

16 septembre 2015 à Strasbourg

Le pont sur le Rhin et le pont sur le bassin Vauban



Le 16 septembre 2015, la délégation AFGC Grand-Est a organisé, en partenariat avec Construiracrier, une journée de conférences et de visites consacrée à deux ouvrages majeurs de Strasbourg : le pont sur le Rhin et le pont sur le bassin Vauban. Il s'agit de 2 ouvrages métalliques exceptionnels destinés à accueillir la ligne D du tramway reliant la France à l'Allemagne.

Le Pont sur le Rhin est un double bow-string de 2 fois 130m de portée qui enjambe le Rhin avec une pile centrale.

Le pont sur le bassin Vauban est, quant à lui, un pont en arc courbe de 173m de portée.

Les 2 ouvrages sont des ponts à dalles orthotropes.

Rappel du programme

8h30 : Accueil des participants à la Villa Schmidt à Kehl

9h00 : Mot de bienvenue

Pierre CORFDIR – AFGC Délégation Grand Est

Alain GIESI – Compagnie des Transports Strasbourgeois

Présentation générale de l'opération

9h10 : Contexte général de l'opération

Serge GOUNANT - GETAS

9h20 Organisation du concours du Pont sur le Rhin

Claude LE QUERE Egis JMI

9h30 : Contexte franco-allemand

Wolfgang SCHMIDT CTS

Conception des deux ouvrages

9h40 : Conception du pont sur le Rhin

Didier GUTH - ARCADIS

10h15 : Conception du pont du bassin Vauban

Nabil YAZBECK, Alexandros GIANNPOULOS,

Claude LE QUERE - Egis JMI

10h50 : Questions-Réponses

11h00 : Pause

Réalisation des deux ouvrages

11h15 Réalisation Pont sur le Rhin

Francis GERARD/Sébastien MEYER - BOUYGUES

Stéphane GARTISER – LINGENHELD

Diter BRAET- VBSC

11h50 Réalisation pont sur le bassin Vauban

Thomas KLUMB - EIFFAGE CM

Marc EBELIN - GTM

12h25 : Questions-Réponses

12h45 : Déjeuner à la villa Schmidt

14h30 : Visite sur sites en 2 groupes

17h00 : Fin des visites

Synthèse des présentations

Introduction

Alain GIESI – CTS

La CTS est une Société Anonyme d'Économie Mixte (SAEM).

L'entreprise est liée à l'Eurométropole de Strasbourg par un contrat de concession, signé en 1990 pour 30 ans.

La CTS assure la conception, la construction et la maîtrise d'ouvrage des infrastructures du réseau Tram + BHNS et les réalisations techniques associées (voies et stations, billettique, vidéosurveillance, parkings-relais...).

Contexte général de l'opération

Serge GOUNANT – GETAS

LA PHASE 1 – KEHL BAHNHOF

Prolonger la ligne D de la station Briand à Kehl Bahnhof

LA PHASE 2 – KEHL MAIRIE

OUVRAGE TRÉMIE

- Passage inférieur sous les voies du port autonome
- Passage tramway et modes doux
- Appel d'offre de réalisation
- Maîtrise d'oeuvre classique



OUVRAGE SUR LE RHIN

- Ouvrage de franchissement du Rhin
- Passerelle tramway et modes doux
- 1 pile
- Appel d'offre de conception et réalisation
- Maîtrise d'oeuvre générale et AMO Ouvrage



OUVRAGE CITADELLE

- Ouvrage de franchissement du bassin Vauban
- Passerelle tramway et modes doux
- Sans pile
- Technique à hauban
- Appel d'offre de réalisation
- Maîtrise d'oeuvre classique
- Conception Egis JMI



Les manifestations régionales

QUELQUES JALONS DU PROJET

- Démarrage des études AVP fin 2009
- Changement de tracé fin 2010 Avec l'intégration du projet des «2 rives»
- Enquête publique en 2014
- Arrêté de DUP en février 2014
- Planfeststellungbeschluss d'avril 2014
- Début des travaux France début 2014
- Début des travaux Allemagne fin 2015
- Objectif de mise en service Avril 2017

LE BUDGET

Financement de 90 m€par

- L'Europe via le fond InterReg
- Etats, via les subventions aux transports
- Collectivités locales (Conseil généraux)
- Communauté urbaine de Strasbourg
- Mairie de Kehl

Des ouvrages remarquables (environ 40m€)

