



Association Française de Génie Civil



Travaux de remise à niveau des ponts de Thouaré

Journées techniques

28 et 29 juin 2017

Loire
Atlantique

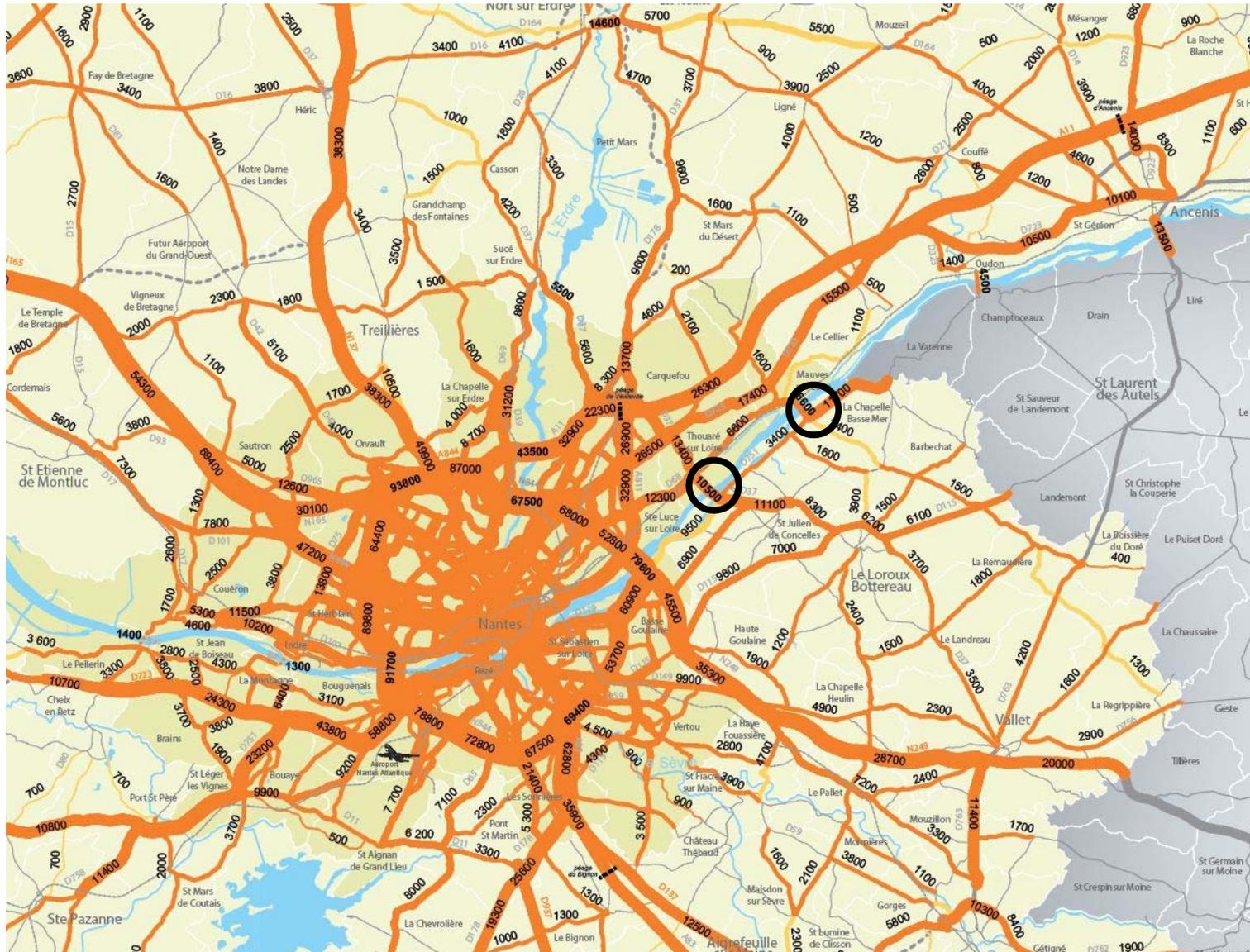
État des lieux

2 ponts enjambant la Loire construits en 1882

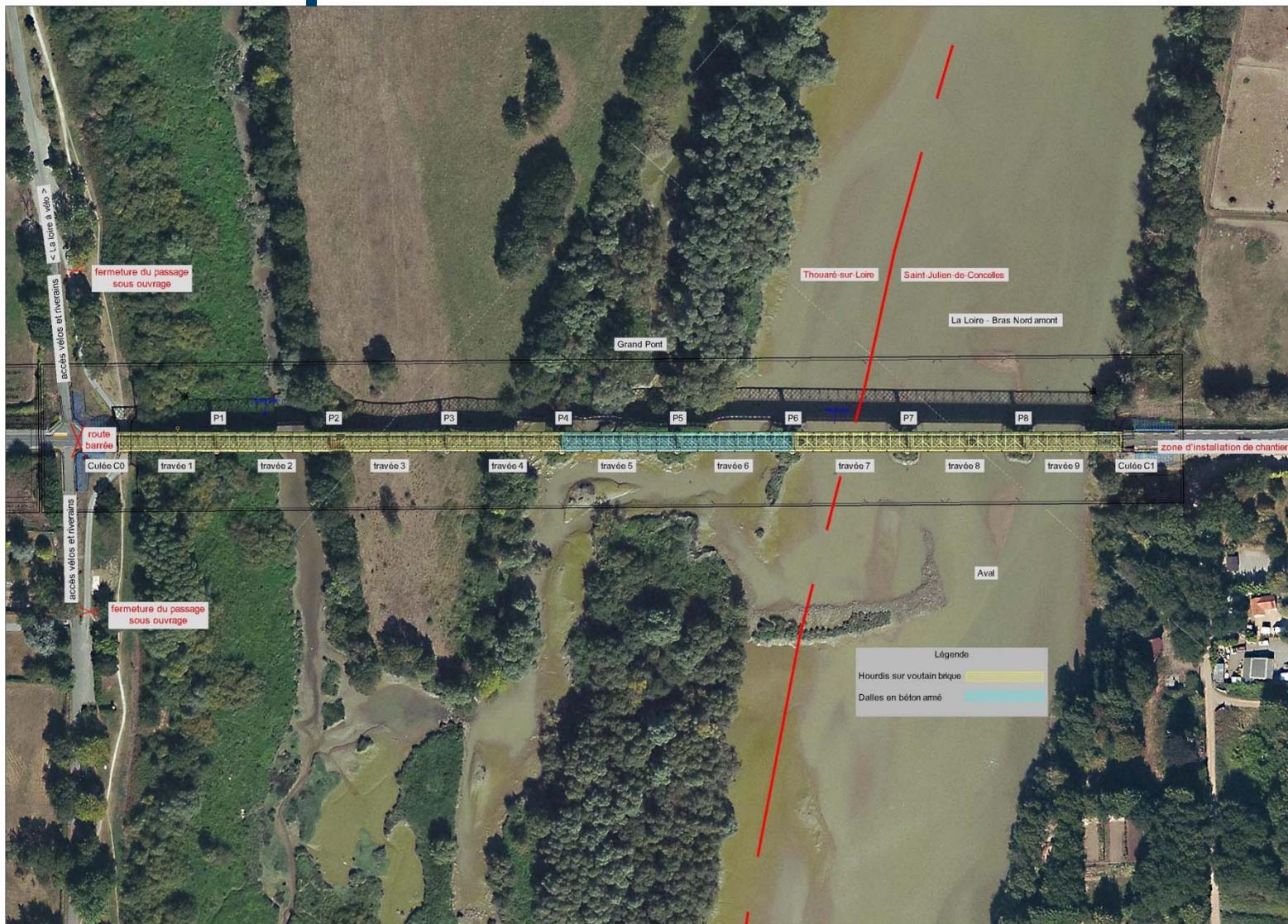
- Le pont du Haut-Village rive sud (225 m)
 - Pont reconstruit partiellement après la seconde guerre mondiale
 - Tablier du pont refait en 2005-2006
- Le Grand pont de Thouaré rive nord (400 m)
 - Tablier du pont datant du XIXème siècle
 - Sous surveillance renforcée depuis 2009
 - Nécessite d'importants travaux de rénovation du tablier



