

28 mars 2013 à Pontchâteau
Le viaduc sur le Brivet



Le 28 Mars 2013, à Pontchâteau, la délégation Grand-Ouest de l'AFGC, en partenariat avec Construiracier et le Club Régional Ouvrages d'Art (Région Bretagne et Pays de Loire), a organisé une conférence-visite consacrée au chantier du viaduc sur le Brivet.

Le projet de suppression du passage à niveau n° 378 situé en plein centre-ville de Pontchâteau a été déclaré d'utilité publique le 10 septembre 2004, la DUP ayant été prorogée jusqu'en septembre 2014.

Le projet comprend la création d'un barreau routier Est-Ouest entre les RD 126 et RD 16 d'une longueur de 1200m ainsi que la création d'une pénétrante Nord-Sud débouchant sur la place de la gare.

La vallée du Brivet et les voies ferrées électrifiées de la ligne Savenay-Redon sont enjambées par un viaduc long de 190m (3 travées de 59m, 71m, 59m). Il s'agit d'un bipoutre à inertie variable encastré sur deux piles béquilles en caisson métallique.

Rappel du programme

9h00 : Accueil des participants à la salle de loisirs de Coët Rotz à Pontchâteau
 9h30 : Ouverture de la journée CROA
Vice-président de la Cotita

Ouverture de la journée AFGC-Construiracier
Christian Tessier (IFSTTAR/AFGC Grand Ouest)
Michel Royer-Muller (Construiracier)

9h45 : Réaménagement du centre-ville de Pontchâteau
 Mot introductif
Mr le Maire
 Présentation du projet
FORMA 6

Exposés techniques.

10h05 : Maîtrise d'ouvrage
Serge Jaffrelo, Thomas Dupeyroux (CG 44)
 10h35 : Maîtrise d'œuvre
Stéphanie Buchet (EGIS)
 Architecte
Thomas Lavigne (AOA)
 11h20 : Entreprises
Tony Robert, François Petit (Bouygues TPRF)
Alain Morand (Zwahlen & Mayr)
Emmanuel Majoly (SCE)
 12h35 : Déjeuner sur place
 14h00 : Visite sur site des travaux de construction du viaduc de Pontchâteau

Synthèse des présentations

1 – Aménagement d'Espaces publics et renouvellement urbain de Pontchâteau



Rue du Centre Ville



Promenade le long du Brivet

Les manifestations régionales



Place de la Mairie

2 - Exposés de la maîtrise d'ouvrages (GC 44)

Montage de l'opération

Rôle de la Maîtrise d'Ouvrage

- Transformer le programme « politique » en programme technique détaillé
- Mener les études de faisabilité permettant une estimation fiable des coûts
- Planifier et ordonnancer l'opération pour maîtriser les délais

→ FAIRE APPEL A DES PRESTATAIRES EXTERIEURS

- Etudes de bruit
- Etudes de sol
- Coordonnateur sécurité et protection de la santé
- Assistant maître d'ouvrage (AMO) à caractère technique

Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO)

Accompagnement technique : CETE de l'Ouest

- Assistance au stade des études préliminaires
 - Rédaction du programme technique en collaboration avec le MOA
- Assistance au stade du concours
 - Analyse des 4 esquisses remises à l'issue du concours
 - Rédaction du rapport de la commission technique et présentation devant le jury
- Assistance aux stades AVP, PRO et ACT
 - Avis sur dossiers remis par le Moe

Montage de l'opération

Rédiger le programme technique détaillé en dissociant :

- Les données naturelles (topographie, géologie et géotechnique, hydraulique, climat, sismique)
- Les contraintes du site (urbanisme, voies ferrées, loi sur l'eau, réseaux, riverains, maîtrise foncière)
- Les exigences du maître d'ouvrage relatives à l'ouvrage (fonctionnelles, dimensionnement, géométrie, équipements, réseaux, matériaux, phase construction et surveillance entretien)

- Les recommandations en matière architecturale et d'insertion dans le site

Règlement du concours (restreint européen) :

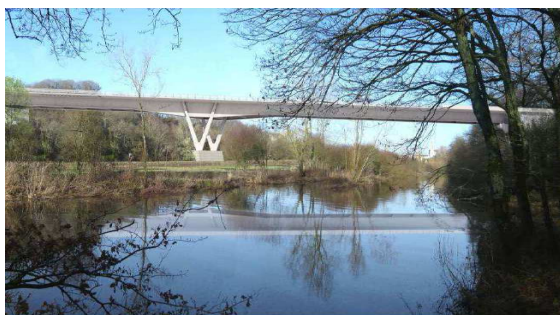
- Enveloppe affectée aux travaux : 5 400 000 € HT
- Nombre de candidats admis : 4
- Nature et niveau des prestations remises : AVP simplifié
- Prime : 21 500 € HT
- Missions confiées : AVP, PRO, ACT, VISA, DET, AOR et missions complémentaires :
 - Présence permanente sur le chantier
 - Schéma directeur de la qualité
 - Contrôle des études d'exécution
- Critères de choix des candidats puis des projets

Présentation des projets

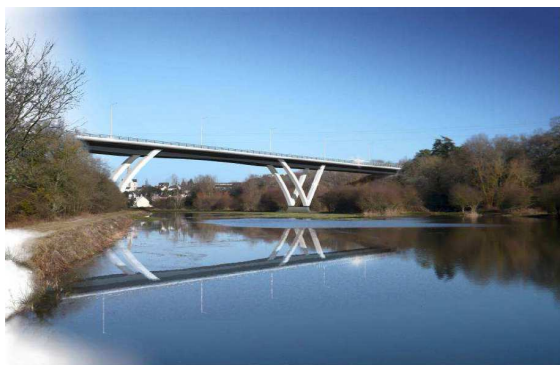
Equipe A



Equipe B



Equipe C



Les manifestations régionales

Equipe D



Etudes de réalisation

POINTS SINGULIERS PHASES AVP ET PRO

- Organiser des réunions de travail intermédiaires avec le MOE
- Prendre en compte la coordination SPS dès AVP
- Coordonner les prestataires extérieurs (AMO, topo, géotechnique, bruit,...)
- Formaliser les modifications de programme
- Veiller au respect des coûts