- Pont sur le Rhin (environ 24m€)
- Citadelle (environ 12 m€)
- Trémie (environ 6m€)

Organisation du concours du Pont sur le Rhin

Claude LE QUERE Egis JMI

L'HISTORIQUE DE L'AFFAIRE

Etude de faisabilité de 2008 par TTK

Etude préliminaire : 2010

Avant-projet avec balayage des solutions : 2010 – Mars 2011

Préparation d'un concours de conception-réalisation : 2011-2012

Concours de conception-réalisation

- Consultation lancée en août 2012
- Attribution du marché en décembre 2012

LE PROGRAMME DU CONCOURS

Cas d'un ouvrage transfrontalier

- Souhait d'un ouvrage emblématique
- Financement à 50/50 par les deux états
- Interface avec les services politiques et techniques des 2 pays assurée par le Maître d'ouvrage CTS
- Choix du corpus normatif ?
- Choix du corpus réglementaire ?
- Respect des procédures de validation technique

LE PROGRAMME DU CONCOURS

Les contraintes

- Contraintes liées au tramway et au tram-train :
 - o Type de voie portée
 - o Charges d'exploitation
 - o Contraintes d'exploitation
- Voies franchies côté français
- Voies franchies côté allemand
- Contraintes liées à la navigation :
 - o Niveaux d'eau, débits
 - o Trafic fluvial, chenaux et gabarits de navigation
 - o Contraintes liées à la navigation radar
 - o Interruptions temporaires de navigation



Contexte franco-allemand

Wolfgang SCHMIDT CTS

Relation Juridique entre la Ville de Kehl et la C.T.S

La Convention de coopération entre la CUS / et la Ville de Kehl du 15 mars 2012 pour la réalisation et l'exploitation de l'extension de la ligne D du réseau de tramway de Strasbourg vers Kehl prévoit :

- deux exploitants côté français et côté allemand : C.T.S et Ville de Kehl
- en vertu du principe d'unité de conception et réalisation des ouvrages, la réalisation des missions de maîtrise d'ouvrage de l'ensemble des opérations assurées par l'Exploitant côté français, la C.T.S.

Pour la réalisation du tronçon Kehlois (635 mètres) entre le milieu du Rhin et la station terminus Gare de Kehl (Kehl/Bahnhof), les Exploitants désignés côté français et côté allemand, concluent un contrat de coopération spécifique dans lequel :

- ils reprennent les obligations prévues dans la convention de coopération signée entre la CUS et la Ville de Kehl
- ils règlent les modalités de leur propre coopération.

Montage contractuel proposé

Une solution de droit privé allemand envisageable pour l'organisation des relations entre la Ville de Kehl et la C.T.S pour la réalisation du tronçon kehlois :

Contrat d'entreprise générale («Generalübernehmervertrag»)

Avec une désignation directe de la C.T.S par la Ville de Kehl sans recours à une procédure de mise en concurrence car ce contrat sera réalisé dans le cadre d'une coopération intercommunale («eine interkommunale Zusammenarbeit») telle que définie par la Cour de Justice de l'Union Européenne (décision du 9 septembre 2009), exemptée de l'application des règles de marchés publics.

Conception du pont sur le Rhin

Didier GUTH – ARCADIS

Principe de l'appel d'offre

Client : Compagnie des Transports Strasbourgeois

Financement binational :

Eurométropole de STRASBOURG

Ville de KEHL

Les manifestations régionales

L'appel d'offre s'est déroulé d'août 2012 à décembre 2012, sous la forme d'un marché de « conception-réalisation », ce qui permet, notamment :

- Une optimisation du prix, (entreprises parties prenantes)
- Une réduction possible de la durée des phases de conception et construction,
- De récolter un maximum d'idées quant aux solutions. (cinq équipes présélectionnées)

Le site

- Zone mixte, habitat/activités industrielles et portuaires
- Quartier en cours de reconfiguration, tant en France qu'en Allemagne



Les données d'entrées

- Un délai de 18 mois pour la construction,
- Des emprises clairement délimitées pour les installations de chantier,
- 240 mètres de franchissement (minimum),
- Une plateforme tram de 7 m à 8.10 m suivant la position des poteaux caténaires,
- Un appui au maximum dans le Rhin.
- Le Rhin
 - o 240 m de franchissement,
 - o 2 passes navigables de 60 m (France) et 92 m (Allemagne), avec un tirant d'air de 7 m minimum,
 - o 1 seul appui en rivière,
 - o Le Rhin étant un des fleuves les plus circulés d'Europe, les coupures et/ou restrictions de trafic sont à minimiser pour l'ensemble des phases de construction,

