

29 novembre 2007 à Bordeaux

Suppression du bouchon ferroviaire de Bordeaux

La manifestation du 29 Novembre 2007 organisée par la délégation Sud Ouest à Bordeaux a eu pour thème principal les travaux nécessités par la construction du nouveau pont ferroviaire sur la Garonne destiné à remplacer l'ouvrage existant « Eiffel » bien connu, dans le cadre de l'opération intitulée « Suppression du bouchon ferroviaire de Bordeaux ». Il était donc naturel que cette manifestation se tienne ...à la Cité Mondiale du Vin, bien que le sujet n'ait, à priori, aucun rapport avec cette matière liée qui provoque un bruit sympathique lorsqu'on la retire du goulot d'une « bordelaise ». Le trafic ferroviaire s'écoulant déjà péniblement sur les deux voies actuelles, Réseau Ferré de France (RFF) a prévu de porter à quatre voies le tronçon compris entre la gare Saint-Jean située en rive gauche et Cenon située sur l'autre rive de la Garonne, afin de faire sauter...le bouchon avant que la Ligne à Grande Vitesse (LGV) Sud Europe Atlantique soit mise en service.

Rappel du programme

- 8h30 Accueil
- 9h00 Ouverture de la journée
[Bertrand TAIMIOT, AFGC Sud Ouest](#)
- 9h05 La présentation du projet - Enjeux fondamentaux et choix opérationnels de la Maîtrise d'Ouvrage
[Françoise ACHARD, RFF](#)
- 9h30 La procédure de Conception Réalisation du pont sur la Garonne, du programme à la contractualisation - Vision du Maître d'Ouvrage
[Françoise ACHARD, RFF](#)
- 9h45 La procédure de Conception Réalisation du pont sur la Garonne, du programme à la contractualisation - Vision du Mandataire
[Patrick CHARLON - William CARRIGNON, EIFFAGE TP](#)
- 10h05 La conception architecturale de l'ouvrage
[Jean-Pierre DUVAL, Architecte](#)
- 10h20 Pause
- 10h45 La conception technique de l'ouvrage
[Patrick CHARLON, EIFFAGE TP](#)
[Michel TRIQUET, SNCF](#)
- 11h05 L'ingénierie d'exécution
[Alain LOTHAIRE et Yves DUCHÊNE](#)
bureau d'études GREISCH
- 11h25 Les travaux de génie civil
[Patrick CHARLON - William CARRIGNON](#)
[Matthieu CARRY, EIFFAGE TP](#)
- 12h00 La construction en acier : Fabrication, transport et montage
[Bernard ROUYER, EIFFEL](#)
- 12h30 Les ouvrages de franchissement des voies latérales à la Garonne
[Patrice SCHMITT et Thierry DEFREL, SNCF](#)
Département des ouvrages d'art

12h50 Conclusions
[Franz DISSLER, AFGC Sud-Ouest](#)

13h00 Déjeuner

15h00 Visite du chantier

Ouverture de la séance

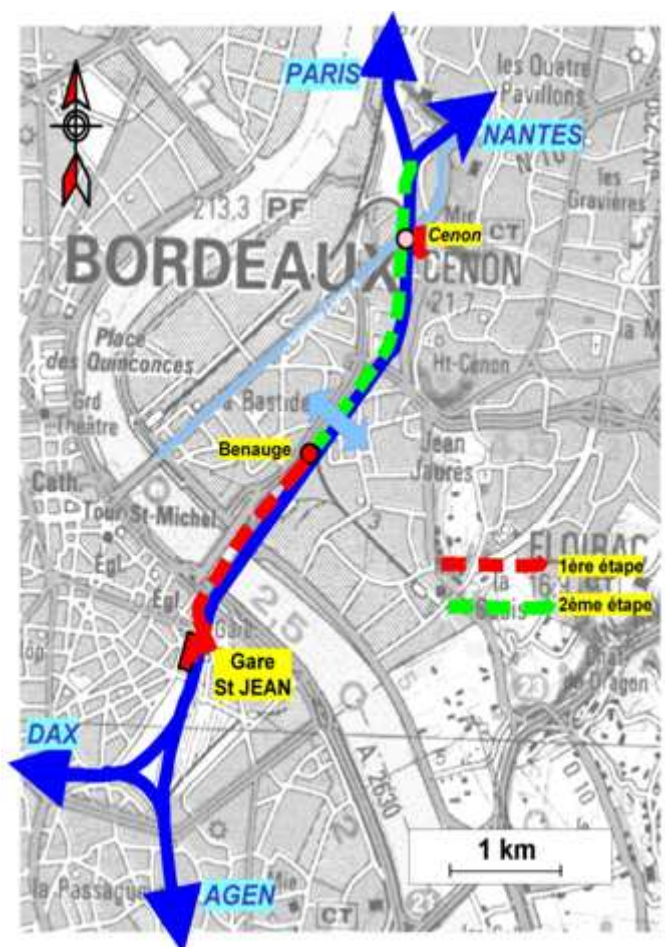
[Bertrand TAIMIOT - AFGC Sud-Ouest](#)

Après avoir organisé en février 2007 une journée à Toulouse sur le thème de l'élargissement d'autoroute en milieu urbain et plus particulièrement les protections acoustiques, l'AFGC sud ouest est heureuse de proposer un sujet relatif aux ouvrages ferroviaire.

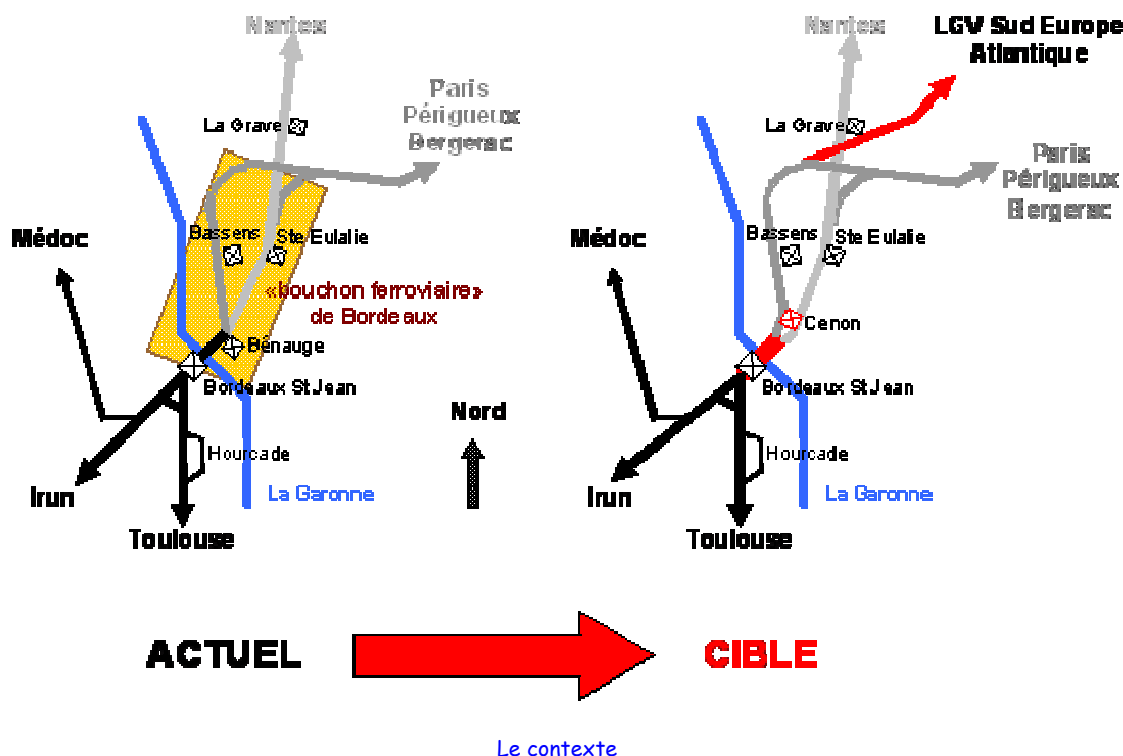
Le bouchon ferroviaire de Bordeaux - Présentation du projet

[Françoise ACHARD - RFF](#)

Enjeux fondamentaux



Localisation de l'ouvrage



La « passerelle » existante

C'est à la bifurcation de Cenon que les lignes de Paris, Bergerac, Périgueux et celle de Nantes se rejoignent. Il est donc prévu de porter à quatre voies le tronçon gare Saint-Jean / Benauges en première phase, puis le tronçon Benauges / bifurcation de Cenon en deuxième phase, avec pour objectif la suppression du bouchon en 2013.

