

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**OUVRAGES D'ART.** VIADUC DE MARTIGUES. PONT DE SAINT-NAZAIRE. VIADUCS DE LA ZORN ET DE WILWISHEIM. PONT CANOT. A406 - VIADUC DE LA SAONE. VIADUC DU HASPELBAECHEL. VIADUC DU LANDBACH. PASSERELLE DU GRAND LARGE. PASSERELLE SUR L'ISLE. PONT A HAUBANS DE RUSSKI. VIADUC DE MILLAU : DIX ANNEES DE MONITORING STRUCTUREL. PONT DE VIDIN-CALAFAT. PONT JACQUES CHABAN-DELMAS

N° 896 AVRIL/MAI 2013



LE PONT RUSSKI PRÈS  
DE VLADIVOSTOK  
EN RUSSIE  
© PHOTO THÉQUE  
FREYSSINET

**LES TRAVAUX**  
**PUBLICS** FÉDÉRATION  
NATIONALE

PASSEZ VOTRE PUBLICITÉ DANS

**TRAVAUX**  
REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**POUR UN MAXIMUM D'IMPACT**  
**SUR LES ACTEURS DE LA PROFESSION DES TRAVAUX PUBLICS**

VADUC DE MILLAU © CSEM

#### ■ NOTRE LECTORAT

**41 %** - Maîtres d'ouvrage, Maîtres d'œuvre, Bureaux d'études, Laboratoires de recherche, Architectes, Conseils généraux et régionaux, Collectivités locales et territoriales.

**5 %** - Enseignement.

**54 %** - Entreprises : Grands groupes / PME.

#### ■ ÉDITEUR



Travaux est une publication de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) qui regroupe 20 Fédérations régionales et 17 syndicats professionnels des travaux publics.

#### ■ DIFFUSION

**9 à 10** numéros par an, de 70 à 100 pages, diffusés par abonnement - distribution dans les manifestations professionnelles, mise à disposition du public dans les institutions officielles.

**Tirage** : 2 000 exemplaires.

**Diffusion internationale** : 1 800 exemplaires.

#### ■ LIGNE ÉDITORIALE

Travaux est un mensuel technique et professionnel qui s'adresse à tous les acteurs de la profession des travaux publics : entreprises, bureaux d'études, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, fabricants de matériel, chercheurs, étudiants, importateurs, exportateurs, etc. Les articles sont rédigés par des directeurs de projets, des ingénieurs et chefs d'opération, ainsi que par des autorités scientifiques. Chaque numéro comporte un éditorial signé par une personnalité et, le plus souvent une interview d'une autre personnalité et un reportage sur une entreprise ou un fournisseur indépendant. Plusieurs pages d'actualités et un calendrier des manifestations viennent compléter l'information.

### NOS TARIFS 2013

Surface	Prix (HT)	Format (L x H)	
2 <sup>e</sup> couverture*	3 390 €	215 x 315 mm	
3 <sup>e</sup> couverture*	2 980 €		
4 <sup>e</sup> couverture*	3 660 €		
Page*	2 650 €	215 x 315 mm	
1/2 page	1 630 €	185 x 121 mm	
1/4 page	1 150 €	90,5 x 121 mm	
Encart	Recto/Verso	2 680 €	Nous consulter
	4 pages	4 110 €	
Publi rédactionnel	1 page	2 690 €	Nous consulter
	2 pages	5 315 €	
Répertoire des fournisseurs	Rubrique	102 €	Par ligne/rubrique/an
	Module	235 €	Par cm/colonne/an

\* Prévoir 5 mm de fond perdu sur les 4 côtés et ne pas mettre de texte ou logo à moins de 15 mm des bords gauche et droite

#### ■ RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES

**Remise des éléments d'impression** : 5 semaines avant parution.

**Documents d'impression acceptés dans les formats** : PDF, JPEG, Photoshop EPS ou TIFF (sans compression) avec une définition de 300 dpi.

**Délai d'annulation** : 2 mois avant parution.

**Frais techniques (PAO)** : à la charge de l'annonceur. Nous pouvons nous charger de la réalisation de votre annonce avec les éléments que vous nous remettrez. Ces travaux sont dans ce cas facturés en sus, avec la première parution. Forfait pour la modification d'une adresse, d'un numéro de téléphone, etc. : 63 € HT.

- **Dégressifs de surface :**
- - 2 à 4 pages : 6 %
- - 5 à 7 pages : 9 %
- - 8 à 10 pages : 12 %
- **Emplacement préférentiel** : + 15 %
- **Dégressifs d'insertions :**
- - 2 à 4 insertions : 3 %
- - 5 à 7 insertions : 6 %
- - 8 à 10 insertions : 9 %
- **Règlement** : 30 jours, à l'ordre de : ESI, 9 rue de Berri - 75008 Paris.
- **Conditions de vente sur demande.**

#### VOTRE CONTACT

**Emmanuelle Hammaoui**, chef de publicité  
9, rue de Berri - 75008 Paris - France  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41 - Email : ehammaoui@fnfp.fr

Directeur de la publication  
Patrick Bernasconi

Directeur délégué  
Rédacteur en chef  
Michel Morgenthaler  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03  
Email : morgenthalerm@fnfp.fr

Comité de rédaction  
Hélène Abel (Ingérop), Jean-Bernard  
Datry (Setec), Michel Duviard (Egis),  
Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad  
Hajar (Eiffage TP), Florent Imberty  
(Razel-Bec), Louis Marracci  
(Bouygues TP), Stéphane Monleau  
(Soletanche Bachy), Jacques  
Robert (Arcadis), Claude Servant  
(Eiffage TP), Philippe Vion (Systra),  
Michel Morgenthaler (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro  
Rédaction  
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente  
Com et Com  
Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copemic - 20 av. Édouard Herriot  
92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22  
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32  
Email : revue-travaux@cometcom.fr

France (10 numéros) : 190 € TTC  
International (10 numéros) : 240 €  
Enseignants (10 numéros) : 75 €  
Étudiants (10 numéros) : 50 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)  
Multi-abonnement : prix dégressifs  
(nous consulter)

Publicité  
Emmanuelle Hammaoui  
9, rue de Berri  
75008 Paris  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41  
Email : ehammaoui@fnfp.fr

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://www.revue-travaux.com)

Réalisation et impression  
Com'1 évidence  
Immeuble Louis Vuitton  
101, avenue des Champs-Élysées  
75008 PARIS  
Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50  
Email : [contact@com1evidence.com](mailto:contact@com1evidence.com)

La revue Travaux s'attache, pour l'information  
de ses lecteurs, à permettre l'expression de  
toutes les opinions scientifiques et techniques.  
Mais les articles sont publiés sous la  
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se  
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée  
contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale  
ou partielle, France et étranger, sous quelque  
forme que ce soit, sont expressément réservés  
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;  
photocopie interdite, même partielle  
(loi du 11 mars 1957, qui constituerait  
contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0116 T 80259  
ISSN 0041-1906

## RELEVER LES DÉFIS TECHNIQUES DU XXI<sup>e</sup> SIÈCLE



© DR

Depuis plusieurs décennies, l'esprit d'innovation, le savoir-faire et la compétitivité ont fait des Français des leaders mondiaux dans tous les métiers du génie civil et des ouvrages d'art en particulier.

Les deux réalisations prestigieuses de ces dix dernières années – le viaduc de Millau et le pont de Rion Antirion – sont les meilleures preuves d'une audace et d'une maîtrise incomparables en matière d'ouvrages d'art.

Mais qu'en sera-t-il demain ?

Si ce numéro de Travaux présente encore quelques exemples de la créativité et de la compétence technique de nos ingénieries et de nos entreprises, la situation actuelle n'en est pas moins préoccupante et inquiétante. En effet, si l'on se réfère aux projets actuels, force est de constater une tendance qui consiste, de plus en plus souvent, à promouvoir des structures classiques, au détriment d'ouvrages plus ambitieux.

Certes la recherche et l'innovation sont toujours au cœur de la compétitivité des grandes entreprises nationales. Mais si elles venaient à disparaître, elles ne seraient plus un facteur de développement de notre réseau scientifique et technique. L'image de la France s'en trouverait, selon toute vraisemblance, durablement ternie, dans un monde en pleine mutation où un certain nombre d'ouvrages remarquables sont déjà conçus et réalisés par des entreprises étrangères, notamment en Asie et au Moyen-Orient.

Or, dans le contexte actuel de forte concurrence et de diminution des grands travaux en France, le chemin de la croissance passera par l'export. Et comment, si ce n'est grâce à nos capacités d'innover dans tous les domaines, à notre valeur ajoutée en termes de qualité, d'environnement... saurons-nous faire face à une concurrence accrue venue de nations qui restent – mais pour combien de temps – moins performantes dans ces domaines.

Parmi les sujets porteurs d'innovation, les matériaux à très hautes performances, comme les BFUP et les aciers à très haute limite d'élasticité qui permettent de réaliser des structures de très grandes portées fortement allégées et d'une grande durabilité, sont en bonne place pour répondre aux très fortes contraintes environnementales de notre époque. Il faut impérativement assurer leur promotion, qu'il s'agisse d'ouvrages neufs ou de réparation de structures anciennes. Ce dernier marché mérite d'ailleurs une attention particulière, tant il est porteur, en Europe, notamment.

Parallèlement, et pour que nos ingénieurs continuent de véhiculer l'image de la France et que l'ingénierie française fasse toujours preuve de vitalité, il est nécessaire que nos jeunes étudiants et ingénieurs s'engagent dans nos métiers extraordinaires et passionnants, faits d'aventures humaines incomparables, que sont ceux du génie civil et, plus largement, des travaux publics.

Enfin, pour donner ce nouvel élan et relever le grand défi technique du début du troisième millénaire, les principaux donneurs d'ordre – les maîtres d'ouvrage comme l'État et les collectivités territoriales – doivent faire tout ce qui est en leur pouvoir pour promouvoir et faciliter le recours aux techniques innovantes répondant le mieux aux principaux enjeux sociétaux actuels que sont le changement climatique et le développement durable.

Seule la conjonction de ces facteurs permettra à notre pays de conserver son rang en matière de travaux publics.

CLAUDE SERVANT  
EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

# OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER  
CONCEVOIR  
CONSTRUIRE

VIAOUC DU LANDBACH © AIRDIASOL ROTHAN



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC  
PATRICE SCHMITT**  
SNCF IGOA, BIEN AU-DELÀ  
DU RÉSEAU FERROVIAIRE

**22 ERSEM : AU CŒUR DU MÉTIER  
DE CONSTRUCTEUR D'OUVRAGES**



30

**LE VIADUC DE MARTIGUES**  
Renforcement



37

**LE PONT DE SAINT-NAZAIRE**  
Pathologie et renforcement



44

**LGV EST EUROPÉEN.  
LES VIADUCS DE LA ZORN  
ET DE WILWISHEIM**



50

**LE PONT CANOT  
À BESANÇON**  
Renforcement et gros entretien  
pour le passage de la 1<sup>re</sup> ligne  
du tramway



59

**A406 -  
LE VIADUC DE LA SAÔNE**  
Contournement Sud de Mâcon



66

**LE VIADUC DU  
HASPELBAECHEL**



74

**CONCEPTION-RÉALISATION  
DU VIADUC DU LANDBACH**  
2<sup>e</sup> phase de la LGV  
Est-Européenne



82

**LA PASSERELLE  
DU GRAND LARGE**  
à Dunkerque



92

**LA PASSERELLE SUR L'ISLE**  
à Boulazac



98

**LE PONT À HAUBANS  
DE RUSSKI**  
à Vladivostok



108

**LE VIADUC DE MILLAU**  
Dix années de monitoring  
structurel



118

**LE PONT DE VIDIN-CALAFAT**  
Une Ingénierie française  
aux confins des Balkans



126

**LE PONT  
JACQUES CHABAN-DELMAS**  
Aux portes de Bordeaux,  
un pont se lève



## INGÉNIERIE FRANÇAISE SUR LE DANUBE

**RÉALISÉ** en Conception-Construction le pont transfrontalier sur le Danube relie les villes de Vidin en Bulgarie et de Calafat en Roumanie. Cet ouvrage en béton précontraint, long de 1791 m, porte sur un même niveau une autoroute 2x2 voies et une voie ferrée. La passe navigable est franchie par trois travées extradosées de 180 m. Ce pont remarquable par sa technique l'est aussi par son contexte particulièrement compliqué : deux pays possédant leurs réglementations propres, intervenants cosmopolites. La maîtrise d'œuvre de ce projet complexe a été assurée par une équipe franco-anglaise : INGEROP (mandataire) et High-Point Rendel. La photo montre le Danube pris en glace par -32°C. (voir article page 118)





# PONT JACQUES CHABAN- DELMAS À BORDEAUX

**LE PONT** Jacques Chaban-Delmas sur la Gironde a été inauguré le 17 mars 2013.

Il relie, à l'aval de Bordeaux, le quartier de Bacalan à celui de Bastide et supporte 4 voies pour les automobiles, 2 voies pour les bus et 2 passerelles pour piétons et cyclistes.

D'une longueur totale de 433 m, l'ouvrage comporte une travée levante de 117 m qui s'élève à 53 m au dessus des eaux de la Garonne, portée par quatre pylônes culminant à 75 m. On prévoit entre 60 et 90 manœuvres par jour.

Dans le cadre d'un contrat de Conception-Construction, la réalisation a été pilotée par GTM Sud-Ouest TP GC, filiale de VINCI Construction France. **(voir article page 126)**



## LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : UN PROJET DE SOCIÉTÉ EN DÉBAT

**La consommation d'énergie participe au réchauffement climatique. L'abaisser exige la participation de tous, d'où le débat en cours sur la transition énergétique. Au programme : efficacité énergétique mais aussi développement des énergies renouvelables, bénéfiques à l'économie.**



La France excelle en énergie hydraulique. Ici, centrale EDF à Mauzac sur la Dordogne.

La transition énergétique, c'est d'abord un débat de janvier à juillet 2013, puis la présentation d'un projet de loi au Parlement en octobre.

Le Président de la République a exprimé sa volonté « d'engager la France dans la transition énergétique, fondée sur la sobriété et l'efficacité ainsi que sur le développement des énergies renouvelables », ce qui passe par un « projet de société que le débat fera émerger. »

La France est déjà tenue de réduire de 20 % ses émissions de gaz à effet de serre (GES), de réaliser 20 % d'économies d'énergie et d'utiliser les énergies renouvelables pour 20 % de sa consommation, d'ici à 2020. De plus, le Président veut abaisser la part d'électricité d'origine nucléaire de 75 % à 50 %, d'ici à 2025.

Le débat devra construire une transition jusqu'à 2050. Il y sera question d'économies d'énergie, d'efficacité, de diversité des sources (mix énergétique), de développement économique et de coûts. Le Conseil national du débat tiendra compte des rencontres régionales dans ses recommandations pour la loi. Un Comité citoyen veille au caractère démocratique du débat.

### → Un marché mondial

Le Syndicat des énergies renouvelables (Ser) a fait labelliser son 14<sup>e</sup> colloque annuel « débat national transition énergétique ». Organisé sur ce thème à Paris, le 7 février, il a témoigné de la difficulté de parler de réduction de consommation, pourtant primordiale

dans le projet. Il révèle aussi que les énergies renouvelables ont acquis une place : « Le marché a pris une dimension mondiale, » a affirmé Jean-Louis Bal, président du Ser, en ouverture de l'événement. « Les énergies nouvelles sont nécessaires pour compléter les énergies traditionnelles dont la capacité de production va atteindre un plateau et à côté de l'efficacité énergétique, » a indiqué Philippe Boisseau, directeur général marketing et services de Total.

« La question énergétique est une question majeure en Europe, a souligné Laurence Tubiana, facilitatrice du débat et membre du comité de pilotage, présidente de l'Institut du développement durable et des relations internationales. Aujourd'hui, nous avons une vision de l'énergie dans l'économie. » À titre d'exemple, l'énergie hydraulique est un domaine où la France excelle avec de grands projets à l'export, a rappelé Henri Proglio, PDG d'EDF.

### → Adapter la demande à la production

Là où les grandes conférences ont échoué à lutter contre le réchauffement climatique - nous sommes actuellement dans le pire des scénarios envisagés - la difficulté des ménages à payer leur facture d'énergie va peut-être y réussir : « Le volet social, la précarité énergétique, va nous sauver, estime Mathieu Orphelin, porte-parole de la Fondation Nicolas Hulot (FNH). La transition énergétique va créer des emplois. »

Néanmoins, « le grand public pense qu'elle fera augmenter la facture d'énergie, constate Laurence Tubiana. Il admet qu'il vaudrait mieux dépenser en France les milliards d'euros d'achat de pétrole. » Le grand public va-t-il accepter un changement de société ? « La transition énergétique, c'est aussi donner aux Français une image d'une moindre consommation et des énergies renouvelables qui soit celle d'un monde où nous vivons bien, explique Virginie Schwarz, directrice générale déléguée de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). La demande d'énergie devra s'adapter à la production et non l'inverse comme aujourd'hui. »

### → Utiliser la chaleur renouvelable

L'Ademe propose deux scénarios pour identifier le travail à faire : une réduction de 20 % de la consommation d'ici à 2030 et de 48 % d'ici à 2050. Elle prévoit la rénovation de 500 000 bâtiments résidentiels par an (150 000 actuellement) et, dans les transports, le développement des services de mobilité. Ces solutions, génératrices d'emplois locaux, nécessitent formations

et stabilité des décisions politiques. « Attention, quand nous parlons d'énergies renouvelables, de ne pas nous focaliser sur l'électricité, pointe Virginie Schwarz. N'oublions pas la chaleur renouvelable. Il vaut mieux utiliser le bois en chauffage qu'en production d'électricité. Nous aurions aussi à gagner à mieux prévoir la production d'énergies renouvelables, son stockage et le pilotage de la demande. »

La question du financement de la transition énergétique - aides aux énergies renouvelables, aux travaux dans l'habitat, etc. - « doit être mise en premier » selon Mathieu Orphelin (FNH) qui a proposé « des taux d'intérêt divisés par deux pour les investissements en énergies renouvelables. »

### → Marché du carbone en berne

La recherche de fonds est d'autant plus cruciale que « le marché du carbone est un socle qui ne fonctionne pas et les industriels attendent que le lapin sorte du chapeau, a jugé Luc Poyer, président du directoire d'Eon France. La France et l'Allemagne comptaient sur la vente de quotas de CO<sub>2</sub> pour investir dans les énergies renouvelables. » ■

## UN OBSERVATOIRE FRANCO-ALLEMAND

L'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables a été créé fin janvier dans le cadre de la transition énergétique et à l'occasion du 50<sup>e</sup> anniversaire du Traité de l'Élysée. « Si cette coopération marche entre la France et l'Allemagne, elle marchera dans le monde entier, » a estimé Peter Altmaier, ministre fédéral allemand de l'environnement, présent aux côtés de Delphine Batho, ministre de l'Écologie, au colloque du Syndicat des énergies renouvelables (cf. ci-contre). « La France et l'Allemagne doivent toutes les deux lutter contre le réchauffement climatique et décarboner, a-t-il ajouté. L'Europe sera le lieu de la transition énergétique avec des innovations utiles partout dans le monde. »

Cette « coopération bilatérale approfondie » n'a rien d'évident. L'Allemagne se dirige vers la sortie du nucléaire, de 25 % à 0 %, décidée en 2011. « Les énergies renouvelables sont plus développées car nous avons plus d'émissions de CO<sub>2</sub>, mais nous devons aussi résoudre leur intégration dans le réseau, » a indiqué M. Altmaier.

## UN PROJET DE LOI EN OCTOBRE

Le débat sur la transition énergétique doit déboucher sur un projet de loi en octobre. Il s'est accompagné de journées portes ouvertes sur des installations énergétiques en entreprises et en collectivités (29-31 mars) et était au centre de la semaine du développement durable (1<sup>er</sup>-7 avril).

Le 25 mai, a lieu la journée citoyenne dans 26 régions. Une centaine de citoyens par région débattent des enjeux de cette transition.

En savoir plus sur [www.transition-energetique.gouv.fr](http://www.transition-energetique.gouv.fr).

## ÉNERGIE : MESURES EN FAVEUR DE LA BAISSÉ DES CONSOMMATIONS



À Saint-Amand-les-Eaux (Nord), 190 logements devraient consommer trois fois moins d'énergie grâce, notamment, à l'isolation et aux pompes à chaleur à absorption gaz.

La proposition de loi du député François Brottes a été définitivement adoptée le 11 mars<sup>(1)</sup>. Elle fait l'objet d'un recours devant le Conseil constitutionnel qui retarde sa promulgation de quelques semaines.

Considérée par son auteur comme le « socle de la fusée transition énergétique »<sup>(2)</sup>, elle contient différentes mesures sur l'énergie. Elle met fin aux zones de développement de l'éolien (ZDE). Censées éviter l'installation dispersée de hauts mâts sur tout le territoire en la restreignant à des secteurs prédéfinis, les ZDE ont finalement été jugées néfastes au développement de cette production renouvelable. Pour la même raison, l'exigence d'un minimum de cinq éoliennes pour constituer un parc éolien a été supprimée. D'autres règles

existent pour maîtriser l'implantation d'éoliennes en respectant le voisinage, le paysage ou les sites naturels dont la procédure des installations classées pour la protection de l'environnement. « Il faut deux fois plus de temps pour sortir un projet éolien en France qu'ailleurs, » a indiqué Marion Lettry, déléguée générale adjointe du Syndicat des énergies renouvelables, chargée de l'éolien<sup>(3)</sup>.

Par ailleurs, la loi Brottes instaure les bonus-malus sur les consommations d'énergie et d'eau. Ainsi, les ménages hyper économes se verront-ils accorder une ristourne sur leur facture alors que les gaspilleurs seront pénalisés financièrement.

### → Fin de l'obligation de parking

Pour dépenser moins d'énergie, encore

faut-il disposer d'un logement qui ne soit pas une passoire. Le Président de la République a présenté des mesures visant à accélérer la rénovation dans l'habitat, le 21 mars, et venant compléter la loi Duflot<sup>(4)</sup>. Une aide de 1 350 euros sera accordée aux particuliers pour des opérations labellisées, ce qui représenterait une enveloppe de 500 millions d'euros puisée dans les investissements d'avenir. Le Président accorde un emprunt à 1 % aux bailleurs sociaux afin de rénover 120 000 logements par an.

Pour accélérer les délais en construction neuve, donc en abaisser le coût, François Hollande accorde une TVA à 5 % aux projets de HLM livrés en 2014. La densification de l'habitat sera autorisée dans les zones tendues avec la suppression de l'obligation d'un parking quand des transports en commun desservent la zone.

Des bureaux pourront être transformés en logements dans des délais plus courts.

### → Aucune nouvelle norme

Enfin, aucune nouvelle norme ne devrait être créée dans les deux ans et les normes existantes seront révisées.

Les mesures annoncées par le Président seront adoptées sans attendre ou par ordonnances et décrets cet été. ■

(1) Loi visant à préparer la transition vers un système énergétique sobre et portant diverses dispositions sur la tarification de l'eau et sur les éoliennes.

(2) Source : *Gazette des communes*, 18 mars 2013.

(3) Colloque du Ser sur l'éolien, 13-14 décembre 2012, Nantes.

(4) Loi n° 2013-61 du 18 janvier 2013 relative à la mobilisation du foncier public en faveur du logement et au renforcement des obligations de production de logement social.

## DEUX PERMIS GÉOTHERMIE HAUTE TEMPÉRATURE

La ministre de l'Écologie a signé le 28 février deux permis exclusifs de recherches de géothermie haute température, c'est-à-dire au-dessus de 150°C.

Le premier a été délivré à Elec-terre de France pour le site Chaudes Aigues-Coren dans le Cantal et la Lozère.

Le second dit de Pau-Tarbes, en Pyrénées-Atlantiques et Hautes-Pyrénées, va à Fonroche Géothermie.

L'eau souterraine à cette température peut servir à produire de l'électricité ou de la chaleur, ou les deux en même temps.

## GESTION ACTIVE D'ÉNERGIE EN VENDÉE

Deux projets contribuant à la diversification des sources d'énergie et aux économies d'énergie vont recevoir 90 millions d'euros des investissements d'avenir, a annoncé le Premier ministre, le 18 mars. Le premier, en Vendée, vise à mieux intégrer la production d'électricité d'origine renouvelable dans le réseau par le développement à l'échelle du département d'une gestion active, automatisée et optimisée de ce réseau. Le second permet d'avancer dans l'utilisation des compteurs intelligents grâce à des tests auprès de 25 000 foyers lyonnais. Il s'agit de deux expérimentations d'ERDF (cf. *Travaux* n°893, page 16).

## LA MÉTHANISATION MIEUX VALORISÉE

Les producteurs de biogaz peuvent désormais valoriser deux fois leur production, sous forme d'électricité et sous forme de biométhane s'il est injecté dans un réseau de gaz naturel. Le décret du 28 février leur accorde le bénéfice des tarifs d'obligation d'achat de l'électricité ainsi produite et des tarifs d'achat garanti pour le biométhane. Jusqu'à présent, ils devaient choisir l'un ou l'autre des dispositifs, ce qui, selon le ministère de l'Écologie, « avait pour conséquence d'empêcher

la réalisation de certains projets de méthanisation ou bien d'en limiter la taille. »

### → Projet en Moselle

Un projet porté par le Syndicat mixte de transport et de traitement des déchets ménagers de Moselle-Est à Morsbach (2 600 hab., Moselle) va en bénéficier. Le Méthavalor valorisera simultanément sa production de biogaz en électricité et chaleur, d'une part, et en biométhane injecté en réseau et utilisé en carburant, d'autre part. ■



Le biogaz produit dans cette unité de traitement de biodéchets du Calaisis (Sevadec) de 2007, fournit déjà électricité, vapeur et eau chaude.

**TRAIN : RÉOUVERTURE D'UNE LIGNE**

La ligne de chemin de fer reliant Pau (Pyrénées-Atlantiques) à Saragosse, à plusieurs dizaines de kilomètres au sud, en Espagne, pourrait rouvrir en 2020\*. La Région Aquitaine et le gouvernement de la province espagnole d'Aragon ont signé un accord en ce sens. Fin mars, une demande de subvention devait être déposée auprès de la Commission européenne. La ligne mise en service en 1928 avait été fermée en 1970 suite à un accident.

\* Source : Gazette des communes.

**CHEMINS DE FER EN RÉGIE**

La Région Provence-Alpes-Côte d'azur va reprendre en régie les Chemins de fer de Provence. La ligne Nice/Digne-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence) était exploitée par une filiale de Veolia Transdev.

**PHOTOVOLTAÏQUE DE PLUS DE 250 KW**

Les candidats qui voudraient répondre à l'appel d'offres du ministère de l'Écologie pour des installations photovoltaïques d'une puissance supérieure à 250 kW peuvent le faire jusqu'au 16 septembre (total soutenu : 400 MW). En ce qui concerne les centrales au sol, l'appel privilégie celles sur sites dégradés (friches, anciennes décharges, etc.). Afin de ne pas désavantager les PME, il n'est pas demandé de garanties bancaires d'exécution lors de la remise des offres.

**LES FINANCES LOCALES VUES PAR LA POSTE**



© M.T.

Les collectivités locales utilisent encore beaucoup leur épargne brute pour investir.

La direction des études de la Banque postale publie sa première note de conjoncture sur les finances locales en 2012.

La banque constate une légère hausse de l'investissement des collectivités territoriales et l'interprète comme un signal positif.

« Elles maintiennent leur effort d'équipement, confirmant ainsi leur place de premier investisseur public avec un montant de 52,6 milliards d'euros, soit 1,6% de plus qu'en 2011, » précise-t-elle dans un communiqué. Elle constate que les collectivités mettent à contribution un niveau élevé d'épargne brute (solde recettes-dépenses de fonctionnement), soit 39 milliards

d'euros, montant toutefois en recul de plus de 2% en 2012 contre une hausse de près de 7% entre 2010 et 2011. Les charges de fonctionnement augmentent seulement de 2,7% contre 3,2% en 2011.

Les recettes courantes suivent le même mouvement avec +1,8% contre +3,9% en 2011, augmentation la plus faible depuis 2001. L'encours de dette s'établit à 161 milliards d'euros, soit 2,6% de plus qu'en 2011.