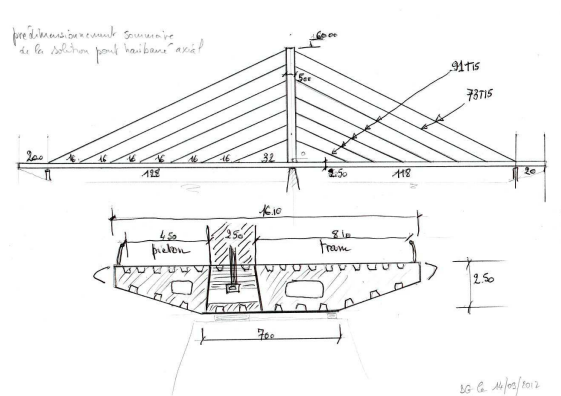
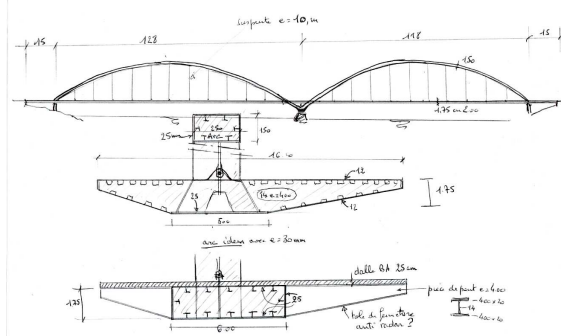
Contraintes de tracé

- Proximité du pont route existant,
- Le tracé de la voie sud du tram figé,
- Connexion des voies piétons-cycle imposée en 2 points,
- Dévers de chaque voie du tram: 0%,
- Présence d'une voie de retournement en rive gauche,

Pentes longitudinales maximales :

- 6% pour le tramway
- 4% pour les piétons côté France,
- 3% pour les piétons côté Allemagne,

Tenter de faire un choix final : Deux solutions sont affinées...



Estimation pont à haubans: 28 M€,

Estimation bow-string: 24 M€,

Les deux solutions sont pertinentes du point de vue architectural.

Le choix final : Un bowstring à arc central, quasi symétrique, avec deux portées centrales de 130 m et deux travées courtes de 15 m sur les berges.



Les manifestations régionales

La patte architecturale: un arc scindé en deux



Des suspentes volontairement très rapprochées (4 m)



Présentation technique

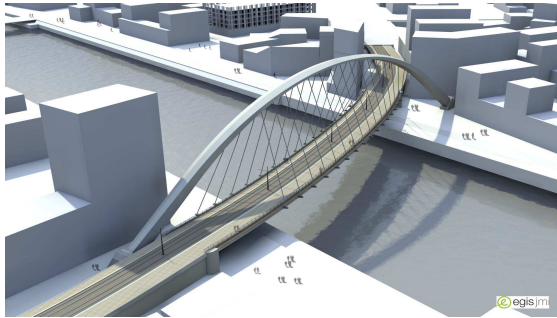
- Dimensions principales,
- Voies portée: des flux clairement séparés,
- Equipements,
- Tablier caisson orthotrope, 100 % en acier S355
- Arcs en acier S355/S460
- Suspension tous les 4 m, Φ 80 mm, S460
- Un point fixe longitudinal sur P2, la pile dans le Rhin,
- 1 JD OA sur chaque culée,
- 1 JD OA au droit de P2,
- 2 JD Rail à proximité des pilettes
- Deux travées de 130 m au-dessus du Rhin,
- Deux travées courtes sur au-dessus des berges

- Calculs sismiques
- Calculs dynamiques (vent, convois et piétons)
- Calcul au second ordre pour les arcs,
- Interaction Voie-OA (phase EXE)
- Voie ferrée
- Points singuliers
- Rail classique U50E6/rail à gorge
- Dispositif anti-basculement

