

4 décembre 2009 à Nantes

Le pont Léopold Sédar Senghor sur le Bras de Pirmil

La délégation Grand Ouest, en partenariat avec ConstruirAcier et le Pôle Génie Civil Ecoconstruction, a organisé une journée technique consacrée à la construction du pont Léopold Sédar Senghor sur le bras de Pirmil, à Nantes.

Rappel du programme

- 10h00 Introduction par l'AFGC Grand Ouest
Christian TESSIER
Et ConstruirAcier
Valérie DUSSEQUE
- 10h15 Le contexte général des franchissements sur la Loire
Présentation de l'opération, résultat du concours d'architectes
Christophe RAY - Nantes Métropole
- 10h45 La conception architecturale et les études
Arnaud DELUGEARD - Agence Marc Mimram
- 11h30 Pause café
- 12h00 Les opérations de Génie Civil
Pierre COLIN - QUILLE
- 12h30 Études d'exécution, fabrication et montage de la structure métallique
Emmanuel MAJOLI - INGEROP
Michel THOMANN - Z&M
- 13h15 Déjeuner
- 14h30 Visite du chantier commentée par les intervenants

Déroulement de la journée

Le contexte général des franchissements sur la Loire
Présentation de l'opération, résultat du concours d'architectes

Christophe RAY - Nantes Métropole

Nantes Métropole a décidé la construction d'une nouvelle ligne de ponts sur la Loire : le pont Léopold Sédar Senghor, sur le bras de Pirmil au sud (objet de la présente visite), et le Pont Tabarly, sur le bras de la Madeleine, au Nord (objet d'une prochaine visite).

L'augmentation de la population (en moyenne 1% par an) et l'étalement de l'aire de l'agglomération ont induit une augmentation des trajets.

L'agglomération doit faire face de plus à d'importants mouvements pendulaires (Sud/Nord le matin et Nord/Sud le soir) dus à l'hétérogénéité de la répartition des actifs et des emplois.

De plus certains quartiers (dont l'Ile de Nantes) connaissent un fort développement.

L'ensemble a conduit à une augmentation du nombre de franchissements sur l'ensemble des ponts de plus de 3% par an depuis 10 ans.

De plus, la volonté d'augmenter la part des transports en commun, des 2 roues et des piétons passe inévitablement par un resserrement du maillage.



A partir de l'inscription du besoin en franchissement dans le P.D.U. en 2000, le calendrier de la mise en œuvre des nouveaux franchissements de la Loire est le suivant :

- 1ère concertation sur les objectifs de nouveaux franchissements de Loire à l'Est et à l'Ouest du centre de l'agglomération : décembre 2003
- Etude de faisabilité : janvier - juin 2004
- 2ème concertation sur les scénarios de franchissements : juin et octobre 2004
- Lancement des concours de maîtrise d'œuvre : février 2005
- Choix des concepteurs : octobre 2005
- Enquête publique : novembre - décembre 2006
- Validation du projet : Juin 2007
- Consultation des entreprises : juillet 2007 - avril 2008
- Travaux : 2008 à 2011

Le cahier des charges de conception a intégré les éléments structurants suivants :

- Ouvrage urbain reliant des quartiers : «rue sur la Loire»
- Impact des raccordements sur les riverains : pont le plus fin possible
- Intégration dans le lieu : environnement ligérien et végétalisé sur le bras de Pirmil et plus urbanisé sur le bras de la Madeleine
- Prise en compte de tous les modes de déplacement avec une seule voie automobile dans chaque sens

Parmi les 5 dossiers présentés, les principaux atouts de la solution retenue ont été l'intégration au site et la bonne prise en compte de l'ensemble des usages.



La conception architecturale et les études
Arnaud DELUGEARD - Agence Marc Mimram

L'obtention d'un ouvrage ancré dans la géographie a été visée : porter le tablier par le bas (arcs) et limiter les portées.

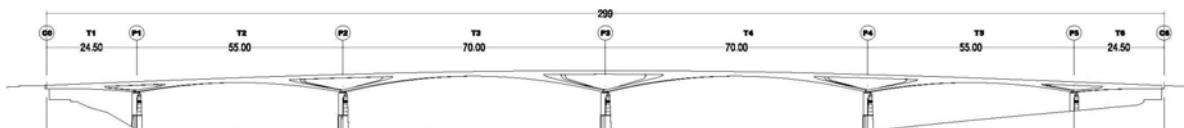


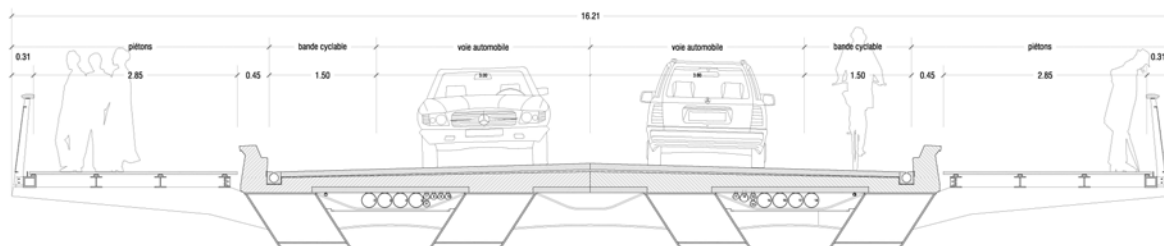
L'inscription urbaine dans le réseau viaire est obtenue par des ronds points.



