Pont Yavuz Sultan Selim, le pont des records

Septembre 2016

Par son comportement hybride, le troisième pont sur le Bosphore résout l'équation contradictoire d'un ouvrage suspendu et haubané à profil aérodynamique.

À cheval entre l'Europe et l'Asie, séparée par le détroit du Bosphore, Istanbul était jusqu'en 2016 reliée aux deux continents par deux ouvrages suspendus à profil aérodynamique, respectivement construits en 1973 et en 1988. En 2012, les autorités turques décident de réaliser une nouvelle autoroute de 150 kilomètres dotée d'un troisième pont pour décongestionner la métropole et déporter le trafic international hors de l'agglomération. En février de la même année, le consortium italo-turc Astaldi-Içtas appelle l'ingénieur Michel Virlogeux et Jean-François Klein, administrateur du bureau d'études suisse T Ingénierie, pour répondre au **concours**.

Le programme insistait sur la qualité architecturale et imposait un ouvrage suspendu dans la lignée des ouvrages existants. Autre impératif, remettre l'offre fin avril : les concepteurs disposaient donc de huit semaines pour concevoir le projet ! C'est peu… Ni une ni deux, les deux ingénieurs, qui se connaissent bien, se mettent au travail et, en l'absence de données, lancent une véritable « machine de guerre » en faisant appel aux expertises de leurs relations.

Le pylône européen est fondé sur la rive, non dans l'eau.

Le pylône européen est fondé sur la rive, non dans l'eau.

Un pont suspendu à haute rigidité

Deux mois plus tard, ils rendent un projet de pont suspendu et haubané à tablier aérodynamique dont la silhouette élégante séduit d'autant plus le jury que les propositions concurrentes ne présentent pas les mêmes qualités esthétiques… et financières. De fait, la finesse du profil relève du tour de **force** quand on sait que l'ouvrage porte deux voies ferrées, huit voies d'autoroute et des trottoirs latéraux. « Les grands ponts mixtes rail-route doivent nécessairement avoir un tablier très rigide pour supporter les charges ferroviaires, aussi variables que conséquentes, définies par l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC). C'est pourquoi ils sont en général sur deux niveaux et rigidifiés par un épais **treillis** d'une quinzaine de mètres de hauteur, pas du tout dans l'esprit du pont espéré », explique Michel Virlogeux.

Pour des raisons esthétiques et après validation par des essais en soufflerie réalisés par le CSTB de Nantes, les deux ingénieurs conçoivent un tablier à un seul niveau, suspendu, mince (5,35 m d'épaisseur) dont le dimensionnement bat plusieurs records du monde. Cependant, l'obligation de pont suspendu pose le problème de la déformabilité de l'ouvrage lors du passage des trains : les câbles porteurs de la suspension se dérobent sous la charge, produisant des déformations verticales (flèches) incompatibles avec la circulation ferroviaire. Pour pallier cette souplesse de fonctionnement, le tablier est rigidifié par des « câbles de rigidification », autrement dit des haubans, ancrés de part et d'autre des pylônes en rives du tablier. Ce système stabilise ainsi l'ouvrage en réduisant très significativement les flèches. Dès lors, la **travée** centrale, un **caisson** orthotrope en acier, adopte trois types de comportement : une zone haubanée aux abords des pylônes ; une zone suspendue au centre de la grande travée, avec des **suspentes** ancrées de part et d'autre des voies ferrées situées au milieu du tablier pour limiter les rotations de **torsion** ; et entre les deux, une zone de transition qui régularise les déformations en mixant les haubans et les suspentes.

Une portée rallongée

Autre tour de force : la construction, dont le**concours** stipulait qu'elle devait se dérouler en 36 mois. Elle commence officiellement, le 29 mai 2013, date anniversaire de la **prise** de Constantinople (1453). En réalité, le consortium Astaldi-Içtas, qui voulait sous- traiter la réalisation de l'ouvrage, a pris le risque de démarrer les travaux avant même d'avoir choisi les sous-traitants. Lorsque l'entreprise coréenne est arrivée, une avancée dans le Bosphore était réalisée pour installer le chantier et les fondations des pylônes étaient creusées. Contrairement au programme qui stipulait l'implantation du pylône européen dans l'eau, Michel Virlogeux et Jean-François Klein choisissent de le fonder sur la rive. Il leur faudra mobiliser une grande force de persuasion pour convaincre l'entreprise d'allonger la portée du tablier, qui passe ainsi de 1 255 m à 1 408 m, nouveau record dans la catégorie des ouvrages à « haubans suspendus », jusqu'alors détenu par le pont Russky (2012). « Au final, tout le monde s'est félicité de ce choix judicieux qui a permis de sécuriser le **planning** et les coûts en évitant les aléas des travaux off-shore », résume Jean-François Klein.

Un pont suspendu à haute rigidité pour franchir le Bosphore.

Les pylônes sont de section triangulaire variable...

Un pont suspendu à haute rigidité pour franchir le Bosphore.
Les pylônes sont de section triangulaire variable...
... avec des fûts convergents réunis par une entretoise en partie supérieure.