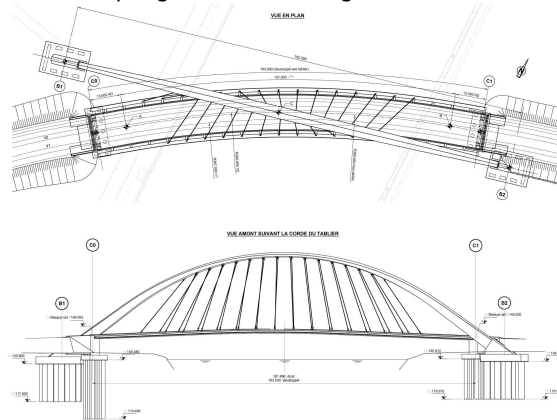
- Dispositifs anti-déraillement,
- Attaches glissantes,
- Attaches permissives,
- Dalles glissantes

Conception du pont du bassin Vauban

Nabil YAZBECK, Alexandros GIANOPOULOS,
Claude LE QUERE - Egis JMI



Caractéristiques générales de l'ouvrage



Conception architecturale



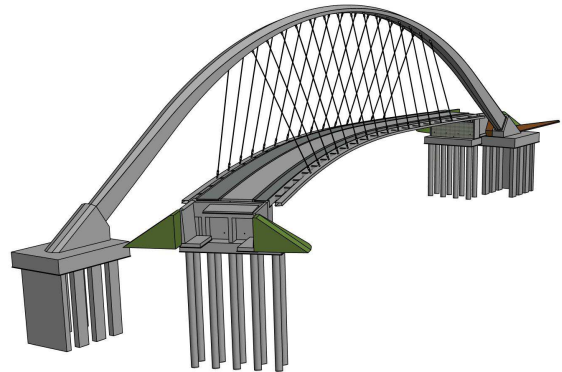
Définition géométrique de l'ouvrage

Lignes directrices du processus de conception :

- Démarche de réflexion globale dès l'avant-projet, associant:
 - o les contraintes techniques: recherche de la géométrie et des formes optimales du point de vue du fonctionnement statique, des contraintes et impératifs fonctionnels et des méthodes de construction,

Les manifestations régionales

- o et la vision esthétique: recherche d'une structure fine aux lignes simples et épurées, élégante, dont la lisibilité des formes est en accord avec le fonctionnement mécanique et exprime le cheminement des efforts



- Conception en trois dimensions de l'ouvrage dès le démarrage des études (Inventor®). Les plans sont établis à partir du modèle 3D.
- Processus itératif entre le dessin et le calcul, pour la recherche des formes optimales (exploitation des fonctions de cotation paramétrique d'Inventor®).
- Engagement d'études détaillées dès la phase de conception (fiabilisation, optimisation, sécurisation des délais d'exécution), compte tenu du caractère non courant de l'ouvrage.
- Profil en long : rampes à 4% + rayon de 700 m (point dur : gabarit fluvial à 9 m).
- Tracé en plan: rayon 389,85 m (axe OA) + insertion d'alignements droits aux extrémités de l'ouvrage pour pose des appareils de dilatation des voies (AD), positionnés sur les remblais d'accès, juste derrière les murs garde-grève des culées.

Les principes de construction géométrique de l'arc

L'ouvrage est un pont métallique à arc supérieur supportant un tablier intermédiaire suspendu courbe, d'une portée de 163 m entre axes des culées.

L'arc, qui se développe suivant une ligne d'épure située dans un plan vertical, présente un biais par rapport au tablier qu'il "enjambe". Son axe de symétrie est également vertical (les deux platines métalliques en pied sont calées au même niveau).

Le tablier est suspendu à l'arc par l'intermédiaire de suspentes, simples aux extrémités ou appareillées en "V inversé" en zone centrale.

En vue en plan, l'axe de symétrie vertical de l'arc se trouve quasiment à l'aplomb du centre du tablier. Ainsi, le système de suspension est antisymétrique, ce qui permet de solliciter les deux demi-arcs de manière identique (position optimale vis-à-vis des flexions hors plan de l'arc).

Vu en élévation dans son plan vertical, l'arc se développe dans sa partie centrale le long d'une ligne d'épure qui est un cercle de 120 m de rayon. Il présente une ouverture en pied de 181,50 m, pour une flèche à la clé de 40,80 m. A son point haut, il se situe à environ 30 m au-dessus de la chaussée. Les deux pieds d'arc se développent suivant des lignes d'épure

droites, tangentes au cercle central (géométrie plus efficace qu'un arc en plein cintre pour la reprise des efforts de flexion).

A la différence d'un pont bow-string qui se caractérise par un "auto-ancrage" de l'arc sur le tablier, l'arc reprend les charges suivant un schéma de suspension classique, sans autre connexion avec le tablier que les suspentes.