Une structure légère, ouverte sur l'horizon, a été choisie.

D'une longueur totale de 299m en 6 travées, le tablier mixte acier/béton supporte 2 voies automobiles, 2 bandes cyclables et 2 trottoirs en encorbellement (chêne d'Europe).



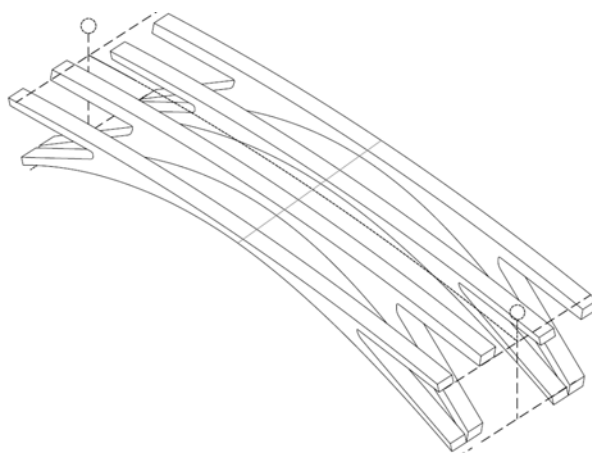
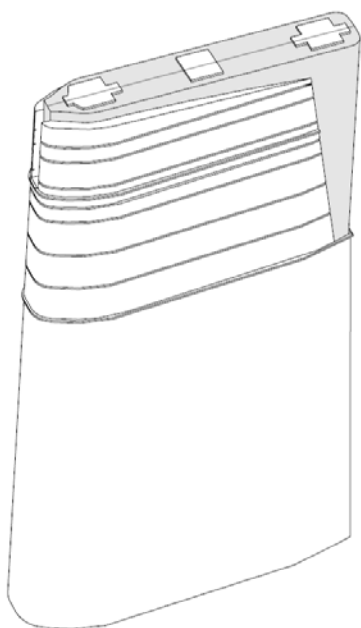


On a cherché à obtenir des travées de rive les plus fines possibles, afin de permettre le cheminement piétonnier sous l'ouvrage en rive.

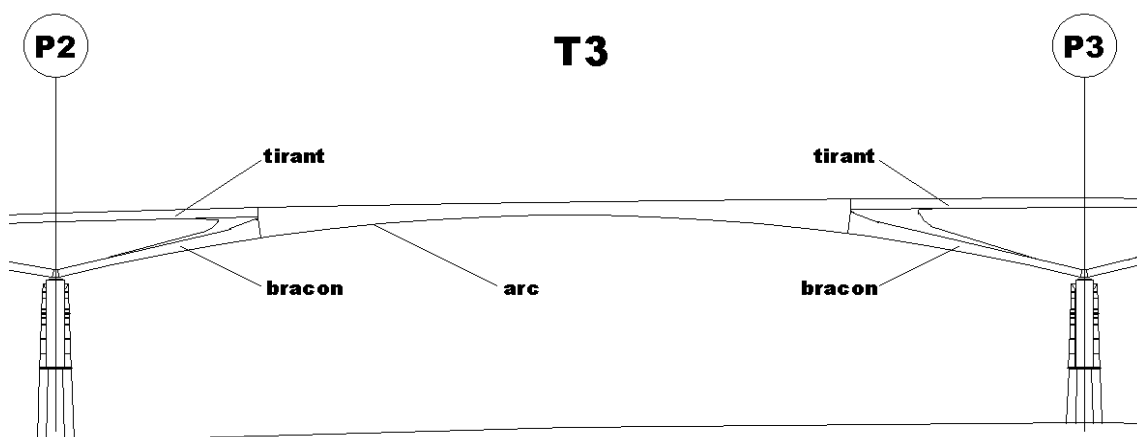
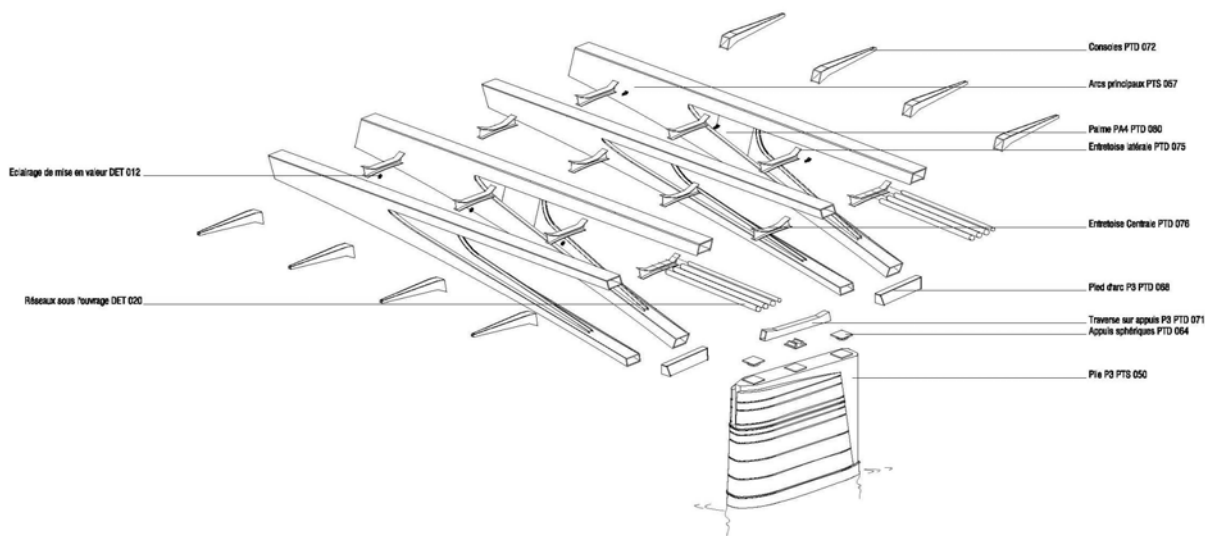


Une partie du parement des piles est bouchardée, les lignes horizontales prévues sur les autres parements correspondent à des niveaux significatifs de la Loire.

