:

Un voile de 850 mm d'épaisseur, adapté au diamètre – 400 mm – des selles tubulaires, épaissi aux extrémités, dans le sens horizontal, à 1,50 m.



Verticalement, la largeur du pylône suivant l'axe du pont varie en fonction de la longueur courbe des selles : l'allure générale du pylône est un "glaive" de largeur variant de 5,30 m en pied à 2,70 m en tête.

Sous le tablier, le pylône est prolongé par une pile à double fût, semblables aux piles courantes.

Le report des charges du pylône aux quatre poteaux du double fût s'effectue en bielles comprimées dans les quatre directions au travers d'une entretoise massive en delta.

Transversalement à l'axe du pont, la dalle inférieure du delta est précontrainte par 2 x 4 câbles 19T15.

3. MÉTHODES D'EXÉCUTION

3.1. Tablier

Le tablier a été réalisé suivant une méthode originale associant la méthode du "cintre auto-lanceur" et celle de "l'encorbellement", que l'on pourrait appeler "encorbellement sur cintre auto-lanceur".

Par cette méthode, chaque voussoir (de 4 m de longueur dans le cas du pont de MUAR) est bétonné sur un équipage mobile accroché en extrémité du voussoir précédent (méthode "encorbellement") et appuyé sur une poutre-caisson métallique centrale légère, (le "cintre auto-lanceur").

Cette poutre, coulissante, porte sur trois appuis : la pile du fléau en construction et les deux piles (ou pile plus palée provisoire) adjacentes.

L'équipage de cette méthode est donc un outil sensiblement plus léger et plus simple que l'équipage d'encorbellement classique.

Le risque de chute est supprimé et, de plus, l'accès par le personnel et l'acheminement du petit matériel au fléau sont aisés car ils peuvent s'effectuer par le tablier déjà exécuté et par la poutre.

La poutre est longue de deux travées plus les becs avant et arrière (soit 75m pour le pont de MUAR).



Après bétonnage et mise en tension des câbles de fléau, les équipages ont simplement été roulés, comme un wagon, sur la poutre jusqu'à la position du prochain voussoir.

Comme pour un cintre auto-lanceur, la poutre est déplaçable longitudinalement lorsque, un fléau étant terminé et clavé au fléau précédent, elle doit être mise en place pour la réalisation du fléau suivant.

La grande rigidité en torsion de la poutre – c'est un caisson fermé – autorise les larges encorbellements latéraux de l'ossature support des coffrages, et certaines asymétries de bétonnage.

Le monolithisme transversal de l'outil coffrant porté par la poutre est évidemment rompu lors du passage d'une pile. Les ossatures latérales des ailes sont alors provisoirement suspendues à un profilé transversal passant par dessus les têtes de piles.

Transversalement, chaque voussoir a été bétonné en trois phases :

- le hourdis inférieur, les âmes latérales et les consoles supérieures,
- les âmes en V inversé,
- le hourdis supérieur central, après que les câbles transversaux aient été enfilés.

Le cycle complet a été d'une semaine par paire de voussoirs.

Juste avant clavage de la travée centrale, il a été effectué un vérinage horizontal (400T) en mi-travée entre les deux demis fléaux, afin d'équilibrer les charges permanentes dans les pieux des pylônes.

3.2. Pylônes

Ils ont été réalisés par coffrages grimpants et ont utilisé abondamment les « coupleurs » d'armatures passives.

La mise en place des selles avant bétonnage a été réalisée via un système amovible et réglable « 3D » scellé au béton de la levée précédente.



4. DIVERS

Bases de calculs

Normes Britanniques de Surcharges et de BA/BP – Vent faible – Pas de sismicité - Fluage/Retrait/Relaxation en CEB 90

Epaisseur moyenne du tablier (B 40) : 0,60 m en travées d'accès et 0,50 m en travée centrale haubanée.

Aciers passifs : 120 kg/m³ pour les accès, 150 kg/m³ pour la travée centrale et 160 kg/m³ pour le pylône

Haubans : 95 T d'acier dur

Précontrainte longitudinale : 164 T d'acier dur

Précontrainte transversale du hourdis supérieur: 1 câble plat 5T15 tous les 800 mm



5. INTERVENANTS

Maître d'Ouvrage
Entreprise Générale
Travaux de fondations
Génie Civil en élévation
Études et Assistance Technique sur le site

JKR de l'Etat de JOHOR (Malaisie)
RANHILL Civil – Kuala Lumpur
ANTARA KOH - Singapour
PTC et PPEC (Entreprises locales)
EGIS JMI

Méthode de « l'encorbellement sur cintre auto-lanceur »

- Conception
- Développement
- Etudes détaillées, Fabrication
- et Assistance Technique

Jean Muller
EGIS-JMI

PeinigerRöro (Thyssen).

Précontrainte, haubans et appareils d'appui
Contrôle Extérieur pour JKR
Mise au point de la "nouvelle selle"

Freyssinet Malaisie
M.S.Z (Kuala Lumpur) et MAUNSELL AUSTRALIA
Guy Frémont (EGIS JMI), Jean-Claude Percheron (FREYSSINET)