Situation des ouvrages

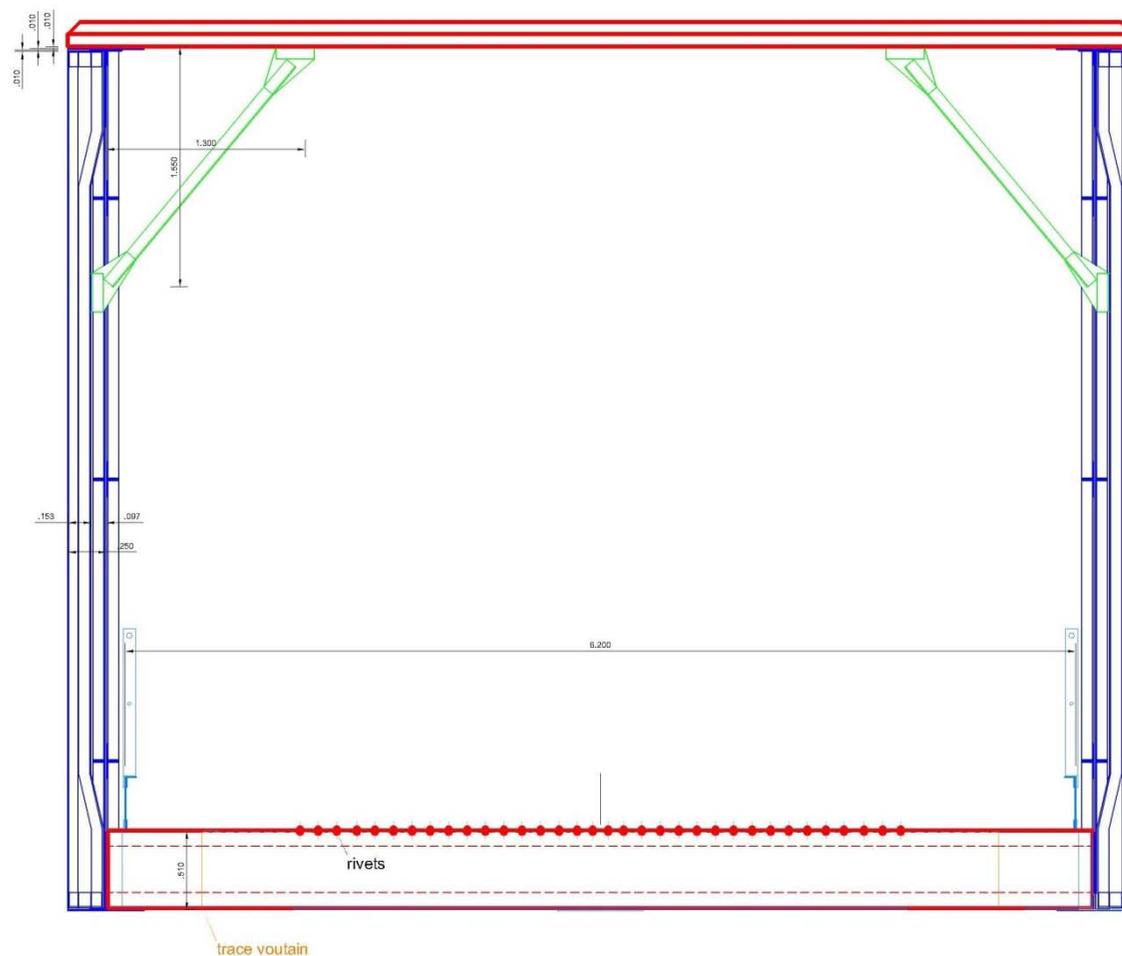


Le Grand pont de Thouaré



Le Grand pont de Thouaré

Coupe transversale de la cage



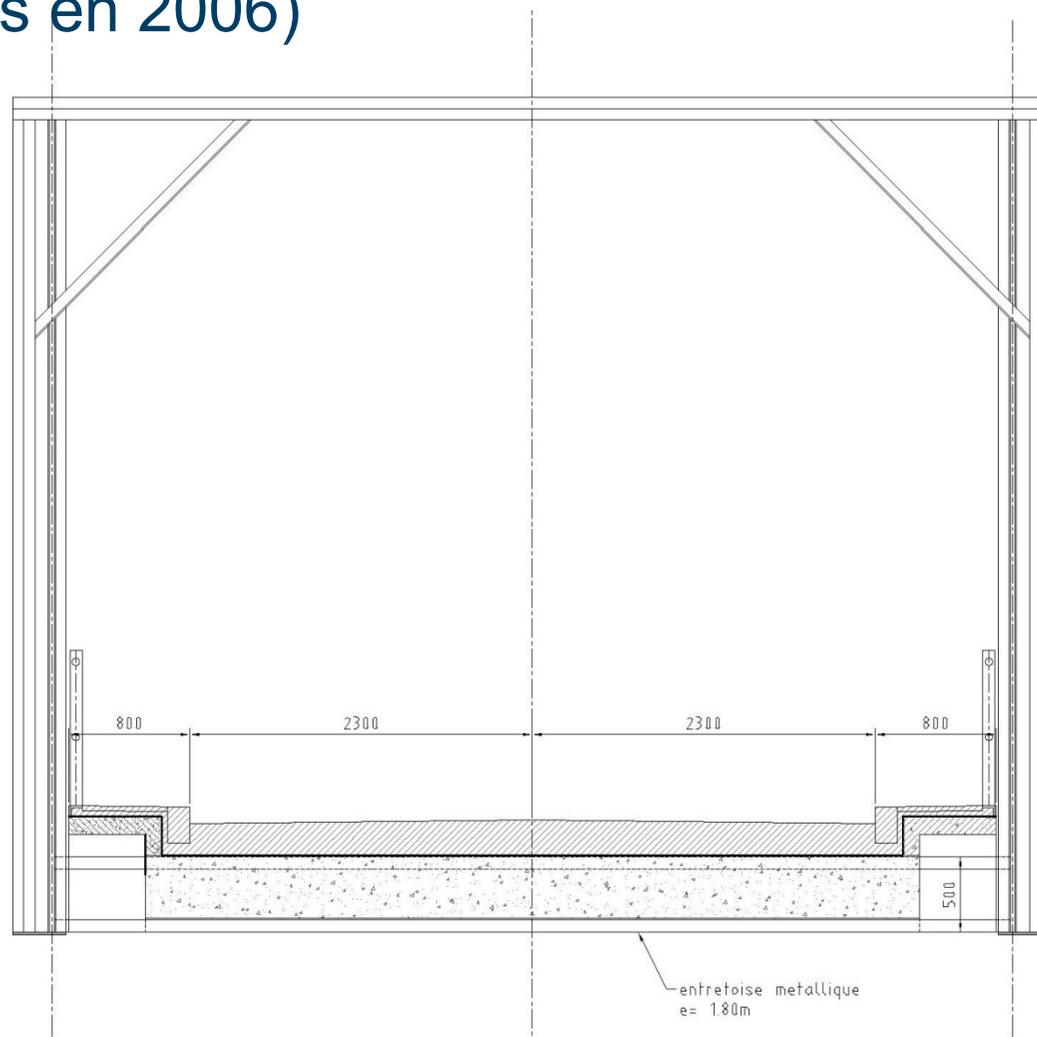
Pont du Haut-Village

- 1 travée d'origine à structure à treillis multiples (T10)
- 4 travées à structure en poutres Warren (T11 à T14, reconstruites après guerre)



Pont du Haut-Village

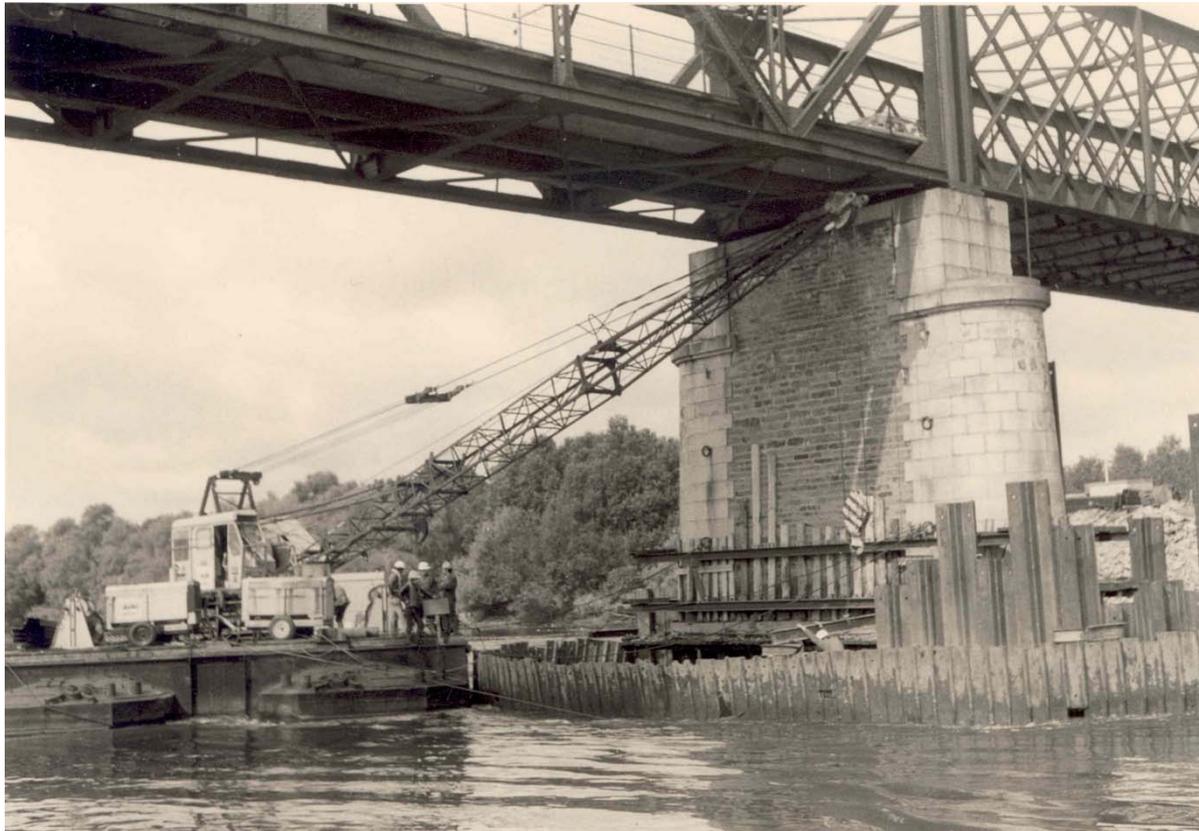
Coupe transversale de la cage (antérieure aux travaux réalisés en 2006)