La charpente métallique comporte 4 réseaux d'arcs en V, entretoisés et bénéficiant de consoles sous trottoirs. La dalle connectée à la charpente a été coulée sur prédalles.



Détails structure



Les opérations de Génie Civil

Pierre COLIN - QUILLE

L'entreprise Quille intervient en tant que mandataire d'un groupement d'entreprises solidaires constituées de Quille et ZM.

Le marché est à lot unique décomposé en lots techniques :

- Lot 1 : Gros œuvre (fondations, génie civil, dalle béton) - Quille
- Lot 2 : Charpente Métallique - ZM
- Lot 3 : Equipements - Quille
- Lot 4 : VRD / Aménagement paysager - Quille
- Lot 5 : Electricité / Eclairage - Quille

Les intervenants pour les études et méthodes d'exécution sont :

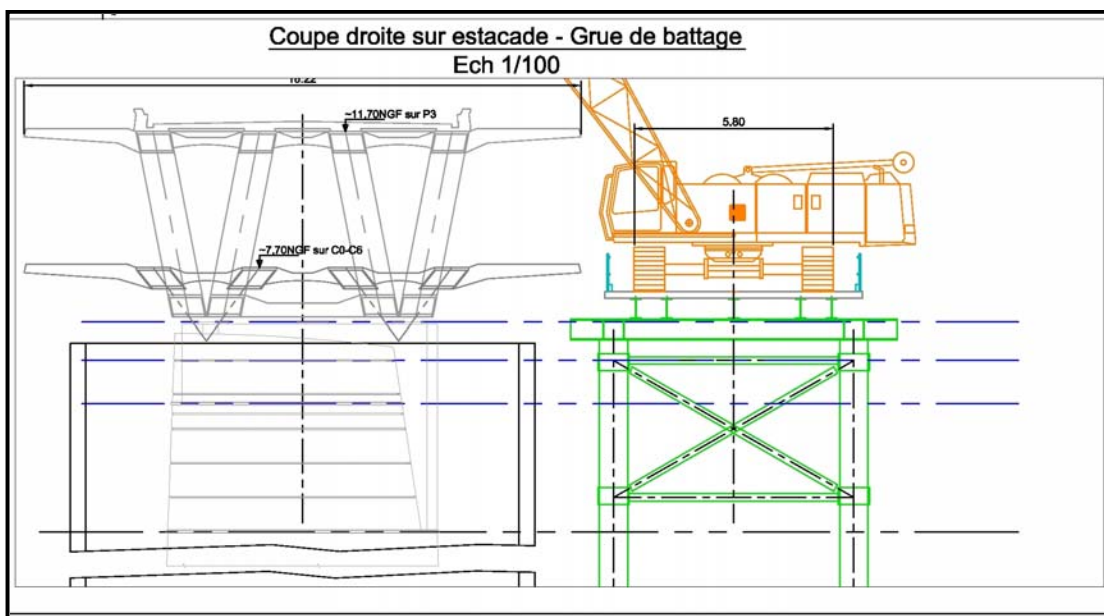
- Etudes des ouvrages définitifs en béton : COGECI
- Etudes de la charpente métallique : INGEROP
- Etudes des ouvrages provisoires et des méthodes d'exécution : Direction Technique QUILLE

Le montant du marché est de 22.48 M€ hors taxe, réparti pour 11.39 M€ pour les lots techniques n°1, 3, 4 et 5 rémunérés au bordereau de prix unitaire (Quille) et 11.09 M€ pour le lot technique n°2 rémunéré au forfait (Zwalhen et Mayr).

La période de préparation a commencé le 28 février 2008, l'OS de démarrage des travaux a été donné le 2 juin 2008 pour une durée de 21 mois. La fin des travaux est prévue pour le 2 mars 2010.

Construction du viaduc « par voie terrestre » :

- Le groupement d'entreprise a opté pour une construction par voie terrestre à l'aide de deux estacades provisoires construites sur le fleuve pour pouvoir acheminer à pied d'œuvre l'ensemble des matériels et matériaux nécessaires à la construction du pont.
- Avantage: Cette solution permet aux entreprises de s'affranchir du marnage et de se protéger des crues. En outre, elle évite l'utilisation difficile de matériels nautiques dans une zone « réputée non navigable ».



