

PONT LEVANT JACQUES CHABAN-DELMAS BORDEAUX (FRANCE)

Mathieu CARDIN

Egis

Le 16 mars 2013, Bordeaux a inauguré son nouveau pont sur la Garonne, un pont levant urbain qui fait déjà figure de symbole dans la métropole.

Pourquoi un pont levant ?

L'agglomération bordelaise souffre d'un déficit de franchissements : avant le pont Chaban-Delmas, seuls cinq ponts, dont un ferroviaire, permettaient de franchir la Garonne.

Afin de mieux relier les deux rives, et en particulier les deux quartiers de Bacalan en rive gauche, et de la Bastide en rive droite, tous deux en pleine reconquête urbaine, il était devenu urgent de construire un nouveau franchissement.

Mais il devait également maintenir la navigation sur le fleuve, afin d'offrir la possibilité aux paquebots et voiliers de grandes dimensions de pénétrer dans le cœur de ville.

Le respect de cette vocation portuaire relève d'enjeux historiques, urbains et fonctionnels absolument majeurs. D'ailleurs l'intitulé du site, tel qu'il est inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco, en témoigne : « Bordeaux Port de la Lune ». Le Maître d'Ouvrage (La Communauté Urbaine de Bordeaux, devenue Bordeaux Métropole) a donc décidé le franchissement du fleuve par un pont au ras de l'eau, avec une travée levante.



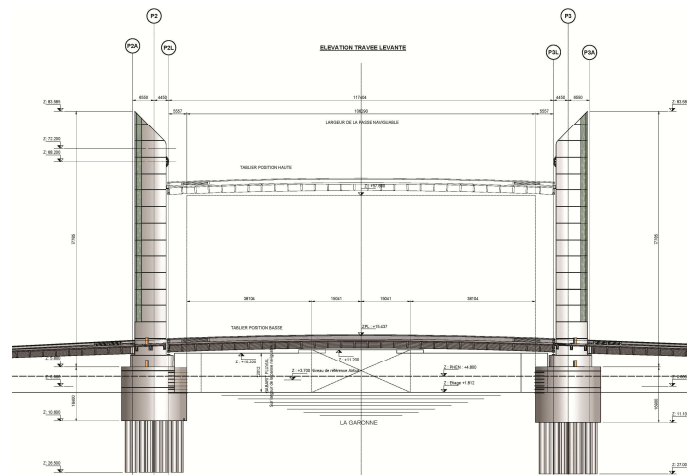
Le pont Jacques Chaban-Delmas, nouvelle entrée du Port de la Lune

La conception

Le programme du concours laissait libre choix au concepteur sur le nombre de tabliers et le type de structure pour la travée levante et les travées fixes qui l'encadrent.

Les seules contraintes fixées étaient d'offrir un pont mobile par translation verticale, avec bien entendu une cohérence architecturale d'ensemble. Mais quel que soit le parti retenu par les concurrents, l'ouvrage d'art était par nature complexe.

Par ses dimensions d'abord : avec une largeur de Garonne de 430 mètres à franchir, une passe navigable de 106 mètres de largeur et de 57 mètres de hauteur à libérer, et 8 voies de circulation mêlant piétons, cyclistes, voitures et transports en commun sur des voies dédiées, le pont Chaban-Delmas est l'un des plus grands ponts mobiles au monde.



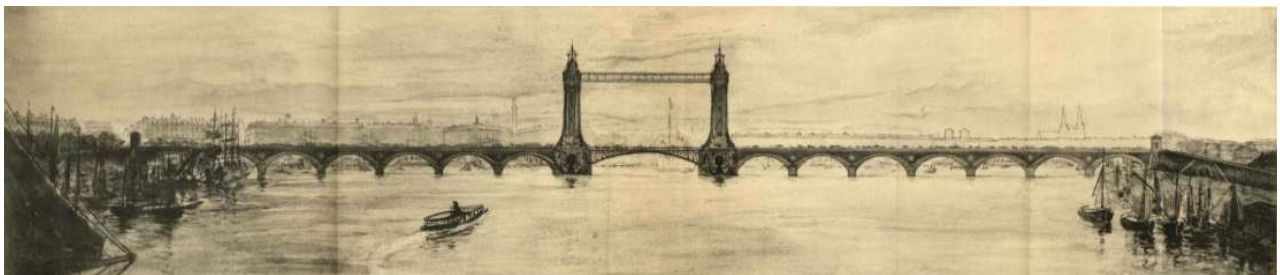
Des dimensions exceptionnelles pour l'un des plus grands ouvrages mobiles au monde

Du fait du contexte urbain ensuite, car la construction d'un ouvrage de cette ampleur au cœur de la ville imposait une ambition architecturale forte.