Suivi de la réalisation

POINTS SINGULIERS PHASE ACT

- Procédure marché travaux et allotissement choisis par MOA
- Le maître d'œuvre présente son rapport à la CAO
- Le RPA se réserve le droit de présenter un rapport complémentaire

REUNIONS MOA-MOE : ORDRE DU JOUR

- Avancement – Planning – Chantier – Ordonnancement général de l'opération
- Relations avec l'environnement du chantier
- Vérifications
- Contrôle extérieur
- Qualité
- Visas
- Choix techniques et architecturaux
- Sécurité
- Gestion contractuelle du marché travaux

Maîtrise d'œuvre (EGIS)

Conception générale :

Christophe Outerryck, Stéphanie Buchet

Contraintes et conception

Topographie

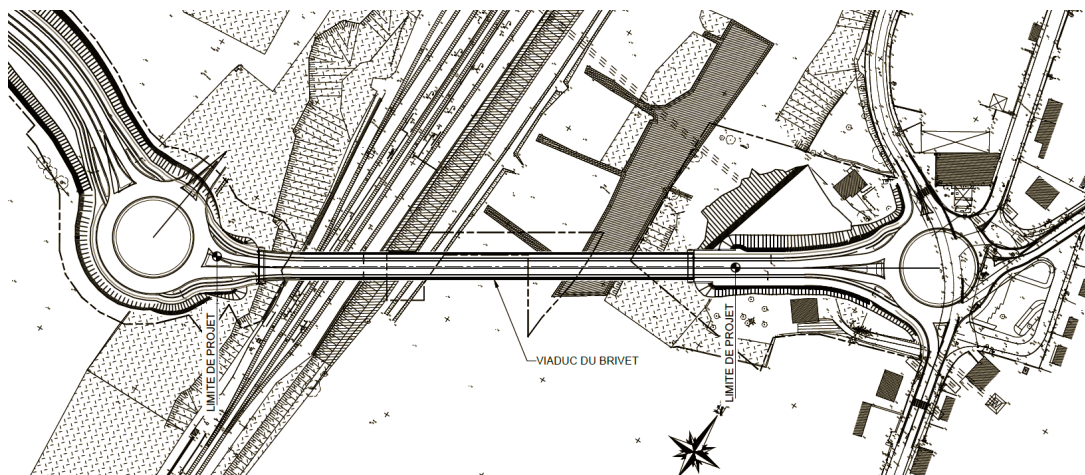
- Franchissement de la vallée du Brivet avec successivement :
 - La voie ferrée Savenay – Landerneau,
 - Une zone marécageuse,
 - le Brivet.

- Vallée encadrée par deux versants relativement pentés

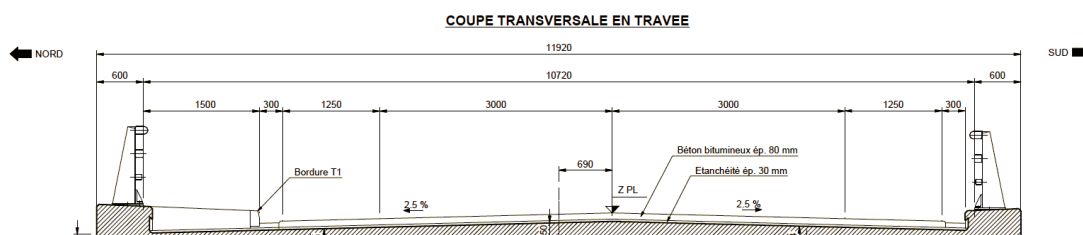


Tracé

- Vue en plan :
 - à l'ouest, un giratoire dont l'emprise déborde largement sur le versant penté,
 - à l'est, un remblai intermédiaire avant le giratoire de connexion

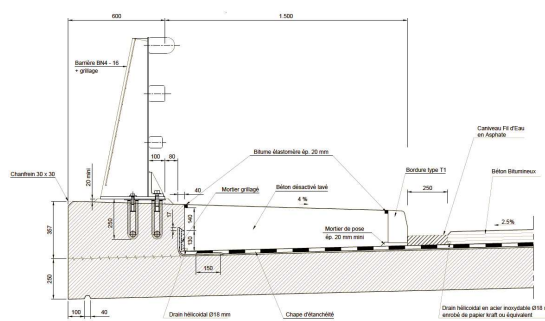


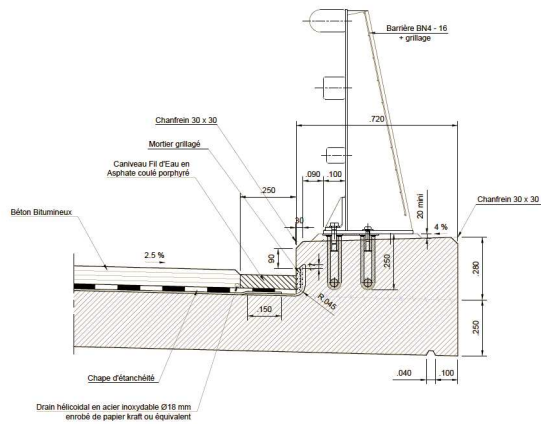
- Profil en long : relativement haut par rapport au fond de vallée avec mise en oeuvre de remblai sur le secteur est et jonction au TN (léger déblai) pour le giratoire Ouest.
- Profil en travers :