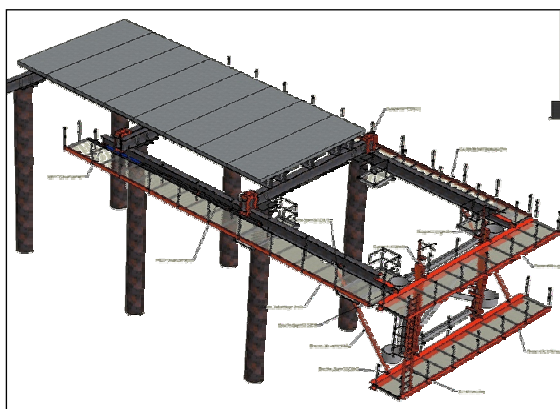
260 m d'estacades provisoires au milieu du fleuve :

- Conçues pour supporter une grue treillis de 130 tonnes pour le démontage de l'estacade et les grues télescopiques de 200 tonnes nécessaires à la pose de la charpente métallique.
- Un chenal d'au minimum 30 m est maintenu pendant la durée des travaux. Un alternat par feux télécommandables est mis en œuvre pendant toute la durée de réduction du chenal.



Le guide de battage des estacades :

- Un guide de battage qui se déplace à l'aide de deux vérins horizontaux et glisse sur des supports fixés aux sablières de l'estacade.
- Atouts : la grue treillis est libre pendant l'avancement du guide. La sécurité est renforcée.
- Cadence de construction: Une travée par jour.



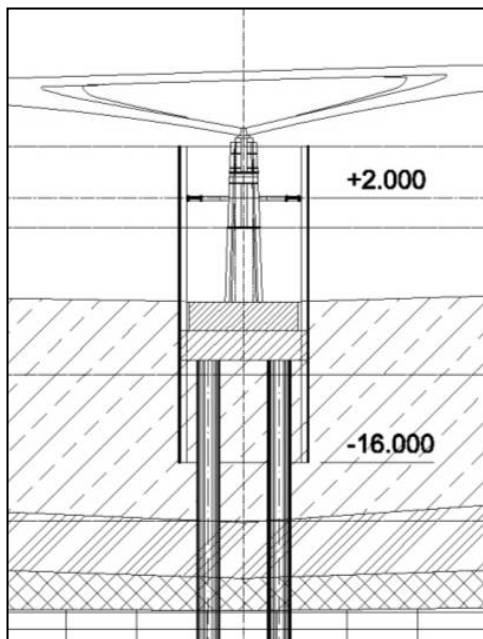
Phasage de construction des estacades :

- Avancée du guide de battage,
- Réglage du guide vertical,
- Vibrofonçage et battage des tubes métalliques jusqu'au toit du rocher au travers des croix de Saint André,
- Pose et soudure du platelage de profilés métalliques sur les tubes,
- Pose des dalles en béton armé.



Les batardeaux de palplanches

- Les batardeaux sont réalisés à l'aide de palplanches AZ 28 et AZ37 de 14,50 et 16,00 m de longueur.
- Elles sont vibrofoncées de 10,00 m dans les alluvions de la Loire.
- Un guide spécifique de 34 tonnes a été utilisé pour assurer leur mise en œuvre avec des tolérances adéquates.



Fondations profondes pour les appuis C0 à P4

- La culée C0 est fondée sur 6 pieux de diamètre 1000 mm en béton forés tubés jusqu'au toit du substratum et ancrés de 1,30 m dans le rocher.
- Les piles P1 à P4 sont fondées sur 4 pieux forés tubés de diamètre 1600 mm ancrés de 3,00 m dans le rocher.

Fondations superficielles pour la pile P5 et la culée C6

- Le substratum côté Saint Sébastien sur Loire étant
- sub-affleurant, les appuis P5 et C6 sont fondés superficiellement.
- La semelle de la pile P5 a été réalisée à l'abri d'un batardeau en terre.

Méthode de réalisation des pieux :

- Vibrofonçage des tubes métalliques jusqu'au toit du rocher.
- Vidange des alluvions au bucket.
- Forage dans le rocher au carottier, trépan et bucket



Phasage de réalisation des piles sur pieux

- Vibrofonçage du batardeau. Le batardeau est maintenu en équilibre hydrostatique par l'intermédiaire de 2 trappes qui assurent un niveau d'eau égal à l'intérieur comme à l'extérieur du batardeau.
- Terrassement sous eau à la pelle caméléon jusqu'au niveau inférieur du bouchon.



- Réalisation des pieux forés tubés (sous eau).
- Découpage des tubes métalliques avec des plongeurs au niveau supérieur de la semelle.
- Coulage du bouchon de béton sous eau.
- Mise en place du niveau de liernes et butons.
- Fermeture des trappes et vidange du batardeau.
- Recépage des pieux.