Une complexité liée enfin aux conditions de réalisation des travaux en Garonne, qui s'apparente plus à une construction en mer que sur un fleuve paisible : à chaque marée, et bien que situé à 100 km du pont en longeant le fleuve, l'océan inverse le sens de l'écoulement, créant de forts courants et un marnage très important (4 à 5 mètres).

Une idée maîtresse a donc prévalu dans la conception technique de l'ouvrage : la simplicité, afin de ne pas renchérir les contraintes évoquées précédemment.

Très vite, le choix d'un tablier unique s'est imposé à l'équipe de conception pilotée par EGIS-JMI (mandataire), associée à l'architecte Thomas Lavigne, à l'expert consultant Michel Virlogeux, et au bureau d'études Hardesty & Hanover, spécialiste de ponts mobiles.

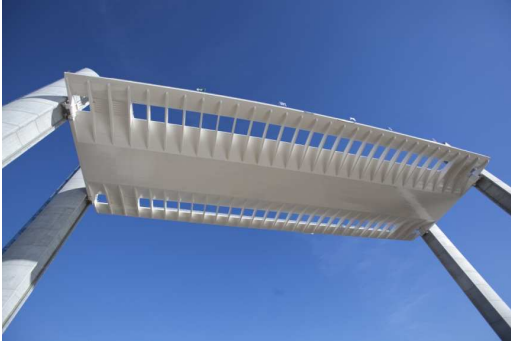


Le pont levant sur la Garonne à Bordeaux : une ambition très ancienne ! (image d'archives 1909)

La recherche de la légèreté pour la structure levante du pont a naturellement conduit les ingénieurs d'EGIS-JMI à choisir un caisson à dalle orthotrope pour la partie mobile.

Dans le même temps, Thomas Lavigne et l'équipe de conception ont résolument choisi d'opter pour un parti d'aménagement urbain faisant la part belle aux circulations douces, portées latéralement de manière dissociée du trafic routier.

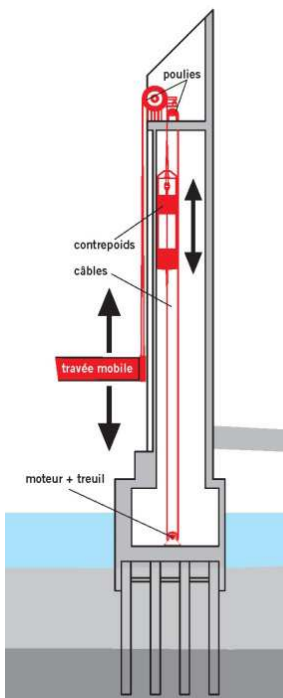
La structure de la travée levante découle de tous ces choix : un caisson de 3,75 m de hauteur pour une portée de plus de 117 m (élancement 1/32^{ème}). Le platelage supérieur est constitué d'une tôle de 16 mm d'épaisseur minimum, raidie longitudinalement par des augets en V espacés de 30 cm. Ce platelage est revêtu d'un complexe époxydique formant étanchéité et revêtement, de seulement 1 cm d'épaisseur, spécialement mis au point pour le projet.



Premiers essais de levage (décembre 2012)



Tronçon de caisson de la travée levante en cours de fabrication



La structure, déjà légère, est équilibrée par quatre contrepoids de 600 tonnes, logés à l'intérieur de chacun des quatre pylônes. Les boîtes de contrepoids sont en permanence connectées à la travée levante grâce à 4 x 10 câbles de suspension, enroulés autour d'une poulie de 4 m de diamètre. Ainsi, la travée ne pèse plus en réalité que 100 tonnes !

La mise en mouvement des contrepoids (et donc de la travée levante à laquelle ils sont rattachés) est actionnée grâce à une ligne motrice commune à chaque paire de pylônes.