La Banque postale nuance ce tableau général en constatant que les collectivités locales sont différemment armées pour « poursuivre leur mission de service public tout en préservant leur équilibre financier. » ■

**DEUX JOURNÉES PORTES OUVERTES DANS LES CARRIÈRES**

Plus de 150 carrières dans 19 régions vont ouvrir leurs portes au public le vendredi 31 mai et le samedi 1<sup>er</sup> juin, à l'initiative de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem). La filière, qui compte 3 500 PME en France à côté de groupes mondiaux, emploie un million de personnes localement. Les carrières et matériaux seront spécialement représentés cette année par les granulats, le béton, la chaux, le plâtre, les pierres de construction (granit, pierre calcaire, grès, etc.) et les minéraux industriels. Les visites sont organisées dans des sites en exploitation ou déjà réaménagés



© UNICEM

Les enfants sont une cible privilégiée de ces journées qu'ils soient scolaires ou qu'ils viennent avec leurs parents.

après leur fermeture et transformés en réserves naturelles. Les scolaires fréquentent assidument ces journées. Ils pourront, sous certai-

nes conditions, conduire des engins. Pour connaître les sites visitables, aller sur [www.unicem.fr](http://www.unicem.fr), rubrique dossiers puis journées portes ouvertes. ■

**RECHERCHE EN TRANSPORTS : BILAN DU PREDIT 4**



© VINCI

Un colloque sur les infrastructures terrestres et l'environnement rassemble les acteurs du Predit 4, les 26 et 27 septembre.

C'est l'heure du bilan pour le 4<sup>e</sup> programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres, autrement dit le Predit 2008-2012. L'évaluation, qui a commencé en interne en 2012, se double d'un rapport externe indépendant à paraître à la mi-avril. Les trois ministères à l'origine du Predit - Recherche, Écologie et Redressement productif - envisagent un Predit 5.

Le carrefour final du n°4 a lieu du 7 au 9 octobre à Paris (à l'ex-Bourse, Paris IX<sup>e</sup>).

Chercheurs, opérateurs, industriels, collectivités ayant participé à ce 4<sup>e</sup> programme vont faire le point dans une dizaine de réunions de mars à septembre. Par exemple, se tient un colloque sur le train à l'horizon 2020 les 18 et 19 juin à Valenciennes (Nord) et un sur les infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages à Sophia-Antipolis (Alpes-Maritimes), les 26 et 27 septembre.

En savoir plus sur : [www.predit.prd.fr](http://www.predit.prd.fr) ou sur : <http://tempsdubilan-predit4.org> ■

## PONT RECONSTRUIT À BESANÇON



À gauche, l'élargissement du quai Veil Picard par encorbellement. Au fond, le pont Battant en chantier.

### Le pont Battant de Besançon (Doubs) a été démolé et entièrement reconstruit pour s'adapter au passage du futur tramway.

Le pont Battant à Besançon (Doubs) est en travaux pour le passage du tramway qui devrait être mis en service fin 2014. Contrairement aux autres ponts de la ville - Canot, de Gaulle et celui de la République en cours de remaniement, de consolidation ou de reprise d'étanchéité - celui-ci a été complètement démolé puis reconstruit. C'est désormais un ouvrage métallique dont les 18 blocs de charpente de Victor Buyck Steel Construction ont été posés en février. Une fois assemblés par soudeuse et les réseaux intégrés à l'intérieur, ces "colis" recevront la dalle servant de plate-forme aux rails puis ceux-ci, en mai-juin. Les travaux, commencés en mars 2012, doivent prendre fin au courant de l'été.

Le pont aura pris 7 m de large pour atteindre 24 m et offrir au tramway la courbe dont il a besoin pour passer d'une rive à l'autre. Il accueillera piétons, cyclistes et tramway. Les autres véhicules n'y seront pas admis sauf exception (pompiers, etc.).

Il sera plus plat qu'avant, le tram ne pouvant supporter l'ancien profil en long "bombé". « Le projet de tramway n'a fait qu'avancer d'une dizaine d'années la reprise de l'ouvrage qui montrait des signes de fatigue, » convient Hervé Girardot, chargé de projet infrastructures à la mission tramway à la Communauté d'agglomération du Grand Besançon, maître d'ouvrage.

#### → Ouvrage souvent remanié

Le petit pont de Vesontio en est à sa

nième transformation. À l'époque romaine, il ne mesure que 4 m de large et son tablier est porté par cinq arches. Longtemps seul passage au-dessus du Doubs dans le centre-ville, il fait l'objet de nombreuses réparations et modifications, et abrite même bâtisses et échoppes. Il souffre pendant la Seconde guerre mondiale mais est reconstruit provisoirement, puis réhabilité, et finalement repose sur trois arches. En 1953, il est détruit volontairement et reconstruit dans la version en béton précontraint récente. En effet, ses piles gênent la navigation et freinent les eaux fougueuses du Doubs qui, alors, viennent

inonder les berges. Aujourd'hui, ses 60 m de long extra-plats dégagent la vue sur les quais. Il a été conçu par les architectes Reichen et Robert associés\* et coûtera de l'ordre de 10 millions d'euros HT.

#### → Élargissement du quai

Le quai Veil Picard que le tramway empruntera après le pont est en cours d'élargissement lui aussi, ses 10 m actuels étant trop justes pour accueillir les piétons et les cyclistes dans de bonnes conditions. Des consoles métalliques (Castel Fromaget) implantées en bordure haute du quai forment un encorbellement de 3,50 m qui leur sera réservé. ■

\* Maîtrise d'œuvre : Egis Rail et Egis JMI.

### 8<sup>e</sup> GRAND PRIX DE L'INGÉNIEURIE

Les candidats au 8<sup>e</sup> grand prix de l'ingénierie ont jusqu'au 4 juin pour se manifester. Ce prix est organisé par trois ministères - Égalité des territoires, Écologie et Redressement productif - en partenariat avec Syntec-Ingénierie, fédération des professionnels de l'ingénierie, et en association avec le groupe Moniteur. Pour y participer : s'adresser au ministère de l'Écologie.

Seront récompensés la qualité de conception et de conduite d'un projet exceptionnel par ses innovations et sa créativité, qu'il s'agisse d'infrastructures, de construction, de systèmes complexes, produits et process industriels, en France ou à l'international.

Le grand prix, le prix aménagement-construction et le prix industrie seront remis le 7 novembre au Cnit à la Défense (Hautes-de-Seine).

### L'ACIER AU SECOURS DE LA DENSIFICATION

Construiracon organise son 11<sup>e</sup> concours national d'idées autour du thème "urbanité suspendue". L'organisme de promotion de la construction en acier invite les étudiants d'architecture y compris d'intérieur, d'ingénieurs et de designers, en France, à réfléchir à comment densifier l'habitat en se greffant sur le tissu urbain existant en utilisant les propriétés de ce matériau. »

Cette année, 120 équipes ont exprimé le désir d'y participer. Le 26 avril, un pré-jury sélectionnera les 12 équipes qui défendront leur projet le 30 mai, en vue de gagner un prix.

## TRAMWAY : COMMENT GAGNER SIX MOIS

Le tramway de Besançon (Doubs) sera mis en service fin 2014 au lieu de mi-2015, le chambardement de la ville ayant fait des mécontents. L'avancement du planning a pu être absorbé par les intervenants grâce à l'organisation du projet prévue au départ. Le tramway est réalisé par deux groupements à qui est attribué un secteur : à l'ouest, des entreprises locales issues du groupe Bouygues et, à l'est, celles du groupe Vinci associées à Bonnefoy, entreprise franc-comtoise de travaux publics. Chaque groupement couvre un secteur mais pour tous les lots : voies ferrées, aménagement de surface, voies de circulation et piétonne, éclairage public, mobilier urbain, etc. Ainsi la coordination entre lots est-elle facilitée et ceux-ci peuvent-ils progresser à différents rythmes selon les endroits. De plus, un bureau d'études est chargé de l'ordonnancement, du pilotage et de la coordination (OPC). La période des essais a été réduite. Les travaux de dévoiement des réseaux ont débuté très tôt, à l'automne 2011, afin que d'éventuels retards ne viennent pas perturber les travaux d'infrastructures.

## EUROVIA FUSIONNE SON FERROVIAIRE

Les activités de construction et de maintenance ferroviaires d'Eurovia (groupe Vinci) ont été regroupées dans l'entreprise ETF en début d'année.

Auparavant, et après le rachat de Vossloh Infrastructures Services en 2008, le pôle ferroviaire se déclinait en deux marques : Eurovia Travaux Ferroviaires et Européenne de Travaux Ferroviaires.

## RAMERY BÂTIMENT DANS LE SUD-OUEST

Ramery Bâtiment a signé le rachat de Snegso, entreprise du secteur présente à Bordeaux et à Bayonne, fin 2012. Ainsi la société, jusqu'ici implantée dans le Nord/Pas-de-Calais, élargit-elle son rayon d'action à la façade atlantique. Snegso était une filiale de Fougerolle avant sa reprise par son dirigeant et un actionnaire financier en 2000.

## REPRISE PARTIELLE DE HEAVEN CLIMBER

GTS a repris une partie des activités du groupe Heaven Climber (HC) en redressement judiciaire. La filiale du groupe NGE, spécialisée dans les travaux géotechniques et de sécurisation, conserve 153 emplois et hérite d'un tiers des affaires de HC ainsi que de matériel. Elle intègre, par cette opération des techniques comme les pieux à tarière creuse ou le Jet grouting, système utilisant un jet de fluide à haute énergie cinétique pour déstructurer un terrain et le mélanger à un coulis. HC est présent en France, notamment dans le Sud, et à l'étranger.

## AMÉNAGEMENTS PIÉTONS ET CYCLABLES À MELUN SÉNART



La passerelle au-dessus de l'autoroute A5 sera mise en service fin 2014.

Melun Sénart (Seine-et-Marne) veut favoriser le cheminement piéton et cyclable sur son territoire. La ville nouvelle du sud-est de Paris est traversée par de grands axes routiers qui sont autant d'obstacles pour les modes doux de déplacement. Afin de renforcer la

fonction de centre-ville du Carré Sénart, Zac accueillant logements, activités, universités, et commerces, l'Établissement public d'aménagement (EPA) Sénart a décidé en 2009 quatre aménagements dont une passerelle au-dessus de l'autoroute A5 qui verra le jour fin 2014. La maîtrise d'œuvre de l'ensemble du projet est confiée à l'architecte Stéphane Mikaelian et à Egis Route avec Egis JMI.

La voirie située entre le centre commercial et son extension sera accompagnée d'un trottoir de 2,40 m.

La piste le long de la RD 50 entre le Carré et Savigny-le-Temple, une des communes de la ville nouvelle, de 2 m de large et provisoire, sera réaménagée pour plus de confort. Une passerelle reliera la gare RER de Lieusaint-Moissy au Carré Sénart, séparés de 2 km,

distance facilement praticable en vélo ou à pied par les personnes qui travaillent dans le centre et veulent aller prendre le train.

### → Structure métallique

La future passerelle, dont les travaux commencent fin 2013, mesure 103 m de long en deux travées avec une pile reposant sur la terre-plein central de l'autoroute<sup>(1)</sup>. Sa largeur utile est de 4 m. Elle est constituée d'une structure métallique en deux poutres principales de 1,80 m de haut, dont la forme permet de jouer le rôle de garde-corps sur 1,20 m.

L'ensemble de ces aménagements coûte 4,476 millions d'euros HT. La région en finance plus de 64 % et l'EPA Sénart, près de 35 %.

(1) Selon l'avant-projet de 2009.

## ROUEN : PONT MATHILDE ROUVERT EN 2014

Le 29 octobre 2012, le pont Mathilde de Rouen (Seine-Maritime) est gravement déformé par l'incendie d'un camion citerne accompagné d'une propagation au quai occupé par des forains. Il est interdit de circulation.

Suite à de nombreuses expertises, le Conseil général, propriétaire de l'ouvrage, décide finalement en janvier de changer la section de travée métallique, endommagée sur 40 m. Le nom de l'entreprise qui refera le pont sera connu en juin et les travaux devraient débuter en septembre pour une remise en service à l'été 2014. Le chantier est estimé à 8 millions d'euros. Le pont Mathilde date de 1979. Conçu par l'architecte



Une travée du pont a brûlé suite à un accident en octobre 2012.

Philippe Fraleux, il mesure 585 m de long et se compose de cinq parties successives franchissant la Seine et l'île Lacroix.

Plusieurs techniques sont mises en œuvre : sur le béton précontraint reposent des travées métalliques au-dessus du fleuve et des tabliers en béton armé.

L'incendie a eu lieu à l'endroit de poutres métalliques.

Les experts ont constaté que les mouvements de glissement sur les appuis n'étaient plus conformes à la conception initiale et que les déformations des poutres et de la dalle étaient supérieures aux normes.

## A8 : UN TUNNEL CONTRE LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

En 2016, un tunnel remplacera une chaussée de l'autoroute A8 entre Nice-Est et Monaco (site de la Borne Romaine).

Ce tronçon d'un kilomètre est soumis depuis l'origine, au milieu des années 1970, à des glissements de terrain. Aucune solution n'a pu être trouvée pour y mettre fin. L'axe est construit sur un sol karstique très faillé recouvert

d'argiles. L'eau remonte au niveau argileux et provoque des glissements. À l'avenir, la chaussée sens Italie-France va être abandonnée.

Ce sens passera sur l'actuelle chaussée France-Italie qui, elle, devient tunnel. Les travaux s'élèvent à 60 millions d'euros financés par Vinci Autoroutes (réseau Escota).

L'ouvrage souterrain de 800 m de long

et 12 m de diamètre sera creusé au second semestre.

Actuellement, ont lieu les tirs d'excavation de ses têtes.

Les travaux préparatoires - pistes d'accès, protection du chantier contre les éboulements, plate-forme de travail, terrassement des têtes - se terminent cet été. Ils sont confiés au groupe NGE-Guintoli.



La chaussée actuelle du sens Italie-France de ce tronçon d'autoroute va être abandonnée.

## FIN DU CHANTIER DE LA TOUR CARPE DIEM À LA DÉFENSE

La tour Carpe Diem arrive au terme de sa construction après trois ans de travaux. Située à la Défense, côté Courbevoie (Hauts-de-Seine), elle remplace l'immeuble France Télécom des années 1980 bâti au bord de la grande esplanade et démolie en 2010.

Elle aura coûté de l'ordre de 270 millions d'euros.

Aviva Investors Real Estate France qui s'intéresse à l'immeuble dès 2007, s'allie pour l'investissement avec l'assureur Predica en 2010.

La maîtrise d'ouvrage déléguée est confiée à Hines France. Le projet, signé de l'agence d'architecte new-yorkaise Robert A. M. Stern spécialisée dans les bâtiments écologiques, est réalisé par le groupe d'entreprises mené par Spie SCGPM/Besix.

La tour de 38 étages et 162 m de haut est reconnaissable par sa façade.

Deux côtés présentent une surface en pointes de diamant. Les deux autres - façade parvis et celle donnant sur Courbevoie à l'arrière - sont lisses.

### → 2 certifications

Elle vise les certifications environne-



La nouvelle tour prend la place de l'ancien immeuble France Télécom.

mentales HQE complétée par la Leed américaine (niveau Gold) y compris en phase chantier.

Cela suppose notamment la gestion efficace des procédés d'entretien et de maintenance, des économies d'eau et d'énergie. Les eaux de pluie sont

récupérées pour l'arrosage des deux jardins : en rez-de-chaussée et en terrasse. Le parking abrite également 121 places vélos avec douches et vestiaires pour les pratiquants, 115 pour les motos et des bornes de recharge électrique. ■

## INNOVATIONS SUR LE SALON BAUMA



Le prix de l'innovation du salon international du BTP et de l'exploitation minière a attiré 160 candidatures dont 15 concourent en finale.

Cinq matériels innovants recevront un prix le 14 avril à Bauma, salon international du BTP et de l'exploitation minière qui se tient à Munich (Allemagne) du 15 au 21 avril (3 300 exposants). L'événement, organisé par trois associations allemandes représentant le secteur (VDMA, HDB et BBS), a attiré 160 candidatures réparties en cinq catégories - machine, composants, procédés de construction/édifices, recherche et design. Pour chacune d'elles, trois ont déjà été retenues pour

la dernière sélection du prix de l'innovation.

### → Tranchée étroite

Voici deux exemples de matériel qui concourent pour le 14 avril. Dans la catégorie design, Kaiser met en avant une pelle excavatrice marchante mobile destinée aux terrains peu accessibles. La cabine a été adaptée aux besoins du conducteur. De nouvelles manettes facilitent la commande des réglages hydrauliques et des différents outils portés. Cette pelle araignée est en compétition avec un chargeur compact Liebherr et un marteau piqueur électrique Wacker Neuson.

Dans la catégorie machine, Herrenknecht présente un système de percement semi-sans tranchée pour la pose de canalisations près de la surface du sol. Le tunnelier creuse le sol qu'une fraiseuse extrait directement. Selon son constructeur, la technique évite le rabattement de nappe. Elle ne mobilise qu'une largeur réduite, ce qui abaisserait les dédommagements à la traversée de terres cultivées.

En concurrence avec lui pour le prix : un foreur mobile souterrain (mobile tunnel miner) pour l'exploitation minière de Aker Wirth et la production automatisée d'un mur multicouches en béton de Sommer Anlagentechnik.

### → Battage de pieux moins bruyant

Hors concours mais exposées sur le salon, signalons d'autres innovations comme le marteau-piqueur de 9,5 kg d'Atlas Copco dont le mécanisme de frappe, flottant dans le carter, diminue les vibrations transmises à l'utilisateur. Chez Abi, un vibreur variable vise à atténuer le bruit du battage de pieux. Il est équipé d'une pince qui combine des profils en doubles Z et U, et des tubes. Ce grippage limite les oscillations bruyantes. Enfin, le fabricant de chargeuses Kramer Allrad et la société de services Zeppelin présenteront un système de géolocalisation d'engins de chantier. En temps réel, pourront être connus les heures de fonctionnement, l'état du moteur et les délais de maintenance. Ce dispositif protégerait également du vol. ■

## MOTEURS DIESEL MOINS POLLUANTS

À la fin du deuxième trimestre, les moteurs diesel Hatz, utilisés dans les équipements de construction, les compresseurs, etc., répondront tous aux normes Tier 4 visant à réduire les émissions nocives d'échappement des moteurs non routiers. Ces normes qui s'appliquaient aux puissances de 0 à 19 kW, valent également depuis cette année pour les 19-56 kW.

Certaines séries du fabricant voient leurs cycles d'essais modifiés, comme les B, D et G.

D'autres, comme les L, les M et les moteurs à régime variable, seront dotés de filtres à particules (L43C et M43).

Pendant la période transitoire d'adaptation, certains modèles non équipés peuvent encore être vendus mais dans les petites puissances seulement.



Moteur diesel 4L43C équipé d'un filtre à particules.

## CAPTEUR CONNECTÉ GSM

Le Viva GS14 vient compléter la gamme de systèmes de mesure à capteurs GNSS pour la topographie de Leica. Compact, résistant, il comporte deux systèmes de communication : une antenne GSM et une radio UHF. Il fournit des mesures très précises même en environnement difficile.



Le Viva GS14 s'utilise seul ou combiné à une station.

## TENSION DE SERRAGE

Le Traxx M2-B contrôle par ultrasons l'état d'un assemblage vissé sur une grue, un engin de travaux ou un ouvrage d'art. Il mesure l'élongation de la vis ou du goujon sous l'effet de la tension induite par le serrage. Le traducteur ultrasonore posé sur la tête de la vis transforme l'impulsion électrique fournie par le système de mesures en une onde qui se propage dans le matériau. Puis il recueille cette onde une fois réfléchi sur le fond de la vis et affaibli, qu'il transforme alors en un signal électrique traité par le système. Ces opérations se répètent des centaines de fois par seconde. L'appareil électronique indique la tension jusqu'à atteindre le niveau souhaité.



Appareil de serrage par ultrasons.

## RÉSERVOIR ÉTANCHE

Le bassin de Vallendry en Savoie sert à stocker les eaux d'orage ou de crues l'été et de réserve d'eau pour les canons à neige en hiver. Ce réservoir de 20 000 m<sup>3</sup> fuyait depuis deux ans. Le Sivom de Landry et Peisey-Nancroix sur le territoire duquel il se trouve, en a confié la rénovation à Cris BTP, maître d'œuvre. Alpes Geos Etanchéité a utilisé la membrane TPO Flagon Geop en 2 mm d'épaisseur et en vert.



Le bassin alimente les canons à neige l'hiver.

## SITE D'ESSAIS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN PLEINE MER



Le navire câblé René Descartes de France Télécom part dérouler le câble électrique sur le fond marin.

Une zone de 1 km<sup>2</sup> au large du Croisic (Loire-Atlantique) est mise à disposition des industriels qui voudraient tester des éoliennes offshore et des récupérateurs d'énergie de la houle. Sem-Rev, c'est son nom, située à 12 km des côtes au-dessus d'un fond marin à 35-45 m, est interdite à la navigation. Elle est sous concession pour vingt ans (2012-2032) entre l'École centrale de Nantes (ECN) et le domaine public maritime de l'État. Utilisée par le Laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique (Lheea), unité mixte de recherche du CNRS sous tutelle de l'ECN, elle vient compléter ses moyens de simulation numérique et expérimentaux (bassin de production de houle et soufflerie).

Le projet démarré en 2007 en est au stade de la signature des contrats avec des industriels dont certains démarrent

comme celui avec Winflo pour une éolienne flottante. D'ores et déjà, des données sur les vagues, le courant et la météo ont été recueillies.

### → Rochers à contourner

Le raccordement de Sem-Rev au réseau électrique à terre est effectif depuis l'automne 2012. Quelque 24 km de câbles ont été nécessaires notamment à cause de bancs rocheux à contourner. Une partie est ensoufflée sous 1,50 m de sable et de vase afin de ne pas entraver la pêche et une autre a été installée en forage dirigé. Le câble abrite de la fibre optique pour les mesures, le contrôle et le pilotage à distance, et la connexion au réseau ERDF. La zone d'essais en mer peut accueillir quatre machines en même temps jusqu'à un total de 8 MW. Elle coûte 15 millions d'euros dont 10 pour le câblage, financés dans le cadre d'un contrat de projets État-région 2007-

2013 et avec le Conseil général, le CNRS, le fonds européen Feder et l'Ademe. En plus, l'association France énergies marines apporte 3 millions d'euros pour le hub de connexion sous-marine, sorte de "multiprise". C'est l'un des sites coordonnés par l'association qui rassemble des industriels, des structures académiques et scientifiques dont l'ECN, et des collectivités territoriales dans le but de mettre sur le marché des technologies adaptées.

### → Temps gagné pour les industriels

Il a fallu près de trois ans pour obtenir l'autorisation d'occuper une telle zone. C'est autant de démarches que les industriels n'auront pas à entreprendre. Outre Sem-Rev, l'ECN participe à des structures contribuant à une meilleure connaissance des énergies marines renouvelables, en particulier l'EMC2, pôle industriel sur les équipements de production (fondations offshore et sous-station électrique) et l'Institut de recherche technologique Jules Verne (bassin numérique, hydrodynamique marine, allègement des structures flottantes par des matériaux composites). ■



Préparation du câble pour la partie posée en forage dirigé.

## APPEL À MANIFESTATION D'INTÉRÊT EN ÉNERGIES MARINES

L'appel à manifestation d'intérêt (AMI) sur les énergies marines renouvelables se clôt en juillet 2013 pour les projets demandant une aide de l'État et un an plus tard, pour ceux faisant appel à un investissement privé. Les démonstrateurs pourraient se concrétiser d'ici à 2016. Cet AMI concerne l'hydrolien marin (courants), l'houlomoteur (vagues), l'éolien flottant et l'énergie thermique marine (différentiel de température eau de surface/eau profonde).

Il a pour objectif d'accompagner les innovations afin de consolider la filière des énergies marines renouvelables. Il se décline sous deux axes. L'axe des démonstrateurs de recherche se limite à l'énergie des vagues. Les réponses à l'AMI doivent correspondre à des unités de grande puissance capables de produire 1 000 MWh par an et représentatives des conditions réelles d'exploitation. Les démonstrateurs seront testés en priorité sur le site

Sem-Rev au large du Croisic (voir article ci-dessus).

### → Préparation des fonds marins

L'axe des briques technologiques s'applique aux quatre énergies marines renouvelables citées plus haut. Ces briques sont communes à leur déploiement à grande échelle. Il peut s'agir d'une nouvelle méthode d'installation, de moyens qui facilitent le raccordement électrique, de la préparation des fonds marins, etc. ■



NOTRE TALENT  
DÉFIE LE TEMPS

STRRES

Le STRRES est le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures.

Il rassemble 60 entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Le STRRES est adhérent de la FNTP.

Retrouvez sur [www.strres.org](http://www.strres.org) :

Les guides



Pour mieux connaître et appliquer les règles de l'art en matière de réparation et de renforcement d'ouvrages, **consultez ou téléchargez gratuitement 12 guides techniques du STRRES.**

Les entreprises



Trouver une entreprise **par domaine d'activité, par région et/ou par identification professionnelle.**

SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX  
DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES  
3 rue de Berri 75008 Paris • Tél. : 01 44 13 31 82 • Fax : 01 44 13 32 44 •  
[strres@strres.org](mailto:strres@strres.org) • [www.strres.org](http://www.strres.org)

ABS • ADS ouvrages d'art • AFGC • AGTP • ARREBA • ATS • AXIMUM • BASF CC France • BAUDIN-CHATEAUNEUF • BEC • BEKAERT France • BERTHOLD SA • BTPS • CHANTIERS MODERNES SUD • COFEX Ile-de-France • COFEX LITTORAL • COFEX REGIONS • COLAS RAIL • CTICM • CROBAM • DEMATHIEU ET BARD • ECM • EGM TNC • EIFFAGE TP/ Département GCN • EIFFEL CONSTRUCTION MÉTALLIQUE • ENTREPRISE BONNET • ETANDEX • ETPO • EUROVIA BÉTON • FAURE SILVA • FAYAT • HOLCIM • FREYSSINET France • FREYSSINET International & Cie • GAUTHIER • GTS/Département ELITE • LAFARGE • LETESSIER • MAPEI • MCCF • NOUVETRA • OUEST ACRO SA • PAGEL SAS • PAREXLENKO • PERRIER SAS • POA • RAZEL • RCA • RENOFORS • RESINA • RESIREP • SNC • RICHERT • SAINT GOBAIN WEBER France • SARL ROMOEUFF • SEFI-INTRAFOR • SIKA • SIRCO TRAVAUX SPÉCIAUX • SNCTP • SOFRARES • SOLETANCHE BACHY • SOTEM • SORREBA TECHNOLOGIE • SOTRAIB EAU • SPIE BATIGNOLLES TECHNOLOGIES • STPL • TEMSOL • TSV • VIA PONTIS • VINCI CONSTRUCTION France • VSL France

STRRES



NOTRE TALENT  
DÉFIE LE TEMPS

## ANNUAIRE DE LA FILIÈRE HYDROÉLECTRIQUE

France Hydro Electricité et le Syndicat des énergies renouvelables (Ser) ont publié en février l'*Annuaire des fabricants et fournisseurs de la filière hydroélectrique française*.

Il comprend, outre les coordonnées des entreprises du secteur, des chiffres sur la filière aujourd'hui et à l'avenir, une description de cette production, la réglementation et les aspects environnementaux qui la concernent, ainsi

que les organismes de formation spécifiques. L'eau fournit 67 TWh électriques par an, ce qui représente 13 % de l'électricité produite en France. Il est prévu qu'elle en produise 3 de plus d'ici à 2020, par optimisation et création de nouvelles centrales hydrauliques. France Hydro Electricité représente la petite hydroélectricité. Ses adhérents exploitent plus de 500 centrales pour une puissance

installée de l'ordre de 4 300 MW, soit 17 % de la capacité totale hydroélectrique en France (25 400 MW).

Le Ser vient également de publier son annuaire des énergies renouvelables, et ceux de la filière française de la géothermie (novembre 2012) et de l'éolien (décembre 2012).

[www.enr.fr](http://www.enr.fr) et  
[www.france-hydro-electricite.fr](http://www.france-hydro-electricite.fr) ■



## LAITIERS SIDÉRURGIQUES EN TECHNIQUE ROUTIÈRE

Ce guide sur les laitiers sidérurgiques paru dans la collection « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière » contribue à promouvoir l'utilisation de ces déchets dans des conditions maîtrisées. Il est destiné à plusieurs publics.

Aux producteurs de ces laitiers, il pré-

cise les conditions de leur valorisation sans mettre en danger la santé humaine ni nuire à l'environnement. Les services de l'État y puiseront les critères de valorisation dans le cadre des arrêtés préfectoraux d'autorisation des installations sidérurgiques.

Maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et

entreprises y trouveront les prescriptions et exigences opérationnelles relatives à l'acceptabilité environnementale de ces matériaux. Ils pourront ainsi mieux élaborer les cahiers des charges et analyser les variantes qui leur sont proposées dans les appels d'offres.