L'arc est un caisson métallique dont la section transversale, proche d'une forme en losange, varie aussi bien en hauteur qu'en largeur le long du parcours de sa ligne d'épure entre le pied et la clé. A partir de la section en pied, dont la dimension principale est la hauteur (5 m de hauteur pour 2,50 m de largeur), l'épure évolue pour aboutir à la clé à une section "inversée", dont la dimension principale est la largeur (2 m de hauteur pour 5 m de largeur).

L'épure adoptée pour l'arc affirme une volonté architecturale forte, ses formes constituent également une réponse technique à l'analyse des efforts auxquels il est soumis. L'évolution de la section transversale a été définie en accord avec l'évolution générale des efforts, afin d'optimiser la matière. C'est ainsi que la loi de variation de la hauteur de la section correspond globalement au diagramme du moment de flexion d'axe transversal (générant des flexions de l'arc dans son plan), alors que la largeur varie globalement en accord avec le moment de flexion d'axe longitudinal (générant des flexions de l'arc hors de son plan). C'est cette analyse qui conduit à privilégier en pied une section haute et à la clé une section large.

Les dimensions de la section transversale varient par "articulation" autour de constantes, afin d'en simplifier la fabrication :

- la forme de la membrure supérieure, en toit, avec une pente et une distance verticale entre la pointe et la ligne d'épure constantes,
- l'inclinaison des deux âmes latérales (2°).

La géométrie des suspentes

L'arc doit présenter une flèche suffisamment importante pour permettre aux câbles d'échapper au gabarit de 2,50(H) m défini au niveau des trottoirs, nécessaire notamment pour la circulation des cycles.

Le tablier est suspendu à l'arc par l'intermédiaire de 16 files de suspentes, espacées de 8 m à leur jonction avec le tablier.

Les 14 files les plus proches de la clé de l'arc se composent chacune de deux suspentes se raccordant aux rives du tablier sous la forme d'un V inversé. Les deux files d'extrémité sont composées d'une seule suspente, se raccordant au tablier du côté où sa rive est la plus proche de l'arc. La suspension ainsi définie permet de respecter les gabarits de circulation sur la plateforme tramway et les trottoirs.

Du fait du caractère antisymétrique de la suspension, de la courbure du tablier et du biais de l'arc, le tablier est soumis, que ce soit sous l'effet des charges permanentes ou des surcharges, à des efforts de torsion qui conduisent à choisir pour la structure porteuse du tablier un caisson métallique fermé.

Pour les mêmes raisons, l'arc est soumis à des efforts latéraux, qui induisent des déformations hors de son plan vertical. Le schéma de suspension "radial" a été retenu car il est le plus efficace : en faisant converger les suspentes vers le centre, il permet de réduire ces composantes latérales.

Les manifestations régionales

Les ancrages des suspentes

Les suspentes envisagées à l'AVP et au PRO étaient soit :

- des câbles constitués de torons parallèles de classe de résistance 1770 MPa, individuellement ancrés et regroupés dans une gaine générale en PEHD (polyéthylène haute densité), le milieu intermédiaire entre les torons et le conduit collectif étant composé d'un produit de remplissage souple de type cire, graisse ou résine.
- des barres à HLE de diamètre $\Phi 130$ mm.

Suivant leur position, les câbles étaient composés de 19 à 37 torons. L'ancrage supérieur sur l'arc est un ancrage passif, les réglages des tensions initiales et finales et de mise à longueur des câbles se faisant au niveau de l'ancrage inférieur, sur le tablier (ancrage actif).

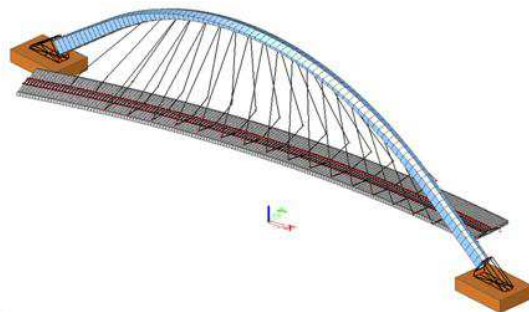
A l'exécution, les constructeurs ont proposé une variante en câbles clos de diamètres variant entre $\Phi 50$ et $\Phi 75$ mm