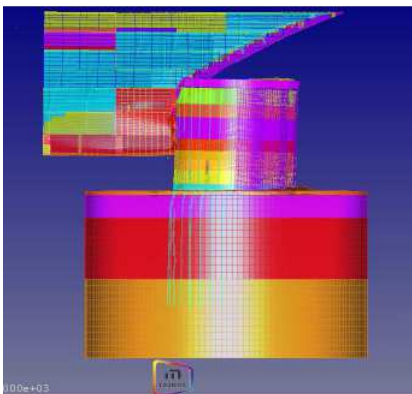
Un moteur de puissance réduite (132 kW) met en rotation deux treuils - un sous chaque contrepoids. Deux séries de câbles de manœuvre sont enroulés sur ces treuils, et connectés sur le dessus et le dessous des contrepoids. La maîtrise du mouvement est totale car les contrepoids peuvent aussi bien être descendus (levant ainsi la travée), que remontés (forçant ainsi la descente du pont).

La machinerie a fait l'objet d'un montage à blanc et de tests complets en usine avant colisage sur site. Une fois la machinerie (moteurs, arbres de transmission, freins et treuils) logée dans l'embase de fondations de chaque paire de pylône, des essais en charge sur le chantier ont été réalisés en temps masqué, avant l'arrivée de la travée levante.

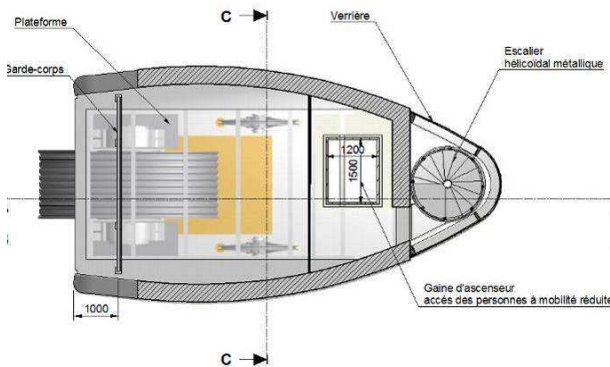


Essais à vide en usine des deux lignes d'entraînement

Les embases monumentales (44 m de long, 18 m de large et 15 m de haut) sont ancrées sous le fond de la Garonne sur 20 pieux de 1600 mm de diamètre, et d'environ 20 mètres de long.



Les pylônes sont protégés des chocs directs de bateaux par quatre îlots de protection situés à l'amont et à l'aval des embases. Les cylindres de 18 m de diamètre et 15 m de hauteur sont munis de 22 tirants faiblement précontraints, ancrés dans le substratum et capables de se sur-tendre et ainsi de retenir l'îlot lors du choc. Des calculs dynamiques spécifiques, incluant la modélisation de l'étrave du bateau de référence ont permis leur dimensionnement de détail.



Les pylônes de 80 m de hauteur sont constitués de voiles de 40cm d'épaisseur. Leur section creuse elliptique de 5,30 m de large et 9,60 m de long permet d'abriter les contrepoids, les poulies de levage, les ascenseurs et les escaliers de maintenance, en plus d'assurer leur fonction première de supports des guidages de la travée lors de son levage.

L'allégement de la structure décrit plus avant, indispensable à l'optimisation des moyens de levage, a cependant une contrepartie : avec une surface hors tout de 5 000 m², et une hauteur de prise au vent de 3,75m, il a fallu dès la conception tenir compte des effets turbulents du vent dans la conception du pont.

Sur la base des études déjà menées par Michel Virlogeux sur le viaduc de Millau, le profilage du caisson sur ses bords a diminué la prise au vent du pont. Une astucieuse dissymétrie (les nez de rive du caisson sont décalés vers le haut par rapport à la mi-hauteur du caisson), a de plus conféré à l'ouvrage une forme d'aile d'avion retournée. Ainsi, le tablier a une tendance naturelle à se plaquer sur ses appuis sous l'effet de l'écoulement du vent, à l'inverse du phénomène de portance recherché en aéronautique.

Cette grande stabilité a été confirmée par des calculs numériques spécifiques élaborés par EGIS-JMI. Ils tiennent compte des turbulences du vent sur le site, grâce à une campagne de mesures, et une maquette physique testée dans la soufflerie du CSTB à Nantes a ensuite confirmé ces calculs.