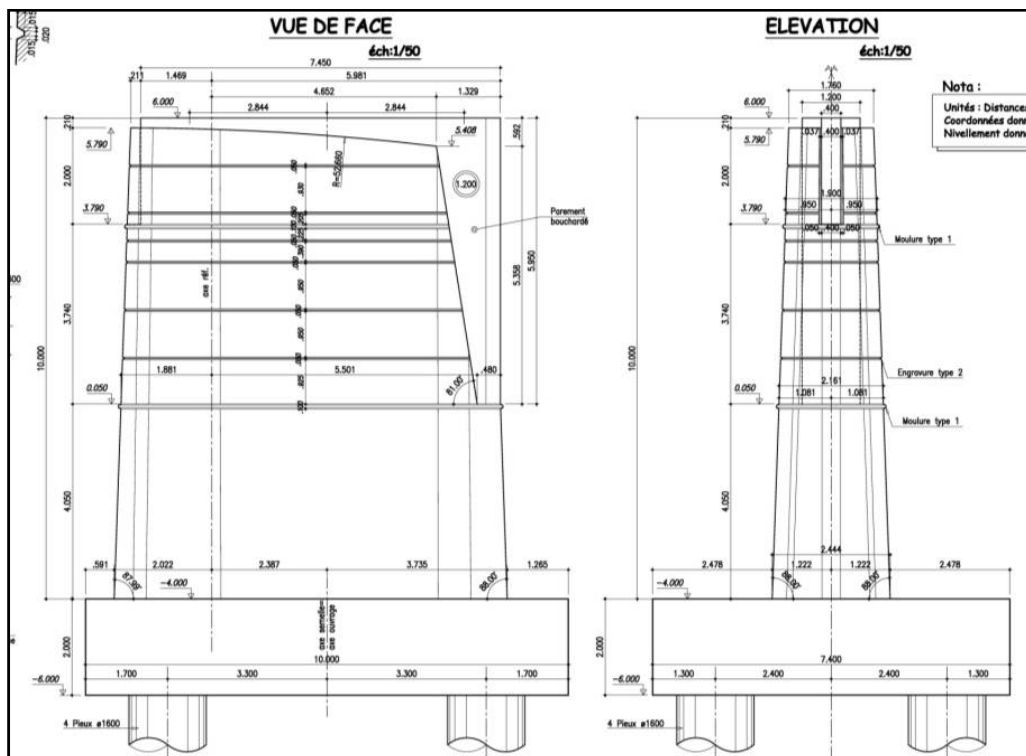
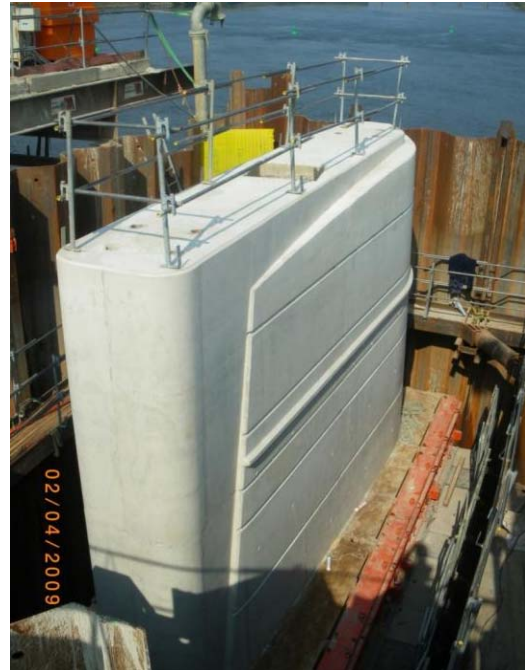


- Coffrage, ferrailage et bétonnage de la semelle en béton armé.
- Mise en place de la cage d'armatures préfabriquée de la pile.
- Coffrage et bétonnage en deux phases.
- Recépage du batardeau au niveau du fond de Loire.

Les choix techniques pour les piles et les culées

- La face avant des culées a été réalisée à l'aide de coques préfabriquées afin de garantir la qualité du parement.

- L'ensemble des appuis a été coulé en béton au ciment de laitier CEM III afin d'obtenir un béton clair et très résistant vis-à-vis des agressions chimiques.
- Les coffrages ont été réalisés en bois recouvert de peinture polyuréthane. Une solution adaptée au nombre de réemploi et assurant un parement fermé de qualité



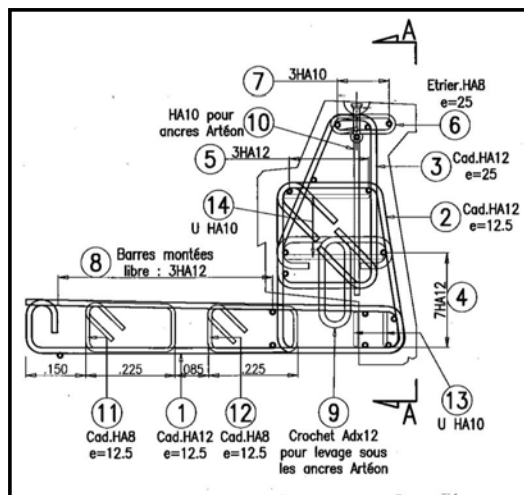
- La charpente métallique est acheminée par transport routier depuis la Suisse et montée à la grue sur 8 palées provisoires disposées dans le fleuve.
- Les 4 caissons de la travée centrale pèsent chacun 40 tonnes et ont nécessité 2 grues de 250 tonnes pour leur installation au milieu du chenal de navigation.
- Les 650 éléments (palmes, tirants, travée centrale et entretoises) sont soudés in situ par une équipe de soudeurs qualifiés



Les manifestations régionales

Le tablier

Le tablier est constitué de prédalles en béton armé de 10 cm d'épaisseur posées à la grue sur les caissons de la charpente métallique et d'un hourdis coulé en place d'une épaisseur d'environ 20 cm.



- Afin d'assurer une cadence de fabrication répondant au besoin du planning, un béton garantissant une résistance mécanique minimale de 15 MPa à 16 heures est utilisé. Les dalles sont en outre décoffrées à l'aide d'un palonnier avec 6 points de levage.
- Les bordures latérales ont également été préfabriquées sur le chantier « à plat » afin d'éviter le bullage sur les faces vues côté trottoir.