[www.setra.equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr) ■



## GUIDE DE L'EAU, 42<sup>e</sup> ÉDITION

L'édition 2013 du *Guide de l'eau* fournit 20 000 noms et coordonnées d'acteurs dans le domaine de l'eau, publics et privés.

Publié sur papier, il est aussi accessible

à tout acheteur sur internet : ([www.guide-eau.com](http://www.guide-eau.com)). Ce qui autorise des recherches ciblées. Ce service est mis à jour quotidiennement.

L'ouvrage de plus de mille pages rap-

pelle le cadre institutionnel de l'eau à l'international autant que localement. Il comprend également des données en provenance des agences de l'eau.

[www.editions-johanet.com](http://www.editions-johanet.com) ■



## ÉROSION DES GÉOMATÉRIAUX

Stéphane Bonelli a rassemblé dans l'ouvrage *Érosion des géomatériaux* les dernières contributions de physiciens et de mécaniciens sur l'érosion interne et de surface. Il se concentre sur l'érosion dans le domaine des ou-

vrages hydrauliques (barrages, digues, etc.) et des milieux naturels (éoliens, fluviaux, côtiers).

Chaque phénomène est abordé : filtration, suffusion, érosion de contact, érosion de conduit, transport sédimen-

taire ou par charriage. Les contributions alternent une vision phénoménologique basée sur le fait expérimental et une description pouvant servir de cadre à la modélisation.

[www.lavoisier.fr](http://www.lavoisier.fr) ■



## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 29 AU 31 MAI

Salon de la prescription et congrès des économistes de la construction (Untec)

Lieu : Lyon (Cité internationale)  
www.salondelaprescription.com

#### • 3 AU 7 JUIN

World Dredging Congress (congrès mondial du dragage)

Lieu : Bruxelles  
www.wodcon.org

#### • 3 AU 7 JUIN

Congrès européen de géothermie

Lieu : Pise (Italie)  
www.geothermalcongress2013.eu

#### • 18 AU 20 JUIN

Ville sans tranchée

Lieu : Cergy-Pontoise (Val-d'Oise)  
www.fstt.org

#### • 19 ET 20 JUIN

Parkopolis (rencontres stationnement et mobilité)

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.parkopolis.salons.groupemoniteur.fr

### FORMATIONS

#### • 4 JUIN

Inspection des grands ouvrages d'art en béton précontraint

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 11 AU 13 JUIN

Maintenance des ouvrages à risques particuliers (centrales, barrages, réservoirs GNL, centres de stockage)

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 12 ET 13 JUIN

Réparation des ouvrages d'art : direction des travaux

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 18 ET 19 JUIN

Ponts ferroviaires, conception et réalisation

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 20 ET 21 JUIN

Ponts en maçonnerie : élargissement

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 26 AU 28 JUIN

Calcul et conception des assemblages (NF EN 1993-1-8)

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 1<sup>er</sup> ET 2 JUILLET

Énergies renouvelables dans le bâtiment : technologies, applications, coûts

Lieu : Toulouse  
www.formations.lemoniteur.fr

### NOMINATIONS

#### ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE :

La Présidence de la République a nommé Pierre Dubreuil directeur général de l'Institut national de recherches archéologiques préventives.

#### BANQUE POSTALE :

Chantal Lory préside désormais le directoire de la banque.

#### CDC :

Stéphane Kaeita est le nouveau directeur du développement des territoires et du réseau de

la Caisse des dépôts et consignations.

#### ÉCOLOGIE :

Gilles Ricono remplace Pierre Cunéo à la direction du cabinet de la ministre.

#### OFFICE NATIONALE DES FORÊTS :

Jeau-Yves Caullet a été nommé président du conseil d'administration de l'ONF par le Président de la République. Il succède à Hervé Gaymard.

#### POLITIQUE DE L'EAU :

Le Premier ministre a demandé à Michel Lesage, député des Côtes-d'Armor, d'évaluer la politique de l'eau afin de la réorienter pour la période de gestion de la directive cadre sur l'eau 2016-2021.

#### SPIE NUCLÉAIRE :

Olivier Domergue passe de la direction génie climatique de Spie Île-de-France-Nord-Ouest à la direction générale adjointe de Spie Nucléaire.



Membre du Réseau Congés Intermédiaires BTP

## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 200 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **265 000 salariés**.

### Nos coordonnées :

#### • Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

#### • Par Internet : [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)

#### • Par fax : 01.70.38.08.00

#### • Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.07.77

#### • Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00



# SNCF IGOA

## BIEN AU-DELÀ DU RÉSEAU FERROVIAIRE

AU SEIN DE LA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE DE LA SNCF - INFRA INGÉNIERIE - L'ACTIVITÉ DU DÉPARTEMENT DES OUVRAGES D'ART IGOA VA BIEN AU-DELÀ DE LA SEULE GESTION, SOUS TOUTES SES FORMES, DES OUVRAGES AÉRIENS ET SOUTERRAINS DU RÉSEAU FERROVIAIRE EXISTANT. **ENTRETIEN AVEC PATRICE SCHMITT, CHEF DE DÉPARTEMENT À LA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE DE LA SNCF, DÉPARTEMENT DES OUVRAGES D'ART.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1  
© MARC MONTAGNON

EN RÉALITÉ, CE DÉPARTEMENT TECHNIQUE DE LA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE CONSTITUE LE PÔLE DE SPÉCIALITÉ DE LA SNCF POUR LE DOMAINE DU GÉNIE CIVIL ET DE LA CONSTRUCTION (PONTS, VIADUCS, TUNNELS, SOUTÈNEMENTS), CE QUE NOUS EXPLIQUE PATRICE SCHMITT, CHEF DU DÉPARTEMENT DES OUVRAGES D'ART À LA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE DE LA SNCF. À CE TITRE, IGOA MET SON SAVOIR-FAIRE À LA DISPOSITION DES DIFFÉRENTS ACTEURS DE LA CONSTRUCTION (MAÎTRES D'OUVRAGE, MAÎTRES D'ŒUVRE, ENTREPRISES...) POUR LES ACCOMPAGNER DE LA CONCEPTION À LA MAINTENANCE DE LEURS OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL.



© SNCF-IGOA  
2



© SNCF-IGOA  
3

## En ce qui concerne le réseau ferré proprement dit, quelles sont les grands chiffres qui permettent de caractériser l'ampleur des ouvrages de toutes natures qui dépendent du service des ouvrages d'art ?

La SNCF gère, pour le compte de RFF, un ensemble de 30 000 km de voies sur lesquelles figurent 50 000 ponts et 1 500 tunnels, dont un certain nombre ont été construits au 19<sup>e</sup> siècle. En parallèle, elle réalise constamment des investissements sur le réseau, soit pour renouveler des ouvrages qui sont en fin de vie, soit pour en construire de nouveaux, sur les lignes nouvelles mais aussi sur les voies existantes dans le cadre d'aménagements spécifiques.

Sur le plan juridique, la propriété du réseau est à RFF qui en délègue la gestion opérationnelle à SNCF Infra. Dans le domaine des ouvrages d'art, cela signifie que RFF se dote d'enveloppes budgétaires pour réaliser des travaux dont l'exécution est majoritairement déléguée à SNCF Infra Ingénierie.

## Comment la gestion de ce patrimoine est-elle organisée ?

Elle est assurée d'abord par les personnels des établissements « maintenance » qui assurent la surveillance et l'entretien courants des ouvrages - de l'ordre de 200 personnes - répartis sur l'ensemble du territoire, auxquelles s'ajoutent les quelques 300 personnes de la Direction de l'Ingénierie organisée en deux grands services :  
→ Une direction régionale avec des bureaux disséminés dans 20 pôles (PRI) sur tout le territoire, qui a en charge les inspections détaillées de ces ouvrages, l'évaluation des besoins

## TROIS MÉTIERS

**IGOA exerce trois métiers qui se complètent et s'enrichissent mutuellement, appliqués principalement aux domaines des ponts, des viaducs, des tunnels, des soutènements, voire à tous types de structures complexes : les études de structures de génie civil, le suivi de chantiers et l'expertise-diagnostic.**

de travaux et la conduite des projets simples ;

→ Une direction technique avec un département de 130 personnes dédié aux ouvrages d'art (IGOA), basé à Saint-Denis, assurant les expertises particulières sur le réseau ferré lorsque des cas complexes sortent du domaine de compétence des pôles régionaux ainsi que la définition de la politique générale de maintenance pour ses aspects techniques. IGOA dispose par ailleurs d'un bureau d'études intervenant sur de

nombreux projets d'investissement de tous types : principalement des ponts-rails, mais aussi des ponts-routes, des murs de soutènement, des tunnels, voire des gares. C'est ainsi, par exemple, qu'IGOA a assuré la conception et suit la réalisation de la nouvelle gare Transilien « Rosa Park », en construction à Paris sur les lignes de Paris-Est mais aussi participe à celle de Montpellier Saint-Roch qui est en restructuration forte ou encore a mené le chantier du pôle multimodal de Massy-Palaiseau.

## Au sein de cette direction technique, comment les travaux sont-ils répartis tant au niveau des gares que des ouvrages d'art et des infrastructures ?

Au sein d'IGOA, outre le bureau d'études de structures que je viens d'évoquer, on trouve une division « expertise & travaux » qui a plusieurs missions : la première est d'expertiser les structures sur le réseau, la deuxième est de suivre la réalisation des chantiers neufs sous tous ses aspects, de la maîtrise d'œuvre travaux au contrôle extérieur de construction. La quatrième division est chargée de l'ensemble des métiers liés aux tunnels : inspection et expertise, conception et définition des travaux à réaliser, mesure et surveillance

des gabarits, tout particulièrement pour les tunnels anciens, avec des outils spécialisés développés par la division, et sécurisation, en particulier vis-à-vis des risques incendie. Le but de cette organisation est de constituer un ensemble cohérent de compétences, capable de gérer toutes les questions liées aux ouvrages d'art qui impactent le réseau ferroviaire, que ce soit aussi bien au niveau des investissements que de la surveillance et de la maintenance. C'est un choix d'entreprise qui assure une certaine fertilisation des équipes : les concepteurs d'ouvrages neufs disposent du retour d'expérience de la maintenance et, inversement, ceux qui expertisent des ouvrages existants peuvent prendre l'avis d'un ingénieur structure pour évaluer, par exemple, la gravité d'un défaut, au-delà de la seule inspection visuelle.

## Qui sont vos clients et que leur proposez-vous ?

Nos premiers clients sont RFF et la SNCF. Mais un tiers de notre activité s'exerce en direction de clients extérieurs dont les activités ne relèvent pas du domaine ferroviaire : sociétés d'autoroute, conseils généraux, communautés urbaines, entreprises de BTP, notamment, de construction métallique. Nous réalisons pour eux en premier lieu des prestations de maîtrise d'œuvre dans le domaine du neuf ou et de la réparation. Pour vous donner quelques exemples de chantiers en cours : renforcement du viaduc en béton précontraint de Bellegarde sur l'A40, remplacement de la suspension du pont sur la Loire à Ancenis, confortement du pont Daydé permettant d'accéder à l'île Seguin à Boulogne Billancourt, ▷

**1- Patrice Schmitt, chef du Département des ouvrages d'art à la Direction de l'Ingénierie de la SNCF.**

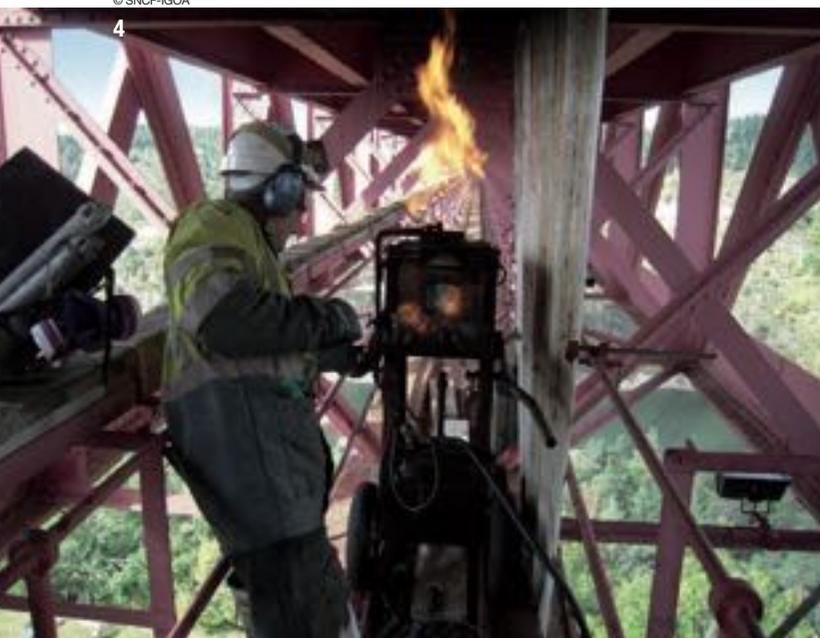
**2- Pont sur la Maine à Angers.**

**3- Viaduc en maçonnerie de Cize-Bolozon sur Bourg-Bellegarde.**

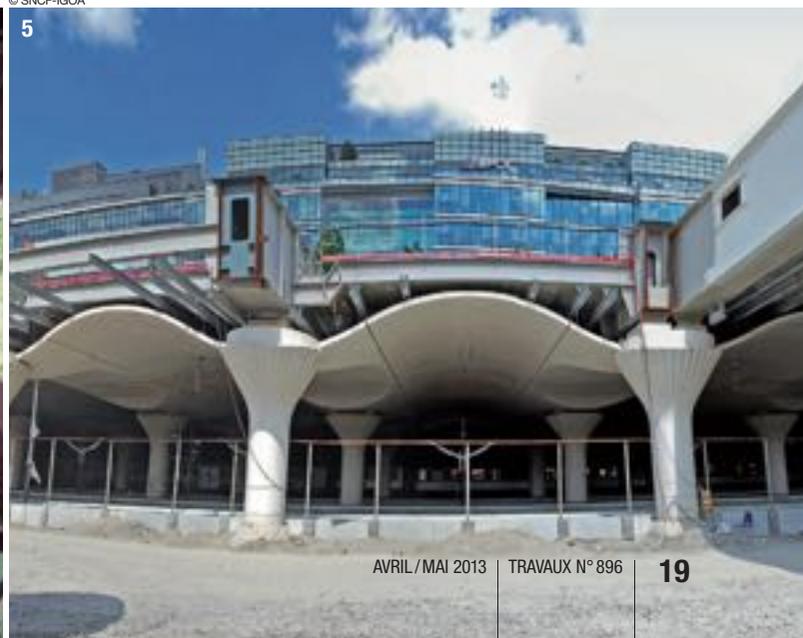
**4- Équipes de réparation de ponts métalliques de la SNCF sur le viaduc de Garabit.**

**5- Austerlitz-Tolbiac-Masséna : couverture des voies.**

© SNCF-IGOA



© SNCF-IGOA



creusement du tunnel de Talant pour la LINO à Dijon.

La particularité de notre département est, en plus de la conduite de projets neufs, d'être aussi gestionnaire d'infrastructure c'est-à-dire de conserver, lorsqu'on construit des ouvrages, le souci permanent de leur durabilité et de leur maintenabilité sur le long terme.

Il y a un autre type d'activité que nous proposons à ces maîtres d'ouvrages dans le domaine des investissements : le contrôle de fabrication, en particulier des structures métalliques. Nous avons effectué, en usine et sur site, le contrôle des structures métalliques du viaduc de Millau, celui de la passerelle Simone de Beauvoir à Paris, d'ouvrages de la route des Tamarins à La Réunion, de plusieurs viaducs de l'A89 ou encore du pont levant Bacalan-Bastide à Bordeaux. C'est une activité que nous pensons être vitale pour garantir une bonne qualité de réalisation des ouvrages, en appui à l'action du maître d'œuvre. Notre avantage à IGOA est que les personnes qui l'exercent disposent d'un regard global sur les ouvrages incluant aussi bien le contrôle de la structure elle-même que celui de son fonctionnement dans le temps, avec une bonne évaluation des points critiques pour la durabilité et de la gravité des problèmes qui peuvent se poser.

Nous assurons par ailleurs de nombreuses inspections et des diagnostics d'ouvrages : par exemple, nous sommes titulaires de marchés de surveillance pluriannuelle des ponts de Normandie et de Tancarville, des viaducs autoroutiers du Boulonnais (SANEF) ou encore des tunnels du Conseil Général de la Savoie.

## LA RECHERCHE AUSSI

**IGOA est impliqué dans des actions de recherche-développement pour la SNCF, pour RFF ainsi que dans le cadre de projets européens ou nationaux.**

**Principaux axes d'intérêt :**

- Sécurité de l'infrastructure et optimisation de la maintenance,
- Amélioration de la disponibilité du réseau,
- Maîtrise des interfaces ouvrage/remblai, ouvrage/voie,
- Connaissance du comportement des ouvrages,
- Développement de structures nouvelles.

**Ces sujets de recherche donnent lieu au développement d'outils tels que prototypes de ponts provisoires, engin de relevé de gabarits en tunnel, radar spécialisé dans l'auscultation des maçonneries.**

Les compétences que nous avons développées pour le système ferroviaire dans le domaine du diagnostic de structures sont en effet appréciées par d'autres maîtres d'ouvrage et peuvent être appliquées à d'autres constructions que des ouvrages ferroviaires.

Nous effectuons enfin des études d'exécution essentiellement de structures métalliques pour des industriels, tels que Baudin-Châteauneuf (viaduc de la Maine à Angers) ou Eiffage Constructions Métalliques, avec par exemple plusieurs ouvrages de la LGV Rhin-Rhône pour laquelle nous n'étions pas maître d'œuvre. Nous avons notamment accompagné Eiffage Construction Métallique et Eiffage TP, pour les études d'exécution du viaduc de la Savoureuse, près de Belfort, qui est l'ouvrage phare de la ligne. Nous avons proposé une variante de conception par rapport à l'offre de base du maître d'œuvre, qui a été retenue et nous avons assuré les études d'exécution qui ont suivi.

**Depuis que la SNCF n'est plus maître d'œuvre des lignes à grande vitesse du TGV pour des raisons réglementaires, comment avez-vous compensé cette perte d'activité ?**

Oui, dans le domaine ferroviaire, il y a eu effectivement une volonté de RFF d'externaliser les missions de maîtrise d'œuvre. Sur le réseau exploité, le recours à d'autres maîtres d'œuvre reste encore difficile et marginal en raison de l'interface existant entre l'exploitation et les chantiers.

**6- Carottage sur cordes par les équipes d'IGOA sur les viaducs du Boulonnais (réseau SANEF).**

**7- Remplacement de tablier du pont-rails de Culoz sur le Rhône.**

La première étape pour RFF a donc été d'externaliser la maîtrise d'œuvre sur les LGV, ce qui a été le cas, partiellement, sur la LGV Est, et en totalité sur la LGV Rhin-Rhône.

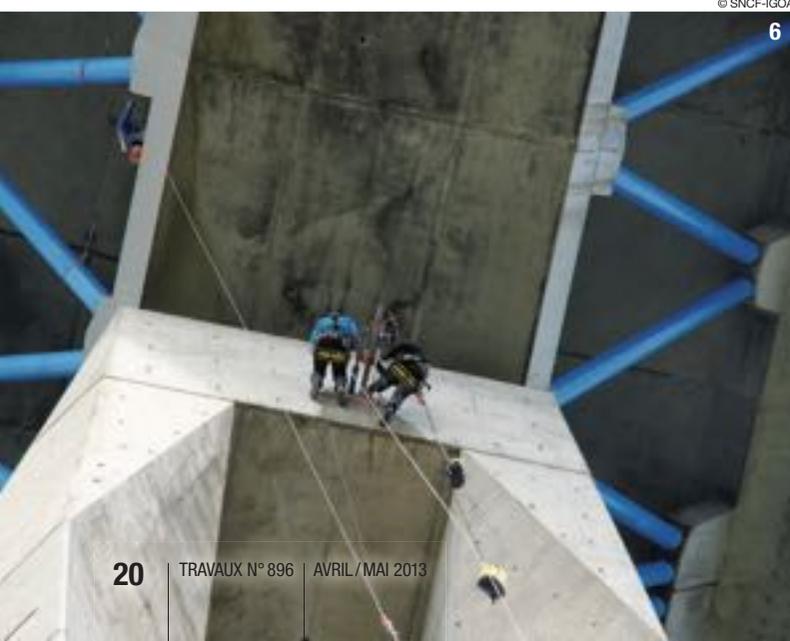
Sur les dernières lignes nouvelles qui sont toutes en PPP, la procédure est encore différente. La SNCF, en tant que futur exploitant, n'a pas eu la liberté d'intégrer un groupement candidat aux PPP pour des raisons de juste concurrence. Ce qui explique la naissance de filiales telles qu'Inexia, qui a fusionné avec Systra depuis... qui permettent à la SNCF de participer très indirectement à l'aventure.

**Le savoir-faire d'IGOA bénéficie-t-il également à d'autres domaines que celui des projets et de l'expertise ?**

IGOA participe activement, par exemple aux travaux de normalisation, française ou européenne. Dans le domaine de la certification, nous collaborons avec l'AFNOR pour la certification des centrales à béton au même titre, par exemple, que le CEBTP, mais aussi pour celle des carrières de granulats. Depuis que la SNCF a renoncé il y a une dizaine d'années à son système d'agrément propre dans le domaine des centrales à béton, elle a bâti avec l'AFNOR une certification cohérente qui s'applique désormais à la plupart des maîtres d'ouvrage. Nous sommes partie prenante de cette certification et, à ce titre, nous effectuons nous-mêmes une partie des audits et nous participons à la rédaction des normes.

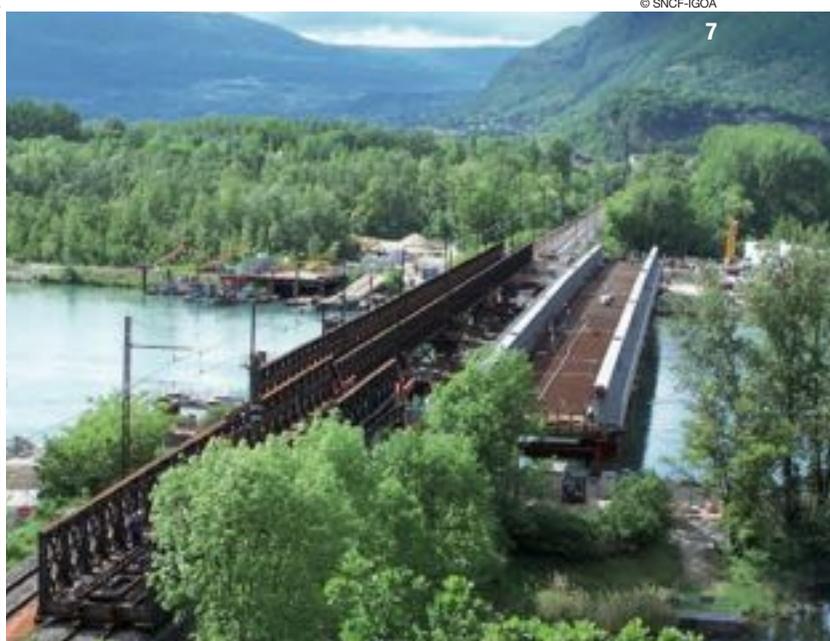
**Quels sont actuellement vos chantiers phares ?**

Après avoir été longtemps ceux des LGV, cela ne l'est plus pour les raisons



© SNCF-IGOA

6



© SNCF-IGOA

7

que je viens d'évoquer, depuis la création des PPP, qui nous ont écarté de ce secteur d'activité, même si, en deuxième étape, nous sommes encore présents d'une autre manière sur SEA (Sud Europe Atlantique), et sur BPL (Bretagne - Pays de Loire). Sur la ligne SEA, nous réalisons des prestations de contrôle d'études et de contrôle de fabrication.

Sur BPL, nous travaillons aux côtés du bureau d'études interne de Eiffage TP sur 3 viaducs mixtes, pour lesquels nous avons d'ailleurs proposé une conception nouvelle qui n'avait jamais été mise en œuvre précédemment.

### Des conceptions nouvelles de quelle nature ?

Nous avons proposé au groupement de pousser au bout le concept de la structure mixte en créant des ouvrages à double fonctionnement mixte. Schématiquement, dans la structure classique d'un ouvrage mixte acier-béton, le hourdis supérieur en béton et les poutres métalliques sont très efficaces dans les zones de moment positif en travée, puisque le béton du hourdis participe en compression. Sur appui, il est tendu, non participant, et tout l'effort doit être repris par la poutre métallique seule. L'idée était d'inverser le fonctionnement sur appui en réalisant aussi un hourdis inférieur en béton, destiné à reprendre la compression et ainsi obtenir un comportement mixte sur appui comme en travée. Cela conduit à des économies assez substantielles par réduction importante des quantités d'acier nécessaires.

Cette variante améliore aussi notamment le fonctionnement des structures, qui sont plus rigides.

## QUATRE DIVISIONS

**IGOA est organisé en 4 divisions : deux d'études de structures de tous types, une consacrée à l'expertise et au suivi de travaux et une dernière spécifique aux tunnels. Le département entretient également une cellule spécialisée dans la recherche et les calculs spéciaux.**

Trois ouvrages de ce type vont être réalisés par Eiffage TP sur BPL : les viaducs du Vicoin, de la Courbe et du Quartier, entre Le Mans et Rennes.

### À coté de cet élargissement de compétences, comment le réseau ferroviaire existant se situe-t-il au niveau de votre activité ?

Notre domaine principal, aujourd'hui, c'est encore de loin le réseau exploité et, notamment, le défi que constitue la maintenance et le renouvellement de tous les ouvrages qui sont en fin de vie.

C'est un travail continu qui va s'étaler sur des dizaines d'années avec, en priorité numéro 1, certains tunnels qui sont préoccupants ainsi que les viaducs métalliques anciens qui souffrent évidemment de la corrosion mais surtout de la fatigue.

Il existe une politique préventive de

remplacement de ces ouvrages sur les lignes les plus importantes, qui monte en puissance auprès de RFF et conduira à engager de nombreuses opérations dans les années à venir.

### Quels types d'ouvrages cette politique concerne-t-elle ?

Il s'agit de pérenniser l'ensemble des viaducs, petits et grands, qui conditionnent le bon fonctionnement d'une ligne. Cela concerne des ouvrages qui posent aujourd'hui des questions d'obsolescence, mais en poseront à terme de sécurité et dont la défaillance peut avoir un impact fort sur la régularité du trafic.

Lorsqu'on découvre des fissures sur ces ouvrages, on est contraint à prendre immédiatement des mesures d'exploitation telles que la réduction de la vitesse, l'interdiction de certains trains, voire la fermeture temporaire de la ligne le temps des réparations. Sur des lignes très exploitées, une intervention, ne serait-ce que de quelques jours, est très lourde de conséquences.

### Le domaine de maintenance et de renouvellement est-il ainsi en train de devenir l'activité principale du département des ouvrages d'art d'Infra Ingénierie ?

Il l'a toujours été mais l'est aujourd'hui plus qu'hier. Dans les années 80, on a

pris conscience de la nécessité de renouveler un certain nombre d'ouvrages sur le réseau existant avec des programmes qui ont conduit à un premier volant d'opérations. Aujourd'hui, on est plutôt dans une phase d'accélération puisque les ouvrages restant à traiter sont nombreux par rapport à ce qui a pu être renouvelé dans les 30 dernières années et ils ont encore vieilli.

On dénombre plus de 1 000 grands ouvrages métalliques, c'est-à-dire avec des portées supérieures à 20 mètres, construits avant 1945, pour lesquels la question du renouvellement se pose, dès lors que l'avenir de la ligne est assuré.

La difficulté de ce type d'opération est très différente de celle de la construction d'un ouvrage neuf : en particulier, le phasage des travaux doit être en général adapté à la nécessité de maintenir la ligne en circulation.