Superstructures associées

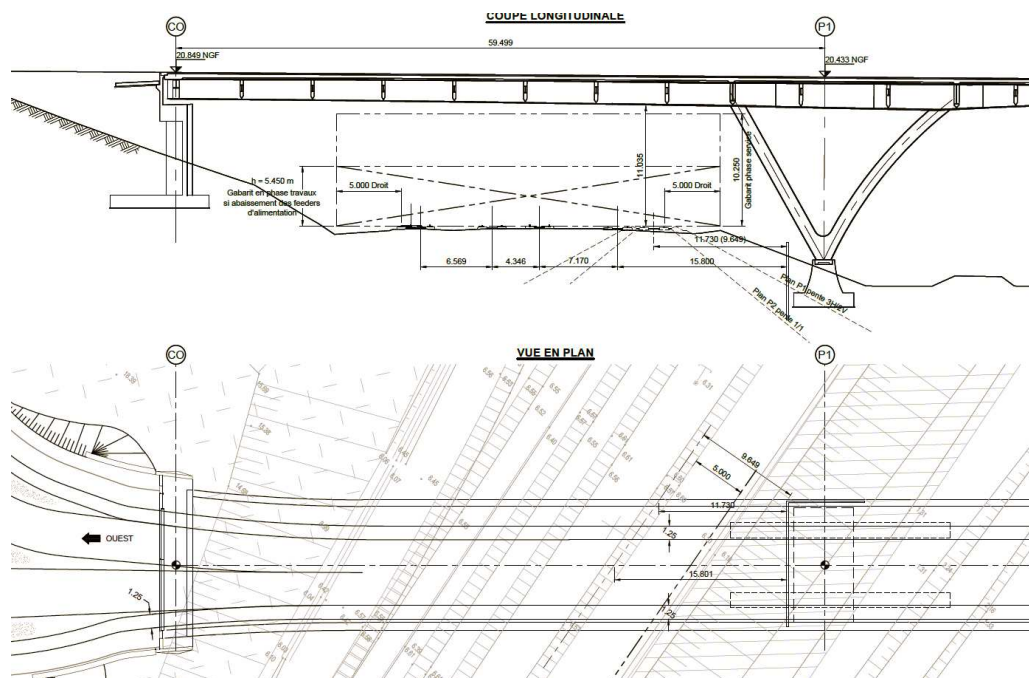
- corniche caniveau côté Nord
- candélabres posés sur la corniche caniveau côté Nord
- longrine et BN4-16 côté Nord
- trottoir côté Nord
- bordure côté Nord qui délimite le trottoir
- couche d'étanchéité
- couche de roulement
- longrine et BN4-16 côté Sud
- corniche caniveau surmonté d'un écran antibruit côté Sud.





Implantation des appuis

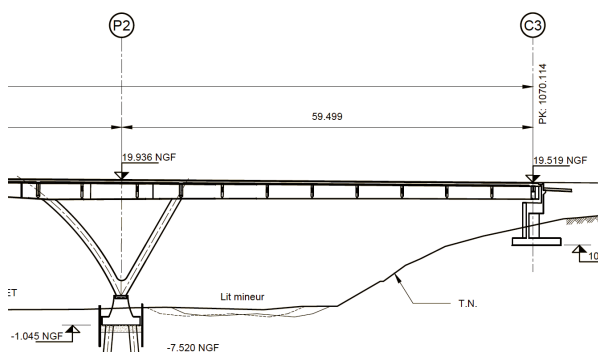
- Travée de rive Ouest :
 - o voie ferrée (gabarit vertical, zone dangereuse, IN0033),
 - o giratoire (limitation de la largeur du tablier)
 - o Versant (limitation hauteur de la culée)
 - ➔ position de la culée C0 et de la pile P1.



- Travée de rive Est :

Le Brivet (pas d'appui définitif ou provisoire (batardeau) dans le lit mineur)

→ position de la pile P2



Géologie – géotechnique

- Terrains caractérisés, sous des remblais et/ou limons de recouvrement, par le substratum de gneiss-schisteux plus ou moins altéré en tête.
- Au niveau de la vallée du BRIVET, le substratum est surmonté par des alluvions argilo-tourbeuses plus ou moins sableuses atteignant 1 à 6m d'épaisseur au droit des sondages réalisés

→ les culées C0 et C3 ainsi que la pile P1 sont fondées sur semelle superficielle du fait du substratum compact quasi-affleurant.

- pile P2 fondée sur pieux du fait de la présence de 6 m d'alluvion compressible.

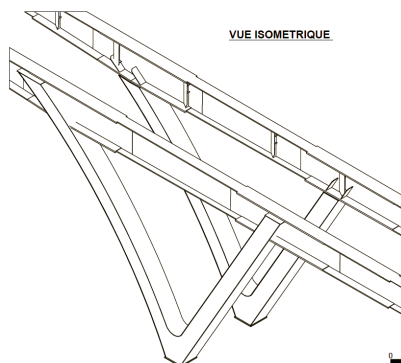
Hypothèses de charges

- Eurocode : le dimensionnement de la phase PRO a été réalisé en 2009 et cet ouvrage est le premier calculé entièrement aux Eurocodes : UDL, TS, convoi C2 (120t)

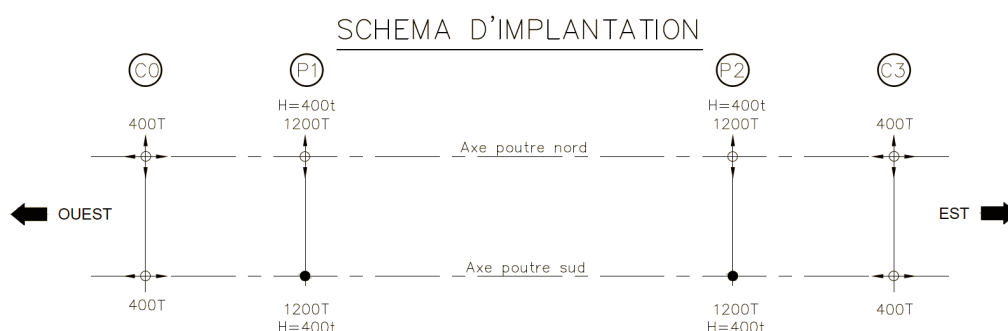
- Séisme : selon la carte de 2005, zone modérée avec accélération maximale au rocher de $1,1 \text{ m/s}^2$ et ouvrage classé en catégorie d'importance II.