Le financement du projet est assuré par RFF (34%), l'Etat (22%), le Conseil Régional d'Aquitaine (18%), l'Europe (10%), la Communauté Urbaine de Bordeaux (9%) et le Conseil Général de la Gironde (7%).

L'enveloppe de 300 M€ inclut, outre les ouvrages d'Art, le réaménagement des quais de la gare Saint-Jean, la création de voies TER nouvelles, une halte ferroviaire connectée au nouveau tramway et au TER, des voies souterraines pour piétons, la suppression du passage à niveau de Sainte Eulalie, et la réhabilitation de l'ancien bâtiment de tri postal (classé Art Déco) pour en faire le nouveau PC de la gare.

Il est prévu que le pont « Eiffel » existant, contigu au nouvel ouvrage, soit démoli pour des impératifs de

raccordement aux extrémités, mais aussi en raison de sa grande vétusté.

Il faut noter qu'une association de sauvegarde de l'ouvrage, dont les propres descendants de Gustave Eiffel font partie, milite pour faire classer cette passerelle Monument Historique.

Le transfert de la circulation des trains s'effectuera sur la partie aval de l'ouvrage, avant de réaliser les extrémités de la partie amont. C'est le 8 Mai 2008 que sera opéré ce basculement, toute circulation ferroviaire étant alors totalement interrompue pendant 3 jours.

La livraison par Eiffage TP de la première partie de l'ouvrage est prévue le 18 Janvier 2008

Choix opérationnels de la Maîtrise d'Ouvrage (RFF)

Pour réaliser l'ouvrage sur la Garonne, Réseau Ferré de France a choisi la formule du Concours conception réalisation, associant au sein d'un même groupement des fonctions dévolues traditionnellement au maître d'œuvre et à l'entrepreneur.

Ne bénéficiant plus de l'appui d'un maître d'œuvre indépendant, RFF s'est adjoint des Assistants à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO) de qualité.

RFF a pu ainsi rassembler toutes les données relatives au sous-sol, aux réseaux, à l'hydraulique, aux contraintes externes.

Le choix du concours conception réalisation a nécessité d'élaborer avec soin le programme du concours.

Pour arriver à finaliser le programme en 2004, il a fallu au préalable :

- réaliser des sondages de reconnaissance (2000)
- procéder à des études préliminaires confiées à Setec TPI (2001-2002)
- définir le tracé de référence (2002)

- procéder à l'enquête publique « Bouchardeau » (fin 2003)
- procéder à l'enquête loi sur l'eau (2004)

Après appel de candidatures, cinq groupements ont été retenus :

- Eiffage
- Bouygues
- Campenon
- Razel
- GTM

Après analyse, contrôle, et mise au point des offres, c'est un véritable marché « clés en main » qui a été finalisé le 17 novembre 2005 avec le groupement Eiffage.



Le montant du marché s'élève forfaitairement à 51 M€
Les paiements sont mensualisés, et de valeur égale, sur les 39 mois du marché.

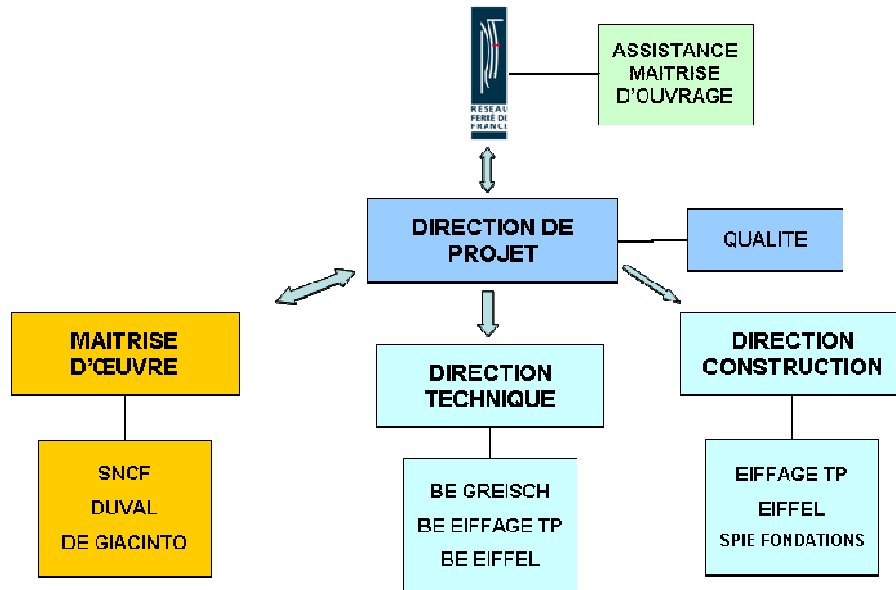
Les projets présentés

Eiffage a présenté un tablier mince constitué par trois poutres caissons métalliques à inertie variable tandis que les autres groupements avaient opté pour des structures soulignées en élévation, du type haubans épais ou bow-string

La procédure de conception réalisation Patrick CHARLON (Eiffage TP)

Le groupement EIFFAGE retenu est constitué par :

- SNCF Ingénierie et le bureau d'études Greisch
- Les architectes Jean-Pierre Duval et Jean de Giacinto
- Spie Fondations et Eiffage TP pour les fondations profondes
- Eiffage TP et Eiffel pour les appuis et le tablier.



Au niveau de l'organisation interne, il a été nécessaire de :

- clarifier et préciser le rôle de chaque intervenant
- mettre en place une cellule opérationnelle incluant la maîtrise d'œuvre, la qualité, la gestion, et la coordination des travaux.

Au niveau des études, il a fallu :

- s'appuyer sur l'expérience de l'entreprise
- choisir les méthodes et y adapter les structures
- utiliser les compétences des bureaux d'ingénierie et des architectes, sans perdre de vue l'économie du projet

Au niveau de la réalisation, il a été indispensable de :

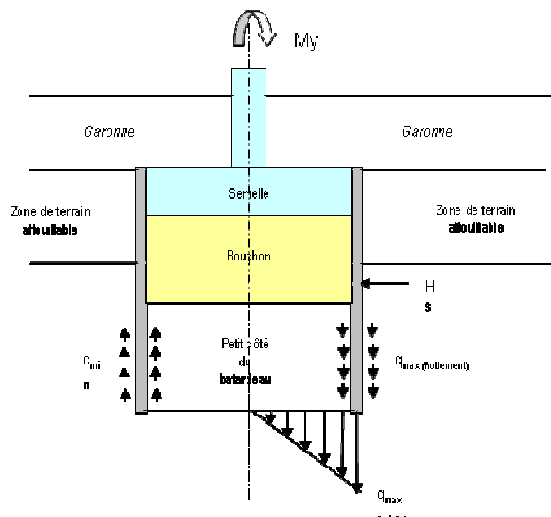
- responsabiliser le groupement vis-à-vis de la qualité, des coûts et des délais
- clarifier et accélérer les décisions
- simplifier les gestions des interfaces études/travaux et co-traitants

Les semelles des piles P2 à P6 ont été coulées à l'abri d'un batardeau en palplanches sur un massif en gros béton.