Les méthodes aussi sont spécifiques. Ce type d'opération est difficile à engager parce qu'il demande des arbitrages entre les besoins de travaux et la gêne que cela occasionne à l'exploitation, alors que la demande pour faire passer les trains avec le plus de régularité possible est grande. Ces travaux représentent aujourd'hui notre activité principale avec un défi sur les zones denses, notamment la région parisienne qui souffre de sous-investissements depuis trop longtemps : le réseau n'est pas tout à fait adapté à l'augmentation du trafic actuelle et encore moins à celle attendue dans les années à venir. Les besoins sont très importants et touchent tant le domaine du génie civil que celui des équipements ferroviaires. □

### 8- Augmentation du débit du tunnel des Roches de Condrieu.

### 9- Construction de la gare de Wuhan en Chine.

© SNCF-IGOA



© SNCF-IGOA





1

© ERSEM

# ERSEM AU CŒUR DU MÉTIER DE CONSTRUCTEUR D'OUVRAGES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

ERSEM EST UNE TPE DE TROIS PERSONNES DONT LA COMPÉTENCE EST UNANIMEMENT RECONNUE PAR LES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS EN FRANCE MAIS AUSSI À L'ÉTRANGER. ELLE INTERVIENT DANS LE DOMAINE TRÈS POINTU DES ÉQUIPAGES MOBILES MAIS AUSSI DANS CELUI, TOUT AUSSI EXIGEANT, DES OUTILS COFFRAGES MÉTALLIQUES SUR MESURE ET DES CELLULES DE PRÉFABRICATION DE VOUSOIRS. UN CERCLE TRÈS FERMÉ DONT LES RÉALISATIONS SONT REMARQUABLES, AU VRAI SENS DU TERME.

**J**ean-Marc Serre, son directeur, nous présente les spécificités de son entreprise tout en nous faisant partager sa passion : celle de la construction des Ouvrages d'art.

Ersem est installée à Toulouse et a été créée en 1978 par Pierre Cozzi, ingé-

nier sup-aéro, à la grande époque de la construction des ponts coulés en place par encorbellements successifs, afin de répondre aux besoins des majors français en matière de procédés de constructions.

Ersem est arrivée sur le marché à cette époque et a immédiatement développé

**1 - L'équipage de première phase du chantier du viaduc des Trois Bassins à la Réunion en 2006.**

cette technologie française axée prioritairement sur la productivité et la sécurité des chantiers.

Lorsque Pierre Cozzi prend sa retraite en 1999, il vend la société à Etic, une entreprise spécialisée dans les appareils d'appui, les joints de chaussée et détentrice du procédé de précon-

traite BBR. Ersem apportait à Etic son savoir-faire et son expérience en matière d'équipements provisoires liés à la réalisation des grands ouvrages, une opportunité qui va lui permettre de répondre aux demandes de ses clients à l'international.

C'est à cette époque que Jean-Marc Serre rejoint Ersem après 12 ans passés chez Spie-Batignolles, où il est alors responsable technique du chantier de l'extension de l'aéroport de Madère (Portugal).

L'entreprise est alors dirigée par André Heusse, recruté dix ans auparavant par Pierre Cozzi auquel il avait succédé lors de son départ à la retraite.

André Heusse prend à son tour sa retraite en 2004 et Jean-Marc Serre lui succède en tant que directeur alors que Ersem fait toujours partie de Etic. En 2011, Etic vend l'ensemble de ses filiales à Demathieu & Bard à l'exception d'Ersem que Jean-Marc Serre décide alors de reprendre.

Nouveau départ à l'issue d'un parcours classique pour cet ingénieur

des travaux publics diplômé du CHE-BAP qui a commencé sa carrière au bureau d'études « ouvrages d'art » de Spie Batignolles, puis l'a poursuivi sur des chantiers de travaux maritimes et de génie civil, notamment d'ouvrages d'art.

**2- Vue d'ensemble du viaduc des Trois Bassins en 2006.**

**3- Chantier du viaduc de la Grande Ravine à La Réunion en 2008.**

**4- Les équipages pour la réalisation du viaduc de la Grande Ravine.**

**5- Viaduc de Saint-Paul à La Réunion en 2006.**

## AU CŒUR DU MÉTIER : LE CHANTIER

La boucle est donc partiellement bouclée en 2011 et l'aventure se poursuit avec une ligne directrice, presque une philosophie à laquelle Ersem n'a jamais dérogé depuis sa création : être un partenaire complet des entreprises en leur proposant des équipements élaborés, conçus pour répondre de la manière la plus efficace aux impératifs d'un projet ainsi qu'à ses aléas éventuels avec le souci constant de réaliser des outils adaptés aux contraintes techniques et humaines d'un chantier.

Cette ligne directrice a été mise en place par Pierre Cozzi, respectée et poursuivie par André Heusse puis par Jean-Marc Serre.

« Historiquement, depuis la création de l'entreprise, précise-t-il, le recrutement chez Ersem s'est toujours fait de cette façon ; c'est-à-dire avec des collaborateurs recrutés chez ses clients, qui ont la fibre technique, qui s'intéressent à l'outil, qui ont le sens et l'amour du chantier ».

« Le cœur du métier d'un constructeur de pont, poursuit Jean-Marc Serre, cela reste les méthodes, les procédés de réalisation et donc les outils qui vont permettre l'exécution. Aujourd'hui, l'évolution fait que l'aspect contractuel prend le dessus sur ce qui devrait rester du domaine de la créativité. C'est l'un des maux qui risque de faire perdre à notre métier son intérêt technique donc son sens : on devient de plus en plus manager et de moins en moins bâtisseur. Notre milieu est de plus en plus sectorisé et chacun fait la tâche qui lui est confiée sans avoir une vision globale du chantier. Or, ce qui reste le cœur de notre métier, c'est le chantier et tous les collaborateurs d'Ersem continuent de partager cet attachement ».

## UNE TECHNIQUE FRANCO-FRANÇAISE

Les équipages dits « par en dessous » autour desquels Ersem a bâti sa réputation présentent une particularité : l'ensemble de la structure porteuse est située sous le tablier. ▽





6

© ERSEM



7



8

© ERSEM

Cette conception permet de préfabriquer les cages d'armatures, donc de sortir du cycle cette tâche réalisée en temps masqué, et par la même d'améliorer sensiblement la productivité du cycle par rapport à des équipages classiques « par en dessus ». Mais cette technologie présente un inconvénient : elle est « franco-française », difficilement exportable, car elle implique en amont une culture propre à nos chantiers.

Jean-Marc Serre de préciser à ce sujet : « Sa conception rend l'équipage prisonnier de la géométrie de l'ouvrage,

sans possibilité de modularité donc de réutilisation.

À cela s'ajoute, en amont, la culture de la préfabrication des cages d'armatures, celle de la grue à tour qui n'est pas du tout émancipée, celle de la sécurité qui n'est pas forcément intégrée avec la même détermination à l'étranger ».

En effet, dans beaucoup d'autres pays, les entreprises s'orientent essentiellement vers des équipages beaucoup plus lourds et rustiques mais réutilisables sur d'autres chantiers. Ces concurrents étrangers misent sur

**6- Équipages du Pont de Cé sur la Loire en 2009.**

**7- Cellule de préfabrication des voussoirs à joints conjugués pour le viaduc de Compiègne en 2008.**

**8- Un voussoir à joints conjugués fini et son banc de préfabrication pour la LGV Sud Europe Atlantique en 2012.**

une économie d'échelle avec la possibilité de réemploi des équipements plutôt que sur l'optimisation de l'outil à un projet donné. Cela explique que le marché français de l'outil de coffrage soit détenu par des TPE très spécialisées alors que leurs principaux concurrents européens, Allemands notamment, appartiennent à de grands groupes (Thyssen, Doka, DSI...).

### LE « C » : PRODUCTIVITÉ ET SÉCURITÉ

Pour conjuguer ces deux critères de productivité et de sécurité, Ersem a



© ERSEM

9a

9b

10

développé le système dit du « C », qui permet à l'équipage mobile, à toutes les phases du cycle, d'être « sécurisé » par une poutre en déport négatif dont la présence limite, voire supprime complètement les risques éventuels résultant d'un ancrage défaillant sur le tablier, comme cela peut se produire avec un équipage par « en dessus ». Ce qui est important dans cette démarche, et qui différencie Jean-Marc Serre et ses collaborateurs de la plupart de leurs confrères dont les ingénieurs sont presque toujours issus de l'industrie, est qu'elle est guidée en permanence par la culture du chantier. Elle fait partie de l'ADN de l'entreprise. La conception qu'Ersem a de l'outil est toujours en interaction avec sa mise en œuvre sur chantier. Par ailleurs, dans la phase amont de réalisation, compte tenu de sa culture et de son parcours, Jean-Marc Serre est capable de dialoguer avec le bureau d'études afin d'optimiser une solution dans l'intérêt du client. « Une telle démarche est assez peu répandue, précise le directeur d'Ersem, car la plupart des intervenants dans ce domaine proviennent de l'industrie métallique et n'ont pas toujours la culture du chantier. Et au-delà, la

**9a- Coffrage intérieur de musoir de silo sur le port de La Réunion en 2009.**

**9b- Coffrage extérieur, entièrement repliable pour son évacuation, d'un musoir de silo sur le port de La Réunion.**

**10- Coffrages de caissons Jarlan du port de Tanger-Med en 2004.**

sensibilité liée à la bonne connaissance des chantiers. Je sais ce que signifie arrêter un chantier, ne serait-ce qu'à cause d'un fait générateur minime tel que l'absence d'un boulon HR ».

#### UNE DÉMARCHÉ À DEUX NIVEAUX

Lors de l'élaboration d'un projet et de la soumission qui lui en est faite, Ersem peut aborder la situation de deux façons différentes : soit l'entreprise l'implique en amont, avant l'appel d'offres - et

l'associe immédiatement à son élaboration - soit elle obtient le marché et la consulte ensuite au même titre que ses confrères français et étrangers afin de leur demander de remettre une offre avec toutes ses prestations à partir du dossier marché.

Pour Jean-Marc Serre, le premier cas de figure est évidemment le plus productif, car Ersem est associée au projet dès la phase de remise d'offres et peut apporter son expérience pour optimiser une solution pour réaliser l'ouvrage. « Dans le second cas, ce qui fait la différence par rapport à nos confrères, c'est notre créativité. Il nous faut convaincre le client que notre solution, même si elle est un peu plus chère sur le papier, va lui faire gagner du temps et de la sécurité donc de l'argent au final. C'est une des facettes les plus intéressantes de notre métier, sachant qu'il n'est évidemment pas question de transformer un chantier en laboratoire ». Les marges et les délais d'exécutions sont devenus tels qu'il n'est plus possible comme cela était le cas encore il y a 30 ans en arrière de proposer une solution entièrement inédite que l'on terminera de mettre au point sur le chantier... à la force du système D. ▸

### TROIS MÉTIERS

**Pour fabriquer des équipages mobiles ou des coffrages métalliques spéciaux tels qu'en conçoit Ersem, il faut trois compétences : charpentier, serrurier et chaudronnier.**

**Ces trois métiers restent artisanaux mais demandent une grande compétence. Pour les chantiers en France et en Europe, Ersem l'a trouvée auprès de deux fabricants portugais avec lesquels Jean-Marc Serre collabore depuis 1996 - Metalozoià à Lisbonne et Metalongo à Porto - qui ont acquis et conservé le savoir-faire nécessaire et qui sont d'ailleurs reconnus pour leur qualité d'exécution.**

**Pour les chantiers au grand export, Ersem fait appel à une entreprise basée à Taïwan, ce qui n'est pas arrivé depuis 2002, mais pourrait bien se produire dans le cadre de grands chantiers à Panama et au Cameroun, pour le franchissement de la rivière Wouri.**

« Cela dit, même si notre idéal est de livrer un outil "clé en main", il ne faut pas se leurrer car chaque conception est un prototype et par la même des ajustements sont nécessaires au moment de la prise en main par notre client. » C'est pourquoi Jean-Marc Serre a très tôt décidé de recruter dans son effectif un chef monteur, Salvador Ramos, indéfectible et précieux « compagnon d'armes » depuis 1996 sur le chantier de Madère. Il est chargé tout particulièrement de la mise en route des outils, un service apprécié par les clients. Chez Ersem, on est bien conscient du fait qu'il ne faut pas faire de l'innovation à tout prix mais procéder plutôt à pas lents et mesurés car, au final, cela peut coûter très cher au client. C'est l'une des raisons pour lesquelles ce métier nécessite beaucoup d'expérience car, pour chaque projet, Ersem extrapole des solutions qu'elle a déjà mises en œuvre.

Au quotidien, un bureau d'études tel qu'Ersem est toujours partagé entre la tentation de l'innovation et le risque que cela ne soit pas réalisable sur chantier.

#### LA ROUE VA TOURNER

Le cheval de bataille de l'entreprise, nous l'avons longuement précisé en ouverture, ce sont les équipages

**DES PILES OUVRAGÉES DESSINÉES PAR DES ARCHITECTES**

**Un autre aspect significatif de l'activité de la TPE toulousaine mérite d'être précisé : répondre et mettre en œuvre les plus belles audaces des architectes, là encore presque une spécificité franco-française. Si l'on ne construisait que des piles d'ouvrages rectangulaires ou carrées, il suffirait de faire appel aux industriels du coffrage pour les réaliser. En France, et c'est un souci qu'apprécie Jean-Marc Serre, l'intégration des ouvrages dans l'environnement a toujours été et demeure encore plus aujourd'hui une préoccupation importante, à telle enseigne que tous les ouvrages et particulièrement les grands ouvrages sont toujours dessinés à la base par des architectes qui font des choix de volumes, de formes, de courbes qui justifient et nécessitent l'intervention d'une entreprise spécialisée dans la conception et la construction d'outils constructif quasiment sur mesure. « C'est aussi ce qui différencie le monde des Travaux Publics de celui de l'industrie ». À ce titre Ersem est en train de réaliser les outils coffrages des piles architecturées du viaduc de la Sormone sur la portion du « Y ardennois » de l'A304, affaire pour laquelle elle a proposé une solution originale qui a su convaincre le client Eiffage / Vinci.**

mobiles pour ponts coulés en place par encorbellements successifs. Or, depuis quelques années, les maîtres d'ouvrage commandent de moins en moins d'ouvrages en béton : on est entré dans le règne du tout acier pour plusieurs raisons dont l'une est la pathologie liée à la précontrainte mise en œuvre il y a plus de 40 ou 50 ans,

à une époque où la technique était encore à son stade de développement. L'autre est l'amélioration sensible de la compétitivité des charpentiers métalliques qui ont largement investi pour rationaliser leur coût de production. « Dans l'immédiat, cette connotation est un peu négative mais la roue va tourner, dit Jean-Marc Serre, lorsque les maîtres d'ouvrages vont réaliser le coût d'entretien des ouvrages mixtes. Pour moi, l'ouvrage en béton a encore, en France, un bel avenir devant lui même si, dans l'immédiat, les équipages mobiles sont moins utilisés que précédemment ». L'une de ses dernières grandes références en la matière demeure la route des Tamarins, sur l'île de La Réunion, entre 2004 et 2009, où les coûts de transport des structures métalliques et la volonté politique de favoriser les emplois locaux, ont conduit à imposer la solution béton pour toute une série d'ouvrages exceptionnels - viaducs des Trois Bassins, de Saint-Paul, de la Grande Ravine - et d'ouvrages non courants - viaduc de la Savane et OANC 5 - sur les chantiers desquels ce sont exclusivement des équipages mobiles Ersem qui ont été mis en œuvre. Il s'agit, en l'occurrence de ponts constitués de tabliers larges, de

**11 & 12- Coffrage des piles et chevêtres du pont sur la Maine en 2007 et l'une des piles achevée.**



11



12



13

© ERSEM

plus de 20 m avec des bracons d'encorbellement, qui ont été coulés en deux phases à l'aide de deux équipages par tablier.

Hormis ces chantiers récents, les derniers grands ouvrages autoroutiers réalisés en France et auxquels a été associé Ersem, sont les viaducs de l'A89, de portée supérieure à 150 m avec des tabliers de plus de 20 m : viaduc de La Rauze à Cahors (1999), viaduc de Tulle (2000), viaduc de la Sioule (2003), viaduc de La Colagne (2004), avec une parenthèse portugaise en 2001 sur le pont du Corgo dans le cadre du projet en concession SCUT par Eiffage TP. Sont ensuite intervenus les ouvrages de la Route des Tamarins entre 2004 et 2009.

**13- Coffrage de chevêtre pour le viaduc de Goutte Vignolle sur l'A89 en 2009.**

**14- Avant-bec du viaduc de la Bresle en 2003.**

**15- Viaduc de La Lizaine sur la LGV Rhin-Rhône en 2007.**

Depuis, à partir de 2008, les chantiers ont constitué essentiellement en des doubléments sur la Loire d'ouvrages autoroutiers existants : pont

de Saumur (Demathieu & Bard), PI 5 à Orléans (Vinci et Eiffage TP) et pont de Cé (ETPO).

#### JOINTS CONJUGUÉS : LE RÉVEIL

Mais la roue est en train de tourner pour les grands ouvrages, ainsi que le prévoit d'ailleurs le patron d'Ersem.

Vinci est en train de relancer une technologie initiée par l'entreprise Coignet puis développée par Campenon Bernard et qui était en sommeil : celle des ponts à voussoirs préfabriqués à joints conjugués.

« La technique des joints conjugués représentait à l'époque un saut technologique, précise Jean-Marc Serre : on passe de l'objectif du millimètre à celui

de 10° de millimètre dans la préfabrication des voussoirs pour garantir un résultat final dans la tolérance du millimètre lors de la pose des voussoirs. »

Cela équivaut à industrialiser la réalisation de l'ouvrage avec une implication au niveau topographique d'une extrême précision : chaque voussoir est réglé et coulé en fonction de la place qu'il occupera au final dans le tablier.

Dans le cadre de cette technologie, Ersem a le savoir-faire en matière de fabrication des cellules de préfabrication.

La dernière fois que cette technique a été mise en œuvre par Campenon Bernard en France remonte à 1997 pour le viaduc des Barrails sur l'autoroute A89 près de Libourne. ▶



14



15



16



18



17

### 1 340 VOUSOIRS À PRÉFABRIQUER

Dix ans plus tard, le groupe Vinci a décidé de réactiver cette technologie qui continuait d'ailleurs à être utilisée à l'étranger, pour répondre économiquement et techniquement à la concurrence des ponts mixtes.

C'est ainsi qu'en 2007, le viaduc de Compiègne, d'une longueur de 2 000 mètres a été construit avec succès en voussoirs préfabriqués à joints conjugués. Tout récemment, le même groupe adjudicataire du marché de la ligne Sud Europe Atlantique Bordeaux-Tours a choisi de la mettre en œuvre pour la construction de 7 grands ouvrages de cette ligne et fait appel à Ersem pour concevoir et réaliser les moules de l'usine de préfabrication des voussoirs, courants et spéciaux, située à Poitiers, au centre du tracé.

Cela concerne trois moules pour les voussoirs courants qui produiront chacun jusqu'à 500 voussoirs et trois moules pour les voussoirs spéciaux (sur piles, sur culées et sur joint).

La cadence de production des moules est de un voussoir par jour par moule pour les voussoirs courants et de un par semaine pour les voussoirs spéciaux.

Le chantier a démarré et se déroule dans les meilleures conditions, ce qui laisse présager d'un avenir peut-être serein pour la TPE toulousaine.

En effet, pour ce qui est qui de la tech-

nique des voussoirs préfabriqués à joints conjugués, il n'est pas impossible qu'elle soit à nouveau mise en œuvre pour le projet de la route côtière de La Réunion, qui comporte notamment un ouvrage sur l'eau d'une longueur de 5 000 m, pour lequel les consultations sont en cours. Ersem compte bien y participer. □

**16- Viaduc autoroutier du Corgo au Portugal en 2001.**

**17- Coffrage de pile sur le lot 47 de la LGV Est près de Saverne en 2011.**

**18- Chantier de Kafr El Zayat en Égypte en 2004.**

**19- L'équipe de Ersem à Toulouse en février 2013 : Jean-Marc Serre, au centre, entouré de Cyril Dastugue (stagiaire) et Emmanuel Vacher, à sa droite, et Salvador-Manuel Alfaiate-Ramos, à sa gauche.**



19

# COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS



880 - SOLS & FONDATIONS



881 - TRANSPORTS & INFRASTRUCTURES



882 - PATRIMOINE & REHABILITATION



883 - TRAVAUX SOUTERRAINS



884 - INTERNATIONAL



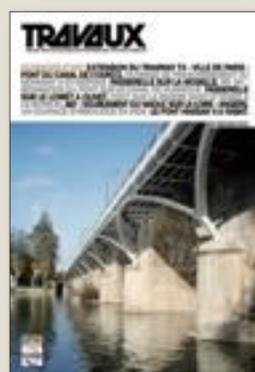
885 - ROUTES ET TERRASSEMENTS



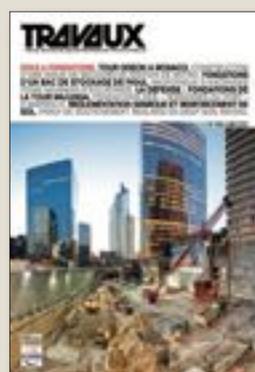
886 - VILLE DURABLE - ENERGIE - URBANISME



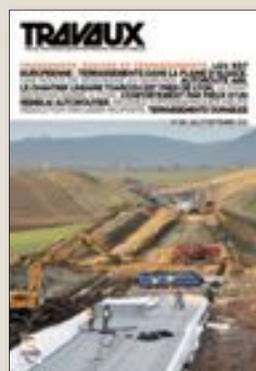
887 - EAU, BIODIVERSITE & INFRASTRUCTURES



888 - OUVRAGES D'ART



889 - SOLS & FONDATIONS



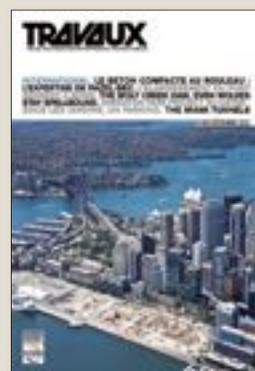
890 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



891 - PATRIMOINE & REHABILITATION



892 - LGV RHIN-RHÔNE



893 - INTERNATIONAL



894 - TRAVAUX SOUTERRAINS

## BON DE COMMANDE

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

**JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS** (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- 880 x \_\_\_     881 x \_\_\_     882 x \_\_\_  
 883 x \_\_\_     884 x \_\_\_     885 x \_\_\_  
 886 x \_\_\_     887 x \_\_\_     888 x \_\_\_  
 889 x \_\_\_     890 x \_\_\_     891 x \_\_\_  
 892 x \_\_\_     893 x \_\_\_     894 x \_\_\_

Soit un montant total de :  
\_\_\_\_\_ numéros x 25 € = \_\_\_\_\_ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 25 € à 20 € l'unité. Pour plus de 100 numéros commandés le prix est de 17 € l'unité. Pour les auteurs de la revue le prix est de 15 € l'unité).

**JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :**

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_  
 Entreprise \_\_\_\_\_ Fonction \_\_\_\_\_  
 Adresse \_\_\_\_\_  
 Code postal [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville \_\_\_\_\_  
 Tél. : \_\_\_\_\_ Fax : \_\_\_\_\_  
 Email : \_\_\_\_\_  Merci de ne pas communiquer mon adresse mail.

Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de ESI

**ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de ESI**

- Je réglerai à réception de la facture  
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

# LE RENFORCEMENT DU VIADUC DE MARTIGUES

AUTEURS : SAMY AMMAR, RESPONSABLE TRAVAUX, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - LOUIS MONTIGNY, RESPONSABLE TRAVAUX, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - CYRIL COTTEY, INGÉNIEUR CHARGÉ D'AFFAIRE OUVRAGE D'ART, BUREAU D'ÉTUDES COGECI

CONSTRUIT ENTRE 1969 ET 1972, LE VIADUC EMBLÉMATIQUE DE MARTIGUES SUPPORTE 80.000 PASSAGES QUOTIDIENS. LES PATHOLOGIES ACTUELLES RÉVÈLENT LES INSUFFISANCES RÉGLEMENTAIRES ET TECHNOLOGIQUES DE L'ÉPOQUE : FISSURATION DES NERVURES, DÉGRADATION DES APPUIS, OBSOLESCENCE DES DISPOSITIFS PARASISMIQUES. COMMENCÉS EN 2011, LES TRAVAUX COMPRENNENT UNE PRÉCONTRAÎNTE EXTÉRIEURE LONGITUDINALE, L'INJECTION DES FISSURES, LE REMPLACEMENT DES APPAREILS D'APPUIS ET LA REPRISE TOTALE DE LA CONCEPTION PARASISMIQUE. LES DIMENSIONS DE L'OUVRAGE IMPOSENT LE RECOURS À DES OUTILS ET DES ACCÈS SPÉCIFIQUES.



© PHOTOTHÈQUE BYTPRF

## L'OUVRAGE

Le viaduc de Martigues supporte l'A55 et permet de franchir la passe navigable reliant l'étang de Berre à la mer Méditerranée (figure 1). Il est composé de deux types d'ouvrage :

→ Un ouvrage principal métallique de type pont à béquille d'une longueur totale de 300 m, permettant de dégager un gabarit de navigation de

40 m de haut pour 115 m de large ;

→ Quatre viaducs d'accès, deux au nord et deux au sud, objets des travaux de réparation et de renforcement.

Les viaducs d'accès sont des tabliers jumeaux indépendants portant chacun un sens de circulation. Les viaducs nord sont constitués de 6 travées continues, de portée courante 45 m excepté la travée d'extrémité sur la

**1 - Vue générale du viaduc de Martigues.**

**1 - General view of the Martigues viaduct.**

culée nord qui est de 34,50 m, soit une longueur totale de 259,50 m. Les viaducs sud sont constitués de 7 travées continues, de portée courante 45 m, sauf la travée d'extrémité sur la culée sud qui est de 44,50 m, portant la longueur totale à 314,50 m. Ils présentent une pente longitudinale de 4 % et un dévers unique de 2 % vers les rives extérieures.

Les tabliers sont des dalles nervurées de 3 m de hauteur, précontraintes longitudinalement et transversalement. Les câbles de précontrainte longitudinale sont munis de coupleurs au droit des reprises de bétonnage. Les nervures ont une largeur variable de 0,86 m à leur base à 1 m à leur encastrement sur le hourdis. L'entraxe des nervures est de 8,40 m. Le tablier a été réalisé à l'avancement à l'aide d'un cintre auto lanceur.

Les tabliers s'appuient sur les piles en « I », dont la hauteur varie de 23 à 43 m à l'approche de l'ouvrage métallique. À l'une des extrémités les tabliers reposent sur des culées creuses, à l'autre sur des piles-culées en « I » communes avec l'ouvrage métallique. Sur chaque pile culée, 4 amortisseurs parasismiques (vérin à huile simple effet) de 150 tonnes de capacité sont disposés entre le tablier métallique et les tabliers béton.