L'étude du comportement mécanique – Les calculs justificatifs

- Analyse du comportement mécanique global de l'ouvrage - Dimensionnement et Justifications en service
- Etude de la stabilité de l'arc (flambement, voilement)
- Vérifications au séisme
- Vérification des états dégradés (rupture ou remplacement d'une suspente)
- Dimensionnement des fondations de l'arc et des culées
- Etude du tablier durant les phases de construction
- Etude de la diffusion des efforts dans les noeuds d'ancrage des suspentes

Les modèles de calcul

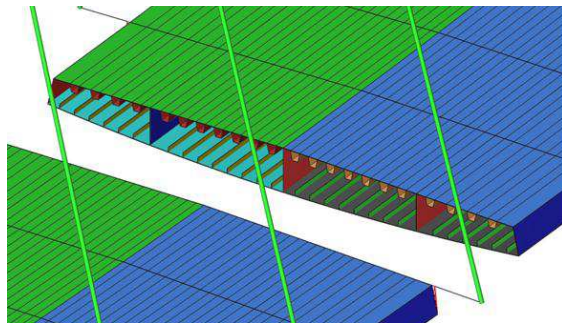
Le modèle filaire



Pour mener à bien l'ensemble des calculs de dimensionnement et de justification de l'ouvrage et de ses fondations, un modèle de calcul général filaire de la structure a été établi, dont les finalités principales sont :

- l'étude du comportement statique de l'ouvrage en service (flexion longitudinale) et la détermination de la descente de charge sur appuis et de la répartition des matières,
- l'étude de la stabilité globale de l'arc sous charges de service vis-à-vis des phénomènes de flambement,
- l'étude du comportement dynamique de l'ouvrage sous sollicitations sismiques.

Les calculs ont été conduits avec le logiciel SCIA Engineer. Les calculs des sections du tablier et de l'arc sont menés avec le logiciel CDS du SETRA.



Ce modèle vient en complément du modèle filaire, pour permettre de contrôler certains résultats (déformation de l'ouvrage) et d'étudier plus précisément le comportement du tablier à la torsion.

Le tablier et l'arc ont été modélisés entièrement en éléments coques, avec les diaphragmes, les raidisseurs de bordure des trous d'homme, les augets de la dalle orthotrope et les raidisseurs de la tôle inférieure du caisson.

Les oreilles d'accroche des suspentes sur l'arc sont modélisées en éléments coques.

Etude de stabilité de l'arc

Analyse au 1er ordre : on s'assure que sous les combinaisons ELU, les contraintes dans l'arc issues d'un calcul statique linéaire au 1er ordre, restent inférieures aux contraintes admissibles.

Analyse au 2nd ordre : Vérification de la stabilité de forme de l'arc. On s'assure que pour les cas de charge critiques, la réserve de stabilité de l'arc vis-à-vis du flambement est suffisante.

Vérification de la stabilité globale de l'arc suivant les deux approches usuelles

Calcul non-linéaire avec la prise en compte des effets du second ordre géométrique (calcul itératif avec application du chargement sur la structure déformée) :

- Défauts géométriques potentiels relatifs aux tolérances de fabrication pris en compte dans les calculs par application d'une déformée initiale de l'arc suivant l'annexe D de l'EC3-2
- Forme des imperfections globales dérivée du mode de flambement élastique de la structure dans le plan du flambement considéré.

Quatre déformées initiales prises en compte
Quatre combinaisons ELU étudiées

Analyse de stabilité élastique (flambement eulérien)
Recherche des modes de flambement et des coefficients critiques associés, par deux approches :

- analyse linéaire élastique simple,
- analyse élastique avec prise en compte des effets des non-linéarités géométriques sur la rigidité de la structure

Vérification des contraintes en section efficace

Prise en compte des effets :

- du voilement de la plaque raidie (EN 1993-1-5, §4):

Etude du voilement de chaque sous-panneau élémentaire

Vérification du voilement d'ensemble de la plaque raidie : détermination du facteur de réduction ρ_c de la plaque raidie, par interpolation entre les facteurs de réduction χ_c

Les manifestations régionales

(comportement type poteau) et ρ (comportement type plaque).

La contrainte critique de voilement élastique de la plaque raidie $\sigma_{cr,p}$ permettant de calculer le facteur de réduction ρ est obtenue par l'intermédiaire du logiciel EBPlate (version 2.01) du CTCM.

► Détermination de la section efficace $A_{c,eff}$

- du traînage de cisaillement élastoplastique (EN 1993-1-5, §3.3 (1), note 3):

Limitation des capacités plastiques de la section. Détermination du facteur de réduction β_k à la section efficace $A_{c,eff}$ déterminée après prise en compte des effets du voilement.