Points particuliers lors de la conception :

- Largeur variable du tablier avec un axe du tracé non constant $\Rightarrow$ géométrie particulière pour la dalle du hourdis supérieur avec le toit qui se décale.
- Pente de l'ouvrage à 0,7% $\rightarrow$ toute la conception de l'ossature métallique est réalisée à l'horizontale puis inclinée suivant la pente $\rightarrow$ reprise de la pente au niveau des platines d'appui en pied de béquille et sur culée.
- Encastrement bipoutre / béquille : géométrie complexe et dimensionnement principalement réalisé par la justification à la fatigue.



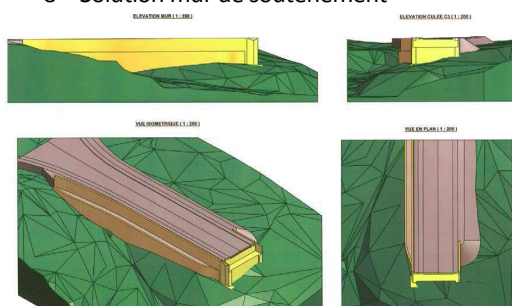
- Modélisation géométrique complète de l'ouvrage sous Inventor.
- Schéma des appareils d'appui



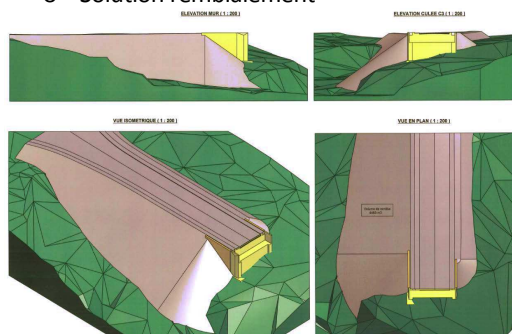
- $\rightarrow$ blocage longitudinal en pied de béquille afin de réduire l'amplitude des contraintes dans l'ossature.
- $\rightarrow$ mais problématique du vérinage en cours de vie de l'ouvrage.

- interface remblai d'accès, dépression du terrain, mur de soutènement : modélisation du terrain et proposition de solution

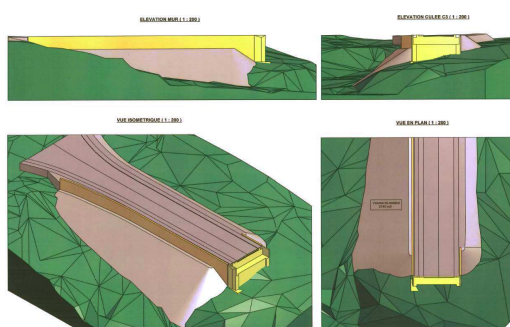
o Solution mur de soutènement



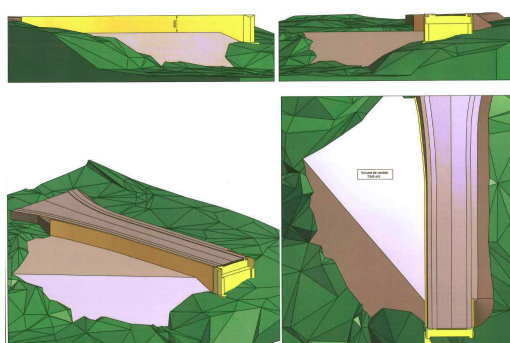
o Solution remblaiement



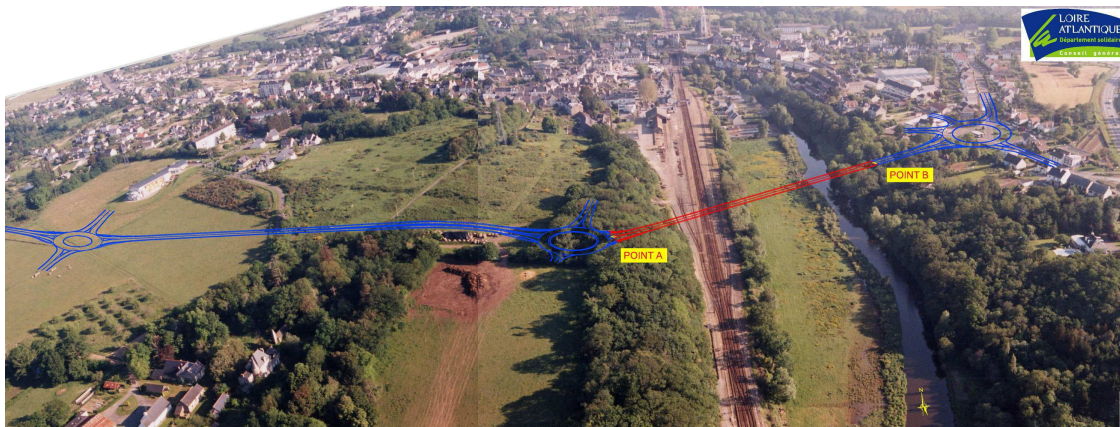
o Solution mixte remblaiement talutée + mur