Pont du Haut-Village

Travaux antérieurs

- Confortement des fondations par encagements en palplanches et injection des massifs (1957, 1667, 1977 à 1980)



Pont du Haut-Village

Travaux antérieurs

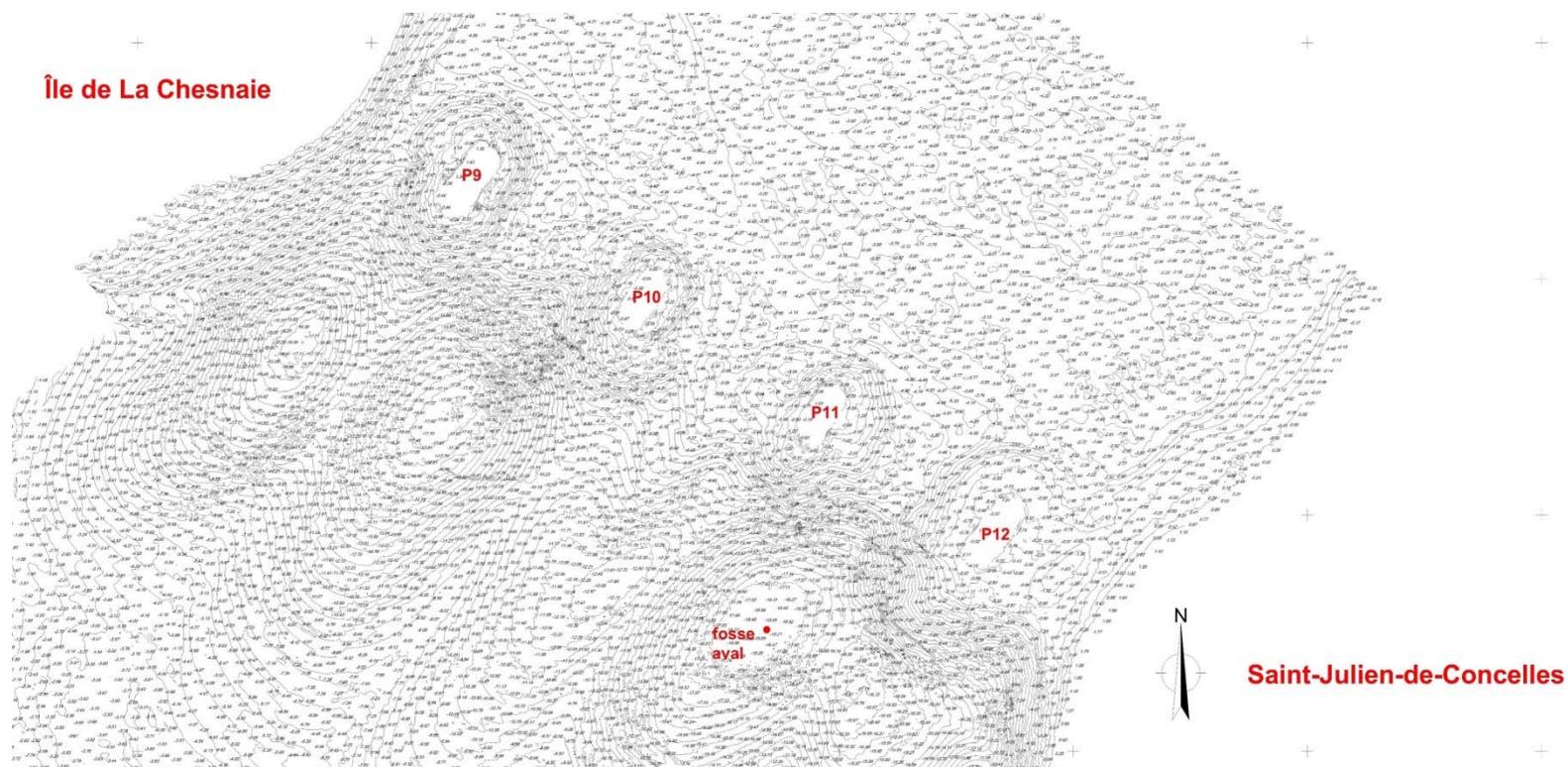
- Inclinaison de la pile n°10 lors du fonçage du rideau de palplanches en 1977
- Ouvrage sous surveillance renforcée



Pont du Haut-Village

Travaux antérieurs

→ Suivi bathymétrique



Audit 2002

- réalisé par ARCADIS, dans le cadre de la création du Service d'Entretien et de Gestion des Grands Ouvrages d'Art

- Concernait les ouvrages de franchissement de la Loire :
 - Varades,
 - Ancenis,
 - Mauves-sur-Loire
 - Thouaré-sur-Loire

Audit 2002

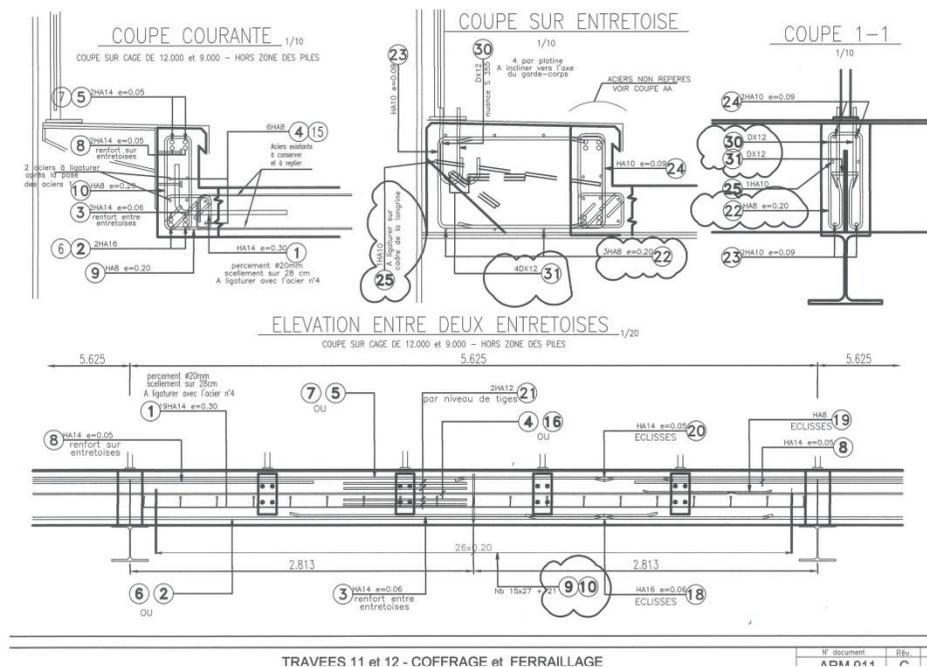
Ponts de Thouaré

- Réfection complète de la protection anticorrosion
- Réfection totale des hourdis :
 - Grand Pont : Corrosion perforante des âmes des pièces de pont en contact avec les voûtains en briques
 - Pont du Haut-Village : forte dégradation des poutres béton du hourdis
- Renforcement des fondations et leur protection
- Étude de 3 scénarios :
 - Restauration provisoire pour 10 ou 15 ans en conservant la fonctionnalité existante
 - Restauration long terme pour 30 à 40 ans avec amélioration de la fonctionnalité (création d'encorbellements pour passage des cycles et des piétons)
 - Construction d'un ouvrage neuf

Pont du haut-Village

Travaux réalisés en 2006 à la suite de l'audit de 2002

- Montant des travaux : 1 M € HT
- Travaux réalisés sous coupure de circulation pendant 6 mois
- Restauration provisoire pour 15 ans
- Reconstruction des poutres en béton armé longitudinales
- Remplacement des trottoirs existants par des trottoirs métalliques



N° document Rév. Folio
ADM 044 0 5

Pathologie

Le Grand pont de Thouaré

→ D'importants problèmes de corrosion sur les pièces de pont



Zone de corrosion

Pathologie

Le Grand pont de Thouaré

→ Phénomènes d'éclatement et d'érosion des briques des voûtains



Pathologie

Le Grand pont de Thouaré

→ Phénomènes d'éclatement du béton des travées 5 et 6



Données de service

Le Grand pont de Thouaré

- Chaussée bidirectionnelle de 4,60 m de largeur et 2 trottoirs de 0,75 m
- Limitation en charge à 3,5T par arrêté
 - Dérogation aux véhicules de moins de 8 tonnes (2 + 6) pour les usages agricoles établis sur l'île et aux véhicules de moins de 16 tonnes (6 + 10) pour les véhicules de service (viabilité hivernale) et de sécurité publique accédant à l'île
- Trafic pendulaire : 10 500 véhicules/jour (étude de trafic réalisé par le CEREMA)