La fondation de la pile P6 sur laquelle se trouve le point fixe du tablier a été vérifiée avec le programme Plaxis, après une première approche manuelle. Le déplacement a été limité à moins de 5 mm.



Le point fixe du viaduc (pile P6)



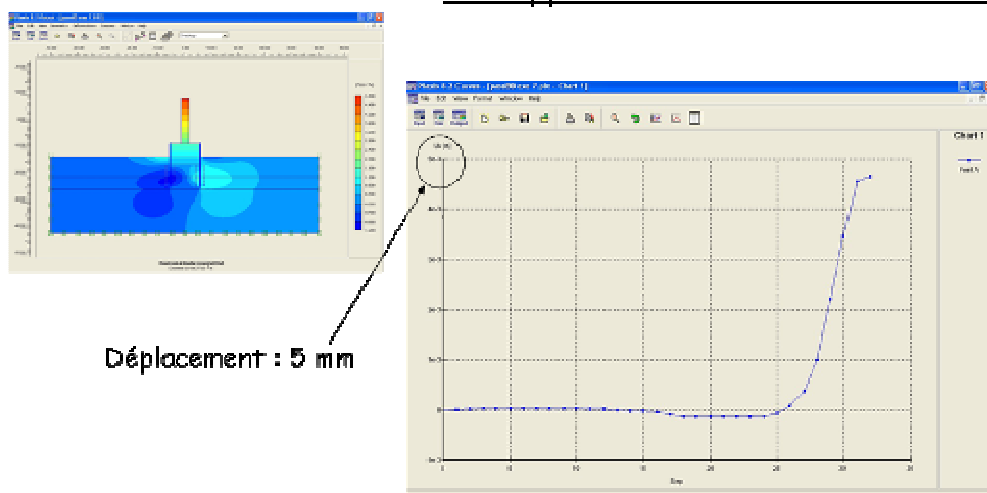
1ère approche « manuelle »

Prise en compte

- du frottement sur les palplanches
- de la butée frontale
- de la pression sous la fondation (diagramme triangulaire)

→ prédétermination de la largeur de la fondation (déplacement < 5mm)

2^{ème} approche : vérification sous PLAXIS



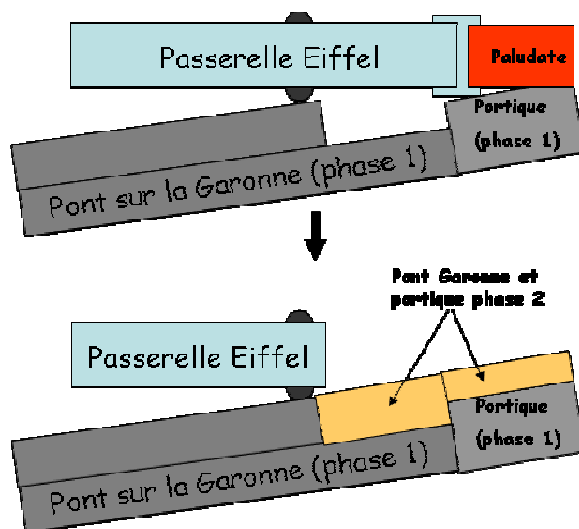
Le portique en rive gauche

Les fondations sont constituées par 6 pieux forés Ø 1800 par piédroit, en vue de limiter les travaux de blindage, ainsi que l'impact des travaux sur la circulation du quai Paludate et sur le collecteur Ø1600 de la Lyonnaise des Eaux.

La forme des piédroits est identique à celle des piles de l'ouvrage principal.

Les piédroits et la traverse sont exécutés en deux phases, en interface avec la démolition de la culée de l'ouvrage Eiffel et du viaduc de Paludate actuel.

- ☛ La forme des piédroits est identique à celle des piles
- ☛ Les piédroits et la traverse sont réalisés en 2 phases en interface avec la démolition de la culée de la Passerelle St Jean et du viaduc de Paludate (actuel)



La conception architecturale de l'ouvrage Jean-Pierre DUVAL

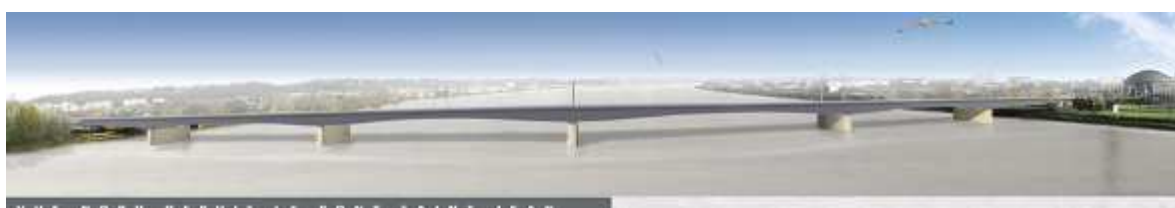
Cet ouvrage de franchissement de la Garonne s'inscrit dans un contexte urbain complexe et dense.

Il doit trouver sa place dans la famille des ponts existants à proximité, tels que le pont de pierre ou le pont Saint-Jean, et assurer la continuité de lecture avec ses voisins.

Le parti retenu est celui de l'horizontalité, avec une structure robuste à base de caissons à inertie variable, de courbure très tendue, qui confère au tablier sobriété et élégance.

Les piles sont implantées au droit de celles de l'ouvrage Eiffel voisin, à l'exception de la pile située à proximité de la voie sur berge qui a été supprimée pour améliorer la perspective d'ensemble, libérer le quai et faciliter l'écoulement fluvial.

Le béton lisse et clair des piles, et le décroché visuel de celles-ci par rapport à l'arase inférieure du tablier, contribuent à l'impression de légèreté générale.





La conception technique de l'ouvrage

Michel TRIQUET (SNCF)

Outre la recherche architecturale, le concepteur s'est attaché à réaliser un ouvrage indéformable s'agissant d'un pont-rail où la stabilité des voies est essentielle. Cette contrainte est aggravée par la présence de communications entre voies.

La raideur verticale est assurée par la rigidité des caissons, tandis que la raideur horizontale est garantie par la massivité des piles et de leurs fondations.

Construire un ouvrage simple, pérenne, facile à dimensionner et à réaliser, ont été des objectifs prioritaires de la conception.

Il a fallu s'efforcer de limiter les perturbations vis-à-vis des circulations routières et fluviales, et composer avec des emprises de chantier réduites.

Le cahier des charges de RFF : 2 faisceaux de voies séparés

Cette donnée permet un meilleur phasage de travaux, notamment pour les basculements de circulation.

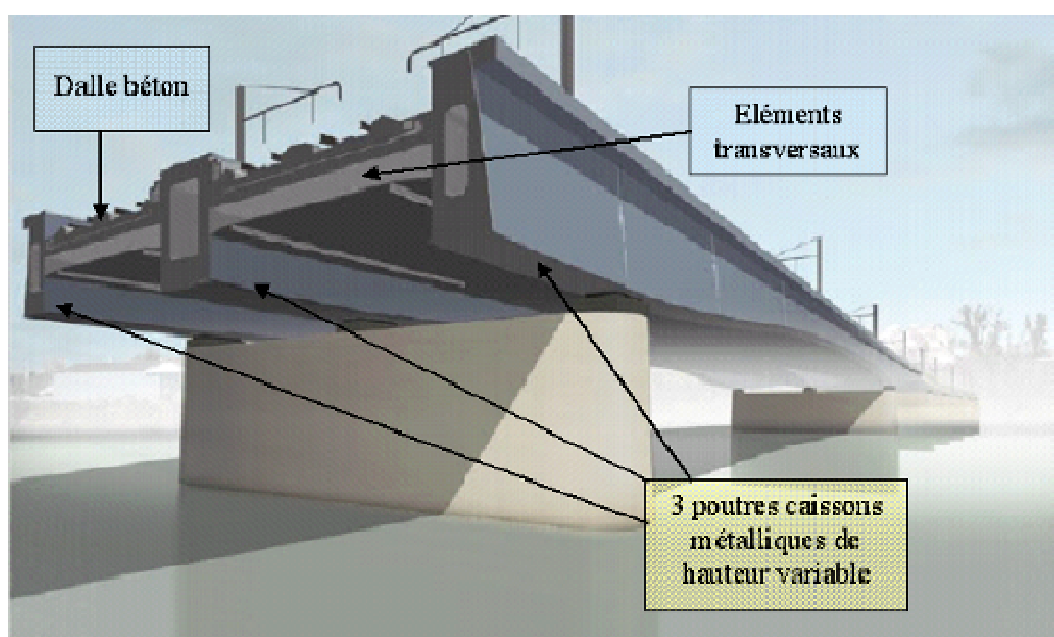
Le choix du tablier unique supportant les 4 voies a permis de réduire la largeur de l'ouvrage, donc les coûts.