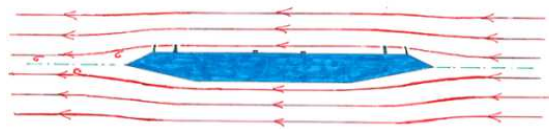
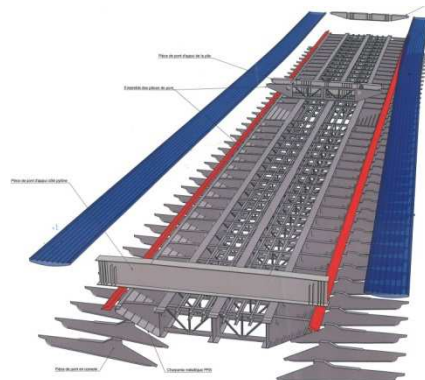
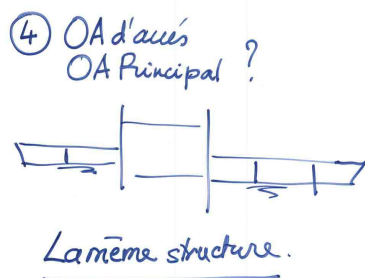


Schéma de principe des écoulements autour du caisson, et vérification par maquette en soufflerie

Une fois définie la structure de la travée levante, celle des travées d'accès a découlé de l'exigence de continuité architecturale de l'ensemble.



Le choix de la continuité architecturale dès les premières esquisses / Structure porteuse des travées d'accès

La solution de tabliers tri-poutres mixtes avec dalle de roulement en béton, et structure porteuse à poutres en I métalliques (en acier S460 du fait des lourdes charges de tram-train) s'est avérée la plus pertinente. Les trois poutres en I sont raidies transversalement tous les 4 m par des diaphragmes, prolongés au-delà à l'extérieur des poutres de rive par des consoles supports des passerelles.



La ligne unique de tabliers pourtant très différents structurellement

La pile intermédiaire de chaque ouvrage d'accès travée a été conçue de forme elliptique mince pour s'effacer à la fois sous l'ouvrage et dans les courants tumultueux de la Garonne.

Pour réduire les efforts importants sur les poutres au niveau des piles intermédiaires, la charpente est posée provisoirement sur des calages de 30 cm d'épaisseur ; après bétonnage de la dalle, les tabliers sont descendus par vérins à leur position définitive. Ainsi, la dalle en béton est re-comprimée, ce qui améliore sensiblement le comportement mixte d'ensemble.



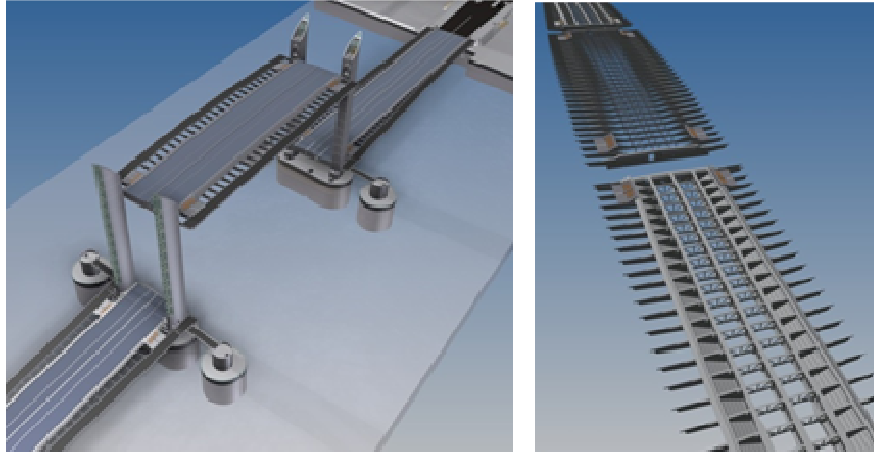
Pose des travées d'accès rive droite en août 2011

Le travail en commun des concepteurs (ingénieurs et architectes) a permis de se jouer de toutes les difficultés et de définir complètement dès la genèse du projet les structures métalliques, le Génie Civil et les fondations, et les équipements mécaniques.

Au final, chaque tronçon de poutre, chaque console, chaque section transversale du pont est unique, au gré des rayons de paraboles, des variations de hauteur, des élargissements...

Cette géométrie complexe a nécessité une étude numérique complète en trois dimensions de la structure et de ses équipements, réalisés par EGIS-JMI. Elle a fiabilisé la conception technique sur de multiples aspects.

D'abord grâce à l'identification des conflits géométriques entre tous les corps d'état, qui sont nombreux sur un pont mobile largement équipé : Génie civil, Mécanismes, Électricité et Automatismes. Elle a aussi confirmé la constructibilité de toutes les pièces, sur la base d'un principe simple : ce qui est difficile à dessiner sera également difficile à construire !