Actions de surveillance

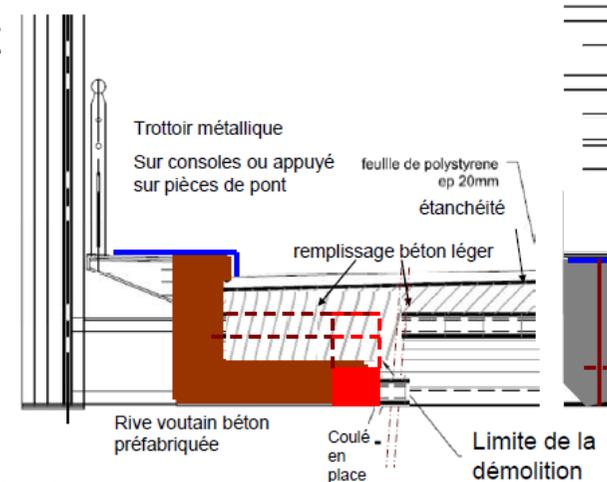
Ouvrages classés 3U pour le GP et 3 pour le HV selon le référentiel de l'iQOA

- Visites de contrôle annuel (CD 44)
- Inspections détaillées périodiques tous les 3 ans
- Actions spécifiques :
 - Contrôles bathymétriques :
 - Haut-Village : cadence annuelle
 - Grand Pont : cadence de 6 ans
 - Relevés altimétriques :
 - Haut-Village et Grant Pont : cadence de 2 ans (contrôle du tablier)
- Surveillance renforcée formalisée :
 - Haut-Village :
 - Visite semestrielle de l'intrados en bateau et à la jumelle
 - Suivi de la stabilité des piles (annuel)
 - Grand Pont :
 - Visite semestrielle de l'intrados en bateau et à la jumelle

Le Programme

Le Grand pont de Thouaré

→ Réparation des voûtains et pièces de pont de 7 travées sur 9



→ Trois scénarios étudiés, plus ou moins optimistes

→ Durée des travaux : 12 mois sous coupure totale de circulation

→ Estimation des travaux : 4,8 M € HT dont 3,4 M € HT de réparation et 1,4 M € HT pour la protection anticorrosion

N.B.

Étude de l'adjonction d'un encorbellement à usage des cycles et des piétons

Le Programme

Pont du haut-Village

- Protection anticorrosion : 1,2 M € HT
- Réparation des dalles en béton armé : 0,2 M € HT



Investigations préalables

- Analyse de carottes réalisées dans la chaussée : aucune présence de fibres d'amiante
- Essai de décapage réalisé sur la charpente métallique du Grand Pont :
 - Décapage par abrasifs
 - Décapage UHP
- Essai d'adhérence sur primaire



- Analyse des déchets issus du décapage : présence de Pb (primaire appliqué en 1986)

Contraintes du site

→ Contraintes environnementales

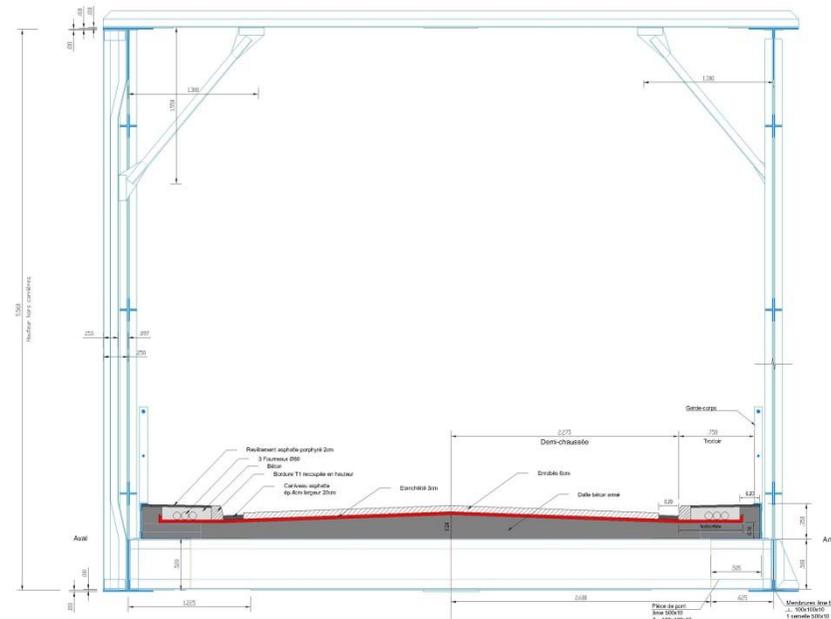
- Zone NATURA 2000 : déclaration d'existence au regard de la Loi sur l'Eau et évaluation des incidences NATURA 2000 (inventaire flore patrimoniale protégée réalisé par le BE CERAMIDE)
- Aucun rejet extérieur autorisé
- Tout accès sous l'ouvrage proscrit

→ Contraintes liées aux 2 passes navigables au droit des travées 11 et 13 du pont du Haut-Village: consultation de la DDTM et de VNF.

La réponse du MOe

Grand Pont de Thouaré

- Principe de la réparation :
 - Changement de l'intégralité des pièces de pont supportant des voûtains en briques
 - Réalisation de dalles préfabriquées en béton armé



- Estimation des travaux identique à celle du programme
- Délai réduit à 10 mois

Communication aux publics

- ➔ Point sensible : nécessité et durée de la coupure de circulation envisagée
- ➔ Mise en place d'un comité de suivi présidé par Le Président du CD 44 : maires des communes de Thouaré et St-Julien-de-Concelles, élus de NM et conseillers départementaux locaux (avril 2016)
- ➔ Organisation de réunions d'information auprès des commerçants et de deux réunions publiques en décembre 2016
- ➔ Hiérarchisation des exigences :
 - Respect du budget
 - Optimisation et sécurisation du délai de fermeture du Grand pont
 - Circulation douces

Cas de charges

Limitation de portance à 3t5 (arrêté du 01/09/2005)
Cas de charges réparties (document SETRA - Lecroq - 1982)
A(I) G 3t5 = 620daN/ml x 2 voies = 1240daN/ml de tablier

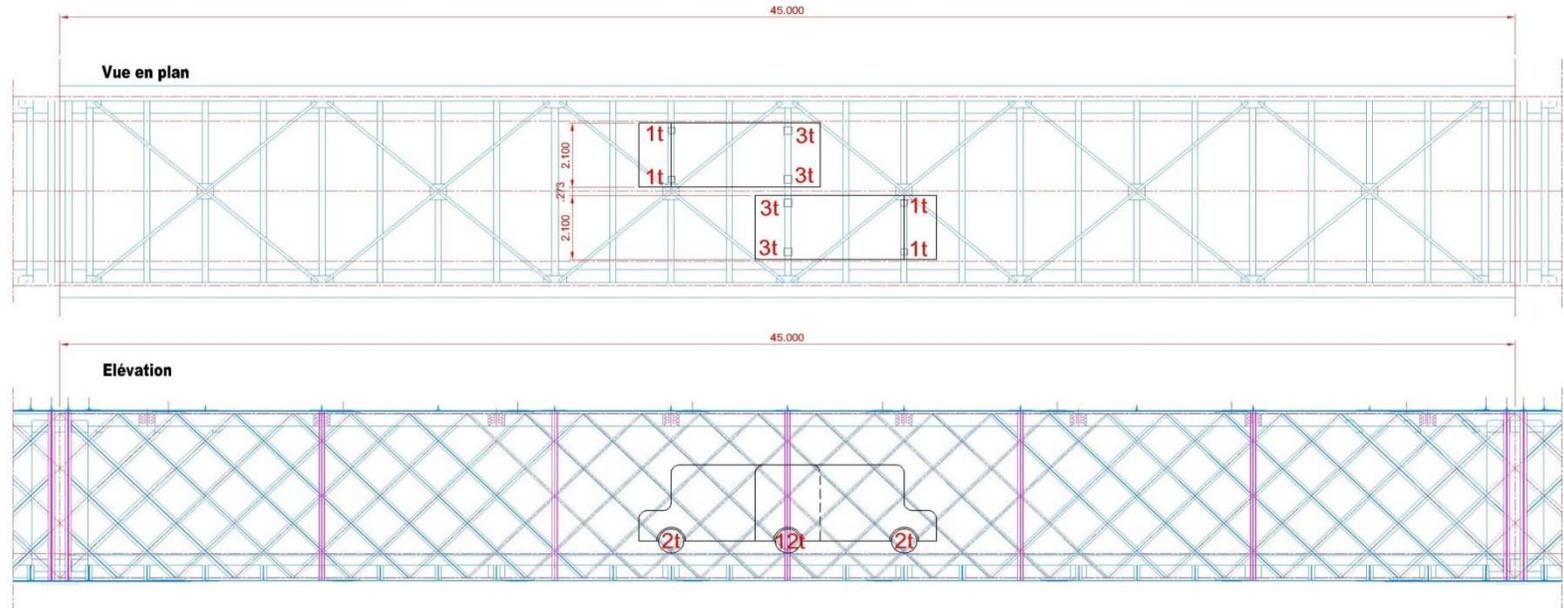
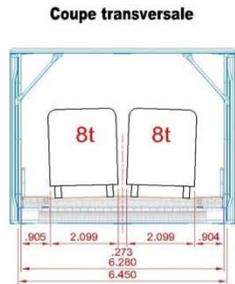