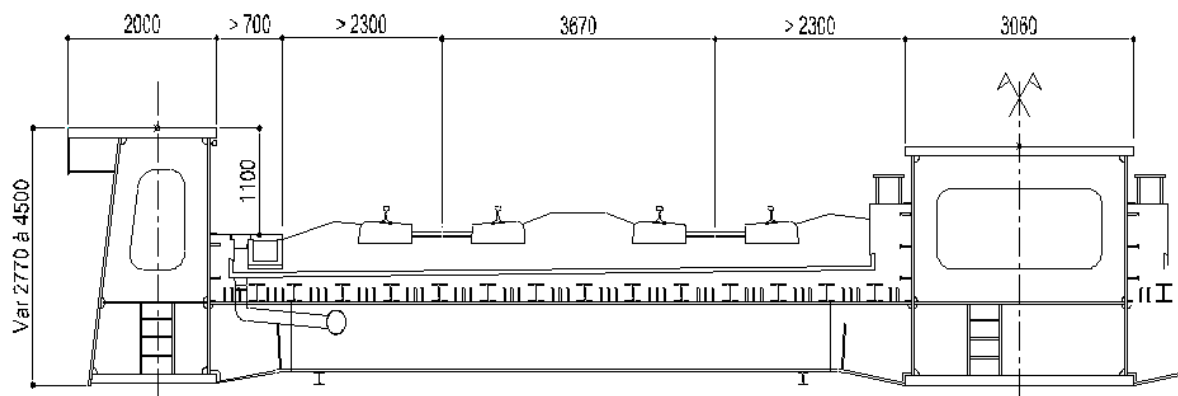
Noter qu'une pénalité de 1 M€ avait été prévue si le tracé des voies avait été modifié par le concepteur !

Le tablier

La structure principale est constituée par 3 poutres caissons de hauteur variable, deux latérales et une centrale. La semelle supérieure des caissons est arasée en surépaisseur du tablier, de façon à utiliser le maximum de hauteur, sans empiéter par-dessous sur le gabarit fluvial, ni sur celui des voies sur berge. La hauteur des caissons varie de 2,57m à 4,3m pour le caisson central, et de 2,77m à 4,5m pour les caissons latéraux. Les caissons sont, bien entendu, visitables pour l'entretien.

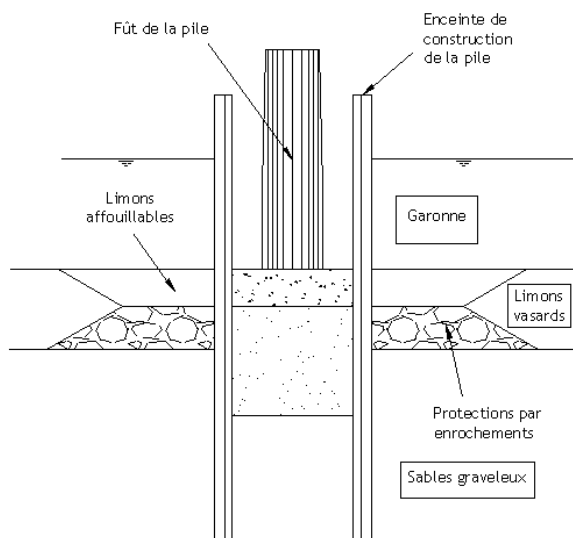
Les pièces métalliques perpendiculaires (poutres de pont) sont disposées tous les 3,5m, et reçoivent les poutrelles enrobées longitudinales.





Les fondations

Elles sont du type semi profondes pour l'ouvrage principal en vue d'une meilleure rigidité, et sur pieux pour le portique de rive, comme indiqué dans un exposé précédent.



- Des piles visuellement identiques
- Des fondations rigides et massives
- Insensibilité aux affouillements

L'étude d'exécution du tablier Alain LOTHAIRE et Yves DUCHÊNE Bureau d'études Greisch

La structure longitudinale du tablier est constituée par 3 caissons de hauteur variable, en continuité sur 6 travées de 77m de portée courante.

Les pièces de pont sont calculées en continuité sur le caisson central et supposées encastrées sur les caissons de rive.

Vérification des poutres longitudinales

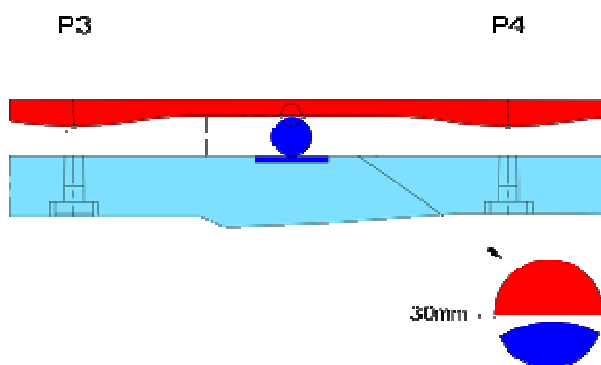
***A l'état limite ultime (ELU)**, il a été procédé à un calcul statique sous combinaisons de charges : charges permanentes, convois UIC71, SWO, SW2, vent, effets thermiques,...

Contrainte Von Mises < limite élastique (S355 et S460)

Le béton n'a pas été pris en compte (car fissuré).