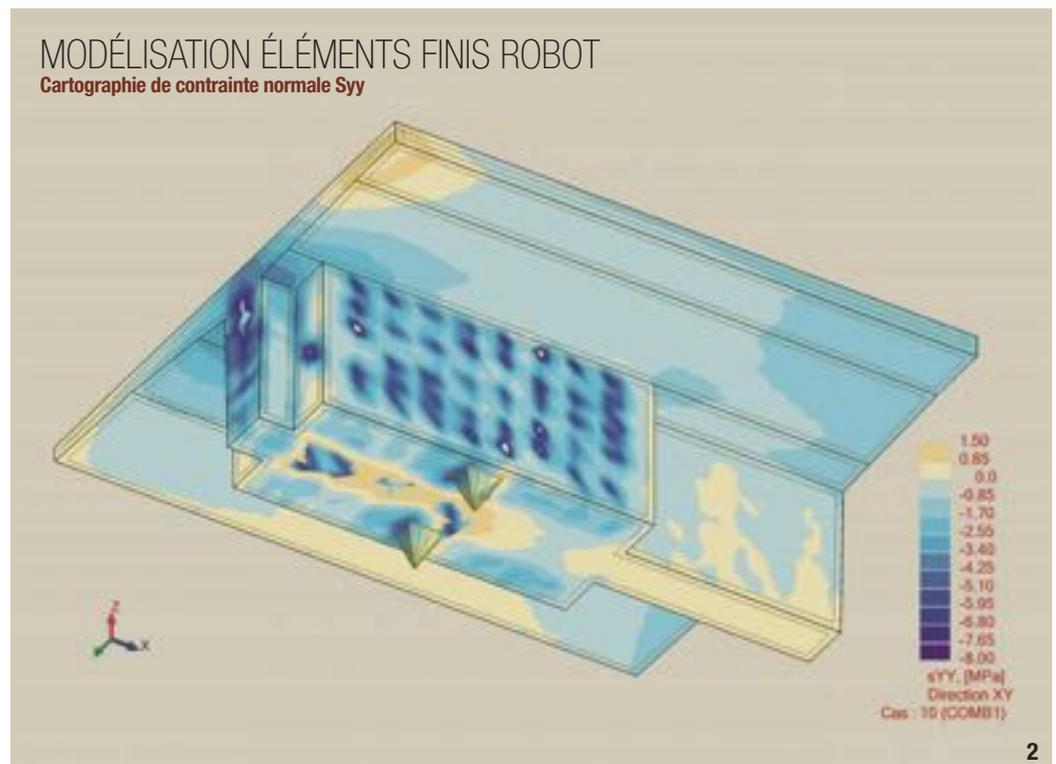
### LA NÉCESSITÉ DE RÉALISER DES TRAVAUX

Plusieurs campagnes d'investigations menées entre 1981 et 2003 ont mis en évidence certaines pathologies :  
 → Une fissuration dans l'environnement immédiat des zones de reprise de bétonnage (zone de couplage de la précontrainte longitudinale existante), situées à 9 m des lignes d'appuis. Ces fissures suivent sensiblement la ligne de reprise de bétonnage et

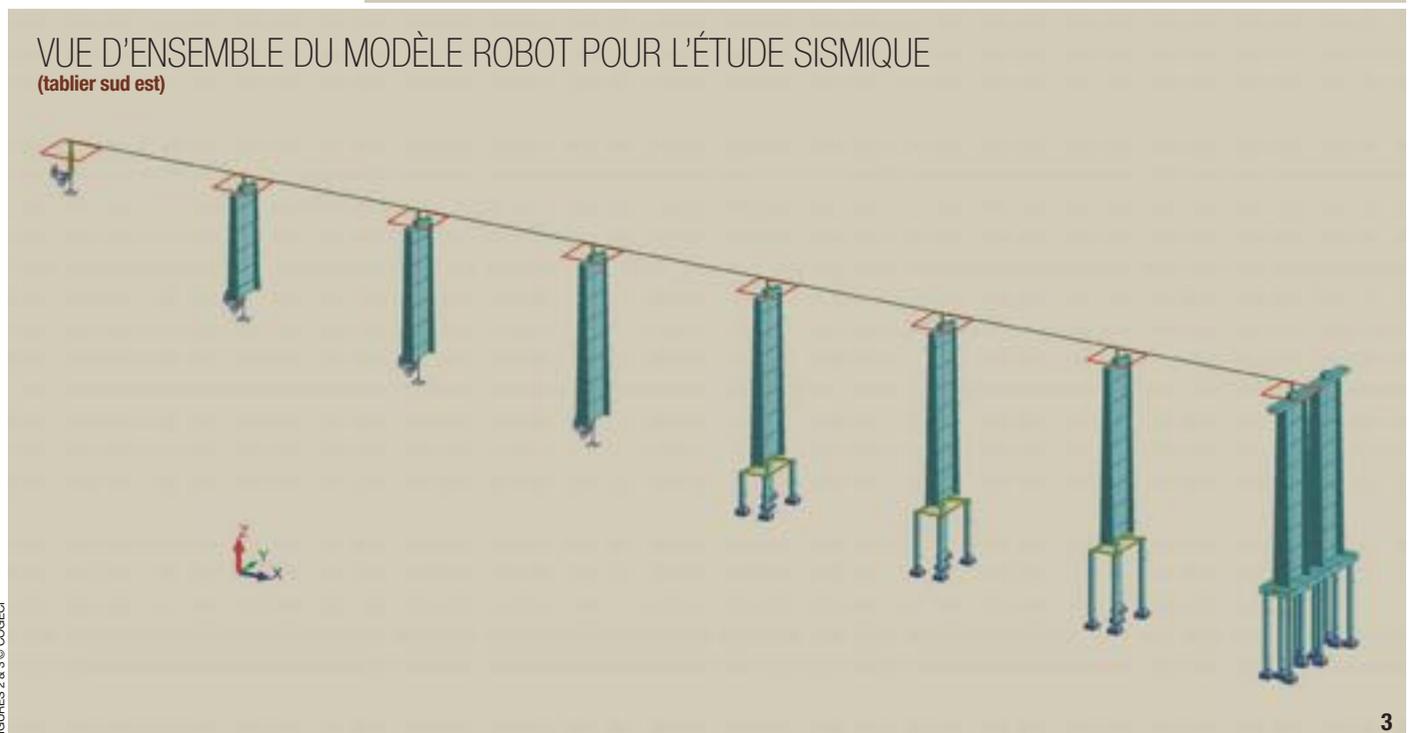
règnent sur les trois quarts de la hauteur des nervures depuis leur base. Elles sont principalement dues à une mauvaise appréhension du fonctionnement des coupleurs de précontrainte, à la non prise en compte des effets du gradient thermique, ainsi qu'à une médiocre qualité du béton dans ces zones particulièrement délicates dans la mise en œuvre (ségrégation évidente, béton mal serré, caverneux) ;

**2- Modélisation éléments finis ROBOT - Cartographie de contrainte normale  $S_{yy}$ .**  
**3- Vue d'ensemble du modèle ROBOT pour l'étude sismique (tablier sud est).**

**2- ROBOT finite element modelling - Mapping of normal stress  $S_{yy}$ .**  
**3- Overall view of the ROBOT model for the seismic study (southeastern deck).**



2



3



© PHOTOTHÈQUE BYTRPF

**4- Vue des dispositifs de vérinage (consoles et vérins).**

**5- Vue générale accès piles.**

**4- View of the jacking devices (brackets and jacks).**

**5- General view of pier access.**

→ Une dégradation très avancée de l'ensemble des appareils d'appuis : feuillets écrasés, gerçures généralisées, dysfonctionnement des appareils d'appuis glissants sur pile culées ;  
→ Des dispositifs antisismiques longitudinaux hors service (désolidarisés des ouvrages et/ou non parallèles aux

ouvrages) et globalement insuffisants. Les différentes études d'avant projet ont abouti à la nécessité de réaliser un renforcement de l'ouvrage par précontrainte additionnelle ancrée aux extrémités de chaque tablier et dimensionnée pour recomprimer les sections critiques de l'ouvrage. Ce renforcement

est complété par l'injection préalable des fissures, le remplacement des appareils d'appuis et la modification totale de la conception parasismique de l'ouvrage (la ville de Martigues passe de zone sismique faible à modérée suivant la nouvelle réglementation sismique nationale).

## LES ÉTUDES D'EXÉCUTION CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE / HYPOTHÈSES DE CALCUL

Les études d'exécution de la réparation du viaduc de CARONTE ont été réalisées conformément aux hypothèses suivantes :

→ Règlement de calcul appliqué : règles BPEL 91 ;

→ Charges considérées pour le recalcul de la flexion longitudinale de l'ouvrage :

- Fascicule 61 titre II (système de charges civiles Al et Bc, et charge militaire MC120),
- Effet de température (température uniforme -40°C/+30°C, gradient +8°C),

→ Règlement de calcul appliqué pour les études sismiques : AFPS 92 et Eurocode 8-2.

Le projet de renforcement n'a pas pour objet de rendre l'ouvrage strictement conforme aux règlements actuels, mais de refermer les fissures au droit des joints de couplage de la précontrainte existante. Sur ces bases, la précon-



© PHOTOTHÈQUE BYTRPF

trainte additionnelle a donc été dimensionnée de telle sorte que :

Au droit des joints de construction des travées (section de couplage de la précontrainte existante) :

→ **Critère 1** : La section soit toujours comprimée sous l'action des charges extérieures combinées à l'ELS fréquent et sous les seules effets de la précontrainte ;

→ **Critère 2** : À l'ELS rare, les tractions dans les aciers passifs et les surtensions dans les câbles calculées en classe III soient conformes aux prescriptions du BPEL ;

→ **Critère 3** : À l'ELU, les déformations des différents matériaux soient conformes aux prescriptions du BPEL. Partout ailleurs :

→ **Critère 4** : la précontrainte additionnelle n'entraîne que des compressions dans l'ensemble des sections.

Les études de clouage des massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle (et massifs déviateurs) ont été menées suivant la norme NFP 95-104. L'accroche des massifs a été justifiée à l'aide de barres précontraintes de clouage complétées par des scellements d'aciers passifs selon l'article paru dans le n°501 des annales de l'ITBTP de février 1992. Un dimensionnement mixte (Béton précontraint - Béton armé) a donc été retenu :

→ Sous sollicitations ELS, l'accroche du massif a été justifiée au sens de la norme NFP 95-104 par la seule précontrainte ;

→ Sous sollicitations ELU, l'accroche du massif a été justifiée selon le n°501 des annales de l'ITBTP par la précontrainte associée à des armatures passives scellées.



© PHOTOTHÈQUE BYTPRF

**6- Hissage d'une passerelle périphérique.**

**7- Vue d'ensemble des dispositifs de hissage.**

**6- Hoisting a peripheral foot bridge.**

**7- Overall view of hoisting devices.**

## ÉTUDES DE FLEXION LONGITUDINALE

Les études de flexion longitudinale ont été réalisées sous le logiciel ST1 du SETRA à l'aide d'une modélisation filaire de chaque tablier béton. L'ensemble de la précontrainte (câblage existant et câblage additionnel) a été rentré dans la modélisation.

Les effets différés du béton (retrait, fluage) et de la précontrainte (pertes par relaxation) ont été intégrés dans les

calculs (calcul en fluage scientifique). Ces modèles ont permis d'établir les nouvelles descentes de charge en service sur les néoprènes et de vérifier les contraintes normales et contraintes de cisaillement dans les tabliers durant les différentes phases de la vie de l'ouvrage (état actuel avant réparation, état après réparation, état en phase de vérynage ultérieur, état au temps infini à  $t=50\,000$  jours).

Les justifications des sections de joint (calcul en sections fissurées) ont été conduites à l'aide du logiciel CDS du SETRA.

Pour ces vérifications, l'effet de la précontrainte a été considéré par un calcul en fourchette en supposant :

→ Soit un niveau de fonctionnement correct des coupleurs de précontrainte, traduit par la prise en compte de 100% de l'effort de précontrainte transmis dans la section ;

→ Soit d'un niveau de fonctionnement altéré des coupleurs de précontrainte, traduit par la prise en compte de 70% de l'effort de précontrainte transmis dans la section.

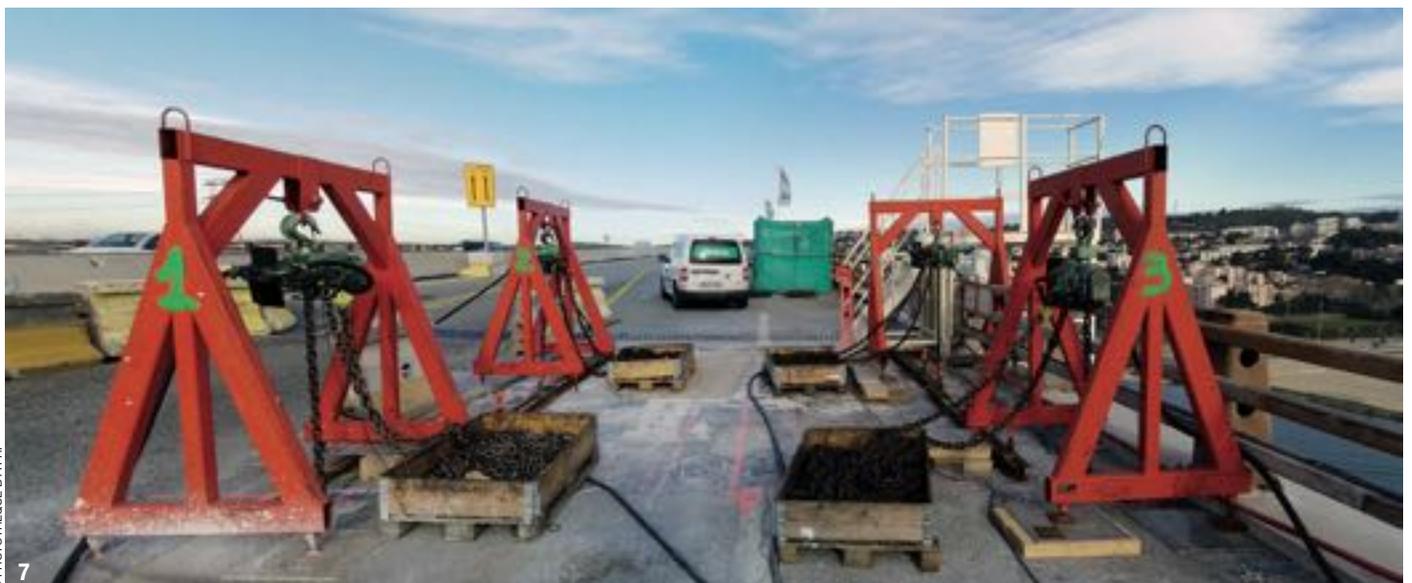
## ÉTUDE DES MASSIFS D'ABOUTS

Les massifs d'abouts sont équipés d'un système de précontrainte par barres dont le rôle est d'équilibrer les sollicitations suivantes :

### Barres verticales :

→ Reprendre le cisaillement sous diffusion d'équilibre général amené d'une part par la précontrainte existante et d'autre part par la précontrainte additionnelle.

→ Assurer le clouage des pièces de charpente recevant les RAP en sous face des nervures. ▷



© PHOTOTHÈQUE BYTPRF



8

© PHOTO THÉQUE BY TPRF



9

© PHOTO THÉQUE BY TPRF

8- Vue du plateau coffrant en phase de hissage.

9- Vue du plateau coffrant sur pile culée PC6 en fin de hissage, avant ripage.

8- View of the formwork plate in the hoisting phase.

9- View of the formwork plate on PC6 abutment pier at the end of hoisting, before sliding.

### Barres horizontales :

→ Justifier le clouage du massif sous l'effet de l'ancrage de la précontrainte additionnelle.

→ Reprendre le glissement amené par la précontrainte verticale à l'interface massif/nervure existante.

→ Reprendre le glissement provenant du couple amené par les RAP (Ressorts Amortisseurs Précontraints) sur le massif en situation sismique.

Les études de diffusion des abouts ont été menées selon une approche ana-

lytique conformément à l'annexe IV du BPEL et complétées par des analyses locales à l'aide de modélisations aux éléments finis volumiques réalisées sous le logiciel ROBOT (figure 2).

### ÉTUDE SISMIQUE

#### *Dans les directions transversale et verticale*

L'effet du séisme dans les directions transversale et verticale a été étudié à l'aide d'une analyse spectrale multimodale réalisée sur le logiciel ROBOT

(figure 3). Cette modélisation a permis de déterminer :

- Les efforts transversaux à reprendre par les butées parasismiques en tête de pile ;
- Les déplacements transversaux du tablier sous séisme ;
- Les descentes de charges verticales sous séisme sur les néoprènes.

#### *Dans la direction longitudinale de l'ouvrage*

Dans la direction longitudinale, des Ressorts Amortisseurs Précontraints

ont été mis en œuvre entre les tabliers et les culées appui fixe de manière à limiter l'effort sismique global sollicitant les culées. Les RAP ont donc été dimensionnés selon 2 critères :

→ Obtenir un effort global sismique longitudinal sur le point fixe des culées inférieur à 1 200 t (effort maximum horizontal pouvant être repris par les culées) ;

→ Obtenir un déplacement du tablier au niveau de son point fixe inférieur à 20 mm.



© PHOTO THÉQUE BYTPRF 10

Ces critères ont été vérifiés à l'aide d'une analyse sismique temporelle réalisée à l'aide du programme développé par la société AK SISIM. Selon cette méthode d'analyse, l'action du séisme a été caractérisée dans le logiciel par la définition directe de l'accélérogramme fourni par le maître d'œuvre.

### LA PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE

La précontrainte additionnelle longitudinale extérieure est assurée par la mise en œuvre de 2 câbles 27T15S par nervures (soit env. 1 000 tonnes de compression par nervures), suivant un tracé polygonal. Le système de précontrainte utilisé est le système VSL type GC6-27.

10- Vue des butées de sécurité sur piles courantes.

11- Principe de fonctionnement RAP.

12- Principe de fonctionnement RAP2.

10- View of the safety abutments on standard piers.

11- Operating principle of preloaded spring shock absorber.

12- Operating principle of preloaded spring shock absorber 2.

Les câbles règnent sur la quasi-totalité de la longueur des tabliers et sont déviés sur piles et en travées par des déviateurs. Les gaines en PEHD sont mises en œuvre à l'avancement, travée par travée, et raccordées entre elle par manchons électrosoudables. Des dispositifs de maintien provisoire des gaines de type « hamacs » sont mis en œuvre pour permettre les opérations d'enfilage des torons. Retenable et remplaçable, cette précontrainte est injectée à la cire pétrolière. Les équipes de VSL France, Entreprise Spécialisée de Précontrainte et certifiée ASQPE, sont chargés de sa mise en œuvre.

Les câbles sont ancrés aux extrémités des tabliers par des massifs d'ancrages, eux même cloués sur les nervures par une précontrainte transversale horizontale par barres. 45 barres de précontrainte de diamètre 40 mm, par massifs, sont nécessaires pour assurer la bonne transmission des efforts. La préparation des surfaces de contact entre l'ouvrage existant et les massifs est réalisée par scarification du béton par hydro démolition (2800 bars). Cette technique présente l'avantage de ne pas être traumatisante pour l'ouvrage à l'inverse du bouchardage ou du piquage.

Les déviateurs, sur pile et en travée, sont eux cloués à l'existant par deux barres de précontrainte de diamètre 36 mm. Les opérations de mise en tension des câbles sont précédées par l'injection des fissures à la résine époxy, permettant de rétablir le monolithisme des sections fissurées et ainsi de recomprimer ces zones.

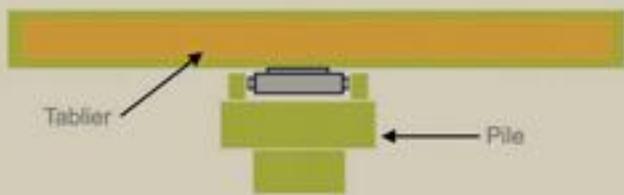
### LE REMPLACEMENT DES APPAREILS D'APPUIS

Des consoles de vérinage sont réalisées pour chacune des piles. Elles sont clouées à l'ouvrage par l'intermédiaire de 8 barres de précontraintes de diamètre 50 mm, mise en tension chacune par les équipes de VSL France à 140 tonnes, assurant ainsi l'effort de plaquage nécessaire au soulèvement de l'ouvrage (figure 4).

4 groupes de 3 vérins de capacité 260 tonnes permettent de prendre en charge l'ouvrage et de procéder à la découpe des bossages inférieurs. La dénivellée transversale admissible (d'un appui à l'autre) pour ces opérations est limitée à 0,3 mm.

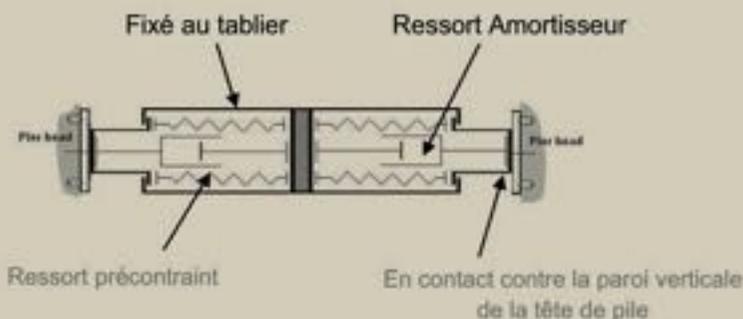
Les nouveaux appareils d'appui néoprène (dimensions 800 mm x 800 mm) sont ensuite mis en œuvre suivant les dispositions définies par les études d'exécution.

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT RAP



11

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT RAP2



12

© DYNA SHOCK SYSTEM

© DYNA SHOCK SYSTEM

Suivant le besoin, des dispositions particulières sont mises en œuvre pour assurer un anti cheminement des appareils (type C) ou un plan de glissement (type E).

### LES ACCÈS

Les dimensions de l'ouvrage nécessitent la mise en œuvre d'accès spécifiques pour la réalisation des travaux.

### EN TÊTES DE PILE

Les travaux situés en tête de pile courante (remplacement des appareils d'appuis, butée parasismiques, déviateurs sur piles) sont réalisés à partir de plateformes périphériques, hissées depuis le pied des piles (figure 5).

Les dispositifs de hissage sont constitués de 4 ensembles portiques + palan à air, d'une capacité unitaire de 3,2 tonnes. L'assiette des plateformes est contrôlée durant les opérations de hissage et de déhissage afin d'éviter toute déformation excessive de la structure (figures 6 et 7). En phase exploitation, les plateformes reposent sur 8 corbeaux métalliques, fixés en périphérie de piles de l'ouvrage.

Un système de clamps permet les phases d'accostages en hissage et de désengagement en déhissage.

### SUR PILES CULÉES

La réalisation des massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle nécessite la mise en place d'outils de coffrage et d'accès adapté aux contraintes géométriques de l'ouvrage.

Pour chacune des nervures, un plateau coffrant est alors hissé depuis le tablier (hauteur 43 m), suivant la même méthodologie que les accès en tête de pile (figure 8). La première partie constitue un berceau permettant de hisser puis de ripper la seconde partie

servant de fond de moule et de platelage de travail (figure 9). En phase d'exploitation, l'outil est suspendu par l'intermédiaire de 14 tiges de coffrage de diamètre 30 mm. L'ensemble de la structure pèse environ 8 tonnes.

### LES DISPOSITIFS PARASISMIQUES

La « mise à niveau » des dispositifs parasismiques de l'ouvrage répond aux exigences accrues des nouvelles réglementations. Elle comprend :

→ La réalisation de butées parasismiques de sécurité sur les piles et de blocage sur les culées et piles culées (figure 10).

→ La mise en œuvre d'amortisseurs à effet de seuil sur culées à raison de 4 unités par culée (figures 11 et 12).

L'amortisseur précontraint est un appareil conçu pour dissiper l'énergie sismique soumise à des structures. Le RAP (Ressort Amortisseur Précontraint) réduit le déplacement longitudinal du pont à 25 mm en phase de séisme. Ils sont placés entre les massifs de la précontrainte additionnelle, sur lesquels ils sont cloués, et des massifs en béton armé. Ils agissent comme une clé de cisaillement, qui a la possibilité de se régénérer automatiquement après un événement dynamique.

L'énergie sismique est dissipée par l'amortisseur au lieu d'être transmise à la structure.

Ces amortisseurs précontraints acceptent le déplacement longitudinal lors du retrait fluage et de la dilatation ou contraction thermique.

L'amortisseur précontraint fonctionne sur le principe du passage rapide du fluide visqueux à travers un orifice étroit, qui génère un taux de résistance élevé, dissipant alors une grande quantité d'énergie.

Afin d'éviter le déplacement en service, un effort de précontrainte est appliqué au ressort.

Cet effort est de 120 tonnes pour le viaduc de Martigues. Avant d'atteindre cette valeur, il est impossible de comprimer l'amortisseur. Cette disposition permet de conserver le schéma statique de l'ouvrage en service.

Après la compression dynamique de l'amortisseur (séisme), celui-ci a

la capacité de revenir à sa position d'origine en raison de la fonction de ressort intégré (on dit qu'il est « auto-réarmable »).

La valeur de la force de retour sera définie afin de surmonter la force de frottement des appuis glissants.

Afin de générer l'amortissement et la fonction ressort dans les deux directions, un RAP à double effet est utilisé. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PRÉCONTRAÎTE LONGITUDINALE : 160 t**

**PRÉCONTRAÎTE PAR BARRES : 352 barres de 47 mm / 1 000 barres de 40 mm / 176 barres de 36 mm**

**INJECTION DE FISSURES : 220 m**

**REMPACEMENT DES APPAREILS APPUIS : 11 piles et 4 culées soit 30 appareils d'appuis par ouvrage**

**DISPOSITIFS AMORTISSEURS PARASISMIQUES : 16 u**

**BÉTON AUTO PLAÇANT (C35/45) : 700 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : DIR Méditerranée**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE : DIR Méditerranée - SIR Marseille**

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR : CETE - Aix en Provence**

**ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bouygues TP Régions France**

PRINCIPAUX SOUS TRAITANT

**BUREAU D'ÉTUDES : COGECI**

**FOURNISSEUR RAP : DYNASHOCK**

**HYDRODÉCAPAGE/HYDRODÉCAPAGE : Technique Haute pression**

**ARMATURES : SENDIN**

**FORAGE SCIAGE : FORA SDD**

**INSTRUMENTATION : ARGOTECH**

## ABSTRACT

### STRENGTHENING THE MARTIGUES VIADUCT

SAMY AMMAR, BOUYGUES TP - LOUIS MONTINGY, BOUYGUES TP - CYRIL COTTEY, COGECI

**The emblematic Martigues viaduct, built between 1969 and 1972, is crossed by 80,000 vehicles each day. At present it shows disorders revealing the regulatory and technological shortcomings of that period: evolving rib cracking, damage to support systems, obsolescence of the earthquake resistance devices. The «DIR Méditerranée» interdepartmental road board awarded Bouygues TP this repair and strengthening contract. The works, started in 2011, comprised longitudinal external prestressing, crack grouting, replacement of the support systems and complete reworking of the earthquake resistance design. Given the size of the structure, special tools and approach routes had to be used. □**

### REFUERZO DEL VIADUCTO DE MARTIGUES

SAMY AMMAR, BOUYGUES TP - LOUIS MONTINGY, BOUYGUES TP - CYRIL COTTEY, COGECI

**Construido entre 1969 y 1972, el emblemático viaducto de Martigues soporta 80.000 pasos al día. Actualmente muestra patologías que ponen de manifiesto las insuficiencias normativas y tecnológicas de la época: fisuración evolutiva de las nervaduras, degradación de los aparatos de apoyo y obsolescencia de los dispositivos parasísmicos. La DIR Méditerranée (Dirección Interdepartamental de Carreteras) confió a Bouygues TP esta obra de reparación y de refuerzo. Las obras, que comenzaron en 2011, incluyen una pretensión exterior longitudinal, la inyección de las grietas, la sustitución de los aparatos de apoyo y la reforma total del diseño parasísmico. Dadas las dimensiones de la estructura fue necesario recurrir a herramientas y accesos específicos. □**



1  
© SETEC TPI

# PATHOLOGIE ET RENFORCEMENT DU PONT DE SAINT-NAZAIRE

AUTEURS : PHILIPPE GRIAUD, CHEF DU SERVICE RESTAURATION MODERNISATION DES GRANDS OUVRAGES D'ART, CONSEIL GÉNÉRAL DE LOIRE ATLANTIQUE - FRANCIS LANQUETTE, MAÎTRE D'ŒUVRE ÉTUDES ET TRAVAUX, SETEC TPI - PAUL VILAR, DIRECTEUR VSL FRANCE, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - TONY ROBERT, RESPONSABLE TRAVAUX VAL DE LOIRE ET BRETAGNE, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - ARNAUD JEUNEHOMME, RESPONSABLE DU CHANTIER, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE

*NOUS DÉDIONS CET ARTICLE À LA MÉMOIRE DE MM. XERCAVINS ET LECROQ, MEMBRES DU COMITÉ TECHNIQUE DE SUivi DU VIADUC VIPP SUD DU PONT DE SAINT-NAZAIRE, AUJOURD'HUI DISPARUS.*

**AUJOURD'HUI, CERTAINES POUTRES VIPP DES TABLIERS DES VIADUCS D'ACCÈS DU PONT DE SAINT-NAZAIRE - SAINT-BRÉVIN PRÉSENTENT DES DÉFAUTS AFFECTANT LES FILS DE PRÉCONTRAINTE, CERTAINS ÉTANT ROMPUS SUITE À LA CORROSION PAR LES CHLORURES EN RAISON D'ENROBAGES INSUFFISANTS. UN RENFORCEMENT STRUCTUREL DE L'ENSEMBLE DES POUTRES DU VIADUC D'ACCÈS SUD PAR PRÉCONTRAINTE ADDITIONNELLE ISOSTATIQUE EST AINSI NÉCESSAIRE. POUR RÉALISER LES TRAVAUX DE RENFORCEMENT, L'ENTREPRISE A CONÇU DES PONTONS FLOTTANTS SERVANT AUSSI DE PLATEFORME DE TRAVAIL UNE FOIS HISSÉS SOUS LES TRAVÉES.**

## PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE ET DU VIADUC SUD

### PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le pont de Saint-Nazaire Saint-Brévin se situe en Loire Atlantique, sur la Route Départementale 213. Cet ouvrage mis en service le 18 octobre 1975 franchit l'estuaire de la Loire et permet de relier les communes de Saint-Nazaire, Montoir-de-Bretagne en rive nord, et

de Saint-Brévin-les-Pins en rive sud. D'une longueur totale de 3 356 m, l'ouvrage reste en 2013 le pont le plus long de France. Il se compose d'un ouvrage métallique haubané central de 720 m de long, et de deux viaducs d'accès. L'ouvrage métallique motiva lors de la construction, avec sa travée centrale de 404 m, un record mondial de portée pour un pont métallique haubané. Le viaduc nord de 1 115 m présente

**1- Vue générale de l'ouvrage en cours de renforcement.**

**1- General view of the structure undergoing strengthening.**

22 travées d'environ 50 m de portée et le viaduc sud de 1 521 m, objet du renforcement structurel, comporte 30 travées. Les tabliers de ces viaducs d'accès sont des structures en béton précontraint de type VIPP (Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Précontraintes).