Cas de charges

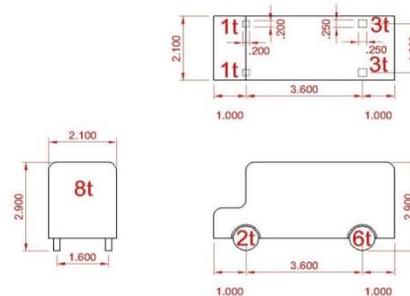
Limitation de portance à 3t5 (arrêté du 01/09/2005)

Dérogation à 8t

Croisement de 2 véhicules de 8t

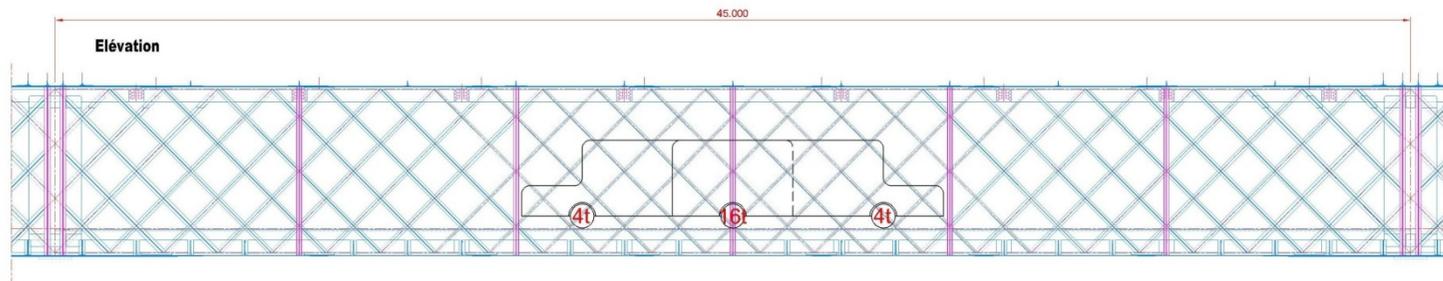
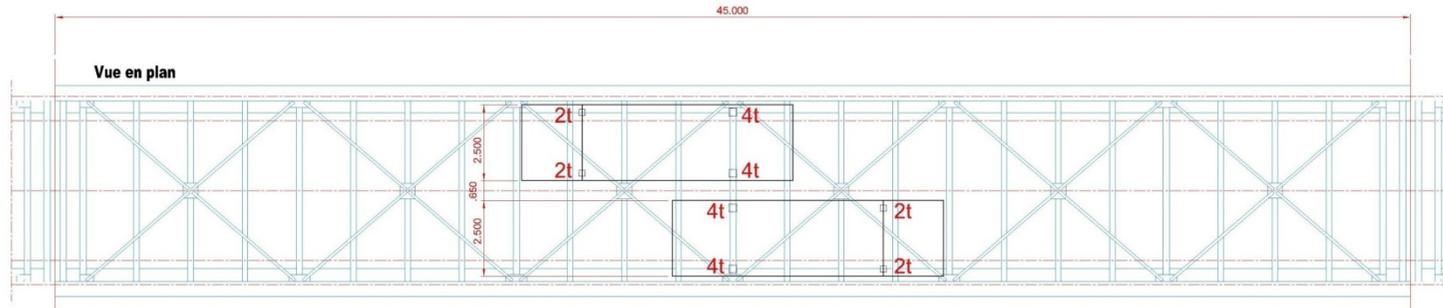
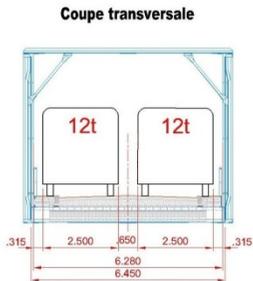


Véhicule 8t - largeur 2.10m

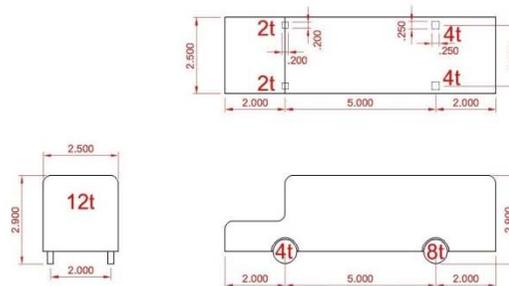


Cas de charges

Limitation de portance à 3t5 (arrêté du 01/09/2005)
Cas de charges exceptionnelles (document SETRA - Lecroq - 1982)
Croisement de 2 véhicules de 12t



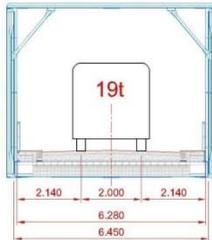
Véhicule 12t - largeur 2.50m



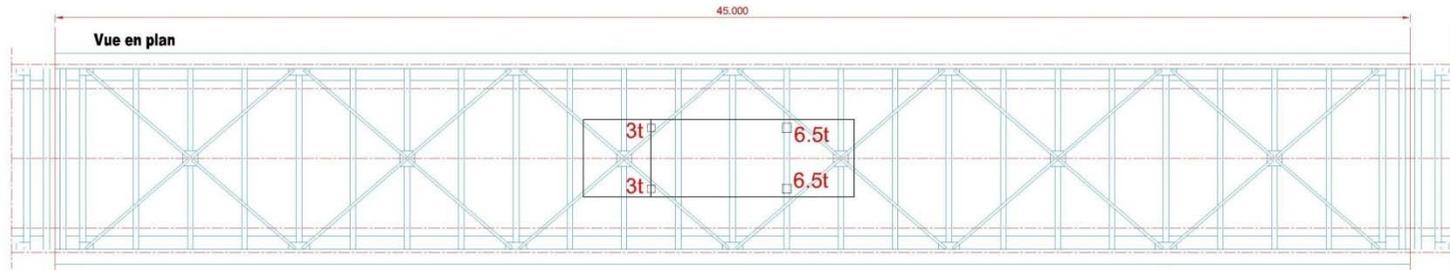
Cas de charges

Limitation de portance à 3t5 (arrêté du 01/09/2005)
Dérogação à 16t (Sevices de secours, Viabilité hivernale)
Véhicule isolé de 19t (code de la route)

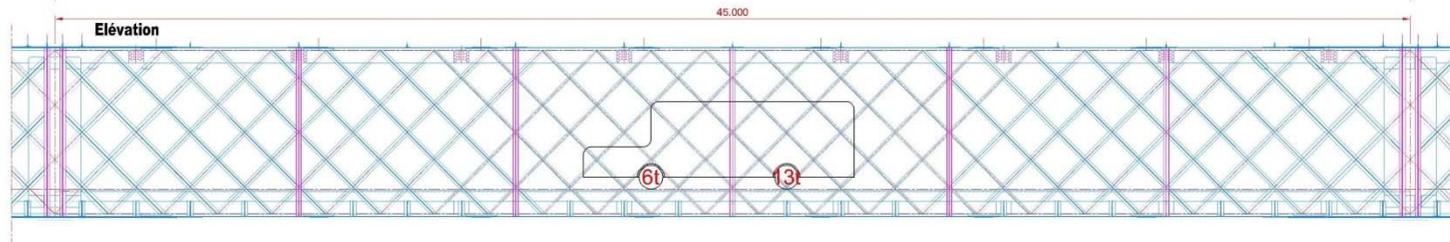
Coupe transversale



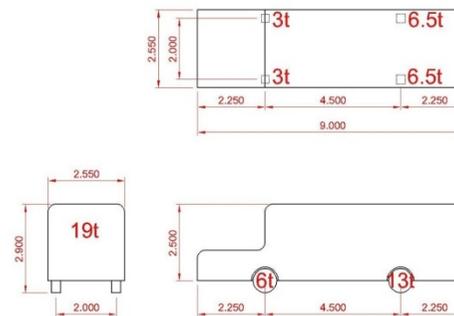
Vue en plan



Élévation



Véhicule 19t



Combinaisons d'actions

→ ELS :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + 1,2.Q_k + 0,6.T_k$$

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + 1,2.Q_k + 0,6.F_{wk,trafic}$$

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + Q_7 + 0,6.T_k$$

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + Q_7 + 0,6.F_{wk,trafic}$$

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + 1,2.Q_k + Q_7 + 0,6.T_k$$

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + 1,2.Q_k + Q_7 + 0,6.F_{wk,trafic}$$

→ ELU :

$$1,35.(G_{k,sup} + G_{k,inf}) + 1,35.* 1,20.Q_k + 1,50. (0,6.F_{wk,trafic})$$

$$1,1.(G_{k,sup} + G_{k,inf}) + 1,35.Q_5$$

$$1,35.(G_{k,sup} + G_{k,inf}) + 1,35.Q_7 + 1,50. (0,6.F_{wk,trafic})$$

$$1,35.(G_{k,sup} + G_{k,inf}) + 1,35.* 1,20.Q_k + 1,35.Q_7 + 1,50. (0,6.F_{wk,trafic})$$

$$1,1.(G_{k,sup} + G_{k,inf}) + 1,35.Q_5 + 1,35. Q_7$$

Sortir des vieilles recettes ...