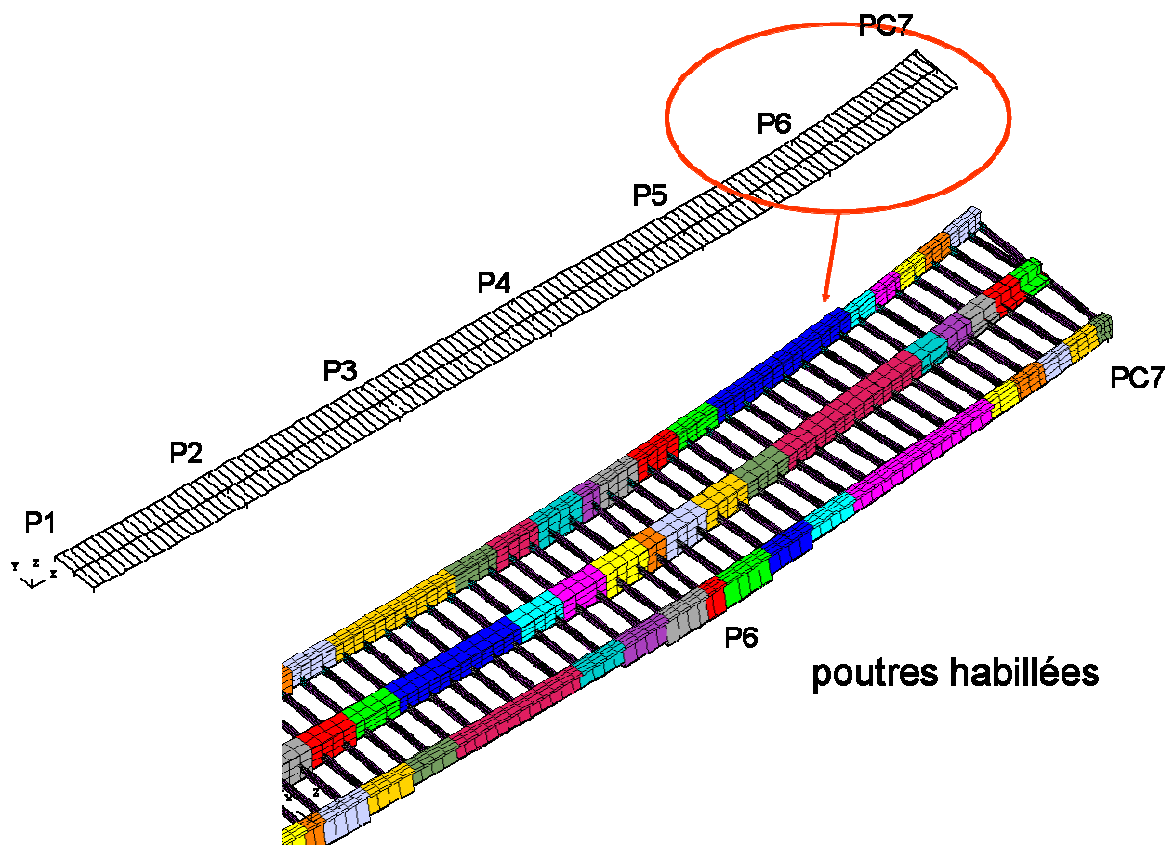
***A l'état limite de service (ELS) :**

- La flèche verticale est limitée au $1/600^{\circ}$ de la portée sous 2 voies chargées.
- Une garde de 30mm est prévue entre l'arase inférieure du tablier et l'arase supérieure du colis de l'Airbus A380 transporté par voie fluviale. Dans la travée concernée par ce passage, la flèche de l'ouvrage est réduite à $L/800$.

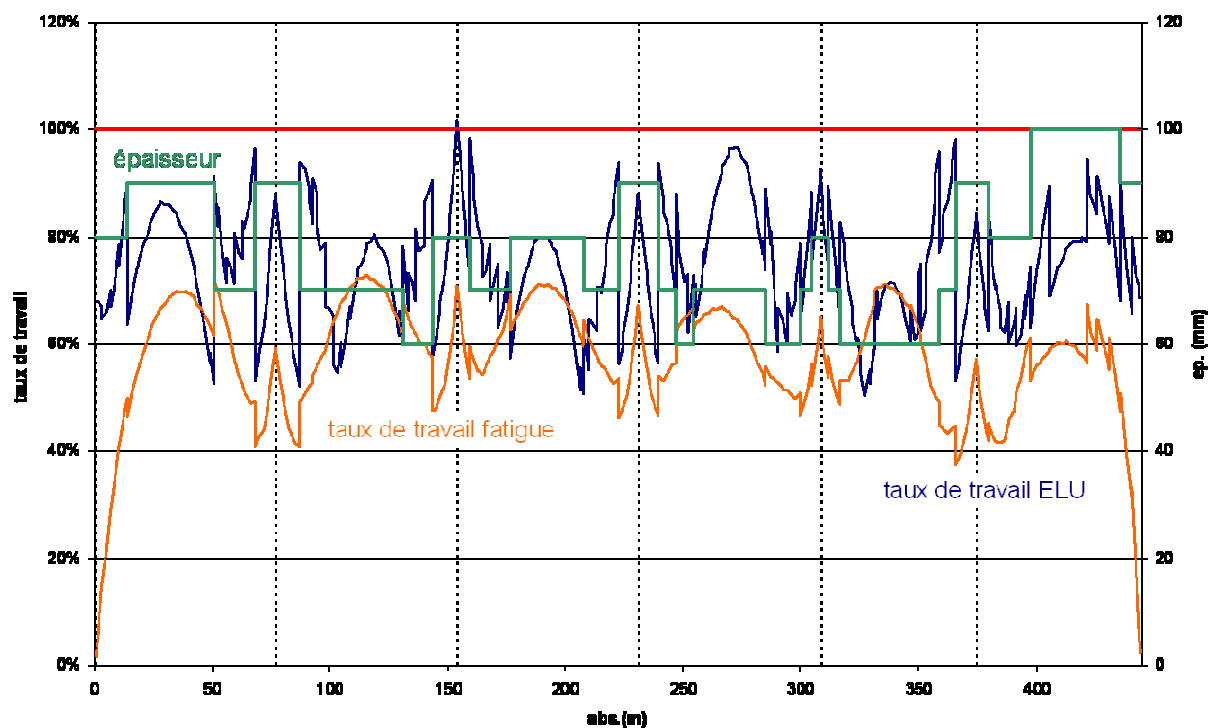


- Les rotations d'extrémité sont vérifiées en vue de limiter la traction dans les rails.
- Le déplacement longitudinal est inférieur à 5mm sous freinage/démarrage des trains.
- Le « gauche » de voie est limité à 1,5 mm sur 3m.

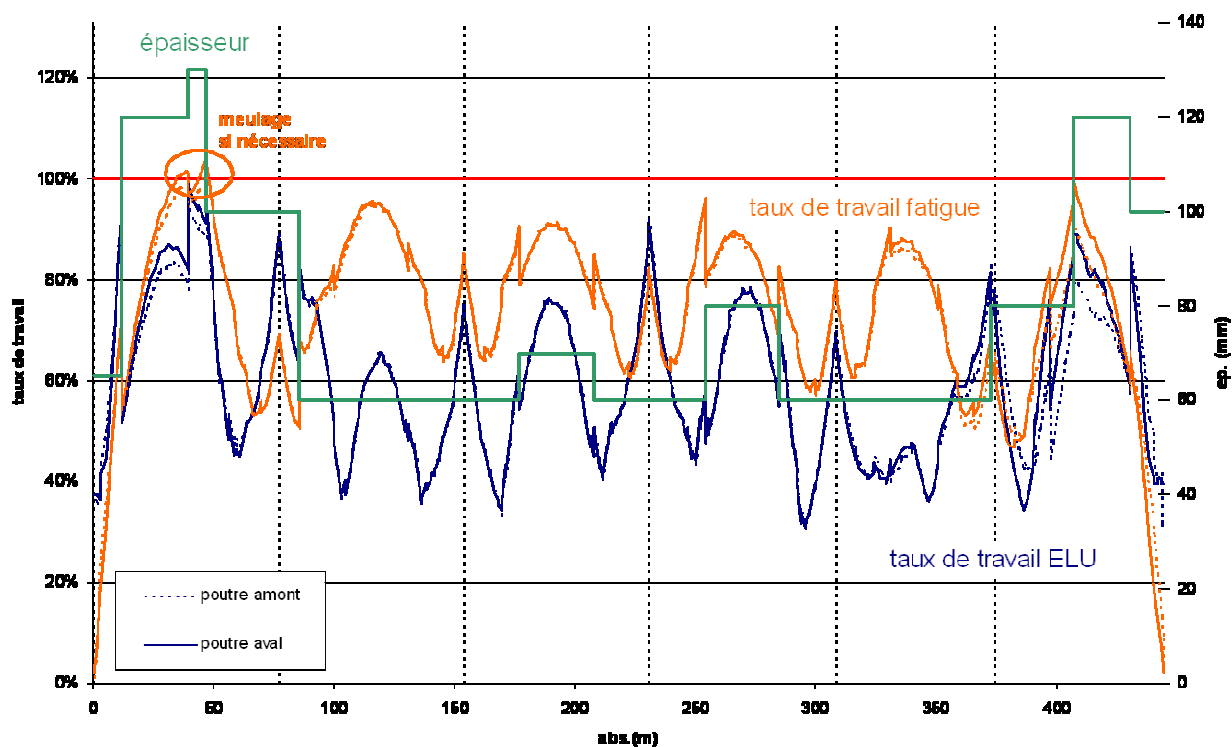
***Des vérifications concernant la fatigue ont été exécutées.**



Modèle de calcul - Grillage de poutres



Poutre centrale



Poutres extérieures

Il a été établi un modèle de calcul fondé sur un grillage de poutres.