Un temps de construction record

Le chantier a commencé de façon classique par les fondations des pylônes. Pas de fait notable sinon un rythme intense, 7 jours sur 7, 24 h sur 24. Les appuis – culées, piles intermédiaires, pylônes de 322 m de hauteur –, les travées de rive et les massifs d'ancrage sont en **béton** (classe de résistance : C60/70). Les massifs d'ancrage, gigantesques cathédrales creusées à ciel ouvert à 60 m de profondeur, s'élèvent peu à peu en intégrant les gabarits des câbles pour les futurs ancrages des torons du câble principal. Les travées de rive – des caissons multicellulaires en béton pesant 170 tonnes par mètre linéaire – se prolongent jusqu'à la jonction avec le tablier en acier, 24 m au-delà des pylônes. Les voussoirs (24 m de longueur et pesant près de 900 tonnes) sont levés et assemblés par encorbellements successifs jusqu'au vingtième et stabilisés au fur et à mesure par les haubans. Les voussoirs de la travée centrale sont levés à l'aide de **suspentes** provisoires pour les premiers, puis avec les suspentes définitives.

Conçus par Jean-François Klein avec l'aide de l'architecte Frédéric Zirk, les pylônes sont de**section** triangulaire variable avec des fûts élancés légèrement convergents réunis par une entretoise en partie supérieure. Ils ont été réalisés jusqu'à 208 m de hauteur avec un **coffrage glissant** ; au-delà, avec un coffrage grimpant, qui facilite la pose des 22 boîtes d'ancrage des haubans.

Le clavage du pont Yavuz Sultan Selim, père de Soliman le Magnifique, a eu lieu le 6 mars 2016 en présence du président Erdogan, cinq mois avant l'inauguration en août 2016.

Questions à Michel Virlogeux, consultant

Cet ouvrage hybride allie suspension et haubanage. Est-ce un fonctionnement courant ?

Non, ce principe qui consiste à donner une rigidité à un**pont suspendu** en ajoutant des haubans près des pylônes n'est pas courant. John Roebling l'avait utilisé avec un léger **treillis** pour un pont en bois sur le Niagara, ainsi que pour le pont de Brooklyn à New York (1883). Depuis, ce système a été abandonné. En général, la typologie des ponts mixtes rail-route est un tablier en treillis à deux étages… Modèle que je ne trouve pas particulièrement élégant.

Vous avez choisi de faire un tablier à un seul niveau pour des raisons esthétiques et un fonctionnement en suspension pour répondre au programme. Or, les charges imposaient de rigidifier l'ouvrage. Comment avez-vous résolu cet oxymore ?

Dans une configuration de pont suspendu, le câble porteur se dérobe sous la charge au passage des trains. Nous avons renforcé la rigidité de l'ouvrage par des haubans qui transfèrent les charges directement à la tête du pylône. En outre, les travées de rive comportent des appuis intermédiaires, ce qui les rend très raides. S'est néanmoins posé un problème très complexe : habituellement, les haubans de la grande travée sont équilibrés par autant de haubans ancrés dans les travées de rive. Or ici, les rives du Bosphore sont très escarpées et les travées de rive sont donc très courtes, imposant d'ancrer cinq paires de haubans directement dans le sol, ce qui induit un important déplacement longitudinal du tablier vers une culée au passage des trains. Le rôle de l'ingénieur, c'est de savoir jouer avec le flux des efforts pour les transmettre au terrain de la façon la plus efficace et la plus directe possible. Nous avons obtenu l'équilibre de la composante horizontale des efforts par un principe tout à fait inhabituel qui consiste à mettre en **traction** la partie centrale du tablier.

La réalisation du pont de Normandie a pris 19 ans. Celui de Millau : 17 ans. Celui-ci : 4 ans et demi. Comment accepter et tenir un tel délai ?

La passion parle. Et l'envie de relever le défi. Nous savions que c'était possible et nous n'avons pas eu le temps d'en perdre en discussions. Le consortium italo-turc a pris le risque de nous faire confiance.

Chiffres clés

- **Le plus long pont à haubans et suspentes** : 2 164 m de longueur totale et 1 408 m de**portée** entre les pylônes
- **Les plus hauts pylônes** : 322 m de hauteur
- **Le plus long pont équipé de voies ferrées :** 58,50 m
- **Le tablier le plus large**

Distinction

Le pont Yavuz Sultan Selim a reçu le **prix "IABSE outstanding structure 2018".**

Ce prix exceptionnel remis par l'International Association for Bridge and Structural Engineering, distingue des structures remarquables, innovantes, créatrices et stimulantes partout dans le monde. Il a été attribué le 19 septembre 2018 lors du 40e Symposium IABSE à Nantes en France.

Ils sont réalisés jusqu'à 208 m de hauteur avec un coffrage glissant. Au-delà, par un coffrage grimpant.

Les appuis, les travées de rive et les massifs d'ancrage sont en béton.

Ils sont réalisés jusqu'à 208 m de hauteur avec un coffrage glissant. Au-delà, par un coffrage grimpant. Les appuis, les travées de rive et les massifs d'ancrage sont en béton.

Concessionnaire : Astaldi S.p.A ; IC Içtas Insaat –**Conception** : Michel Virlogeux ; Jean-François Klein T Ingénierie – **Contrôle pour le concessionnaire** : Setec tpi –**Études géotechniques** : Lombardi – **BET** : T Ingénierie –**Essais en soufflerie** : CSTB, Politecnico di Milano – **Haubans et câbles de suspension** : Freyssinet – **Entreprises** : Astaldi S.p.A ; IC Içtas Insaat ; Hyundai Engineering & Construction ; SK Engineering & Construction Joint Venture ; Freyssinet – **Calendrier** : février 2012 – août 2016 –**Coût** : 900 M$.

Cet article est extrait de Construction Moderne n°149

Auteur

Delphine Desveaux

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 26/11/2026 © infociments.fr