Le chantier en chiffre

Les quantités

- Tubes métalliques des estacades, épis et palées : 640 tonnes
- Profilés métalliques des estacades, épis et palées : 600 tonnes
- Palplanches des batardeaux : 550 tonnes
- Béton : 5 300 m³
- Armatures : 590 tonnes
- Pieux forés tubés : 16 de diamètre 1600 mm, soit 360 ml
6 de diamètre 1000 mm, soit 180 ml
- Charpente métallique : 2 500 tonnes
- Les hommes : Près de 150 personnes ont déjà participé à cette aventure, compagnons, sous traitants, techniciens et ingénieurs

Études d'exécution, fabrication et montage de la structure métallique

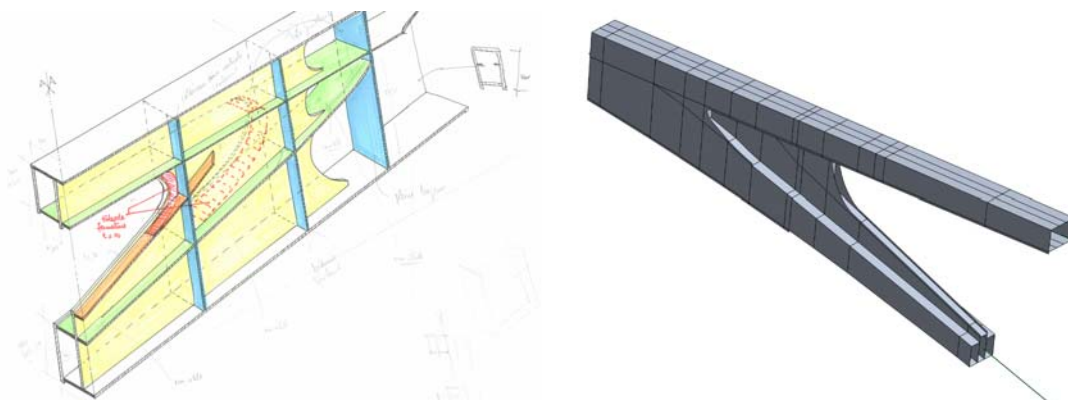
Emmanuel MAJOLI - INGEROP

Michel THOMANN - Z&M

La mission confiée à INGEROP recouvre :

- Les études d'exécution de la charpente métallique :
 - Le calcul complet aux Eurocodes
 - La redéfinition des assemblages
 - Les modèles locaux aux éléments finis en 3D
 - Le calcul dynamique : analyse modale et vibration des consoles au passage de convois
- La définition géométrique de l'ouvrage (dessin complet sur Autocad 3D)

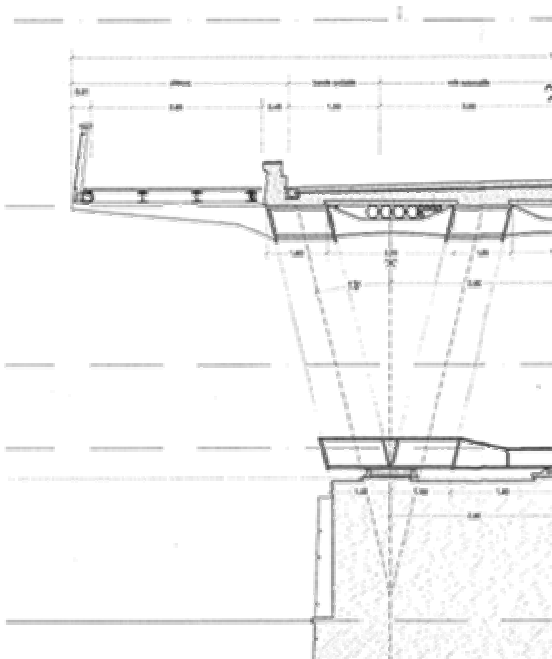
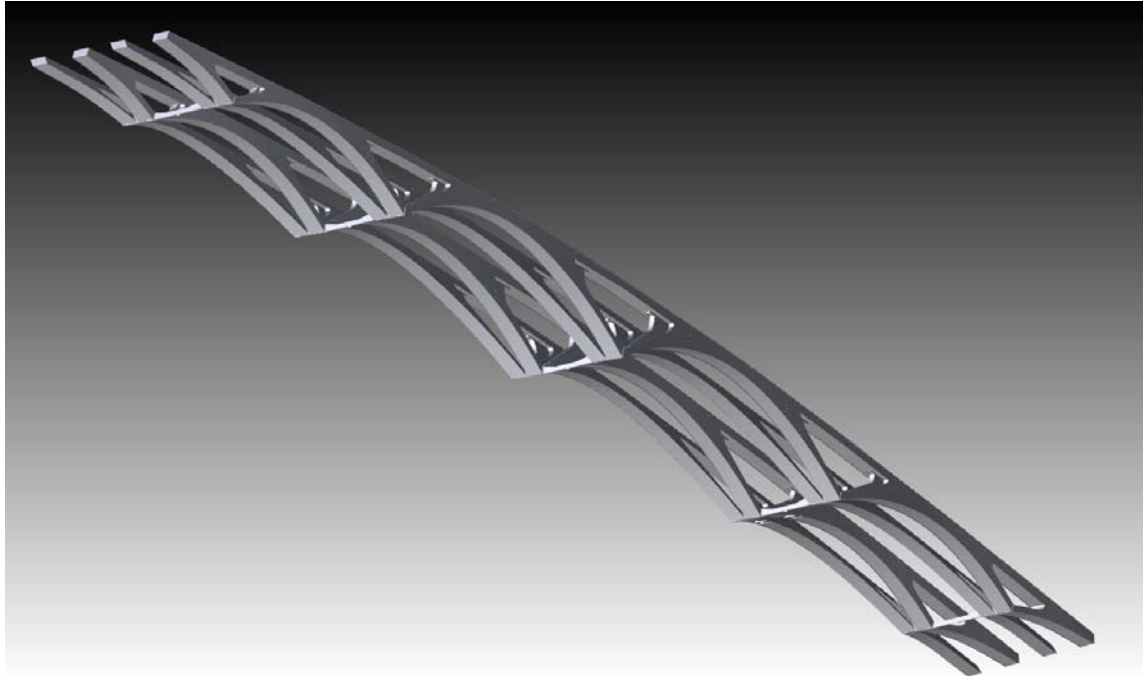
L'un des points particuliers traités a été celui des "palmes" à la liaison du bracon et du tirant de la charpente. Leur étude a débouché sur la mise en place de 4 âmes dans le caisson au droit de ce détail.