Les poussées au vide verticales dans les parties courbes ont conduit à prévoir des raidisseurs pour la poutre centrale

Les entretoises ont été vérifiées à l'ELU et à la fatigue.

Pour les diaphragmes, il a été procédé à un calcul élasto-plastique.

La contre flèche a été prévue pour compenser la charge permanente et un convoi UIC

Les travaux de génie civil

Patrick CHARLON, William CARRIGNON et Matthieu CARRY - Eiffage TP

Les atouts du projet Eiffage :

- les massifs semi profonds, préférés aux pieux, ont conduit à un gain sur les coûts et ont permis de sécuriser le planning.
- La suppression d'un appui en rive gauche a été retenue pour des raisons esthétiques, hydrauliques et d'encombrement, comme indiqué dans un exposé précédent.
- La réalisation d'un tablier unique s'est avéré intéressante pour les délais de livraison de l'ouvrage
- L'utilisation maximale de moyens terrestres (estacade pour exécuter 3 piles sur 5 en Garonne) a permis de sécuriser les délais et de limiter les aléas liés aux importantes contraintes fluviales (marées, crues).

Le phasage général des travaux

Il est nécessaire de réaliser l'ouvrage en deux phases, du fait de la superposition du tracé avec celui de l'ouvrage existant.

Phase 1 :

- Construction des appuis et du tablier jusqu'à la pile P6, des demies piles aval Pc7 et Pc8, ainsi que du tablier aval de P6 à Pc8
- Mise en service des deux voies aval

Phase 2 :

- Démolition du pont existant
- Construction des demies piles amont Pc7 et Pc8
- Réalisation du tablier amont de Pc6 à Pc8 sous circulations ferroviaires
- Mise en service définitive de l'ouvrage

Les travaux préparatoires



- Essai de battage des profilés et palplanches en Garonne.
- Conforter le matériel et la faisabilité des batardeaux



- Études hydrauliques sur modèle physique (Laboratoire CNR de Lyon).
- Dimensionner les enrochements des protections de piles et berges en phase travaux et en phase définitive
- Optimiser le phasage de réalisation des batardeaux

Ils ont consisté à procéder :

- au repérage et à la transplantation des essences à protéger sur les rives
- à une campagne de sol complémentaire pour les piles à terre
- à des essais de battage des profilés et palplanches en Garonne
- à la confortation du matériel en vue de la faisabilité des batardeaux
- à dimensionner les enrochements de protection des piles et berges
- à optimiser le phasage de réalisation des batardeaux

La réalisation des appuis en rivière

Ils ont été construits à l'abri d'un batardeau :

- coulage d'un béton immergé sur 8 à 10m de profondeur, nécessitant le recours à des plongeurs
- exécution d'une semelle en béton armé de 2 à 2,5m de hauteur
- exécution des piles à l'aide de coffrages métalliques.

Les piles P2-P3-P4 ont été réalisées depuis une estacade supportée par des tubes en acier battus Ø 914mm, tandis que les piles P5 et P6 ont été exécutées à l'aide de moyens nautiques (pontons, barges et péniches).



Réalisation de 3 piles depuis une estacade

- Longueur : 230m
- Largeur : 7 m
- Trois épis latéraux 30 x 10 m à côté des batardeaux P2, P3 et P4



Réalisation de 2 piles à l'aide de moyens nautiques

- Mobilisation importante de moyens nautiques :
 - Pontons
 - Barges et péniches
 - Chaland

Les batardeaux sont constitués par un rideau mixte de profilés HZ alternés avec des palplanches AZ26, l'ensemble étant solidarisé par des liernes et butons. Ce cadrage, posé lui-même sur 8 pieux, a servi de guide pour la mise en place du rideau.

Les enrochements ont été mis en œuvre à la benne preneuse.



Mise en œuvre des batardeaux

- Mise en fiche des palplanches interstitielles



Réalisation des fûts de piles et chevêtres



Réalisation des fûts de piles et chevêtres

- Utilisation de mâts de bétonnage pour réaliser P5 et P6
- Pompes sur 200m environ



Réalisation des fûts de piles et chevêtres

Le tablier à poutrelles enrobées

Il est constitué par des poutrelles HEA 200 espacées de 65cm.

IL a été nécessaire de recourir à la préfabrication de paniers d'armatures qui ont été mis en œuvre à l'aide de portiques de manutention et d'une nacelle suspendue sous l'ouvrage.

Le bétonnage a été réalisé, en quinconce, par plots de 42m maximum.

Les manifestations régionales



Préfabrication des paniers

Pas de réalisation en place (impossibilité d'enfiler les barres inférieures)

- Préfabrication de « paniers au sol » selon un schéma le plus répétitif possible.
- Conception d'outils de pose adaptés.

L'étanchéité est constituée comme suit :

- une membrane étanche
- une contre chape lourde de béton bitumineux 0/6
- une peinture contre les UV

Quelques chiffres

- Béton : 21000 m³
- Fers à béton : 1500 tonnes
- Charpente métallique : 7950 tonnes
- Boulons HR : 14500 u
- Batardeaux : 2300 tonnes d'acier
- Terrassements dans les batardeaux : 11000 m³
- Enrochements : 20000 tonnes
- Etanchéité : 8400 m²



La construction en acier Bernard ROUYER (Eiffel)

La structure métallique a été fabriquée dans l'usine Eiffel de Lauterbourg en Alsace. Cette usine est située en bordure du Rhin, ce qui autorise les transports fluviaux et maritimes, via Rotterdam et la mer du Nord.



14 tronçons en cours d'assemblage dans 2 halls



Poutres centrales courantes en cours d'assemblage



Poutre centrale sur appui

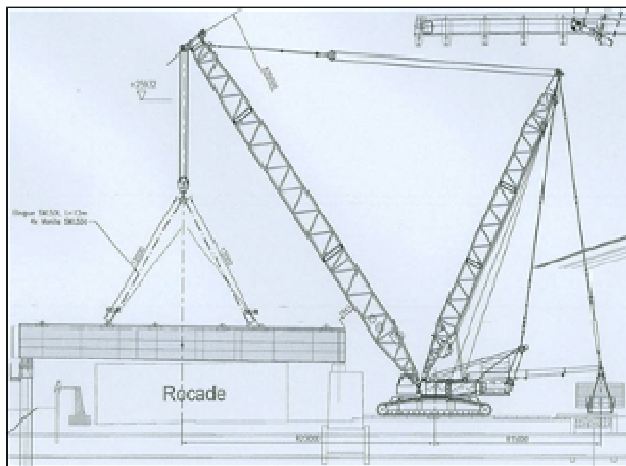
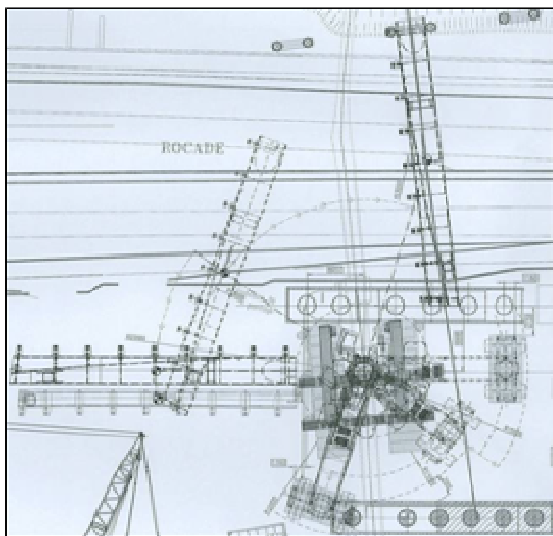


Raidisseurs d'appui d'ép. 100mm après passe mécanique

Les 6 travées de 77m, 77m, 77m, 77m, 66m, et 71m respectivement, ont été découpées en tronçons de fabrication de 10 à 21m de longueur, les poids unitaires variant de 80 à 90t.