L'ouvrage, a été construit entre 1972 et 1975, et exploité par la Société Anonyme Mixte du Pont de Saint-Nazaire. ▷

Après suppression du péage en octobre 1994, le Conseil Général de Loire Atlantique est devenu maître d'ouvrage et assure la gestion et l'entretien depuis le 1<sup>er</sup> août 1995.

Seul ouvrage de franchissement de la Loire entre Saint-Nazaire et Nantes (60 km), le pont a un rôle stratégique pour le territoire.

## DESCRIPTION DU VIADUC SUD

En plan, le viaduc d'accès sud présente une courbe de 3 352 m de rayon. Le tablier offre une largeur roulable de 12 m bordée de deux passages de service de 0,75 m (figure 2). La pente longitudinale est variable et atteint localement 6%.

Chaque travée de 50,70 m de portée est constituée de quatre poutres en béton précontraint de 2,80 m de hauteur, de 3,00 m de largeur de table, et de 0,80 m de largeur de talon, solidarisées par un hourdis coulé en place. Les poutres sont entretoisées aux extrémités.

Chaque poutre est précontrainte longitudinalement par 10 câbles, composés de 20 à 28 fils plats.

Six câbles sont ancrés en about, quatre sont relevés dans le hourdis.

Le procédé de précontrainte utilisé est le procédé KA, mis en œuvre par la Société Française de Précontrainte. Le tablier n'est pas précontraint transversalement.

## LES INTERVENTIONS PRÉCÉDENTES ET LES PATHOLOGIES RENCONTRÉES

### CONSIDÉRATION PRÉLIMINAIRE

Les tabliers des viaducs béton étaient considérés jusque dans les années 2000 en bon état général compte tenu des défauts d'origine et du fait du vieillissement des bétons. Ils ne nécessitaient que quelques réparations d'usage. Structurellement, le maître d'ouvrage avait connaissance des insuffisances de ferrailage transversal du hourdis béton, qui avaient conduit à limiter le passage des convois exceptionnels.

Aujourd'hui, l'ouvrage souffre des conséquences d'un environnement agressif, mais aussi d'un déficit de qualité à la construction, notamment de ses bétons.

### HISTORIQUE DES INTERVENTIONS

Les inspections détaillées réalisées en 2000, puis la découverte en mars 2002 d'un désordre significatif, avec mise à jour d'un câble de précontrainte présentant des ruptures de fils, avaient conduit le maître d'ouvrage à réparer en priorité la poutre concernée, à analyser les conséquences en termes de perte de capacité portante, et à compléter les investigations sur les matériaux, la pénétration des chlorures et les potentiels de corrosion des aciers. De ces investigations, il était ressorti des informations parfois ambiguës, notamment sur les teneurs en chlorures et mesures de potentiels d'armatures. La première campagne de travaux, au mois d'avril 2003, permit de mettre en évidence des ruptures de fils de précontrainte sous corrosion fissurante, en l'absence de toute corrosion par dissolution.

Le procédé de précontrainte utilisé est effectivement connu comme étant sujet à ce phénomène (figures 3 et 4).

Cet élément nouveau dans le diagnostic conduisit alors le maître d'ouvrage à mettre en place dès novembre 2003 un Comité Technique de suivi constitué

d'experts du secteur privé et du réseau technique et scientifique de l'État.

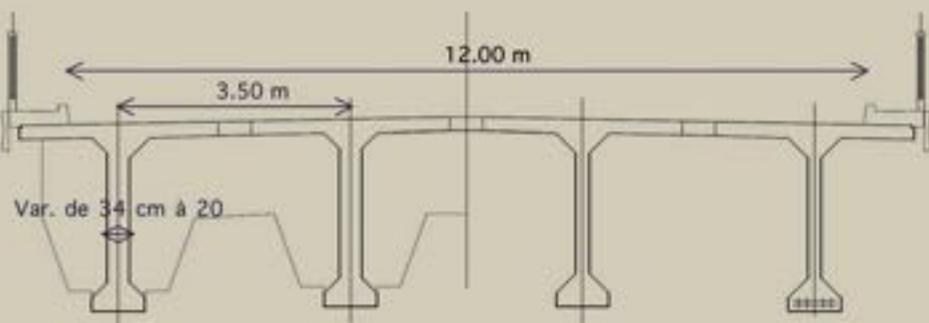
Après une décision d'interdiction aux poids lourds de plus de 40 tonnes, des essais en charge par courburemétrie furent réalisés. De ces essais, on put conclure qu'en l'absence d'anomalies dans le comportement des structures, l'ouvrage était dans un domaine de fonctionnement satisfaisant au regard de la sécurité.

En parallèle, dès mai 2004, le Comité Technique recommanda d'engager des études pour un processus de réparations lourdes ; dont les études furent confiées à la société SETEC TPI.

Des travaux de réparations classiques des zones dégradées furent réalisés de 2003 à 2009, sous maîtrise d'œuvre interne du Conseil général. Ils donnèrent l'occasion de mettre en évidence des désordres en talon de poutre, mais aussi dans les âmes (de faible épaisseur), avec corrosion classique de fils de précontrainte. La présence de chlorures fut confirmée.

Défauts d'enrobages, bétons aux parements mal fermés, environnement agressif avec présence de chlorures,

## COUPE TRANSVERSALE GÉNÉRALE



2

© SETEC TPI

2- Coupe transversale générale.

3- Poutre dégradée - vue d'ensemble.

4- Poutre dégradée - zoom.

2- General cross section.

3- Damaged beam - overall view.

4- Damaged beam - close-up view.



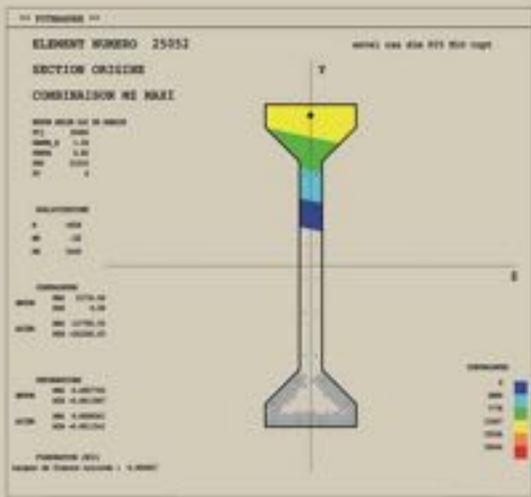
3



4

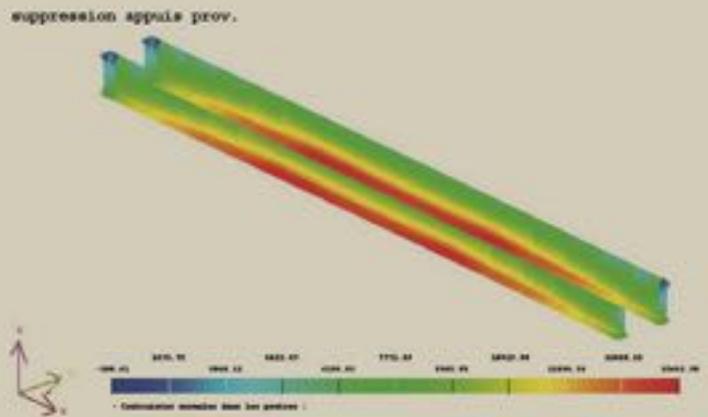
FIGURES 3 & 4 © CG44

## CONTRAINTES DANS UNE POUTRE À L'ELU FONDAMENTAL



5

## CONTRAINTES NORMALES DANS LES POUTRES À L'ELS



6

FIGURES 5, 6 & 7 © SETEC TPI

**5- Contraintes dans une poutre à l'ELU fondamental.**

**6- Contraintes normales dans les poutres à l'ELS.**

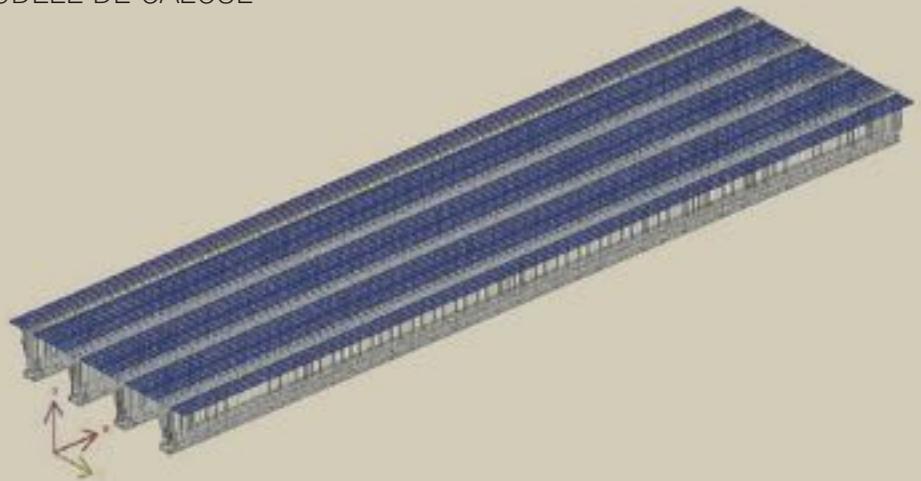
**7- Modèle de calcul.**

**5- Stresses in a beam in the fundamental ULS.**

**6- Normal stresses in beams in the SLS.**

**7- Design model.**

## MODÈLE DE CALCUL



7

procédé de précontrainte fragile ; comme souvent les causes initiant les dégradations sont multiples. L'ampleur des zones à réparer se révéla très nettement supérieure aux prévisions. On notera que l'objet de ces travaux n'était que de réparer et stopper le processus de dégradation par la corrosion. Aucune réponse n'était apportée ni aux pertes de précontrainte, ni à la problématique des chlorures.

Les désordres touchant la précontrainte étaient situés le plus souvent en talons et pieds d'âmes. Plusieurs poutres montrèrent localement des ruptures de fils pouvant représenter l'équivalent d'un câble. Deux poutres présentèrent localement des ruptures équivalentes à la perte d'environ 2 câbles. La découverte ultérieure de ruptures de fils en zone d'ancrage en extradors, et la

confirmation du rôle de la fissuration sous tension des fils KA conduisit à envisager des ruptures aléatoires tout le long de la poutre. Les travaux de renforcement ont été confiés à l'entreprise BOUYGUES TPRF pour un montant voisin de 21 M€ TTC. La maîtrise d'œuvre est assurée par la société SETEC TPI.

### CONCEPTION DU RENFORCEMENT BUT DU RENFORCEMENT

Compte tenu de la position stratégique du pont de Saint-Nazaire Saint-Brévin (absence de tout autre franchissement à 60 km), l'objectif principal de ce renforcement est d'assurer le maximum de durabilité et de sécurité à l'ouvrage (30 ans au programme). La conception du renforcement doit permettre de maintenir la fonctionnalité actuelle

tout en tenant compte de l'évolution probable des dégradations observées. Le renforcement structurel des poutres VIPP concerne les 30 travées du viaduc d'accès sud du pont de Saint-Nazaire Saint-Brévin, soit 120 poutres.

Ne pouvant connaître l'état exact de la précontrainte d'origine de toutes ces poutres et partant du principe que de part et d'autre d'une rupture un câble peut se réancrer, le principe du renforcement structurel doit être universel, la conception tenant compte à la fois des parties saines et des parties dégradées des poutres.

Le modèle du projet de renforcement a été réalisé avec le logiciel Pythagore, développé en interne par SETEC TPI. Les cas de rupture ont été simulés de manière à avoir une palette de résultats la plus large possible et ce,

pour plusieurs sections réparties sur la longueur de la poutre. La première étape du dimensionnement consistait à déterminer la quantité maximale de précontrainte additionnelle que les poutres pouvaient supporter afin de reprendre un maximum de ruptures de fils sur une même section. La seconde étape du dimensionnement portait sur la stabilité de l'ouvrage à l'ELU.

La stabilité à l'ELU doit être vérifiée pour un maximum de ruptures (objectif de 70% de ruptures à l'ELU fondamental et 100% à l'ELU accidentel) avec une maîtrise des déformations afin de limiter les surtensions dans la précontrainte restante.

En juin 2009, à l'issue de l'AVP, une solution de renforcement par précontrainte additionnelle isostatique placée dans une gaine PEHD a été retenue. ▷

L'effet « parachute » destiné à assurer à la structure une ductilité suffisante à l'ELU en cas de rupture importante de précontrainte est assuré par des renforts en béton, armés de HA40 coulés sur le talon de la poutre.

### PRÉSENTATION DES CALCULS

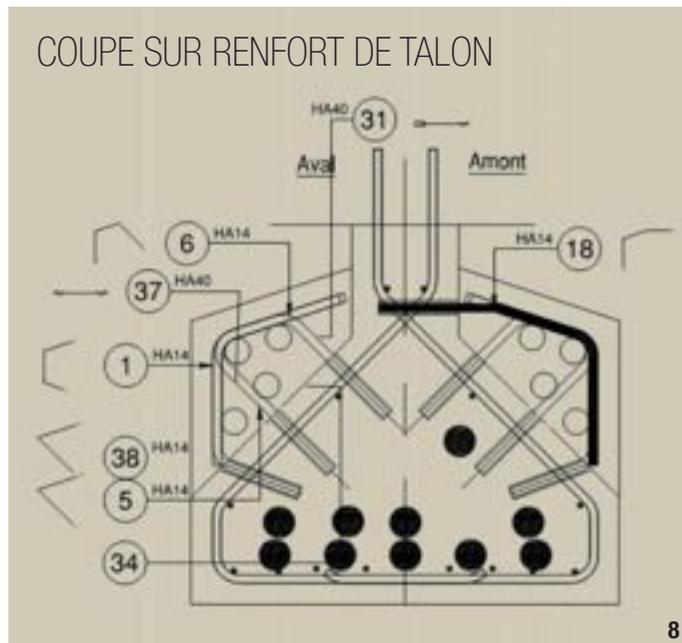
Les âmes des poutres ont été modélisées par des éléments filaires (de 80 cm de large et 2,82 m de haut) dont la section transversale est maillée pour pouvoir affecter un comportement non-linéaire à la poutre (modèle « multifibres »). La table de compression reliant ces 4 poutres a été modélisée par des éléments de dalles de 20 cm d'épaisseur (linéaires pour leur part). Cette modélisation du hourdis a permis d'obtenir un comportement transversal prenant en compte cette répartition des charges et la localisation des ruptures sur les différentes poutres. Ainsi, la totalité des calculs a pu être menée en non-linéaire, avec prise en compte de la non linéarité du comportement du béton armé.

À l'ELS, le modèle a permis de déterminer la contrainte dans le talon lors des différentes phases de renforcement et de s'assurer que pour tous les cas de rupture envisagés le talon restait comprimé. À vide à la mise en tension, on a pu s'assurer que la contrainte dans les poutres centrales, les plus comprimées, restait admissible. Aux ELU, le modèle multifibre a permis de calculer la contrainte dans le béton et dans les aciers passifs (existants et additionnels), ainsi que les surtensions dans les câbles existants. Le calcul des contraintes tangentées a permis d'estimer les déficits de résistance à l'effort tranchant par rapport aux armatures passives en présence, et d'estimer la quantité de matériau composite à mettre en œuvre. Enfin, l'exploitation des efforts calculés dans la dalle a permis de montrer que les pertes de précontrainte n'avaient pas d'effet significatif sur le hourdis d'une travée (figures 5, 6 et 7).

### DESCRIPTION DE LA SOLUTION RETENUE

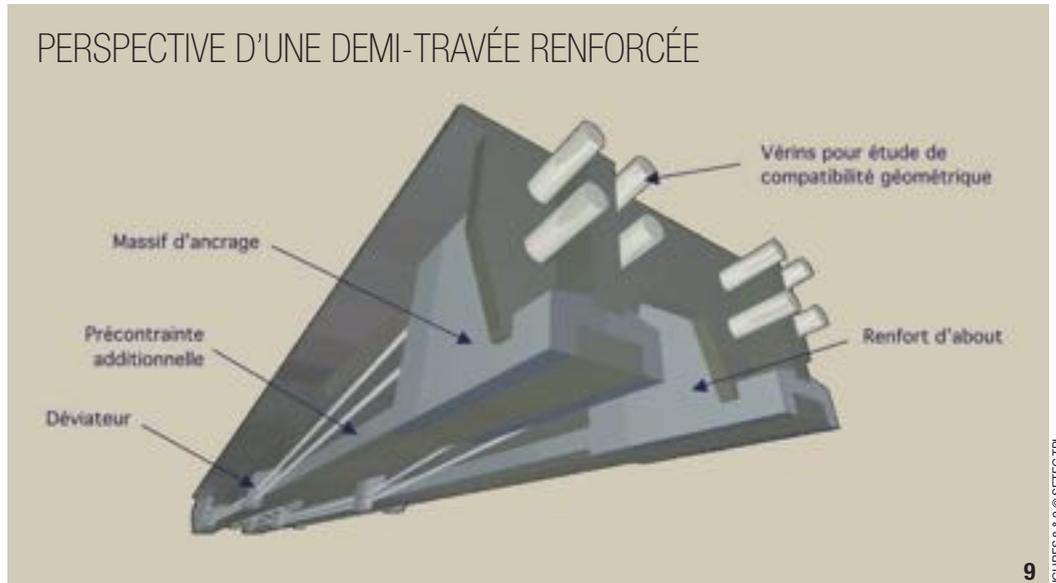
Sur la base des calculs précédemment décrits, les dispositifs de renforcement suivants ont été retenus (figures 8 et 9) :

- Mise en œuvre d'une précontrainte extérieure constituée de 4 câbles 8T15S par poutre, placés dans une gaine PEHD ;
- Préparation de surface et mise en œuvre d'un inhibiteur de corrosion en surface du talon existant ;



8- Coupe sur renfort de talon.  
9- Perspective d'une demi-travée renforcée.

8- Cross section on heel reinforcement.  
9- Perspective view of a strengthened half-span.



- Renforcement du talon par barres HA 40 enrobées de béton coutré sur les talons ; les barres tiennent le rôle de « parachute » à l'ELU et le béton renforce la résistance de la section à la flexion à l'ELS ;
- Mise en œuvre de massifs en béton armé aux abouts de 2 m de long intégrant les ancrages de la précontrainte additionnelle, les aciers de diffusion et le renforcement du talon par des aciers en U permettant la reprise de la bielle d'about ;
- Mise en œuvre de deux déviateurs en béton armé de 1 m de long pour reprendre les efforts de déviation angulaire des câbles ;
- Renforcement à l'effort tranchant par mise en œuvre de bandes de matériaux composites ceinturant le talon de la poutre et remontant jusqu'au niveau

du gousset supérieur. Ces bandes sont collées par une matrice époxy et ancrées à la poutre par des scellements au niveau des goussets ;

- Mise en œuvre d'un revêtement de protection des parements béton sur l'ensemble de la surface des poutres (hors hourdis).

### TRAVAUX DE RENFORCEMENT

Pour BOUYGUES Travaux Publics Régions France en charge des travaux, le chantier de renforcement structural du pont de Saint-Nazaire représente une vitrine du savoir-faire de l'entreprise. En effet, il requiert à la fois des compétences dans les domaines du génie civil, de la précontrainte par câbles, de la précontrainte par barres, de la fibre de carbone et du revêtement

LHM, le tout dans un contexte nécessitant des méthodes innovantes pour réaliser l'ensemble de ces travaux.

### LES PLATEFORMES DE TRAVAIL ET LES MOYENS D'ACCÈS

L'enjeu principal du chantier est de réaliser ces travaux importants tout en limitant les interventions depuis le dessus du tablier pour minimiser les contraintes aux usagers du pont. Pour ce faire, le service méthodes de l'entreprise Bouygues TP RF a conçu des plateformes de travail qui sont amenées entre les piles par flottaison sur la Loire puis hissées sous le tablier par Heavy Lifting® (procédé VSL) (figure 10). Ces plateformes sont de deux types ; les pontons, au nombre de 2, permettant de réaliser les travaux de renforcement (génie civil et précon-

trainte) et les passerelles, également au nombre de 2, permettant, elles, de réaliser les bandes carbonées V2C® (procédé VSL France), l'application du revêtement LHM et la pose de l'instrumentation de service.

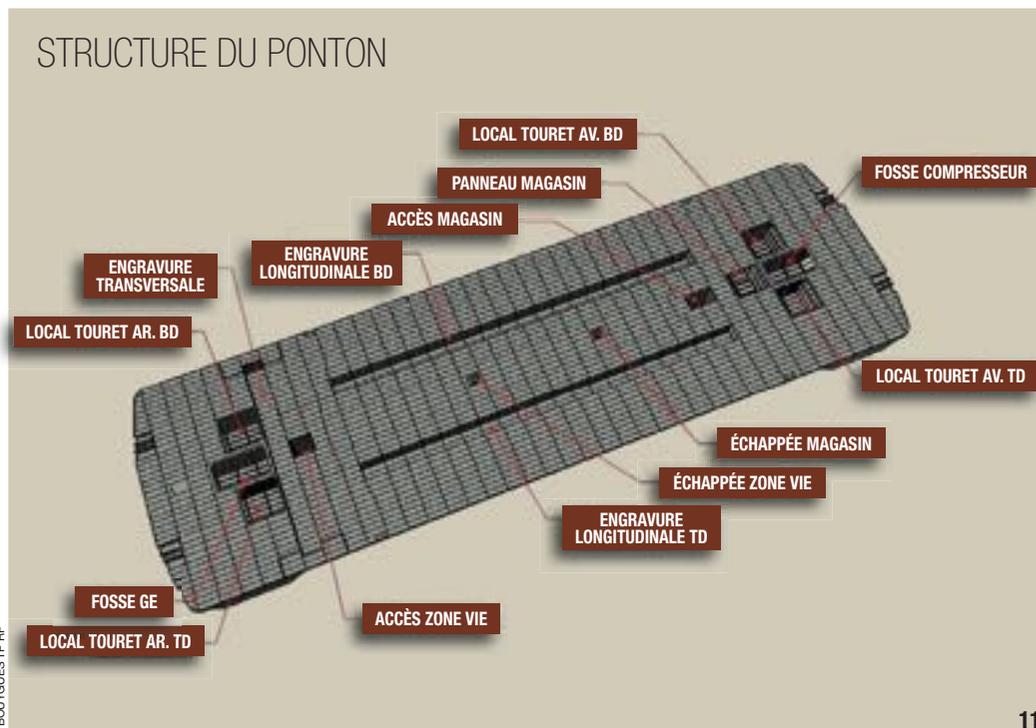
La conception des pontons est la principale innovation de ce chantier, elle a d'ailleurs été primée au concours innovation Bouygues Construction 2012. Le cahier des charges consistait à dimensionner une plateforme de travail permettant de réaliser les travaux de génie civil et de précontrainte de l'ensemble d'une travée tout en bénéficiant d'une autonomie totale en matériels et matériaux. Ainsi, de nombreuses engravures ont été prévues dans la structure des pontons pour permettre de stocker les 25 tonnes d'aciers HA, les 8 tonnes de câbles de précontrainte et les 88 barres Macalloy Ø50 de clouage que comporte chaque travée, les coffrages, les dévidoirs de précontrainte, etc. (figure 11). Également, à l'intérieur de la coque des pontons, un magasin a été aménagé pour permettre de stocker les produits et matériels sensibles aux intempéries, comme les mortiers de ragréage, les sacs de coulis d'injection des gaines de précontrainte, les centrales d'injection, les produits de scellements, les vérins de mise en tension etc. Enfin, le viaduc compte 30 travées sur 1 500 mètres qui sont renforcées successivement depuis la culée côté Saint-Brévin-Les-Pins jusqu'au tablier métallique haubané. Aussi, l'accès du



10- Vérins de Heavy Lifting.  
11- Structure du ponton.

10- Heavy Lifting jacks.  
11- Ponton structure.

personnel se faisant par un cheminement piéton suspendu aux 2 poutres centrales du tablier, fixé sur celles-ci à l'avancement des travaux de renforcement, il a fallu prévoir une autonomie d'hygiène et de sécurité sur les pontons pour limiter les aller-retour à la base vie principale. En effet, pour la réalisation des travaux des dernières travées les pontons se trouveront à 1 500 m de la base vie. Ainsi, un réfectoire, une cui-



11

sine et des sanitaires ont été aménagés dans la coque de chaque ponton pour limiter les trajets à un aller le matin au démarrage du poste et un retour le soir à la fin du poste. Après les travaux d'une travée, les pontons sont déhissés puis amenés par flottaison à l'estacade, construite à cet effet, pour permettre leur ravitaillement en matériaux. Les pontons sont ensuite acheminés par flottaison sur la travée suivante, puis hissés sous tablier. Les travaux de cette nouvelle travée peuvent alors commencer (figures 12 et 13).

### LE CYCLE DE RENFORCEMENT

Le renforcement structurel réside principalement dans l'ajout d'une précontrainte additionnelle. La technologie utilisée pour la précontrainte, proposée par VSL France en triple protection, avec des mises en tension au vérin mono toron est un point clé du chantier. En effet, au lieu d'un système multi torons enfilés dans une gaine PEHD injectée ensuite à la cire pétrolière, VSL France a proposé d'enfiler des câbles mono torons gainés-graissés dans une gaine PEHD puis d'injecter au Supers-tresscem® la partie entre ancrages pour enfin injecter les capots d'ancrage à la cire. Cette méthode permet de proposer une couche de protection supplémentaire, de permettre de tendre les câbles au vérin mono torons, tout en gardant la possibilité de remplacer un câble.

Les travaux de génie civil et de précontrainte sont effectués depuis les pontons décrits ci-avant qui sont au nombre de 2, permettant de travailler simultanément sur 2 travées successives en dehors des opérations de hissage/déhissage/ravitaillement qui ont lieu tous les 35 jours ouvrés.

Les travaux d'une travée sont organisés pour traiter dans un premier temps la poutre côté océan, puis la suivante, etc. pour finir par celle côté terre. Puis, ces travaux se répètent sur la travée suivante depuis le 2<sup>e</sup> ponton. Les travaux d'une poutre suivent systématiquement le cycle suivant :

→ Hydro-surfaçage des zones de reprise de bétonnage : réalisé à la lance haute-pression (2 500 bars), il permet d'assurer la qualité de la reprise de bétonnage ;

→ Repérage des gaines de précontrainte et aciers existants et traçage des percements : passage du radar et marquage du maillage des armatures permettant de préserver la structure existante au moment des percages et carottages ultérieurs ;

- Percements des trous en vue d'y sceller les aciers (dans les massifs et le renfort de talon) ;
- Ferrailage : les aciers sont assemblés sur site avant d'être scellés pour permettre de les façonner à la griffe pour qu'ils respectent parfaitement l'enrobage nécessaire ;
- Scelléments chimiques des aciers ;
- Coffrage/Bétonnage des bielles d'about : ce premier bétonnage permet d'obtenir le trou dans les entretoises permettant ainsi de bétonner les massifs d'ancrages sans risque de voir le béton s'écouler par ce trou ;
- Coffrage/Pose des tubes déviateurs/Bétonnage des massifs d'ancrages et déviateurs de précontrainte ;
- Clouage transversal : mise en tension des barres de précontrainte transversales permettant « d'accrocher » les massifs à la structure existante (résistance mini du béton pour cette phase : 26 MPa) ;
- Pose des tubes PEHD de précontrainte sur supports ;
- Enfilage et première mise en tension des câbles : reprise du « mou » des câbles qui permet aussi d'assurer les alignements lors de l'injection ;
- Injection du coulis de ciment dans les gaines PEHD ;
- Détention puis substitution des plaques d'ancrage : permet de retirer les plaques d'ancrages d'injection et de mettre en place les plaques définitives ;
- Mise en tension à 20 % de la précontrainte préalable au bétonnage du renfort de talons : la structure existante des poutres ne permet pas de supporter le surpoids amené par le bétonnage du renfort de talon, mais elle ne supporterait pas non plus la mise en tension à 100 % de la précontrainte sans le dit renfort, il est donc nécessaire d'avoir une phase intermédiaire de mise en tension ;
- Coffrage/Bétonnage du renfort de talon ;
- Mise en tension à 100 % de la précontrainte.