Maquette numérique de la structure générale et de la charpente métallique

Les travaux : de la préfabrication à la pose, des contraintes de la marée à son utilisation

Ce travail de conception en amont des travaux a été enrichi de l'expérience des entreprises Vinci et Cimolaï, en charge de la construction du Génie Civil et de la charpente métallique au sein du Groupement de conception-réalisation.



Les travaux de charpente en atelier : caisson principal de la travée levante et consoles support des passerelles

L'entreprise italienne de charpente métallique disposait d'un atout considérable : une usine d'assemblage et un quai donnant sur la mer Adriatique, rendant possible la construction par travées entières de l'ouvrage en usine, puis convoyage par la mer et l'estuaire de la Gironde.

Fort de son expérience du pont Rion-Antirion en Grèce, Vinci a dès les premières esquisses du projet envisagé la réalisation des fondations des pylônes et des îlots de protection par préfabrication. La mise à disposition par le Port de Bordeaux de sa cale sèche située à seulement 5 km du site (et qui sert à réparer les grands bateaux), a consacré ce choix.

Deux séries de convoyage ont été nécessaires pour transporter les îlots cylindriques (2 500 tonnes) et les embases préfabriquées (6 000 tonnes). Paradoxalement, ce sont ces dernières qui ont été plus faciles à convoier, du fait de leur carène comparable à une coque de bateau.

Au final, un maximum de travaux ont été préfabriqués, avec un gain de qualité intrinsèque très important par rapport à un chantier soumis aux aléas, notamment météorologiques.



Les caissons béton en cours de construction dans la cale sèche / Le convoyage d'un îlot sous le pont d'Aquitaine

Ces méthodes ont également limité la gêne occasionnée à la navigation fluviale, ont réduit les co-activités sur chantier entre corps d'état dans un planning tendu, et ont diminué les nuisances environnementales par comparaison à d'incessants convoys terrestres.

La pose des pièces a quant à elle été facilitée par un acteur inattendu : la Garonne !

En effet, les équipes de travaux se sont jouées de son environnement capricieux en posant les caissons béton préfabriqués et les travées du pont à l'aide des marées : amenée des pièces par remorqueurs ou par barges à marée haute au droit de leurs supports, et descente avec la marée pour se poser en douceur sur leurs appuis.

Là aussi, cette méthode avait été envisagée dès le concours et a guidé la conception ; la position relative des pylônes et de la travée levante par exemple a été définie de sorte que la pièce métallique de 2 500 tonnes puisse littéralement se glisser entre les colosses en béton.



Après un voyage de 6 000 km, un colis de 2 500 tonnes à manier avec délicatesse... et précision !

Outre la prouesse technique, cette opération a marqué les esprits des habitants, venus en nombre assister aux opérations de pose des méga structures préfabriquées.

Depuis, le succès a toujours été au rendez-vous pour le pont Jacques Chaban-Delmas : les festivités et l'inauguration du 16 mars 2013 ont eu lieu en présence d'une foule record.

C'est le concours de chacun, ingénieurs, architectes et constructeurs, qui a rendu possible la conception puis la réalisation de cette structure audacieuse, et dont la construction est d'une remarquable fidélité aux dessins d'origine.





Les chiffres clés

Longueur totale : 433 mètres

Travée levante : 118 mètres de long, 45 mètres de large, 2 500 tonnes

Passe navigable : 106 mètres de large, 47,60 mètres de hauteur de levage

Manœuvres : 120 par an en moyenne

Durée du levage : 12 minutes

Pylônes : 80 m de haut

Embase : 44 m de long, 18 m de large et 15 m de haut

Massifs de protection : 18 mètres de diamètre, 10 000 tonnes

Coût de l'opération : 160 M € TTC

Les intervenants

Groupe de conception :

EGIS-JMI (Mandataire - Structures) / Architecture et Ouvrage d'art (Architecture) / Hardesty & Hanover (Mécanismes – Électricité) / M. Virlogeux (expert consultant)

Groupe de construction :

Vinci Construction GTM Sud-Ouest (Mandataire et Génie Civil) / Cimolai (Charpente métallique) / NFM (Mécanismes)

Maîtrise d'Ouvrage :

Bordeaux Métropole (ex Communauté Urbaine de Bordeaux)