- Exigences structurelles : gain de poids propre et fixation des encorbellements
- Exigences géométriques : maintien du niveau de la chaussée actuelle
- Sécurisation du coût et du délai d'exécution : traitement de l'ensemble des pièces de pont en touchant le moins possible aux assemblages existants
- Caractéristiques mécaniques du BFUP permettent de répondre à ces exigences

La solution BFUP

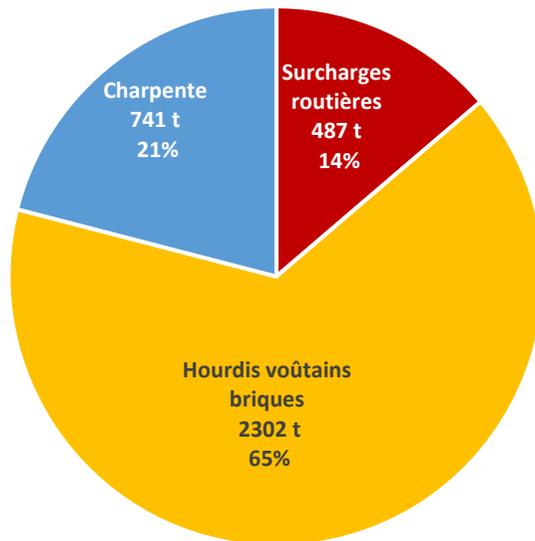
Avantages de cette solution

- Allègement très important de l'ouvrage permettant de rétablir un niveau de service satisfaisant et de prévoir la mise en œuvre éventuelle ultérieure de passerelles piéton en encorbellement,
- Possibilité de conserver les pièces de ponts historiques actuelles tout en garantissant des performances de durabilité très supérieures à la solution en dalle béton armé traditionnelle,
- Garantir une réduction optimale des délais, afin de limiter les perturbations à l'exploitation en phase travaux.

La solution BFUP

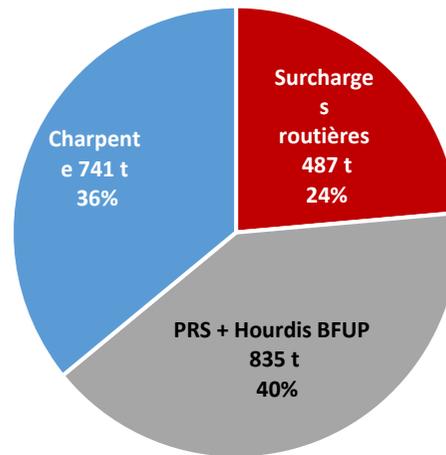
Allègement du tablier du grand pont

Situation actuelle



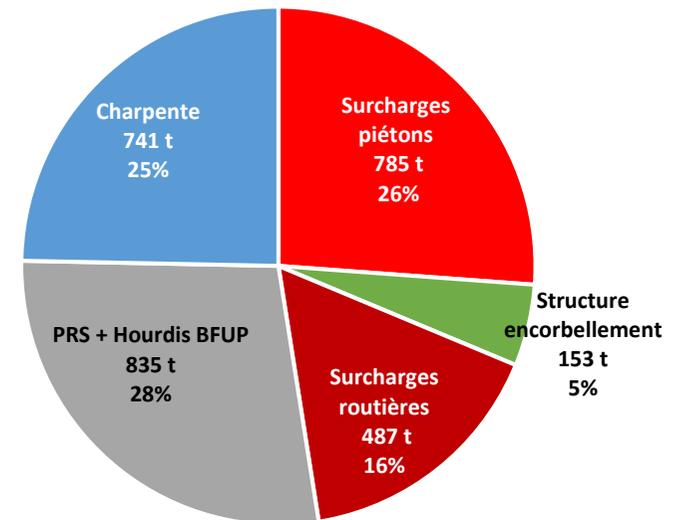
Total : 3 530 t (dont 86% poids propre)

Situation après travaux



Total : 2 063 t (dont 76% poids propre)

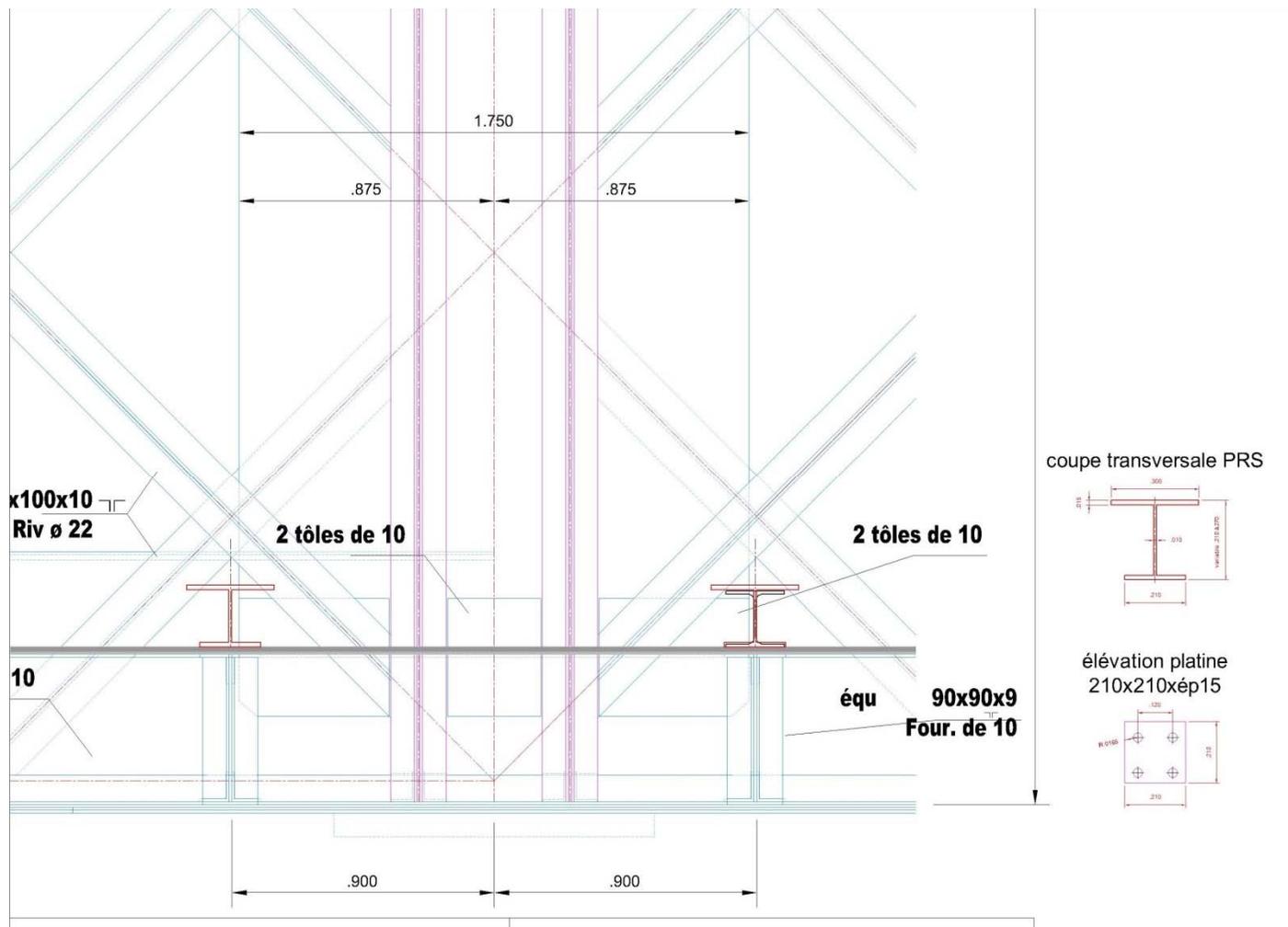
Simulation avec encorbellements piétons/cycles



Total : 3 000 t (dont 58% poids propre)

La solution BFUP

Contrainte géométrique : accroche de l'encorbellement



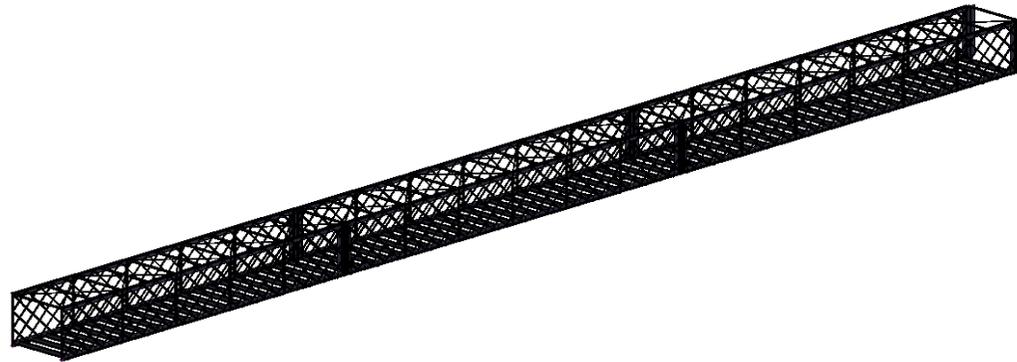
ARTELIA

- Relevés sur site des travées C1-P1 et P1-P2 (avec VERITAS)
- Réalisation d'une modélisation 3D de l'ouvrage sous le logiciel Graitec Advance :
 - Modèle isostatique de la travée P1-P2,
 - Modèle de 3 travées successives afin de tenir compte de la continuité de l'ouvrage.
- Etude de l'encorbellement :
 - Mesure conservatoire pour mise en œuvre ultérieure,
 - Différentes solutions de platelage : BFUP, Bois, Tôle, Caillebotis,
 - Fourniture de l'enveloppe des descentes de charges.
- Etude de remplacement des voutains et pièces de pont :
 - Dalle en béton armé, dalle en BFUP,
 - Pièces de pont en PRS.