o Solution mixte remblaiement dépression + mur



Architecte : Thomas Lavigne



Le viaduc sur le Brivet à Pontchâteau – Le tracé du projet

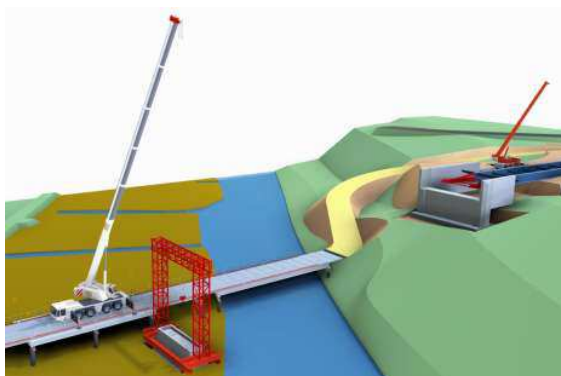
Entreprises

Bouygues TPRF, Zwahlen et Mayr, SCE

Phasage général de construction



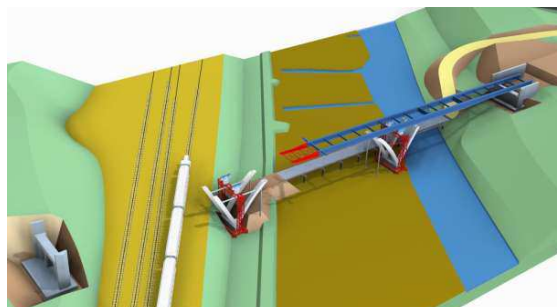
Terrassements et réalisation de l'estacade provisoire de 90m. (Sept-oct 2012)



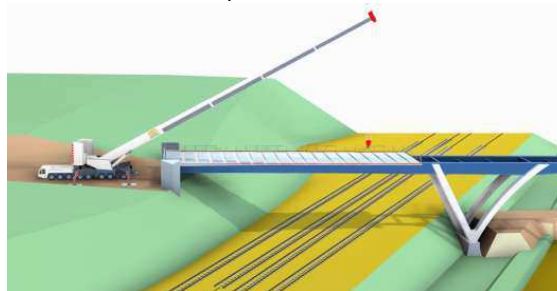
Réalisation des appuis béton (Sept.nov 2012)
Pose des palées provisoires
Assemblage de la charpente (Déc. 2012)



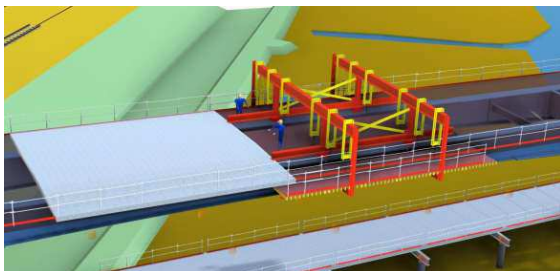
Pose des bécquilles métalliques (Déc. 2012)



Lancement de la charpente



Pose des dalles préfabriquées au dessus des voies SNCF (longueur : 50m)



Bétonnage du reste du tablier en place par équipement mobile (longueur : 50m en 14 plots)

Bouygues TP RF - Zooms techniques



1. Estacade provisoire – principe de dimensionnement

Etude de l'estacade

- Cahier des charges CCTP
- Pas de pieux dans l'emprise du Brivet => Travée de 26,50m.
- Intrados de l'estacade 1,00m au dessus des PHEC.
- Libération de tout le lit du Brivet => Estacade de 90,0m.
- Cahier des charges Entreprise
- Passage de grues automotrices télescopiques type 250t.
- Travail avec grue chenille treillis type 80t et automotrice type 120t.
- Définition d'outils de battage incluant les accès sans descendre dans le lit du Brivet (possibilité de crue).



Etude du portique estacade:

- Portique considéré articulé en pieds et encastré en tête sur la sablière transversale.
- Création d'échancrures et tête de pieux, dans lesquelles sont insérées les sablières.
- Ajout de plats de renfort en tête de pieux, au contact sablière/pieu.

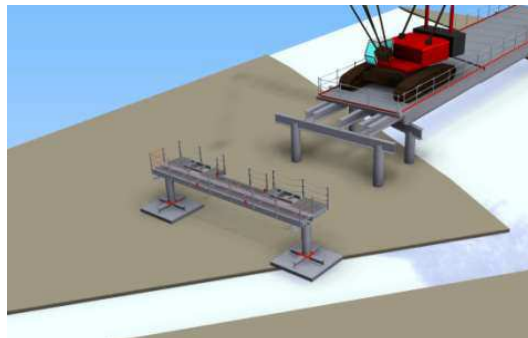
Etude de la travée de 27m sur le Brivet:

- Cintres de la travée constitué de deux files de 3 HEB1000 de 27,00m.

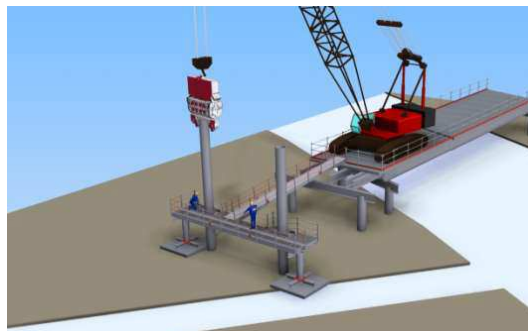
Les manifestations régionales

- Cintres disponibles en longueurs de 17,00m et de 10,00m => Option de raboutage par éclisse boulonnée.
- Utilisation de 4 tiges f52 Classe 10.9 serrées au couple.