Certains tronçons (côté Pc7 et Pc1) ont été acheminés par la route.

Grue superlift 800t



Deuxieme livraison et levage sur site en rive droite



Les manifestations régionales



La bique Gironde de 400t du port autonome de Bordeaux ayant été désarmée fin 2006, il s'est avéré nécessaire de changer de méthode de transport, d'assemblage et de levage.

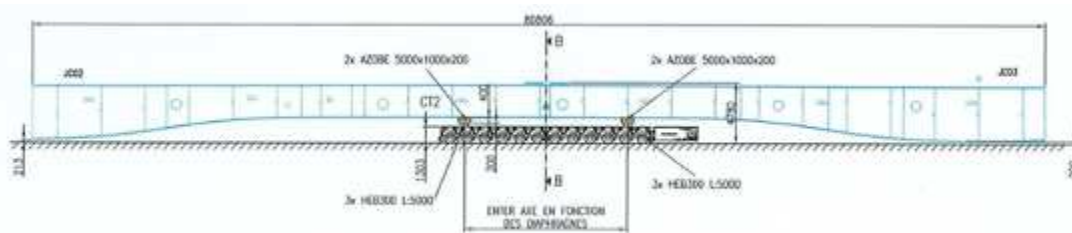


Coté Pc1: Tronçon T1-1

Tronçons transportés par la route et montés à la grue de 400 T en octobre 2006



Assemblages et verinages sur plateforme



Evacuation de la plateforme d'assemblage pour stockage d'attente

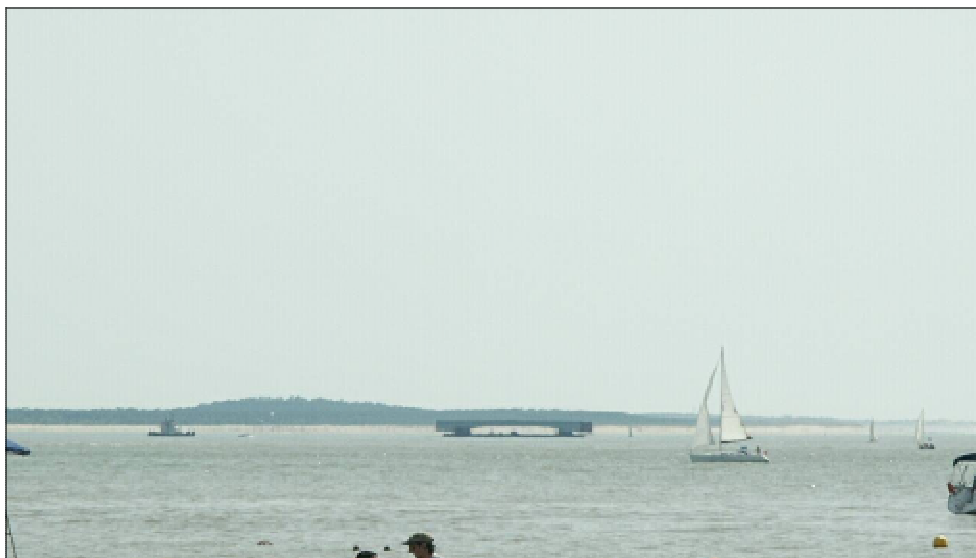
L'assemblage a été réalisé à Lauterbourg en travées complètes de 70m à 80m de longueur.

Le chargement sur barge de ces travées a été rendu délicat par les importantes fluctuations du niveau du Rhin. Les poutres ont dû être fixées provisoirement sur la barge pour le transport fluvial et maritime (« seafastening »).

Barge E3001 ballastable 17m x 67 m x 4 m →



Fixations des poutres sur la barge pour le transport fluvial et maritime



Arrivée dans l'estuaire de la Gironde - Photo prise depuis la plage de Royan



Passage du Pont de Pierre

Travée 2 remorquée par Eerland 26 et poussée par le Petrus

- Passage délicat 40 minutes après la marée basse
- Accompagnement du convoi par 2 pilotes du port
- Temps de passage sous le pont de Pierre: 10 minutes dans une fenêtre de 20 minutes

A Bordeaux, les travées ont été mises en place depuis la barge Louis, grâce à une potence articulée pour 90° en plan et de vérins à câbles d'une capacité de 650t.

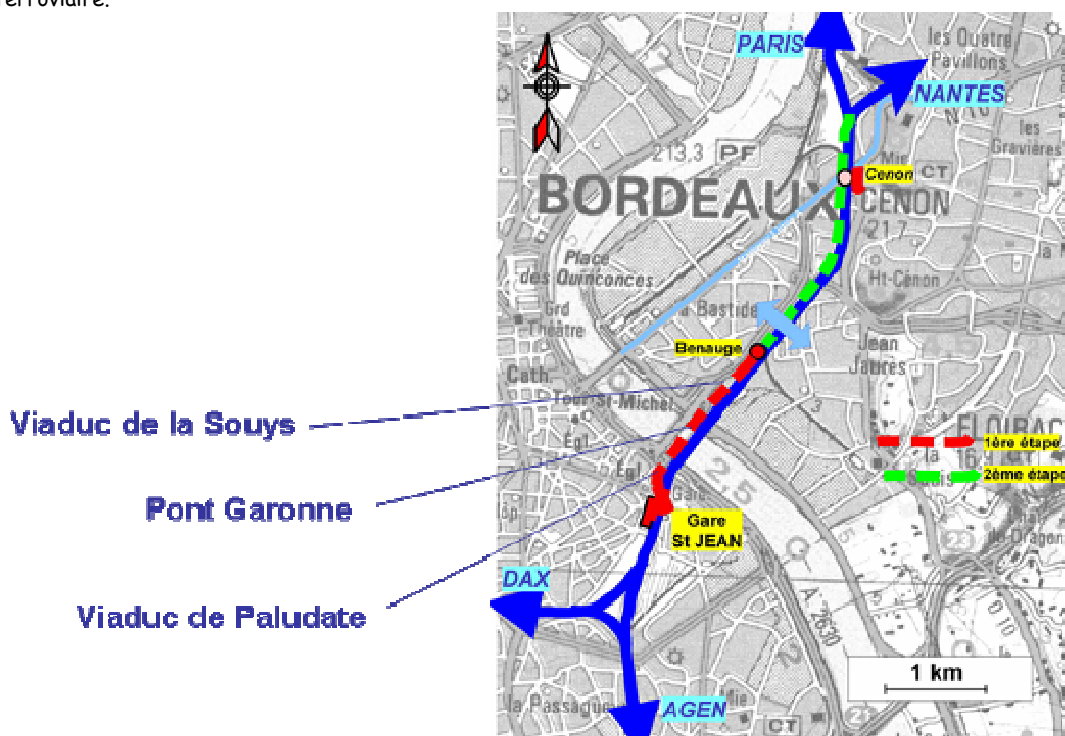
Les viaducs de Souys et de Paludate Patrice SCHMITT (SNCF-IGOA)

Les viaducs de la **Souys** et de **Paludate** constituent les estacades d'accès au pont Garonne.

Ils ont été réalisés sous maîtrise d'ouvrage déléguée à la SNCF.

Chaque viaduc est constitué par 4 tabliers indépendants à travées multiples.

Le choix des structures a été dicté par les contraintes du pasage de réalisation imposé par le maintien de la circulation ferroviaire.