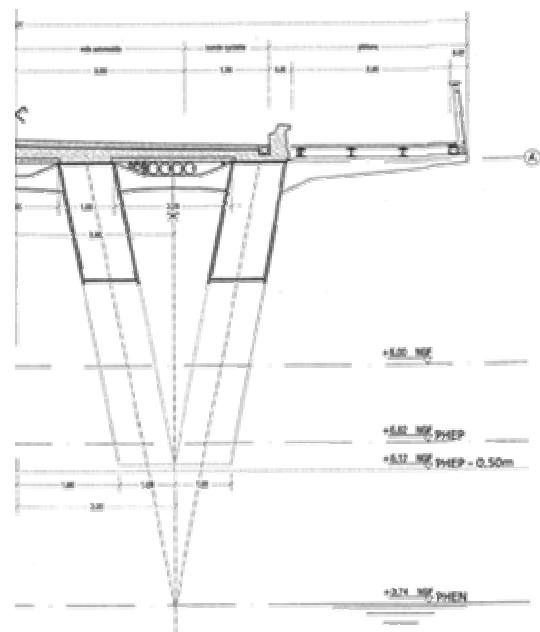
L'étude dynamique s'est particulièrement intéressée au confort des usagers sur les trottoirs en console.

Le modèle Autocad 3D a permis de définir dans l'espace l'ensemble des caissons pour la mise en tôle.

Les semelles supérieures étant rectilignes et les semelles inférieures courbes en plan, les parois latérales présentent des surfaces gauches.