► Détermination de la section efficace $A^*_{c,eff}$

Analyse sismique

Utilisation de la méthode spectrale ou méthode d'analyse dynamique linéaire (cf. EN 1998-2 article 4.2.1.)

On a considéré pour les études de conception un coefficient de comportement $q = 1$ (pas de prise en compte des réserves de ductilité dans le dimensionnement) -> Application des spectres de réponse élastique de l'EN 1998-1 §3.2.2.2.

-zone de sismicité modérée (zone 3) - $a_g R = 1,1 \text{ m/s}^2$

-classe de sol C

-ouvrage de catégorie d'importance III ($\gamma_I = 1,2$)

- $a_g = 1,32 \text{ m/s}^2$; $a_{vg} = 1,19 \text{ m/s}^2$

-coefficient topographique $ST = 1$

Les principales quantités (indicatives)

2190 tonnes d'acier de charpente métallique

Tablier: 1 300 à 1400 t (S355 / S460)

Arc : 900 à 1000 t (S460)

Appuis et fondations : 4 750 m³ de bétons

Suspentes : 870 ml

L'appel d'offres et l'attribution du marché de travaux

- Déroulement de l'appel d'offres : Procédure négociée
 - o AAPC en décembre 2013 : 6 candidats retenus
 - o Diffusion DCE en avril 2014
 - o Remise d'offres le 18 juillet 2014 : 5 offres reçues
 - o Réunions de négociation les 19 et 20 août 2014
 - o BAFO 19 septembre 2014
 - o Attribution le 2 octobre 2014
- Spécifications de la consultation
 - o Offre de base :
 - Respect des éléments intangibles : parti architectural, épure géométrique générale (enveloppe extérieure de la charpente du tablier et de l'arc, points d'épure hauts et bas des suspentes), caractéristiques fonctionnelles, structure de la voie tramway, schéma statique hors séisme
 - Ensemble de la charpente rémunérée au forfait avec éléments laissés libres d'adaptations : conception intérieure de l'arc, du tablier et conception de la suspension et de ses attaches à l'arc et au tablier.
 - Respect du Génie Civil du projet de base

o Offre variante facultative :

Base + Aménagements possibles sur les points suivants : conception de la plateforme des trottoirs, schéma statique sous séisme (amortisseurs), conception des culées et des fondations

- Différentes variantes proposées par les entreprises
 - Mise en oeuvre de ressorts amortisseurs précontraints (retenue)
 - Suppression du béton sur les trottoirs piétons (non retenue)
 - Modification des niveaux des semelles (retenue)
 - Remplacement des caissons de rive structuraux par des éléments non structuraux de serrurerie en aluminium (non retenue)
 - Remplacement du caisson du tablier par 4 poutres avec habillage non structural en panneaux sandwich pour respecter l'enveloppe extérieure (non retenue)
- Principaux choix de méthodes
 - Pose des parties latérales de l'arc et du tablier à la grue et hissage des tronçons centraux depuis une barge (1 offre)
 - Pose de l'arc à la grue et tablier lancé (2 offres)
 - Pose des parties latérales de l'arc à la grue et lancement du tablier avec le tronçon central de l'arc dessus et hissage du tronçon central de l'arc depuis le tablier (1 offre)
 - Tablier lancé avec l'arc dessus puis hissage et rotation de l'arc (1 offre)
- Choix sur les suspentes
 - Barres (3 offres) / Câbles clos (2 offres)
- Les variantes d'exécution
 - Fondation des pieds d'arc : Modification de la disposition et des dimensions des barrettes – Réduction de la taille des semelles
 - Fondation des culées : Les pieux ont été remplacés par les barrettes (réduction des efforts sismiques par utilisation d'un RAP)
 - Raidissage du tablier : Intrados raidi par des augets en remplacement des plats
 - Suspentes : Les barres ont été remplacées par des câbles clos