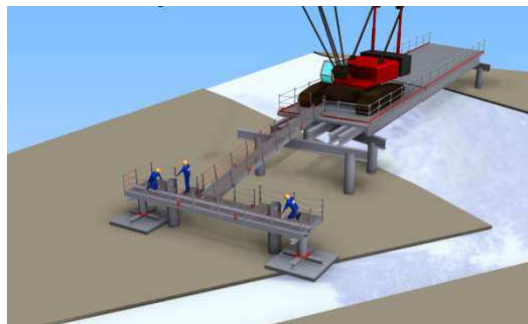
Phasage de l'estacade



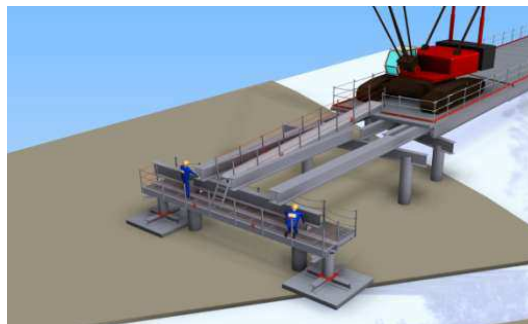
Mise en place du guide de battage.



Vibronfonçage des pieux, surbattage.



Réalisation des échancrures en tête de pieux



Soudures sablière/pieux et mise en place des cintres avant pose des dalles préfabriquées

2. Les embases de palées provisoires, une application de la 3D en bureau méthodes

Etude des appuis des palées de lancement:

- Descentes de charges communiquées par ZM.
 - 550t ELU par montant de palée à reprendre.
 - Utilisation de profilés en location, en appui sur les semelles béton de l'ouvrage.
- => Coefficient minorateur sur résistance des fers
=> Renforts d'armatures dans les semelles.
- Brelage des efforts horizontaux directement des fers supports vers la pile B.A.
 - Création d'une deuxième ligne d'appui sur pieux pour trianguler la palée, avec effort de soulèvement
- => Mise en place de lest.



Les manifestations régionales

3. Des coffrages spécifiques

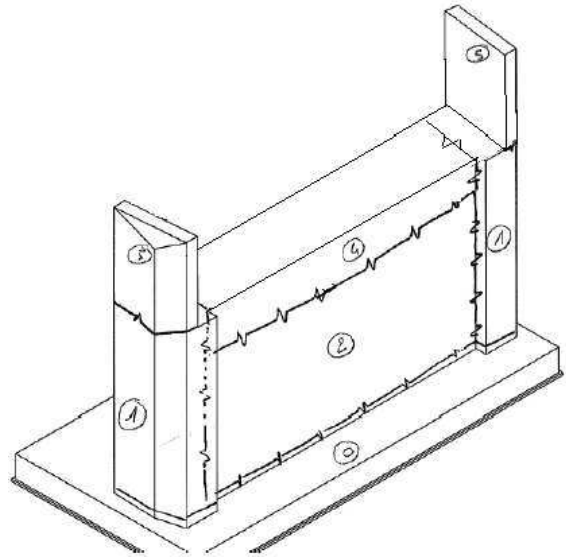
1. Piles – parements planche



2. Culée – suppression des tiges traversantes

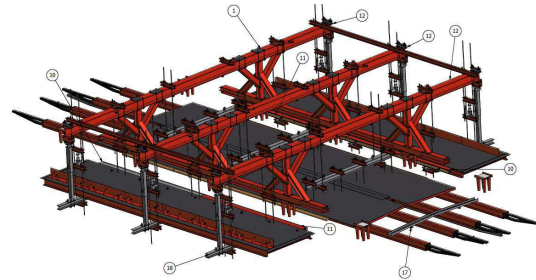
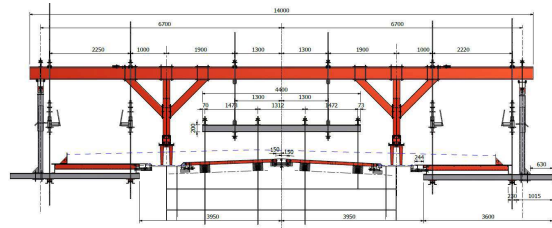
Phasage de réalisation

- 0 – semelle
 - 1 – poteaux
 - 2 – voile
 - 3 – remblai sous chevêtre
 - 4 – Chevêtre
 - 5 – pose des oreilles
- Préfabriquées

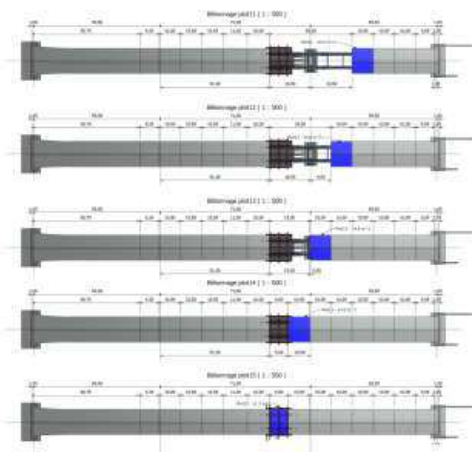
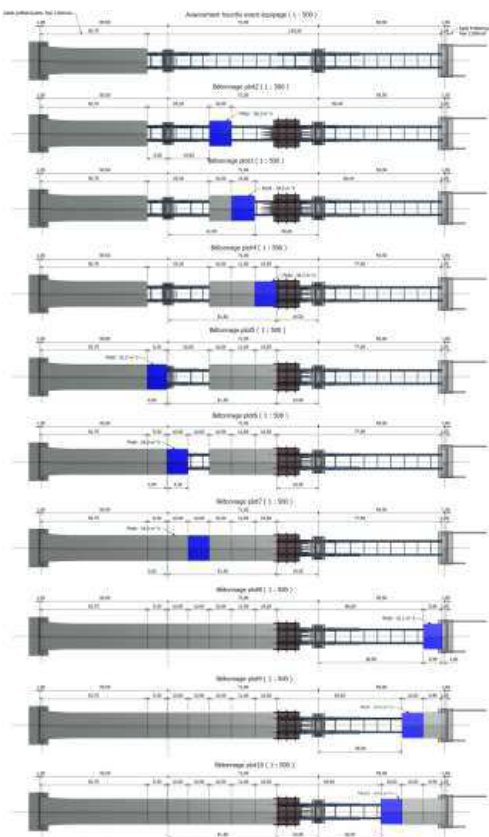




3. Tablier - Equipage mobile



Réalisation de la partie coulée en place par équipage mobile en 14 plots.