Etude de capacité de l'ouvrage à l'état existant

www.arteliagroup.com

- Modélisation 3D de l'ouvrage sous Graitec Advance :
 - Prise en compte de limitation de tonnage des véhicules
 - ✓ Limitation à 12 T (charge répartie équivalente)
 - ✓ Prise en compte d'un camion de 16 T et 12 T (un seul camion sur l'ouvrage)



- Conclusion:
 - Les passages des camions de 12 T sont admissibles.
 - Les passages des camions de 16 T nécessitent des renforcements de la structure.

Etude de l'encorbellement piste cyclable

www.arteliagroup.com

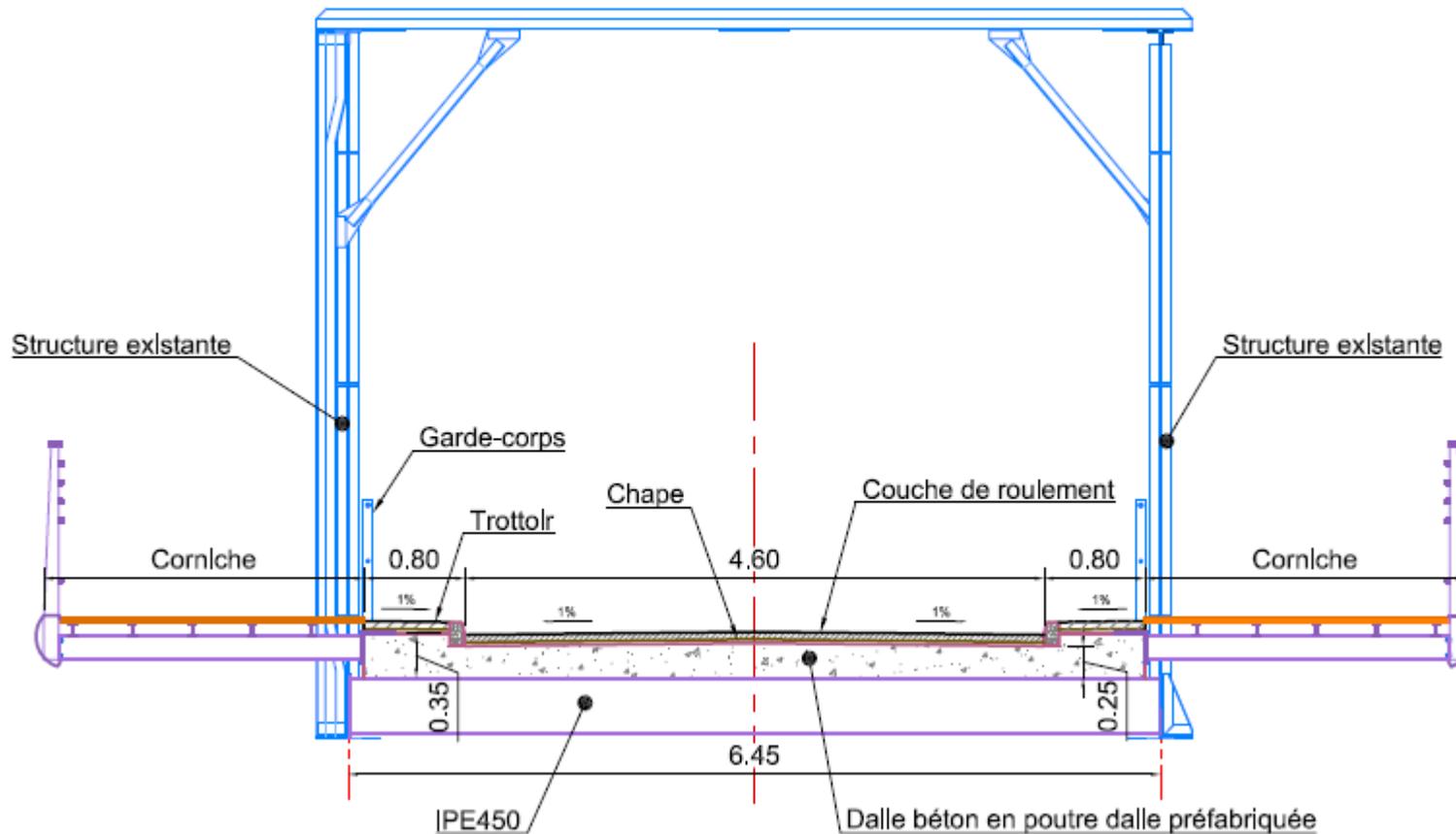
	Garde-corps	Encorbellement
Règlement de calcul	XP P 98-405	Eurocodes
Surcharge d'exploitation	Horizontale : 150 kg/ml Verticale : 100 kg/ml ou 100 kg	500 kg/m ² , chargée sur 2m
Critère de flèche	1/200 en 2 appuis sous Q 1/150 en console sous Q	1/150 en console sous G+Q 1/500 en 2 appuis sous G+Q
Combinaison des charges	ELS : G + 1.2 Q ELU : 1.32 G + 1.6 Q	ELS : G + Q ELU : 1.35 G + 1.5 Q
Matériaux	Acier S235	BFUB Bois Acier S235: tôle et caillebotis

Solution	S1 - BFUB	S2-Bois	S3-Tôle	S4-Caillebotis
Caractéristiques	Platelage e = 4 cm Console HEB 160	Platelage 20x3 cm 3 longerons HEA100 (ou IPE 100) Console HEB 160	Tôle e = 1 cm 3 longerons HEA100 (ou IPE 100) Console HEB 160	Caillebotis, maille 19, section 40x3 mm Console HEB 160
Descentes de charges G (ELS)	N = 0.85 T M = 1.14 Tm	N = 0.42 T M = 0.65 Tm	N = 0.74 T M = 1.04 Tm	N = 0.46 T M = 0.67 Tm
Descentes de charges Q (ELS)	N = 2.02 T H = 0.23 T M = 3.06 Tm	N = 2.02 T H = 0.23 T M = 3.06 Tm	N = 2.02 T H = 0.23 T M = 3.06 Tm	N = 2.02 T H = 0.23 T M = 3.06 Tm

Etude de la nouvelle dalle en béton armé

www.arteliagroup.com

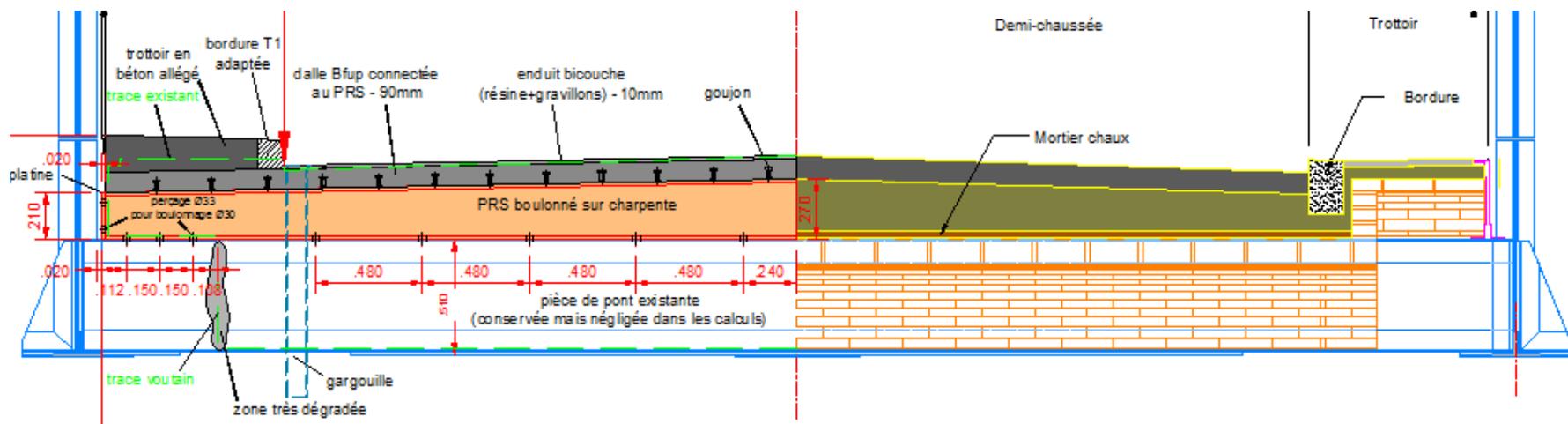
- Dalle en béton armé,
- Mise en œuvre des nouvelles entretoises support de dalle,
- Charge maximale admissible : 12 T (un seul camion),