Réalisation des deux ouvrages

Réalisation Pont sur le Rhin

Francis GERARD/Sébastien MEYER - BOUYGUES

Stéphane GARTISER – LINGENHELD

Diter BRAET- VBSC

Culées C0 / C4 et Piles P1 / P3



Les manifestations régionales

Pile P2

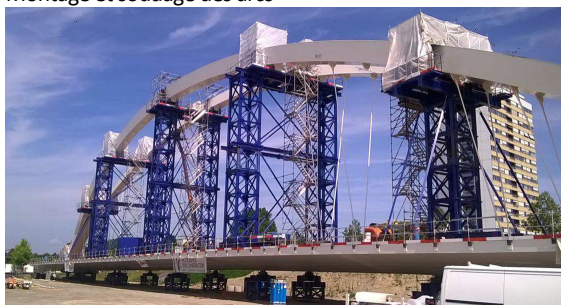




Chargement du tablier



Montage et soudage des arcs



Réalisation du pont Citadelle franchissant le bassin Vauban
Thomas KLUMB - EIFFAGE CM
Marc EBELIN – GTM

- Un groupement d'entreprises locales
 - Eiffage Construction Métallique –Lauterbourg
 - GTM HALLE –Schiltigheim
- Des sous-traitants
 - INGEROP : Etudes d'exéGC –Oberhausbergen
 - GEOS : études géotechniques
 - CTICM –Etudes d'exéCM –région Parisienne

Les manifestations régionales

- DURMEYER –appuis provisoires et ducs d'Albe – Mittersheim
- SOLETANCHE BACHY –fondations –Strasbourg
- COLAS –terrassement –Erstein
- Masci –anticorrosion –Richemont
- Freyssinet –appuis, précontrainte –Metz
- Gutmann –Transport –Kehl
- Pfeifer –suspentes
- Etic –amortisseur

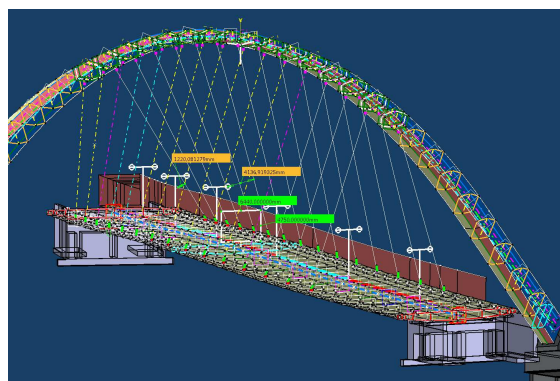
- Répartition des travaux :
 - Eiffage Construction Métallique –Lauterbourg
- Etudes d'exécution de la CM
- Fabrication, transport et montage du tablier et de l'arc
- Garde-corps
- Suspentes, appuis, amortisseurs, précontrainte
 - GTM HALLE –Schiltigheim
- Etudes d'exécution du GC
- Terrassement des rampes d'accès
- Fondations des culées et pied d'arc
- Réalisation des culées et pied d'arc
- Réalisation des appuis provisoires dans le bassin
- Dalle sur l'ouvrage, revêtement trottoir

- Délai : 17 mois y compris études d'exécution.

- Décembre : commander acier
- Février : début des travaux sur site
- Mars : début fabrication
- septembre : pieds d'arc et culées terminés
- Décembre : fin du soudage
- Avril : fin des travaux

- Etudes de charpente métallique:
 - Calculs menés par le CTICM
 - Descentes de charges transmises au BE génie civil
 - Etudes sismiques réalisées par le CTICM
 - Note de calcul de lancement
 - Note de montage de l'arc
 - Descentes de charges provisoires pour dimensionner les appuis dans le bassin et les palées terrestres

En interne : modèle 3D théorique et contrefléchède l'ouvrage, sous Digital
 -> développé des tôles
 -> Comparaison avec le modèle de calcul
 -> Transfert sous autocad pour réalisation des plans d'exécution et de fabrication



Pieds d'arc



•Aciers :

- Tablier : S355 K2+N et S460M, ép. 25mm maxi
- Arc : S460M et S460ML, ép. 80mm maxi
- Provenance : usine de GTS (groupe Dilling) à Dunkerque
- Livraison par péniche à Lauterbourg

Fabrication



Les manifestations régionales

Equipements

- Appuis
 - Appuis à pot Freyssinet
 - Blocage transversal y compris effort de séisme par appui
- Amortisseur
 - Fabrication par Douce/Hydro
 - $F = F_0 + kx$
 - $F_0 = 420 \text{ t}$
 - $k = 4 \text{ t/mm}$
 - Effort maxi : 540t
 - Course de 30mm
- suspentes
 - Câbles clos de diam. 50mm à diam. 75mm, fournisseur Pfeifer
 - Efforts de 90t à 280t
- Précontrainte
 - 22 barres diam. 58
 - 26 barres diam. 66
 - Fournisseur Freyssinet