Etudes d'exécution de la charpente métallique - SCE

Modèle de calcul

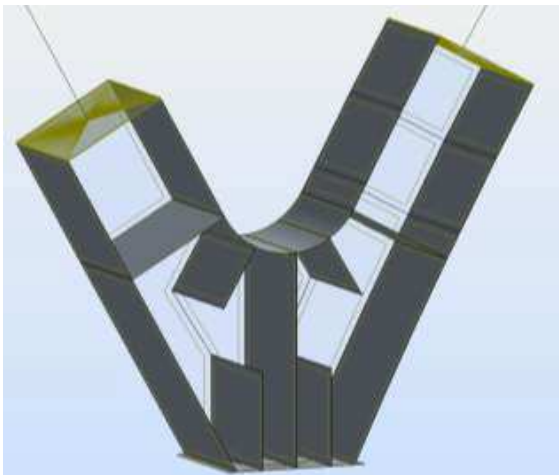
- Logiciel ST1 (SETRA)
- Structure à barres
- Discrétisation des poutres tous les 50 cm
- Environ 1470 noeuds, 5400 barres, 3980 excentrement rigides

Spécificités des structures mixtes

- Nécessité d'homogénéiser la section => coefficients d'équivalence, avec prise en compte du fluage => caractéristiques mécaniques des poutres différentes en fonction de la nature de la charge appliquée
 - Définition des largeurs participantes (trainage de cisaillement)
 - Béton tendu non pris en compte => nécessité de délimiter les zones fissurées (calcul itératif)
 - Risques d'instabilité des pièces comprimées => nécessité de classer les sections (poutres à la fois fléchies et comprimées => classe de l'âme fonction des sollicitations en calcul élastique).
- Bilan : Poutres de classe 3

Les Béquilles

- Béquilles droites plus sollicitées que les courbes
- Classe 4 => itérations de calcul
- Vérification au flambement
- Modèle éléments finis surfacique pour les pieds de béquilles



Le Lancement

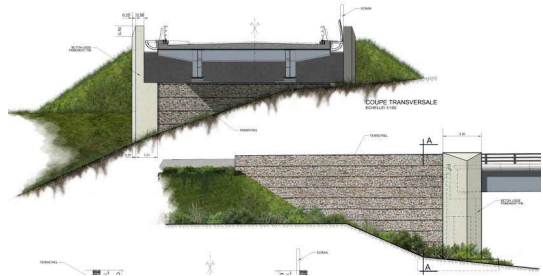
- Principe : déplacement progressif des appuis sous la charpente <=> plusieurs schémas statiques à étudier (phases) pour chaque sous-structure (étapes)
- Choix des phases très important, et effectué en fonction de :

- o Accostage
- o Désaccostage
- o position finale de chaque étape (I, II, III)
- o avant et après chaque vérinage
- o passage d'un point anguleux au droit d'un appui
- A chaque phase :
 - o vérifier la stabilité de la structure
 - o calculer les niveaux de l'intrados de l'avant bec si accostage et de l'arrière bec si désaccostage
 - o calculer les réactions d'appuis ELS, ELU
 - o calculer les pentes de l'intrados
 - o vérifier les contraintes
- Vérifications et calculs complémentaires :
 - o contreventement provisoire
 - o déversement (en moment positif ou négatif)
 - o treuil de traction ou retenue
 - o enfoncement local de l'âme

Le sol renforcé VSol®

Benoit Chantepedrix VSL

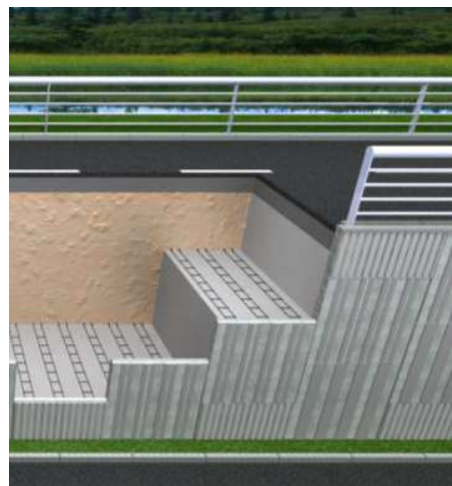
1. Choix architectural fort d'une technique innovante : VSol®



2. Principe de fonctionnement du sol renforcé VSol®

Les trois composants essentiels :

- Parement minéral ou béton
- Remblais techniques (NF EN 14475)
- Armatures de renforcement en acier galvanisé



Le sol renforcé permet de réaliser des murs de soutènement à parement vertical ou incliné pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de hauteur et supportant des charges très importantes.

Le principe du renforcement du sol par les armatures est de conférer au sol une cohésion globale apparente (grâce à la résistance à la traction des renforcements) et ainsi de permettre à la structure renforcée de faire face à la poussée des terres.

Le fonctionnement du sol renforcé VSoL® repose sur l'existence d'une interaction entre le sol et les armatures.