Etude de la nouvelle dalle en BFUP

www.arteliagroup.com

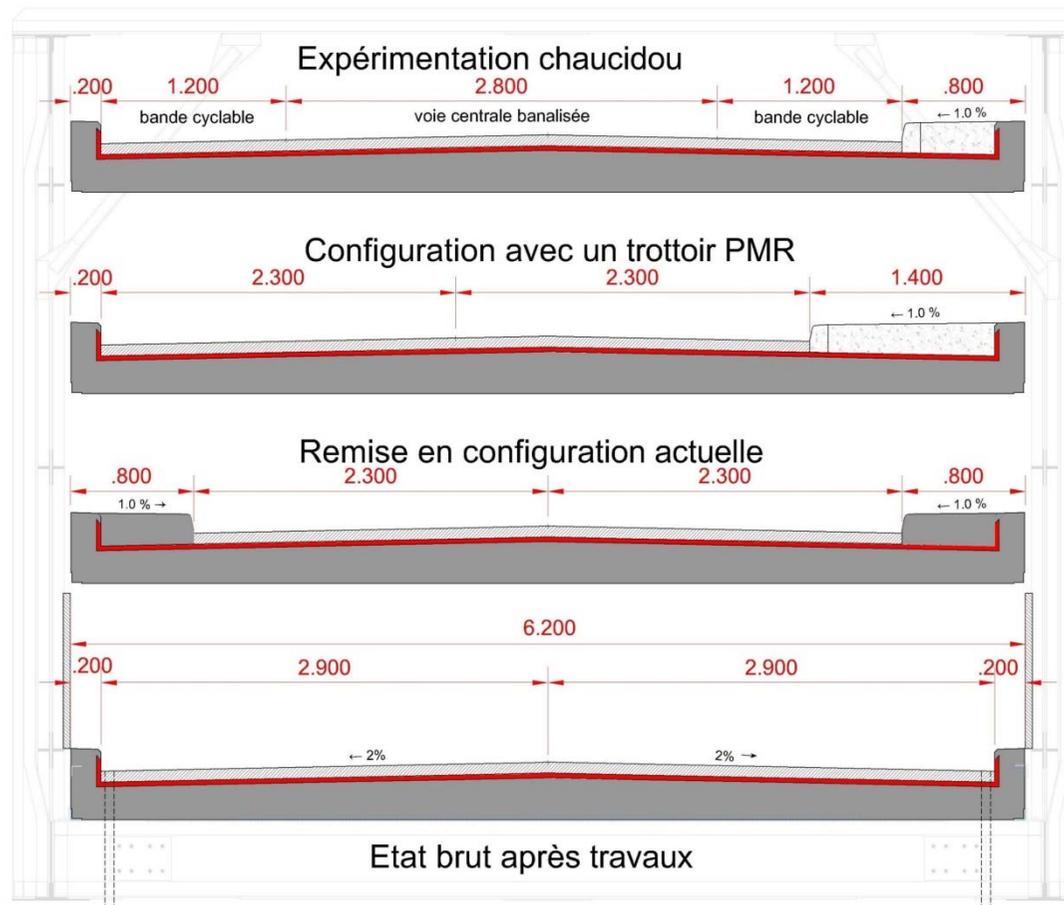
- Dalle en BFUP, épaisseur constante,
- Mise en œuvre des nouvelles entretoises en PRS, section variable,
- Prise en compte de section mixte pour flexion transversale → optimisation de hauteur de l'entretoise,
- Charge admise :
 - 4 camions 3,5 T
 - 2 camions 8 T
 - 2 camions 12 T (cas accidentel)
 - 1 camion de 19 T



Concertation avec Nantes Métropole

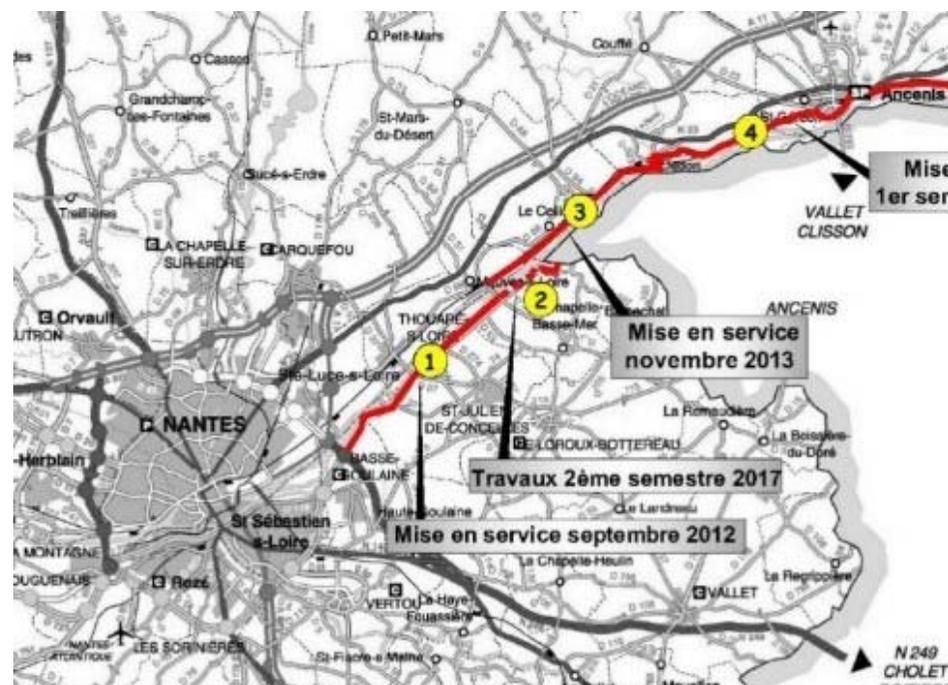
→ Transfert du Grand Pont à Nantes métropole au 01/09/2017

→ Études de différents profils en travers sur ouvrage



Concertation avec Nantes Métropole

- ➔ Pas d'enchaînement des travaux d'encorbellement : financement
- ➔ Réflexion globale dans le cadre des travaux sur le pont du Haut Village (étude de la faisabilité des encorbellements vis-à-vis des charges apportées)
- ➔ Réhabilitation des ponts de Mauves envisagée en 2019 avec continuité de l'itinéraire cyclable « Loire à vélo » sur les ouvrages



L'appel d'offres : critères de choix

- prix : 50 %
- valeur technique : 35 %
 - Pertinence des modalités de déconstruction / reconstruction du hourdis : 15 %
 - Efficacité des dispositions prises pour décapage et protection anticorrosion : 10 %
 - Maîtrise technique du comportement de l'ouvrage : 5 %
 - Qualité de l'ordonnancement et de la planification des travaux : 5 %
- Performances en matière d'insertion professionnelle des publics en difficulté: 5%
- Délai d'exécution : 10 %
 - Minimum : 3 mois, maximum : 7 mois avec 3 mois de préparation
 - 1 mois d'alternat est équivalent à 0,3 mois de coupure
 - Notion de délai équivalent (D coupure + $0,6 D$ alternat) représentant de manière pondérée la gêne à l'utilisateur. Il est inférieur ou égal à 7 mois.

L'appel d'offres : critère délai

Solution de BASE (délais exprimés en mois)						
Prestations du marché	Tranche ferme Grand pont	Tranche Conditionnelle Haut village	Globalité des travaux TF + TC	Modes d'exploitation associés sur la ligne de ponts		
				Grand pont	Pont du haut village	trafic capté
Délai de préparation des travaux	3	1	3	circulation normale	circulation normale	100%
Délai des travaux sous coupure (avec accès à l'île)	7	4	7	Coupure totale	Alternat ponctuel accès à l'île	0% avec accès à l'île
Délai des travaux sous alternat	0	0	0	Alternat pendulaire demi journée	Alternat pendulaire demi journée	70%
délai d'exécution des travaux	10	5	10	Voir article 4 du CCAP pour la définition précise des modes d'exploitation		
Point de départ du délai	OS de la TF *	OS de la TC* *	OS de la TF *			

Offres et passation du marché

- Date de la consultation : 11/08/2016
- 4 offres reçues dont 3 dans l'enveloppe budgétaire
- Marché attribué à l'entreprise BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS REGIONS FRANCE
 - Délai d'exécution de 6 mois avec 3 mois de préparation
 - Montage de l'échafaudage (platelage inférieur) en temps masqué, sans incidence sur la circulation, pendant le dernier mois de la période de préparation
 - Montant du marché : 5,7 M € HT

**Nous sommes à votre
disposition pour répondre à
vos questions**