Chacune de ces opérations est répétée d'une poutre à l'autre d'une travée, puis d'une travée à l'autre en changeant de ponton.

Il est donc impératif que le cycle de transfert des pontons suive la même cadence que le cycle des travaux de renforcement pour qu'il n'y ait jamais d'interruption de la production entre 2 travées consécutives.

L'application des bandes V2C® et du revêtement LHM ainsi que la pose de l'instrumentation de service, sont dissociées de ce précédent cycle car elles



12

© BOUYGUES TP-RF



13

© BOUYGUES TP-RF

**12- Lamanage de la passerelle sur flotteurs.**

**13- Lamanage d'un ponton chargé.**

**12- Berthing of the foot bridge on floats.**

**13- Berthing of a loaded pontoon.**

sont réalisées depuis des passerelles indépendantes (figures 14 et 15).

### RÉFLEXIONS DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE ET PERSPECTIVES

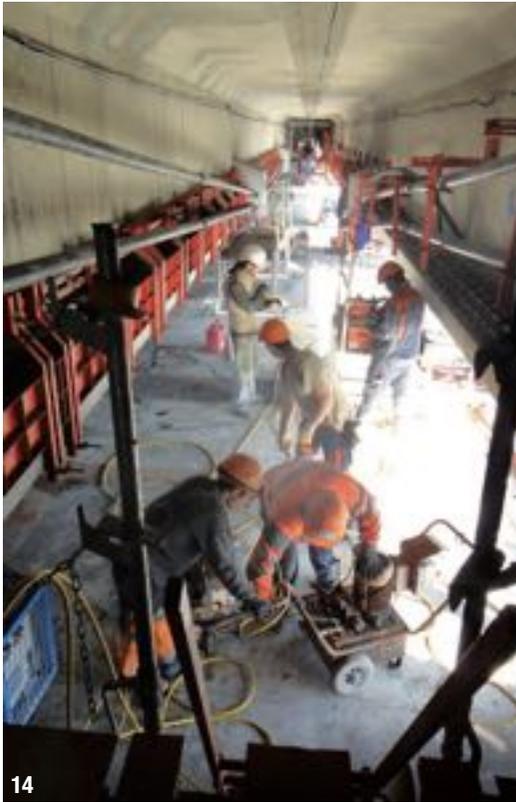
Ces travaux conséquents de confortation structurelle du viaduc sud ont débuté en septembre 2010, pour le seul viaduc VIPP sud et devraient s'achever en avril-mai 2014.

Le renforcement structurel apporte une

réponse en termes de capacité portante. Ce renforcement est conçu pour « autoriser » une poursuite possible des phénomènes de dégradations de la précontrainte existante.

On ne peut que souhaiter que la mise en place d'un revêtement de protection, mais aussi d'inhibiteurs en talons permette de ralentir voire stopper ce processus.

L'ouvrage restera sous surveillance, notamment avec le recours à une



14

© SETEC TPI



15

© BOUYGUES TP RF

14- Activités sur le ponton.  
15- Mise en place des bandes carbone.

14- Activities on the pontoon.  
15- Installation of carbon strips.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**2 400 m<sup>3</sup>** de béton  
**770 t** d'armatures passives  
**250 t** de précontrainte  
**221 000** scellements  
**44 000 m<sup>2</sup>** de revêtement de protection

instrumentation associant capteurs acoustiques et cordes vibrantes. Pour le viaduc VIPP nord, moins dégradé, et avec des bétons de meilleure qualité, la nécessité de procéder ultérieurement à son renforcement n'est pas établie, et devrait pouvoir être évitée.

Notons que par ailleurs, des défauts ou désordres ont été identifiés sur les fûts de piles motivant également un programme spécifique important de restauration. L'ensemble de ces travaux représente donc une charge financière conséquente pour un ouvrage indispensible. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Conseil Général de Loire Atlantique

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Setec TPI

**ENTREPRISE :** Bouygues TP Régions France

## ABSTRACT

### PATHOLOGY AND STRENGTHENING OF THE SAINT-NAZAIRE BRIDGE

P. GRIAUD, CONSEIL GENERAL 44 - F. LANQUETTE, SETEC TPI - P. VILAR, BOUYGUES TP - T. ROBERT, BOUYGUES TP - A. JEUNEHOMME, BOUYGUES TP

**At present, certain independent prestressed beams** of the decks of viaducts leading to the Saint-Nazaire/Saint-Brévin bridge have defects affecting the prestressing wires, some of which have broken due to stress corrosion. Structural reinforcement of all the beams of the southern approach viaduct by additional isostatic prestressing is therefore required. Nature of works:

- > Performance of external prestressing;
- > Surface preparation and application of a corrosion inhibitor on the surface of the existing heel;
- > Strengthening of the heel by HA 40 bars coated with tied concrete on the heels;
- > Execution of reinforced concrete anchoring foundations at the ends;
- > Execution of two reinforced concrete deviators 1 m long to absorb the cables' angular deviation forces;
- > Reinforcement against shear force by installing strips of bonded composite materials;
- > Installation of a coating for protection of the concrete cladding over the entire surface of the beams.

To perform the strengthening works, the contractor designed floating pontoons also serving as a work platform after being hoisted under the spans. □

### PATOLOGÍA Y REFUERZO DEL PUENTE DE SAINT-NAZAIRE

P. GRIAUD, CONSEIL GENERAL 44 - F. LANQUETTE, SETEC TPI - P. VILAR, BOUYGUES TP - T. ROBERT, BOUYGUES TP - A. JEUNEHOMME, BOUYGUES TP

**Actualmente, algunas vigas VIPP** de los tableros de los viaductos de acceso del puente de Saint-Nazaire - Saint-Brévin presentan defectos que afectan a los cables de pretensión, algunos de los cuales están rotos por corrosión bajo tensión. Así pues, es necesario un refuerzo estructural del conjunto de las vigas del viaducto de acceso sur mediante pretensión adicional isostática. Naturaleza de las obras:

- > Aplicación de una pretensión exterior;
- > Preparación de superficie y aplicación de un inhibidor de corrosión en la superficie del talón existente;
- > Refuerzo del talón por medio de barras HA 40 revestidas de hormigón cosido en los talones;
- > Aplicación de macizos de anclaje de hormigón armado en los extremos;
- > Aplicación de dos desviadores de hormigón armado de 1 m de longitud para recuperar los esfuerzos de desviación angular de los cables;
- > Refuerzo al esfuerzo cortante mediante la aplicación de bandas de materiales compuestos pegadas;
- > Aplicación de un revestimiento de protección de los paramentos de hormigón en el conjunto de la superficie de las vigas.

Para realizar las obras de refuerzo, la Empresa ha diseñado pontones flotantes que también sirven de plataforma de trabajo una vez izados bajo los tramos. □



1

© SETEC

# LGV EST EUROPÉEN. LES VIADUCS DE LA ZORN ET DE WILWISHEIM

AUTEURS : ALAIN CUCCARONI, DIRECTEUR D'OPÉRATION, RFF - NORA ZEHANI, CHARGÉE DE PROJET DU TRONÇON H, RFF - JEAN TEISSEIRE, BOUYGUES TPRF - ARNAUD CHASSINAT, ZWALHEN & MAYR - BRUNO GODEFROY, SETEC - LUC DE SAINT PALAIS, SETEC - DANIEL PRATS, SETEC - PIERRE-LOÏC VEYRON, SETEC

LA SECONDE PHASE DE LA LIGNE À GRANDE VITESSE PARIS-STRASBOURG COMPORTE LA TRAVERSÉE DE LA PLAINE INONDÉE DE LA RIVIÈRE ZORN AU NIVEAU DE LA COMMUNE DE WILWISHEIM DANS LE DÉPARTEMENT DU BAS-RHIN. DEUX VIADUCS À TABLIERS MIXTES DE 381 M ET 453 M DE LONG Y SONT RÉALISÉS PAR LE GROUPEMENT BOUYGUES/ZWALHEN & MAYR, AVEC DES PROCÉDÉS INNOVANTS : MONTAGE DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE À LA GRUE ET RÉALISATION D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉES POUR LES PILES ET LES TABLIERS.

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La nouvelle Ligne à Grande Vitesse Est Européenne traverse l'Alsace depuis le tunnel de Saverne qui permet de franchir les Vosges, jusqu'à la périphérie de Strasbourg au niveau de la commune de Vendenheim.

À cette occasion, elle passe à travers la zone humide remarquable de la Zorn au niveau de la commune de Wilwisheim. Après de nombreuses concertations avec les élus locaux

et les riverains, il a été décidé d'y construire 2 ouvrages, le viaduc de Wilwisheim et le viaduc de la Zorn respectivement de 381 m et 453 m de long. Ces deux ouvrages sont espacés par un remblai de 350 m de long.

## PRÉSENTATION DES OUVRAGES

Le viaduc de Wilwisheim permet d'enjamber une route départementale importante, la RD 421, ainsi que la ligne

**1- Ouvrage de Wilwisheim : pose du tronçon sur la voie ferrée Paris-Strasbourg.**

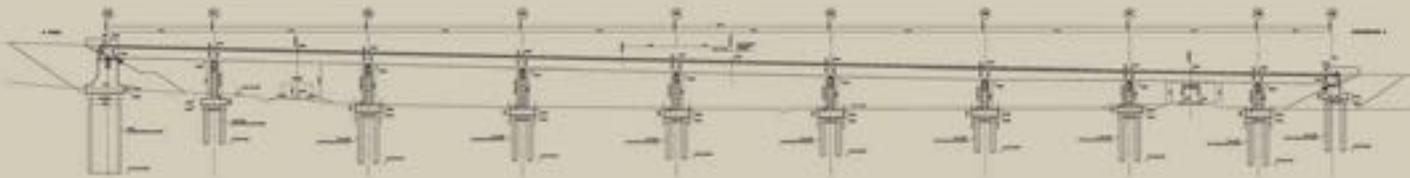
**1- The Wilwisheim structure: laying the section on the Paris-Strasbourg railway line.**

ferroviaire actuelle Strasbourg-Paris. Il présente 9 travées de longueur variable comprise entre 23 et 48 m. et des piles de hauteur comprise entre 7,80 m et 12 m (figure 2).

Le viaduc de la Zorn qui traverse la zone inondable de la rivière Zorn, permet également de franchir le canal de liaison entre le Rhin et la Marne.

Il présente 11 travées de 22 m à 47 m. Cet ouvrage a la particularité de « raser » le terrain naturel puisque les

## COUPE LONGITUDINALE DU VIADUC DE WILWISHEIM



2

## COUPE LONGITUDINALE DU VIADUC DE LA ZORN



3

© SETEC

pires ont des hauteurs comprises entre 4 et 6,50 m (figure 3).

Compte tenu de sa longueur supérieure à 450 m, il a été nécessaire d'introduire une travée isostatique afin de tenir compte des contraintes d'armement.

Ainsi l'ouvrage présente 3 parties indépendantes de longueurs respectives : 176 m, 41 m et 236 m.

Ces travaux sont réalisés par un groupement d'entreprises constituées de Bouygues TP Région France/Zwalhen & Mayr.

### HISTORIQUE DE LA CONCEPTION

Sur une longueur d'environ 1 080 m la LGV franchit dans la vallée de la Zorn :

→ La RD 421 ;

→ La voie ferrée de la ligne Paris-Strasbourg ;

→ Le lit de la Zorn ;

→ Le canal de la Marne au Rhin.

La valeur patrimoniale de la zone humide constituée par le lit majeur de la Zorn et le risque d'inondation sont les enjeux principaux de la conception de ce franchissement.

**La solution initiale est celle du projet de 2001. Elle consiste en 4 ouvrages pour une longueur cumulée d'environ 501,5 m :**

→ Un pont-rail de 3 travées sur la RD 421 composé d'un tablier à 4 poutres en béton armé. La longueur de l'ouvrage est 78 m pour une travée maximale de 30 m.

**2- Coupe longitudinale du Viaduc de Wilwisheim.**

**3- Coupe longitudinale du Viaduc de la Zorn.**

**2- Longitudinal section of the Wilwisheim Viaduct.**

**3- Longitudinal section of the Zorn Viaduct.**

→ Le viaduc de Wilwisheim de longueur 163,4 m, franchit la VF Paris-Strasbourg en ménageant un espace de façon à respecter l'ouverture hydraulique requise dans la vallée. C'est un ouvrage quadri-poutres à ossature mixte acier-béton à 6 travées de portée maximale 29,1 m.

→ Le viaduc de la Zorn de longueur 190 m, franchit le lit mineur et la partie centrale de la vallée inondable. C'est un ouvrage quadri-poutres à ossature mixte acier-béton à 6 travées de portée maximale 32 m.

→ Le viaduc de Lupstein de longueur 70,1 m, franchit le canal de la Marne au Rhin. C'est un ouvrage quadri-

poutres à ossature mixte acier-béton à 3 travées de portée maximale 31,9 m. Lors de la reprise des études de projet en 2008, une nouvelle étude hydraulique qui exploite des données topographiques beaucoup plus précises et la poursuite de la concertation ont conduit à revoir la conception du franchissement. Différentes solutions ont été examinées dont les suivantes :

**Solution constituée de 3 ouvrages pour une longueur cumulée d'environ 638 m :**

→ Un pont rail de 3 travées sur la RD 421 composé d'un tablier de type bipoutre mixte acier-béton. La longueur de l'ouvrage est 98 m pour une portée maximale de 38 m.

→ Le viaduc de Wilwisheim de longueur 90 m, franchit la VF Paris-Strasbourg.

C'est un ouvrage de type bipoutre mixte acier-béton à 3 travées de portée maximale 38 m.

→ Le viaduc de la Zorn de longueur 450 m, franchit le lit mineur et la vallée inondable, ainsi que le canal. C'est un ouvrage de type bipoutre mixte acier-béton à 11 travées de portée maximale 48 m.

**Solution composée de 2 ouvrages pour une longueur cumulée d'environ 891 m :**

→ Un pont rail de 3 travées sur la RD 421 composé d'un tablier de type bipoutre mixte acier-béton. La longueur de l'ouvrage est 98 m pour une portée maximale de 38 m.

→ Le viaduc de la Zorn de longueur 793 m, franchit la VF Paris-Strasbourg, le lit mineur et la vallée inondable, ainsi que le canal. C'est un ouvrage de type bipoutre mixte acier-béton à 19 travées de portée maximale 48 m.

**Solution franchissant l'ensemble de la vallée par un viaduc unique de 1 080 m :**

C'est un ouvrage de type bipoutre mixte acier-béton de portée maximale 48 m.

En définitive, suivant les avis rendus par la mission d'expertise commanditée par l'état, la solution retenue est la solution suivante qui fait l'objet de cet article.

**Solution retenue composée de 2 ouvrages pour une longueur cumulée d'environ 834 m :**

→ Le viaduc de Wilwisheim de longueur 381 m, franchit la RD 421 et la VF Paris-Strasbourg.

→ Le viaduc de la Zorn de longueur 453 m, franchit le lit mineur et la vallée inondable, ainsi que le canal.

### ASPECT ENVIRONNEMENTAUX

Les viaducs de Wilwisheim et de la Zorn sont situés dans une zone à forts enjeux environnementaux.

En effet, la vallée de la Zorn constitue une unité paysagère spécifique, constituée de prairie humide et de ripisylves en fond de vallée encadrées par des versants à pentes relativement douces partiellement cultivés. ▶



4

© GARONNE-MIDI-PYRENEES.N2000.FR



5

© LEPIDOPTERES.BLOGSPOT.COM

Les 2 cours d'eau, la Zorn et le Lohgraben présentent un intérêt écologique important avec des peuplements piscicoles significatifs.

Par ailleurs, 2 espèces d'insectes rares et protégées ont été observées sur le site. Il s'agit :

→ De l'Agrion de Mercure présent dans les fossés le long de la Zorn (figure 4) ;

→ Du Cuivré des Marais, espèce de papillon protégée (figure 5).

Pour ces deux espèces, un arrêté préfectoral a été pris afin de permettre par dérogation la destruction de leur milieu. Des préconisations spécifiques ont été adoptées sur le chantier :

→ Réalisation des installations de chantier et des dépôts définitifs hors des zones écologiques sensibles ;

**4- Agrion de Mercure.**

**5- Cuivré des Marais.**

**6- Barrettes CO Wilwisheim - mise en place du tronçon central de la cage d'armatures dans le forage.**

**7- Barrettes CO Wilwisheim - bétonnage.**

**4- Agrion de Mercure.**

**5- Cuivré des Marais.**

**6- Wilwisheim CO supporting wall units - installation of the central section of the concrete reinforcing cage in the drill hole.**

**7- Wilwisheim CO barrettes concreting.**

→ Emprises de chantiers délimités par des clôtures et balisage des espaces naturels remarquables ;

→ Opération de sauvegarde de la faune piscicole dans la rivière de la Zorn et dans le fossé du Lohgraben par pêche électrique ;

→ Réalisation d'un suivi de la qualité des eaux par prélèvements et analyse régulière des eaux ;

→ Déboisements limités et réalisation en dehors de la période de nidifications des oiseaux (période autorisée de début octobre à fin février).

→ Mise en place d'un dispositif d'assainissement provisoire composé d'un réseau de collecte provisoire et d'ouvrages de protection des eaux provisoires ayant pour fonction notamment la décantation des eaux de ruissellement des eaux du chantier.

### RISQUES KARSTIQUES

Les ouvrages traversent la plaine alluviale de la rivière la Zorn. Ainsi ils sont fondés sur un dépôt alluvionnaire sablo-graveleux d'une épaisseur com-

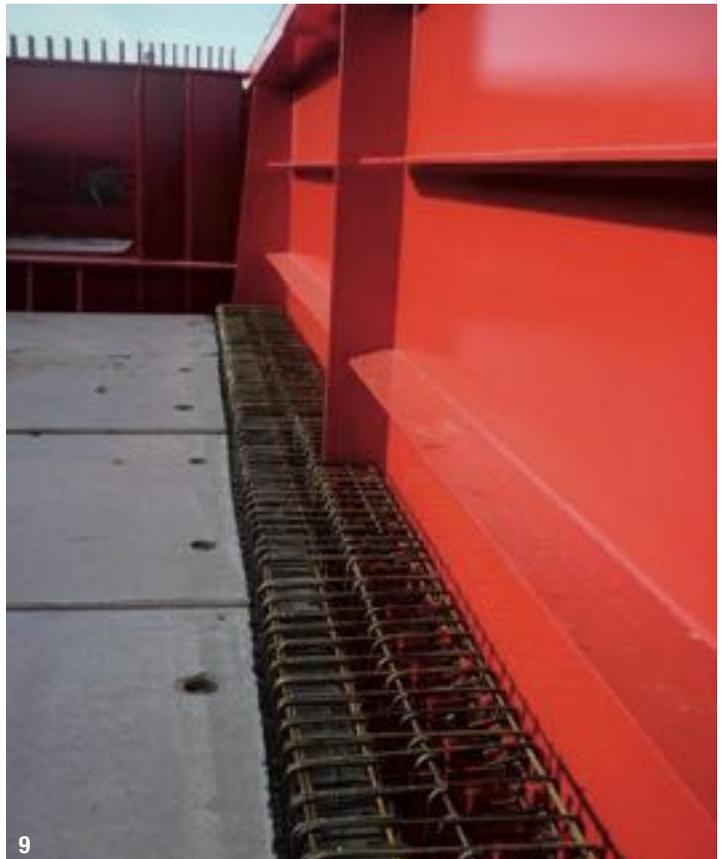


6



7

© GROUPEMENT BYT/ZM



prise entre 7 et 9 m. Ce dernier repose sur un substratum constitué de marne de Keuper qui présente des traces de dissolution dues à la présence de gypse.

Dès les reconnaissances effectuées lors de l'élaboration du projet, des anomalies karstiques ont été mises en évidence dans cet horizon.

La recherche d'une éventuelle cavité pendant la réalisation des fondations a donc été une préoccupation constante. Ainsi sous chaque appui, 3 sondages destructifs descendant à 10 m sous la base des pieux ont été réalisés. Seul un appui a présenté des traces d'altérations des marnes directement sous la base de celui-ci et a été traité. Tous les autres appuis ne présentaient aucun risque.

## RÉALISATION DES FONDATIONS

Compte-tenu du contexte géotechnique, il a été nécessaire de réaliser des fondations profondes qui ont consisté :

→ Pour tous les appuis à l'exception de la culée C0 de l'ouvrage de Wilwisheim, en la réalisation de pieux tubés forés de diamètre Ø 1 600 et de profondeur variable comprise entre 8 et 20 m. La réalisation de ces pieux n'a pas posé de problème particulier

**8- Coques préfabriquées servant de coffrage de piles.**

**9- Dalles préfabriquées inférieures non encore clavées.**

**8- Prefabricated shells used for pier formwork.**

**9- Prefabricated lower slabs not yet keyed.**

hormis quelques ségrégations ou présences de vides sous leur pied nécessitant des injections complémentaires. → Pour la culée C0 de l'ouvrage de Wilwisheim qui constitue le point fixe et reprend tous les efforts de freinage et de séisme, en la réalisation de 3 barrettes de 25 m de profondeur.

Les dimensions en plan de ces barrettes sont exceptionnelles pour des éléments monolithiques de cette sorte. En effet, de forme en I, elles ont une longueur de 10 m, pour une épaisseur de 1 m et à chaque extrémité un élément perpendiculaire de 2,25 m

de longueur par 1 m d'épaisseur. Ceci représente un forage de 300 m<sup>3</sup> sous bentonite et 100 t d'armature pour chaque barrette.

Les dimensions et le poids des cages d'armatures qui les rendaient impossibles à manutentionner de façon classique ont amené à dissocier les cages en trois éléments et à les assembler en place de cette façon (figure 6) :

- Prémontage en atelier des « T » d'extrémité,
- Montage sur site de la cage centrale,
- Mise en place dans le forage de chacun des trois éléments séparément,
- Relevage simultané des 3 cages et assemblage progressif par « tirettes »,
- Descente de la cage monolithique dans sa position définitive.

Le bétonnage a été mené avec trois tubes plongeurs alimentés simultanément (figure 7).

En plus, des difficultés de manutention des armatures, le problème résidait dans la précision des forages à la benne.

Pour éviter un désalignement de ces derniers en pied de barrettes, ainsi que pour limiter le temps de tenue de la fouille sous bentonite il a été procédé à des forages préalables en Ø 1 000

permettant de guider la benne de forage. Les contrôles ont montré que grâce à ces dispositions, l'exécution était correcte.

## LES APPUIS ET LE TABLIER : CHOIX DE LA PRÉFABRICATION

Compte tenu du délai fixé à 24 mois période de préparation et intempéries comprises, les deux viaducs devaient être réalisés en parallèle.

De plus, ils franchissent de nombreuses voies circulées, notamment la RD 421, la voie ferrée Paris-Strasbourg, le canal de la Mame au Rhin, ce qui impose des interventions très brèves auprès ou au-dessus de ces axes. Dans le cas de la voie ferrée, des créneaux courts et de nuit étaient déjà fixés dans le marché sans aucune modification possible.

La conjugaison de ces contraintes a conduit pour limiter les aléas à privilégier la préfabrication de toutes les parties d'ouvrages qui pouvaient s'y prêter. Et en particulier :

## LES PILES

Les fûts de forme oblongue sont de section constante, et de hauteur variable. L'entreprise a choisi de substituer à un coffrage classique l'emploi de coques préfabriquées. ▷

Ces coques, d'une épaisseur de 15 cm d'une hauteur de 1,5 m pour un poids de 12 tonnes sont réalisées en usine à Mulhouse, acheminées par la route et positionnées à leur emplacement définitif par empilage autour de la cage de ferrailage (figure 8). Le bétonnage est réalisé par levées successives dont la hauteur est définie par la résistance des coques.

L'intérêt de ce procédé, au-delà de la souplesse d'organisation de chantier qu'il apporte, est de réduire les heures de travail en hauteur, et d'obtenir une qualité de parement très régulière.

### LE HOURDIS INFÉRIEUR

Le tablier mixte comporte une dalle inférieure en béton connectée aux semelles basses des poutres métalliques. Cette dalle est elle aussi réalisée par éléments préfabriqués (figure 9). Le découpage de la dalle en éléments unitaires est conditionné par la position des entretoises et diaphragmes d'une part et par la limitation de largeur au gabarit routier d'autre part.

Ainsi, ce sont 350 éléments d'une largeur variant de 2 m à 2,5 m qui sont mis en place pour l'ensemble des deux viaducs.

Ces pièces préfabriquées en usine sont posées à la grue et clavées, travée par travée, avant le début d'exécution du hourdis supérieur.

L'avantage du procédé, est de réduire les temps d'intervention au-dessus de voies circulées et de ne pas engager les gabarits.

Enfin, leur mise en place permet d'obtenir immédiatement un cheminement et un plancher de travail sûrs entre les poutres.

### LE HOURDIS SUPÉRIEUR

Celui-ci est une dalle béton de 12,3 m de largeur, dont 2 x 3,15 m en encorbellement et 6 m entre les poutres. Il est réalisé par plots de 12 m de longueur.

Les plots sont coulés en place au moyen d'équipages mobiles avec le phasage classique, plots en travée puis plots sur appuis (figure 10).

Pour limiter le poids et le nombre de parties mobiles de ces équipages, la partie entre poutres n'est pas coffrée mais coulée sur des prédalles préfabriquées en usine puis mises en place sur les poutres après exécution du hourdis inférieur.

De même, pour raccourcir les temps de mise en place d'armatures, les paillasses sont prémontées au sol, raidies transversalement par des barres



supplémentaires et mises en place à la grue sur les prédalles précédemment posées.

Le cycle de réalisation du hourdis est donc le suivant :

→ Préfabrication en usine des prédalles, montage au sol des armatures ;  
→ Pose des prédalles, pose des paillasses d'armatures ;

→ Avancement de l'équipage et coulage par plots en travée puis sur piles.

La contrepartie à la souplesse qu'apporte l'utilisation de la préfabrication est la nécessité qu'il y a à maintenir en place du début à la fin des travaux des moyens de levage importants et un accès largement dimensionné tout au long de l'ouvrage.

### RÉALISATION DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE : DU CANTON DE VAUD À LA RÉGION ALSACE

Les charpentes métalliques des viaducs de la Zorn et de Wilwisheim ont été fabriquées par la société Zwahlen & Mayr SA située dans le canton de Vaud en Suisse Romande non loin de la frontière française (figure 11).

Zwahlen & Mayr SA en quelques lignes c'est :

→ 2 unités de production : charpente métallique et tube inox soit environ 300 personnes ;

charpente à la grue afin d'éviter la réa-lisation d'aires de lancement.

Cette solution permettait de s'affranchir également de la principale contrainte du chantier qui était les plages fixées pour la pose du tronçon sur la voie ferrée grâce à plus de souplesse dans le montage de la charpente.

Au final c'est donc cette solution qui a été retenue et a donc demandé à l'entreprise Zwalhen & Mayr un investissement important pour répondre en temps et en heure, les ouvrages de la Zorn représentant entre 20 et 30% de sa production annuelle.

L'acheminement des 3 600 tonnes de charpente des viaducs a été réalisé par convois exceptionnels avec des dimensions de poutres de plus de 30 m de long et dont la charge avoisinait les 50 tonnes.

### MONTAGE SUR SITE

Pour chacun des viaducs des dispositions particulières ont été prises pour permettre de poser et régler les différents éléments avant soudage.

Deux solutions techniques ont été alors mises en œuvre :

→ Pour Zorn, des pieux battus équipés d'un chevêtre métallique ;

→ Pour Wilwisheim, compte-tenu de la hauteur des piles, la solution avec pieux n'était malheureusement pas envisageable. Des « béquilles » ont donc été fabriquées permettant à la fois de poser et régler les poutres.

### CONTRAINTES PARTICULIÈRES DU CHANTIER

Les viaducs du LOT H48 franchissent la RD421 et la voie ferrée Paris-Strasbourg ainsi que les cours d'eau de la Zorn, du Lohgraben et du Canal de la Marne au Rhin.

#### WILWISHEIM

Pour le franchissement de la voie ferrée existante, la contrainte planning est très forte car seules 2 nuits sont à notre disposition pour réaliser l'opération de pose. L'unique solution est donc de poser un ensemble monobloc terminé en soudage et peinture y compris couche de finition. Pour réaliser cette opération, 2 grues de capacité 400 t sont disposées de part et d'autre des voies. Cette opération a été réalisée la nuit du 11 août 2012 sans utilisation de la 2<sup>nde</sup> nuit de « réserve » (figure 1). À noter que la solution grue a apporté de la flexibilité et ainsi permis de respecter la date fixée. En effet, suite à des retards, l'entreprise a dû privilégier le montage de ce tronçon par rapport aux autres tronçons ce qui

**10- Vue de l'équipage mobile sur l'ouvrage de Wilwisheim.**

**11- Poutre en cours de soudage dans les ateliers de Zwalhen & Mayr.**

**10- View of the mobile rig on the Wilwisheim structure.**

**11- Beam undergoing welding in the Zwalhen & Mayr workshops.**

→ Une production annuelle d'environ 10 à 12 000 tonnes ;

→ Des soudeurs qualifiés pour les procédés MAG135 et 136 ;

→ Un portique de soudage procédé 121 pour la réalisation des PRS.