L'interaction se traduit par des contraintes de cisaillement, qui se développent dans le sol à la surface des armatures, entraînant une variation continue des efforts de traction dans ces dernières. Le lieu où les tractions sont maximales divise le massif de sol renforcé, en deux zones :

- une zone « active » où le sol tient à glisser vers l'extérieur du massif et est retenue par les efforts de frottement et de butée mobilisés sur les armatures. Ces efforts sont dirigés vers l'extérieur du massif et entraînent une augmentation
- une zone « résistante » dite « passive » où l'armature, soumise à la force de traction maximale, tend à glisser vers l'extérieur du massif, mobilisant ainsi les efforts d'interaction sur ses surfaces de contact avec le sol.

Le fonctionnement spécifique du renforcement VSoL® réside dans la géométrie particulière des renforcements sous forme d'échelles comportant des armatures transversales.

Le mécanisme d'interaction sol – renforcement réside essentiellement dans la mobilisation de la butée s'exerçant sur les barres transversales.

La butée est prépondérante (80%) devant le frottement (20%) dans ce mécanisme.

Les efforts d'adhérence qui en résultent sont très largement supérieurs à ceux engendrés par les efforts de frottement seuls d'une armature lisse (à poids d'acier équivalent)

3. Dimensionnement complexe aux Eurocodes 7 (NF 94-270)

- Méthode des états limites avec coefficients partiels de sécurité ;
- Méthode de l'équilibre local ;
- Modélisation bidimensionnelle ;
- Déformations planes ;
- Sol élastique linéaire ;

Les manifestations régionales

- Glissement relatif sol – armature ;
- Calcul en contraintes effectives ;
- Outil informatique de dimensionnement (Stabilité Interne) : logiciel «Cybèle V1.31» ;
- Outil informatique de dimensionnement (Stabilité Générale) : logiciel «Talren 4 v2.0.1o» ;

4. Montage simple et rapide

5. Technique adaptée dans de nombreux contextes d'ouvrages d'art

ZM - Fabrication

Montage de la structure métallique

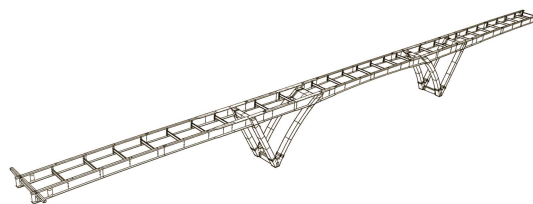
Structure métallique du viaduc

Tablier

- bipoutre, section I
- hauteur variable 1900 à 2450 mm
- semelle 800 à 1200 mm

Béquilles

- caisson
- section 1400 x 1200 mm



Acier

- Tablier 600 to ép. 20 à 100 mm
- Béquilles 200 to ép. 25 à 30 mm
- S355 K2 +N t ≤ 30 mm
- S355 N 30 mm < t ≤ 80 mm
- S355 NL 80 mm < t ≤ 100 mm
- Noeuds, croisements de raidisseurs: qualité Z35
- Tôles et profils: NF acier
- Fournisseurs : Dillinger, Trameal, ArcelorMittal

Découpage atelier

- Tablier 2x 7 pièces 26 à 47 to
- Entretoises 35 pièces 0.7 à 10 to
- Béquilles 8 pièces ~20 to
- Noeuds béquilles 4 pièces 10 to

Plans de fabrication

- Modélisation 3D avec BOCAD
- Interface CNC avec SCIA



Les manifestations régionales



Transport Aigle - Pontchâteau

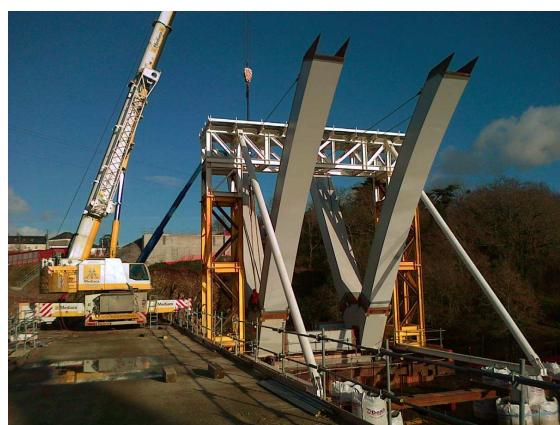
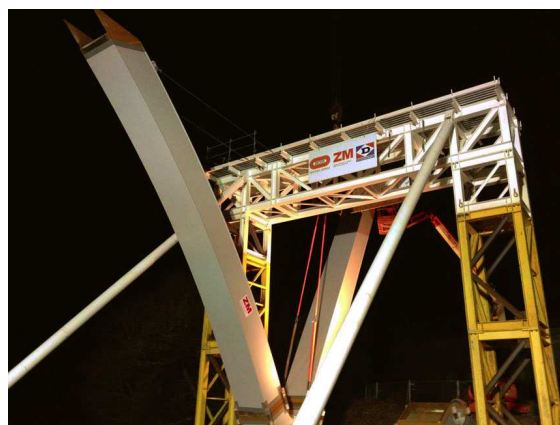
- Charpente 30 transports
- Installations 12 transports

Transports exceptionnels : durée 3 à 4 jours

Montage des béquilles

Palées provisoires hauteur 13 m

- Noeuds des béquilles
- Béquilles
- Béquilles P1 de nuit sous ITC



Montage du tablier

Plateforme de lancement ~100 m

- Assemblage-soudage T1 et T2
- Lancement 47 m
- Assemblage-soudage T3 et T4
- Lancement 80 m

Assemblage-soudage T4, T5 et T6

- Lancement 41 m
- Lancement 47 m (ITC)
- Dévérinage
- Soudage béquilles
- Démontage palées



Les manifestations régionales

Système anticorrosion

Système C3 ANV

- Couche de fond: époxy riche en zinc 40 mu
- Couche intermédiaire: époxy 130 mu
- Finition: polyuréthane 40 mu
- Primaire + intermédiaire : atelier
- Reprise des joints + finition: Chantier