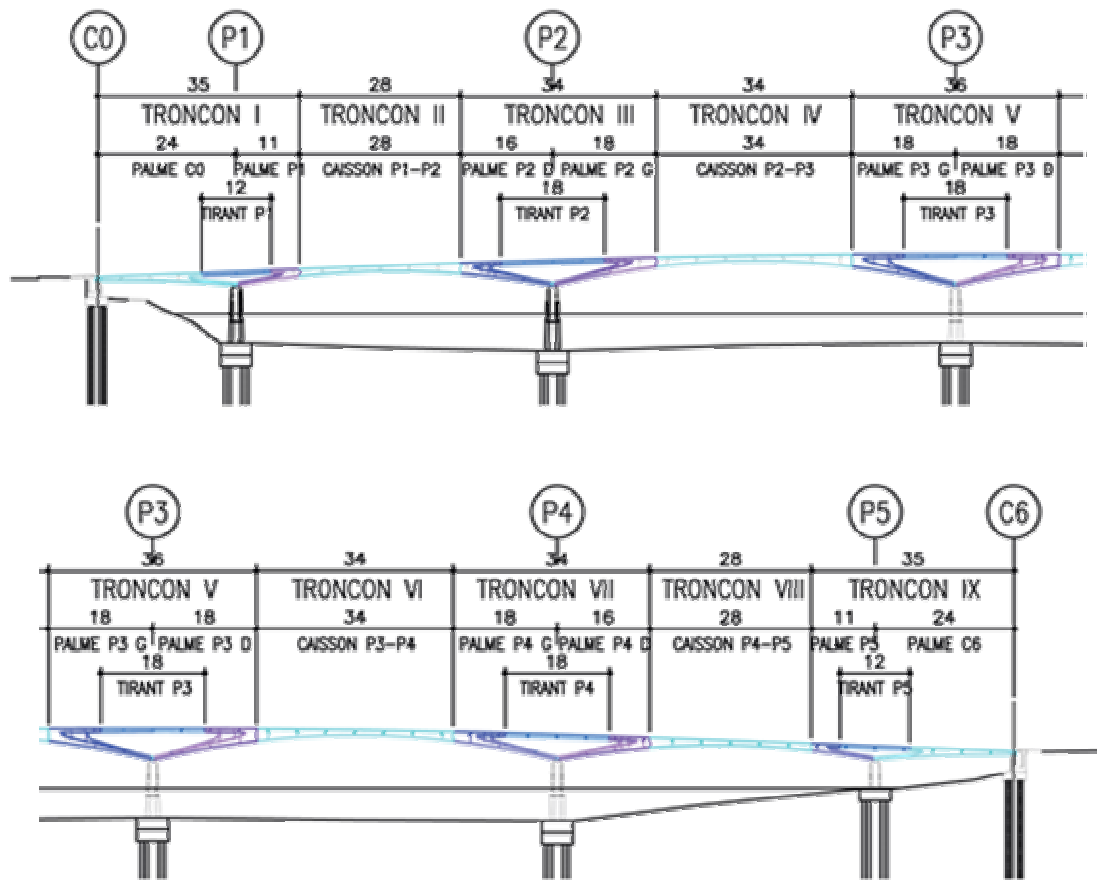
Sur piles



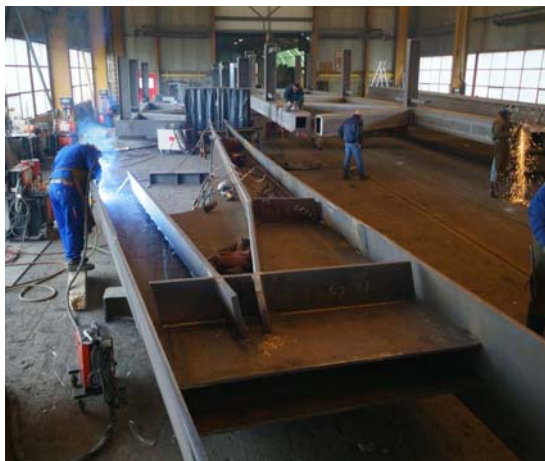
En travée

Coupes transversales

Le découpage atelier a prévu 9 tronçons :

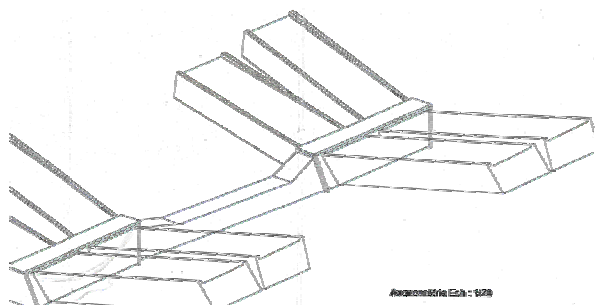


Les zones de jonction avec les palmes ont constitué l'une des difficultés les plus importantes de la réalisation.

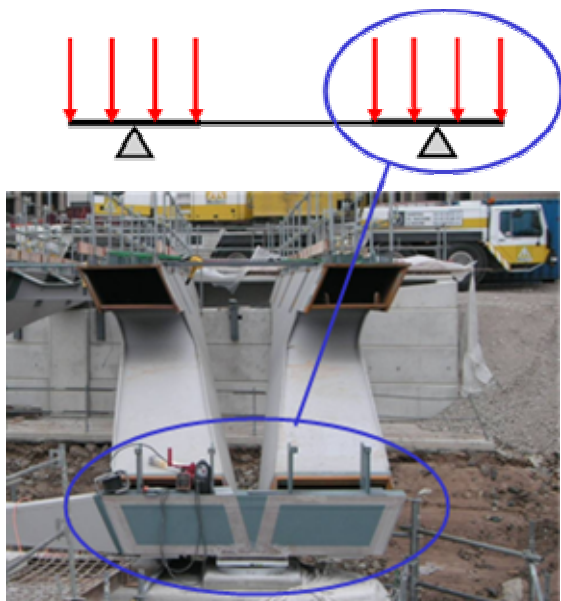


Les surfaces gauches ont été réalisées en appuyant les tôles sur des gabarits.

Les appuis à pot au niveau des culées sont prévus avec anti-soulèvement (-400 kN)
Un point fixe est prévu au droit de P3



Les pieds d'arc



Les pieds d'arcs assurent le transfert des réactions d'appuis à la charpente.



Au droit de la passe navigable, la charpente a été mise en place avec deux grues (250t) en plusieurs manœuvres : prise en charge par deux grues, orientation de l'élément avec une grue et un bord appuyé, mise en place finale à deux grues.





La stabilité en phase provisoire a nécessité des études spécifiques, dues notamment à l'inclinaison des âmes et aux phases d'équilibre sur appui excentré.



9000h de soudage ont été réalisés sur chantier (Innershield).

L'anticorrosion C4ANV, prévue dans un contexte d'embruns marins (eaux saumâtres), a été appliquée, pour le primaire et l'intermédiaire, en atelier, et pour la réfection des joints et la finition, sur chantier :

- Couche de fond : époxy zinc, 50 mu
- Couche intermédiaire : époxy vinyl, 140 mu
- Finition : polyuréthane, 40 mu
- Teinte : Oxyde de fer micacé, proche RAL 9006

Les aciers utilisés pour la charpente sont NF Acier, et répondent aux spécifications suivantes :

- S355 K2 +N $t \leq 30$ mm
- S355 N 30 mm $< t \leq 80$ mm
- Nœuds, croisements de raidisseurs: qualité Z35

La charpente acier représente au total 2450t en 650 pièces, 9 mois de travaux (60000h d'atelier et 20000h de chantier).



Compte rendu préparé par Christian TESSIER (AFGC GO / LCPC) sur la base des présentations faites par :
 Christophe RAY - Nantes Métropole, Arnaud DELUGEARD - Agence Marc Mimram, Pierre COLIN - QUILLE,
 Emmanuel MAJOLI - INGEROP et Michel THOMANN - Z&M