Situation géographique



État actuel



État projeté

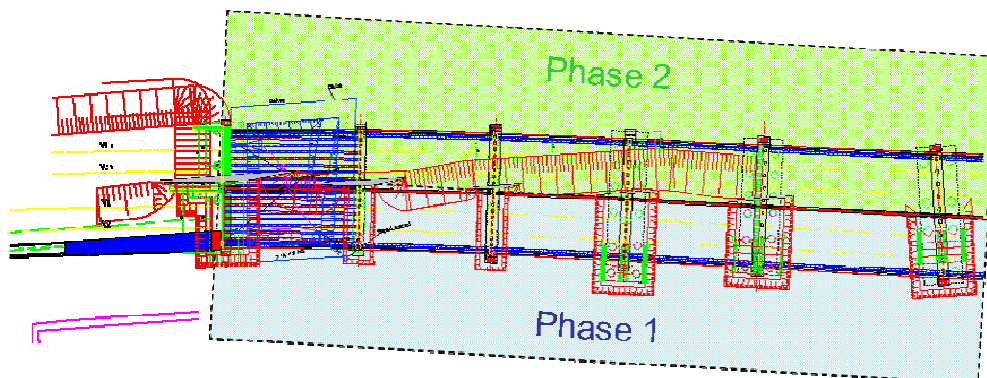
Le viaduc de Souys

Il s'étend sur 200m de longueur.

Il comporte :

- 2 tabliers multi poutres mixtes sur 4 travées de 24m. Chaque tablier est composé de 9 poutres de 1,02m de hauteur. Les tabliers sont accolés mais non solidaires.
- 2 tabliers multi caissons mixtes formant 3 travées (32m, 40m, 32m). chaque tablier comporte 5 caissons

Deux phases de réalisation complexes ont été nécessaires



État actuel



État projeté

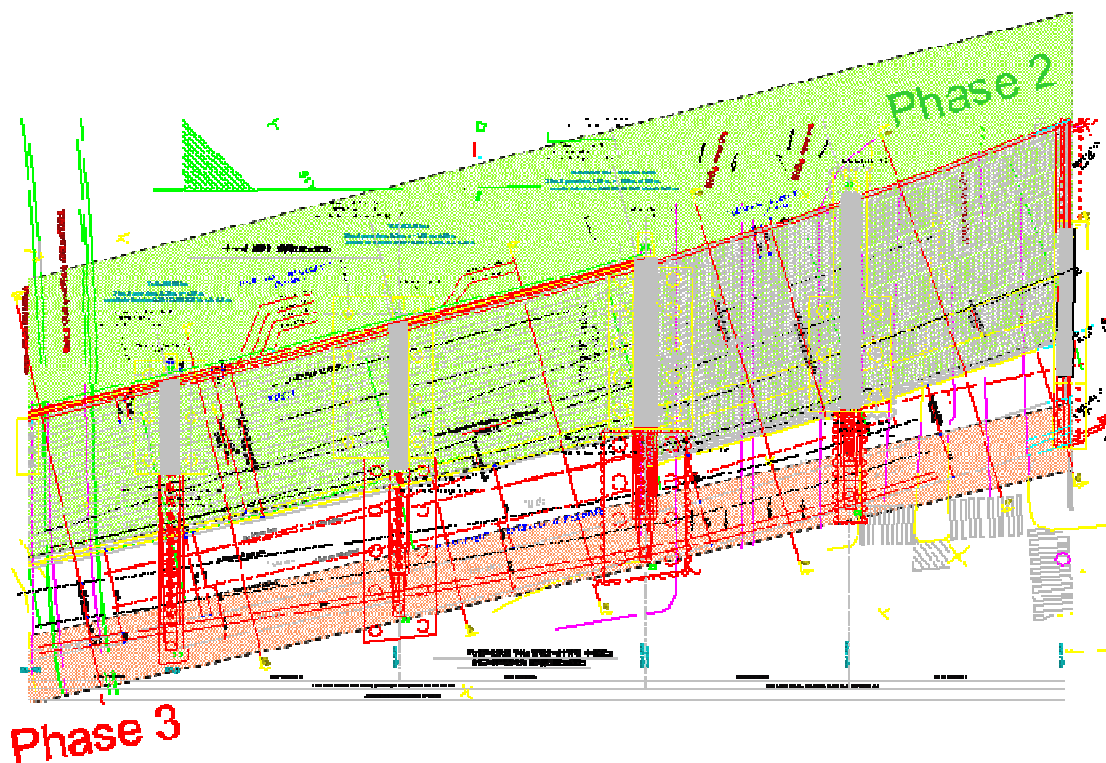
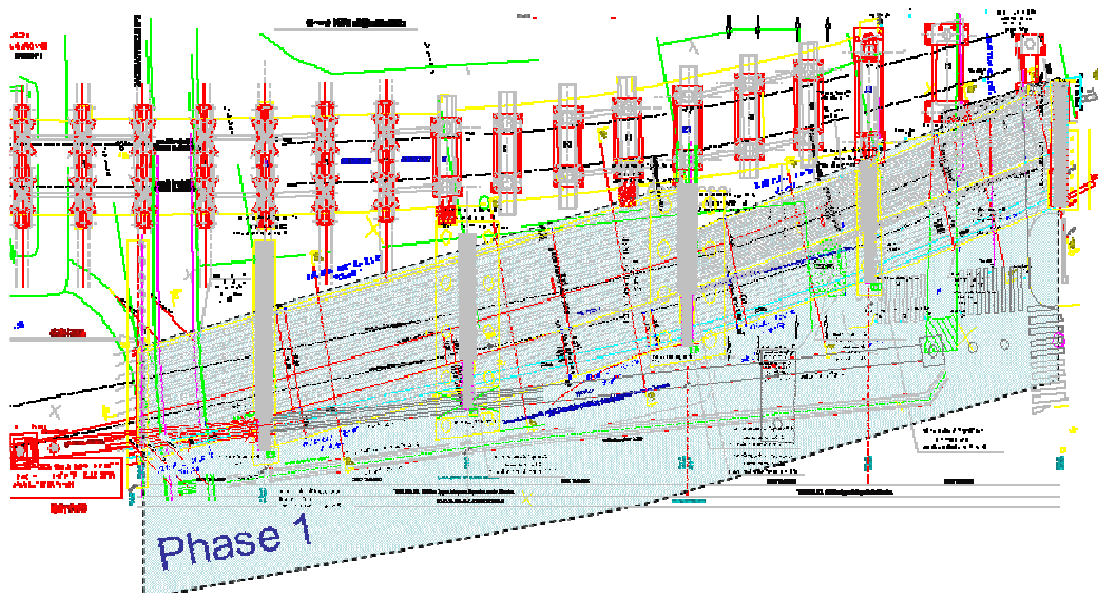
Le viaduc de Paludate

Sa longueur est de 110m.

Il comporte :

- 2 tabliers multi poutres mixtes sur 3 travées de 15m, 24m, et 26m ; Chaque tablier est composé de 9 poutres de hauteur variable. Les tabliers sont accolés et solidaires
- 2 tabliers à poutrelles enrobées à 2 travées de 22m et 24m. Les tabliers sont solidaires.

Trois phases de réalisation complexes ont été indispensables, avec notamment la mise en œuvre de poitrails métalliques provisoires.



Conclusions

Frantz DISSLER (Président d'AFGC Sud-Ouest)

Ainsi, cette journée technique a permis d'illustrer de nouveaux modes de conception, de réalisation et de financement des grands ouvrages. Ceci n'est pas simplement le cas du ferroviaire. Aux côtés de la traditionnelle organisation issue de la loi MOP, de nouveaux partenariats publics-privés se développent rapidement pour les infrastructures.

Compte-rendu réalisé par
Francis LOPEZ et Bertrand TAIMIOT



Travaux préparatoires sur P8p :

- ✦ Blindage de la plateforme
- ✦ Démolition de la tête de culée
- ✦ Création d'un sommier plus profond
- ✦ Réalisation du prolongement