### SOLUTION TECHNIQUE DE POSE RETENUE

Au stade de l'offre, le groupement Bouygues/Zwahlen & Mayr (ZM) avait proposé une solution de pose de la

aurait été impossible dans le cas d'un poussage.

Pour le franchissement de la RD421, des coupures de la circulation ainsi qu'une déviation ont été mises en place pour permettre la pose et les opérations de soudage de la charpente.

#### ZORN

L'ouvrage franchit 3 cours d'eau. La Zorn, le Lohgraben et la Canal de la Marne au Rhin. Ces franchissements ont lieu en zone environnementale sensible, il est donc important de prendre des dispositions particulières afin d'en limiter les opérations au-dessus.

Le Lohgraben étant un fossé, il n'y a pas de réelle difficulté technique pour son franchissement.

Pour ce qui est des franchissements du Canal et de la Zorn, il a été adopté la même technique, soit une grue de part et d'autre du cours d'eau. Le Canal étant navigable, la soudure et les opérations de peinture ont été limitées. Les poutres principales possèdent donc les joints de rabotage en dehors de la zone sensible et les pièces ont été livrées en peinture de finition. Seules des retouches de peinture seront réalisées à l'issue des opérations de soudage.

La Zorn, quant à elle, est située au-dessous de la travée isostatique. Les poutres principales livrées en 2 éléments ont été soudées avant levage/pose sur la plateforme ; seules les opérations de soudage des diaphragmes et les opérations de peinture sont réalisées au-dessus. Dans cette ultime phase, des bâches seront disposées entre la structure et la Zorn afin d'éviter tout risque de pollution. □

**12- Ouvrage de Wilwisheim : pose d'un tronçon sur palée-bracon.**

**12- The Wilwisheim structure: placing a section on a bracket bent.**



© SETEC  
12

## PRINCIPALES QUANTITÉS

OUVRAGE DE WILWISHEIM

**BÉTON : 10 000 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES : 1 600 t**

**PIEUX : 60 u**

**BARRETTES : 3 u**

**OSSATURES MÉTALLIQUES : 1 550 t**

OUVRAGE DE LA ZORN

**BÉTON : 10 100 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES : 1 800 t**

**PIEUX : 71 u**

**OSSATURES MÉTALLIQUES : 1 850 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec**

**MANDATAIRE - BÉTON : Bouygues TPRF**

**CO-TRAITANT - MÉTAL : Zwalhen & Mayr SA**

## PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

**FONDATION PROFONDES : Pro-fond**

**TERRASSEMENTS : Weiler**

**BUREAUX D'ÉTUDES : Siam, BE Arlaud et Secoa**

**ARMATURES : groupement Prométal / CDF**

**POSE DE LA CHARPENTE SUR L'OUVRAGE DE LA ZORN : Cicéron**

**ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉES (dalles inférieurs du tablier, corniches, coques préfabriquées de piles) : Béton contrôlé du Seeboden.**

**ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉES (dalles supérieures du tablier) : Bonna Sabla**

## ABSTRACT

### EAST EUROPEAN HIGH-SPEED TRAIN LINE. THE ZORN AND WILWISHEIM VIADUCTS

A. CUCCARONI, RFF - N. ZEHANI, RFF - J. TEISSEIRE, BOUYGUES TPRF - A. CHASSINAT, ZWALHEN & MAYR - B. GODEFROY, SETEC - L. DE SAINT PALAIS, SETEC - D. PRATS, SETEC - P.-L. VEYRON, SETEC

**The second phase** of the Paris-Strasbourg High-Speed Train Line includes the crossing of the flood plain of the Zorn River in the Wilwisheim district. Two composite-deck viaducts 381 m and 453 m long are being executed there, with numerous constraints:

- > Environmental constraints, given the ecological interest of the sector;
- > Geotechnical constraints, due to the existence of a risk of a karstic cavity;
- > Crossing over traffic lanes such as a county road, the conventional Paris-Strasbourg railway line, and the canal from the Marne to the Rhine;
- > The completion time.

This therefore led the Bouygues/Zwalhen & Mayr consortium to propose innovative solutions, notably through erection of the steel frame by crane and the execution of prefabricated elements for the piers and decks allowing a certain flexibility in work sequencing. □

### LGV ESTE EUROPEA. VIADUCTOS DEL ZORN Y DE WILWISHEIM

A. CUCCARONI, RFF - N. ZEHANI, RFF - J. TEISSEIRE, BOUYGUES TPRF - A. CHASSINAT, ZWALHEN & MAYR - B. GODEFROY, SETEC - L. DE SAINT PALAIS, SETEC - D. PRATS, SETEC - P.-L. VEYRON, SETEC

**La segunda fase** de la Línea de Alta Velocidad París-Estrasburgo incluye la travesía de la llanura inundada del río Zorn a la altura del municipio de Wilwisheim. Se realizan dos viaductos de tableros mixtos de 381 m y 453 m de longitud con múltiples exigencias:

- > Medioambientales, habida cuenta del interés ecológico del sector;
- > Geotécnicas por la presencia de un riesgo de cavidad kárstica;
- > De cruce de vías de circulación como la carretera departamental, la vía férrea convencional París-Estrasburgo y el canal del Marne al Rin;
- > El plazo.

Esto ha llevado a la agrupación Bouygues / Zwalhen & Mayr a proponer soluciones innovadoras en particular para el montaje de la estructura metálica con grúa y la realización de elementos prefabricados a nivel de los pilares y de los tableros, lo que permite cierta flexibilidad en la planificación de las obras. □



# RENFORCEMENT ET GROS ENTRETIEN DU PONT CANOT À BESANÇON POUR LE PASSAGE DE LA 1<sup>ère</sup> LIGNE DU TRAMWAY

AUTEURS : PHILIPPE BATHELIER, CHEF DE PROJET, ARCADIS ESG - PHILIPPE VION, ASSISTANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE, SYSTRA DOAA

DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION DE LA 1<sup>ère</sup> LIGNE DE TRAMWAY DE BESANÇON, DONT LA MISE EN SERVICE EST PRÉVUE POUR 2014, L'AMÉNAGEMENT DE SURFACE DU PONT CANOT A ÉTÉ MODIFIÉ POUR ACCUEILLIR UNE PLATE-FORME TRAMWAY (2 VOIES) DE 20 CM D'ÉPAISSEUR DE BÉTON. L'OUVRAGE CONSTRUIT EN 1949 À L'AIDE D'ARCS EN BÉTON NON ARMÉ SERA RENFORCÉ EN MATÉRIAUX COMPOSITES ET FERA PEAU NEUVE POUR LE PRINTEMPS 2013.

## HISTORIQUE ET DESCRIPTION DU PONT CANOT CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

Le Pont Canot, construit en 1949, est composé de deux ouvrages (figure 2) : un ouvrage principal et une voûte construite en rive gauche de la rivière. L'ouvrage principal est un pont en arcs de 3 travées, d'une portée de 27,40 m chacune et d'une hauteur à la clé de

4,31 m. La chaussée est supportée par une dalle en béton armé reposant sur des longerons en béton armé. Les longerons sont appuyés sur des éléments transversaux (voiles et entretoises) en béton armé et sont espacés d'environ 4,25 m.

Transversalement, la structure est constituée de 3 arcs en béton non-armé, dont la largeur est de 2,20 m et la hauteur variable de 0,80 m à la clé jusqu'à 1 m aux naissances.

Les éléments transversaux ont été posés sur ces arcs.

L'ouvrage en rive gauche est une voûte en plein cintre en béton non armé, dont l'ouverture est de 7 m. Les appuis de l'ouvrage sont des appuis massifs en béton non-armé ancrés dans le substratum résistant du lit du Doubs par l'intermédiaire d'un massif en gros béton. L'ensemble de l'ouvrage a été recouvert d'un parement en maçonnerie. L'ensemble de l'ouvrage a été élargi

en 1979 par des encorbellements de 2 m de part et d'autre du pont à l'aide de dalles préfabriquées en béton armé s'appuyant sur des poutres de rive qui ont été démolies puis reconstruites (figure 3 et tableau 1).

## ÉVOLUTION FONCTIONNELLE

La largeur hors tout de l'ouvrage était de 13,90 m, comprenant 2 trottoirs de 2 m et une chaussée de 9 m (figure 4).



1  
© ARCADIS

L'élargissement, réalisé en 1979, a permis d'accueillir 2 trottoirs de 2,40 m et une chaussée de 12,80 m. La largeur hors tout de l'ouvrage élargi est de 17,80 m (figure 5).

Pour le passage du tramway, la coupe fonctionnelle de l'ouvrage est modifiée de la façon suivante : 1 trottoir de 1,90 m, la plateforme tramway de 6,80 m, une chaussée de 6,30 m et 1 trottoir de 2,40 m (figure 6).

### CONTEXTE DE L'OPÉRATION

L'opération de renforcement et de gros entretien du Pont Canot est réalisée dans le cadre de la construction de la 1<sup>ère</sup> ligne de tramway du Grand Besançon, dont la mise en service est prévue pour 2014.

**1- Vue de l'ouvrage (2011).  
2- Coupe longitudinale de l'ouvrage.**

**1- View of the structure (2011).  
2- Longitudinal section of the structure.**

La société d'ingénierie en charge des études de conception (EP, AVP), dans le cadre de l'évaluation de la capacité du pont Canot à supporter le nouvel aménagement, avait conclu à l'avant-

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Longueur totale	105,00 m
Ouverture de la voûte	7,00 m
Portées de l'ouvrage principal	3 x 27,40 m
Largeur de la dalle	État initial : 13,90 m / Après 1979 : 17,80 m
Largeur entre murs tympan des arcs	13,00 m

TABLEAU 2 : RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUES DES BÉTONS DE L'OUVRAGE

Partie d'OA	f <sub>ctj</sub> (MPa)
Arc	20
Voiles/Entretoises	30
Longeron	30
Hourdis	50
Dalles en encorbellement	30

TABLEAU 3 : RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUES DES ACIERS DE L'OUVRAGE

Partie d'OA	f <sub>e</sub> (MPa)
Arc	Non armé
Voiles/Entretoises	240
Longeron	240
Hourdis	240
Dalles en encorbellement	420

projet que l'ouvrage subissait des contraintes dans le béton non-armé des arcs largement supérieures aux valeurs limites suivant le BAEL 91 révisé 99, règlement de dimensionnement des ouvrages en béton armé, ces résultats étant liés à des choix d'hypothèses de modélisation peu réalistes.

L'objet de la mission d'ARCADIS (PRO, ACT, DET, AOR) a été de réaliser une modélisation plus fine de l'ouvrage, notamment des conditions d'appui des arcs afin d'orienter les solutions de renforcement et de réparation auprès du maître d'ouvrage, la CAGB (Communauté d'Agglomération du Grand Besançon), et de l'assistant du maître d'ouvrage, SYSTRA.

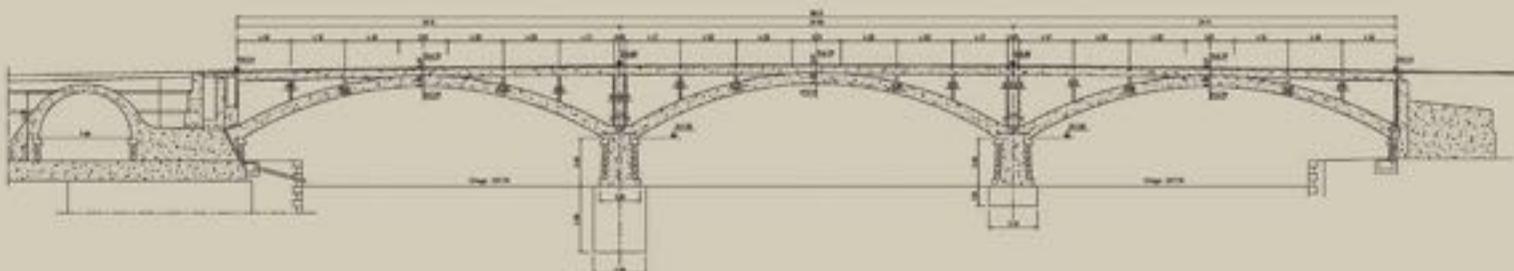
L'étude a porté sur la comparaison des sollicitations engendrées par les superstructures et surcharges actuelles à celles engendrées par les superstructures et surcharges futures.

### HYPOTHÈSES ET MODÈLE DE CALCULS

**HYPOTHÈSES**  
Les caractéristiques des matériaux ont été déterminées suite aux essais complémentaires menés par GINGER CEBTP (tableau 2 et 3).

L'augmentation du poids des superstructures entre la situation actuelle et la situation future est de l'ordre de 30%, principalement due à la plateforme tramway, constituée d'une vingtaine de centimètres de béton. ▶

## COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE

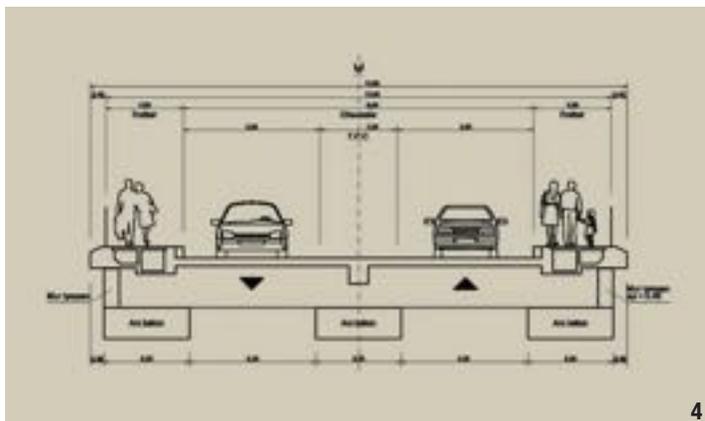


2

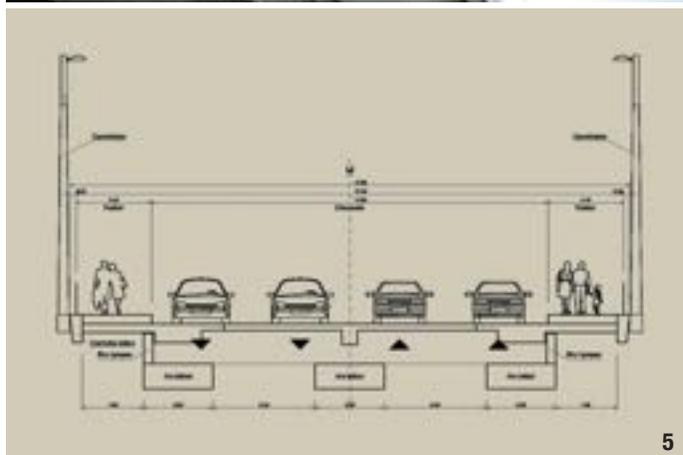
© CONSEIL GÉNÉRAL DU DOUBS



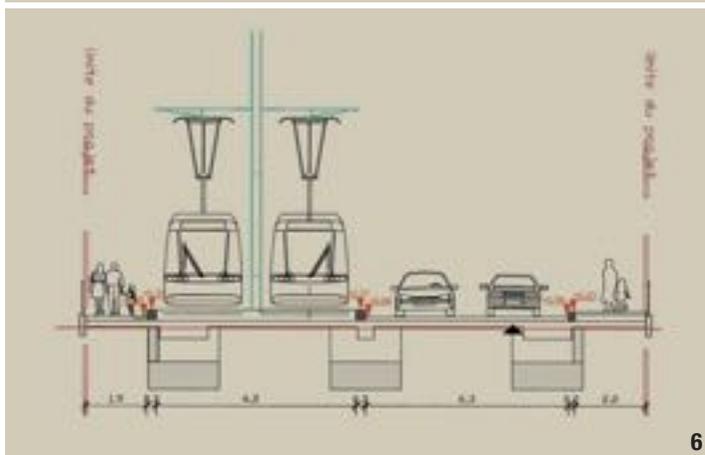
3



4

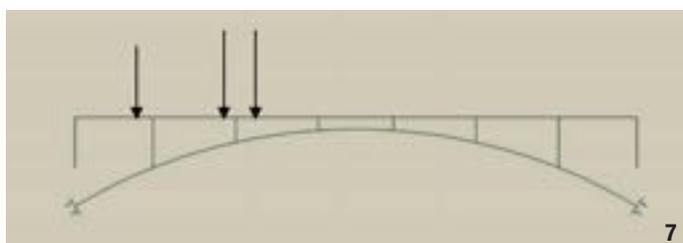


5



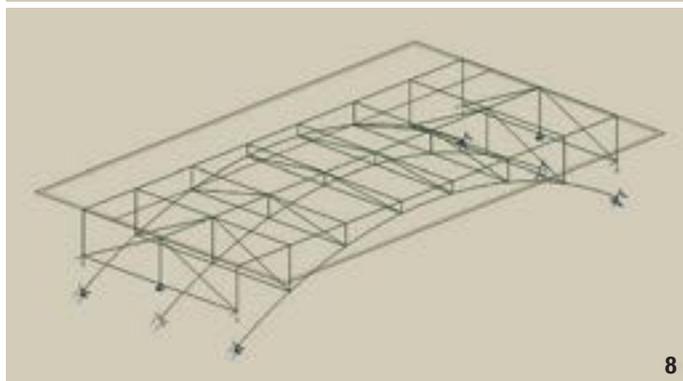
6

FIGURE 3 © ARCADIS / FIGURES 4, 5 & 6 © EGIS



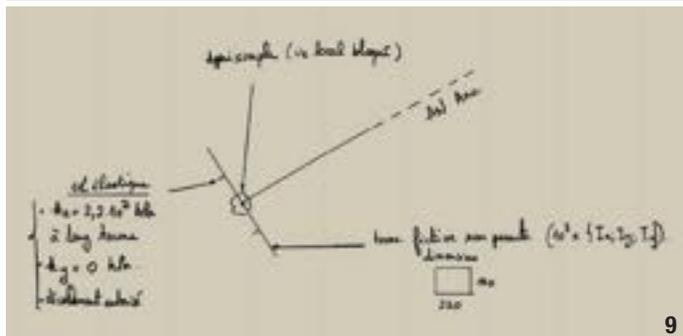
7

© ARCADIS



8

© ARCADIS



9

© ARCADIS

3- Dalles en encorbellements (1979).

4- Coupe transversale initiale (1949-1979).

5- Coupe transversale actuelle (1979-2013).

6- Coupe transversale future.

7- Position longitudinale d'étude des charges d'exploitation.

8- Vue isométrique du modèle 3D.

9- Zoom sur les conditions d'appui des naissances des arcs.

3- Cantilever slabs (1979).

4- Original cross section (1949-1979).

5- Current cross section (1979-2013).

6- Future cross section.

7- Longitudinal design position of working loads.

8- Isometric view of the 3D model.

9- Close-up view of the conditions of support of the arch origins.

Les surcharges routières (a(l), B<sub>c</sub>, B<sub>t</sub>) dans les 2 situations sont celles du fascicule 61 Titre 2.

Les charges d'exploitation du tramway sont composées de plusieurs rames différentes.

Le poids d'un essieu d'une rame de tramway est sensiblement identique au poids d'un essieu d'un camion.

La distance entre 2 essieux d'un tramway est nettement plus importante que celle des essieux d'un camion B<sub>c</sub>, rendant ainsi le cas de charges de tramway moins défavorable que celui dû aux camions B<sub>c</sub>.

Les charges d'exploitation (camions B<sub>c</sub> et tramways) sont positionnées longitudinalement au quart de la travée, afin de solliciter au maximum les arcs, comme classiquement dans les ouvrages de ce type (figure 7).

Les cas de charges de température (-40°C ; +30°C) et de retrait (2.10<sup>-4</sup> m/m) sont également considérés.

### MODÈLE DE CALCULS

Le schéma statique de l'ouvrage est une succession de 3 travées indépendantes, permettant ainsi d'isoler une travée unique.

Le modèle de calculs (figure 8) réalisé pour l'étude est composé d'éléments de type barres (arcs, entretoises, voiles)

**10- Enveloppe des contraintes normales ELS à l'état actuel.**  
**11- Enveloppe des contraintes normales ELS à l'état futur.**

**10- Range of normal SLS stresses in the current condition.**  
**11- Range of normal SLS stresses in the future condition.**

et d'éléments finis (hourdis, dalles en encorbellements) modélisés en 3 dimensions.

La condition d'appui des arcs est l'élément fondamental du comportement de l'ouvrage.

En première approche en avant-projet, les arcs ont été supposés encastres dans les piles, mais les contraintes à la naissance des arcs étaient beaucoup trop importantes pour un béton non armé, de l'ordre de -10 MPa de traction.

Après l'analyse des plans d'exécution de l'ouvrage initial, nous n'avons relevé aucune armature résistante traversant la surface de contact entre la naissance des arcs et la surface de contact des appuis. Ainsi, l'hypothèse d'un arc simplement appuyé sur son support a été modélisée.

L'arc se comporte alors comme une semelle comprimée qui se décolle de son appui. L'appui modélisé est une barre fictive infiniment rigide sur sol élastique autorisant le soulèvement (figure 9).

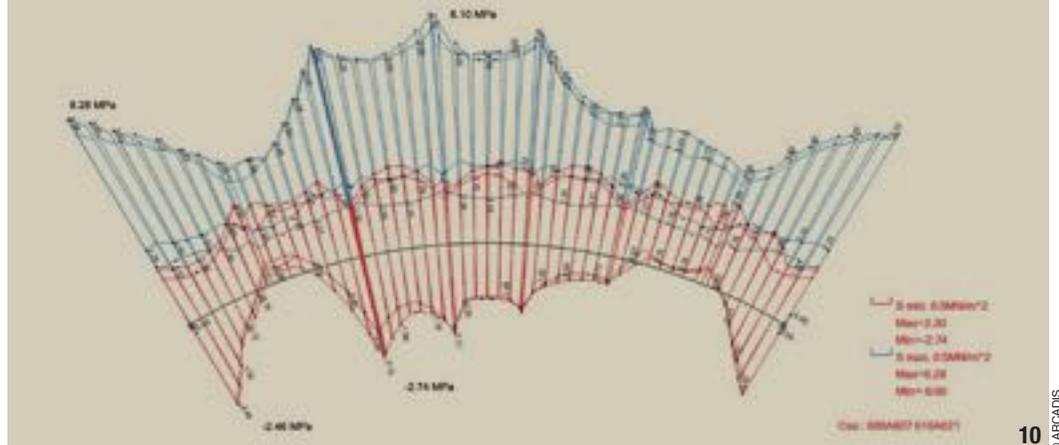
Les dimensions géométriques de la barre fictive sont celles de l'arc à la naissance, à savoir 1 mètre de haut par 2,20 mètres de large.

La raideur long terme du sol élastique est prise égale à :

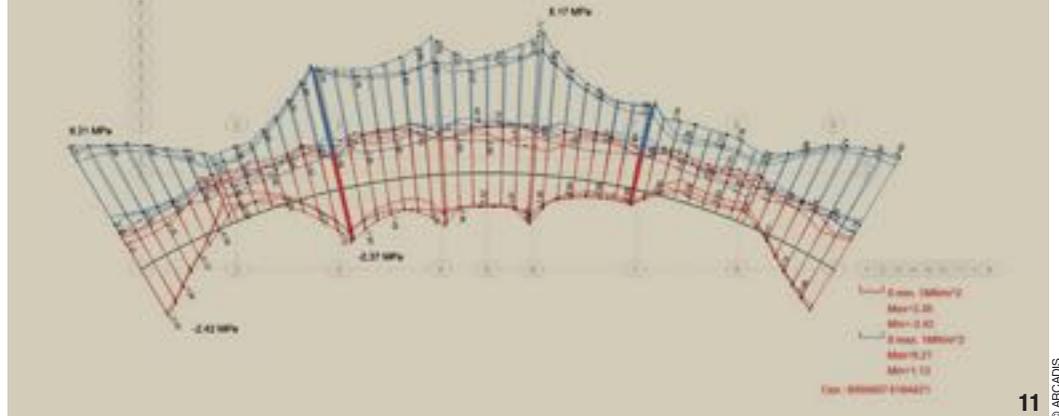
- Module d'Young du béton à long terme : 10 000 MPa,
- Hauteur de l'appui : 1 m,
- Aire de la zone d'appui : 2,20 m<sup>2</sup>.
- $k_{LT} = EA/L = 10^7 \times 2,20 / 1,00 = 2,2 \cdot 10^7 \text{ kN/m}$

Les éléments transversaux (Entretoises et Voiles) sont rotulés en pied et en tête, permettant ainsi la libre dilatation de l'ouvrage.

## ENVELOPPE DES CONTRAINTES NORMALES ELS À L'ÉTAT ACTUEL



## ENVELOPPE DES CONTRAINTES NORMALES ELS À L'ÉTAT FUTUR



### RÉSULTATS CONTRAINTES DANS LES ARCS NON ARMÉS : COMPARATIF ACTUEL/FUTUR

**Contraintes normales**  
 L'enveloppe des contraintes normales dans les arcs en situation actuelle (figure 10), hors naissance, varie de -2,74 MPa (traction) à +6,10 MPa (compression). Les contraintes à la naissance des arcs varient de -2,46 MPa à +6,28 MPa.

En situation future, l'enveloppe des contraintes normales (figure 11 et tableau 4) dans les arcs, hors naissance, varie de -2,15 MPa (traction) à +6,17 MPa (compression).

Les contraintes à la naissance des arcs varient de -2,42 MPa à +6,21 MPa. On observe une diminution des contraintes de traction à l'état futur. Cela s'explique par le caractère favorable des superstructures qui sont augmentées à l'état futur (+20 cm béton de plateforme tramway) sur les arcs, qui fonctionnent en compression principalement.

**Étude spécifique des naissances des arcs**  
 Les contraintes de tractions obtenues dans les zones d'appui du modèle 3D sont de l'ordre -2,50 MPa. Ces valeurs de traction sont purement « mécaniques », obtenues à partir du torseur

d'efforts en pied d'arc (N, M) par l'application des formules de Navier. Ces valeurs sont donc virtuelles, car en réalité, l'arc se décolle de la zone d'appui. Le flux de contraintes de compression est donc dévié, entre d'une part une section entièrement comprimée ( $\Sigma 1$ ) et d'autre part l'aire de la section réduite d'appui ( $\Sigma 2$ ) (figure 12).

La modélisation locale de l'arc isolé entre  $\Sigma 1$  et  $\Sigma 2$ , en encastrent le côté  $\Sigma 1$  et en injectant les efforts de réactions obtenus dans  $\Sigma 2$ , permet d'affiner le comportement de l'arc dans la zone d'appui, notamment les flux de contraintes principales ainsi que les valeurs des contraintes de traction locales.

La direction des contraintes principales (figure 14 - en clair contraintes de compression - en foncé contraintes de traction) montre que les contraintes de compression s'évasent de la zone d'appui de l'arc à l'encastrement et que les contraintes de traction longitudinales (resp. verticales) dans l'arc apparaissent en face supérieure (resp. à la surface de contact arc/béton).

TABLEAU 4 : COMPARAISON DES CONTRAINTES NORMALES ELS DANS LES ARCS

	Contrainte minimale (traction) (MPa)		
	État actuel	État futur	Différence
Contrainte dans l'arc (hors naissance)	-2,74 MPa	-2,15 MPa	-22 % (-0,59 MPa)
Contrainte dans l'arc - naissance	-2,46 MPa	-2,42 MPa	-1.7% (-0,04 MPa)

À la lecture des valeurs des contraintes dans l'axe longitudinal de l'arc  $\sigma_{xx}$  (les valeurs négatives indiquent une compression) (figure 14), on retrouve logiquement la traction en fibre supérieure dans le sens longitudinal, qui varie entre -0,1 et -1,4 MPa, ce qui reste inférieur à la valeur admissible réglementairement (-1,8 MPa). La contrainte de compression maximale dans l'arc est bien de l'ordre de 10 MPa. La section  $\Sigma 1$  est quasiment entièrement comprimée ( $\sigma_{\min} = -0,1$  MPa).

### ANALYSES ET PREMIÈRES CONCLUSIONS SUR LE COMPORTEMENT DES ARCS NON ARMÉS

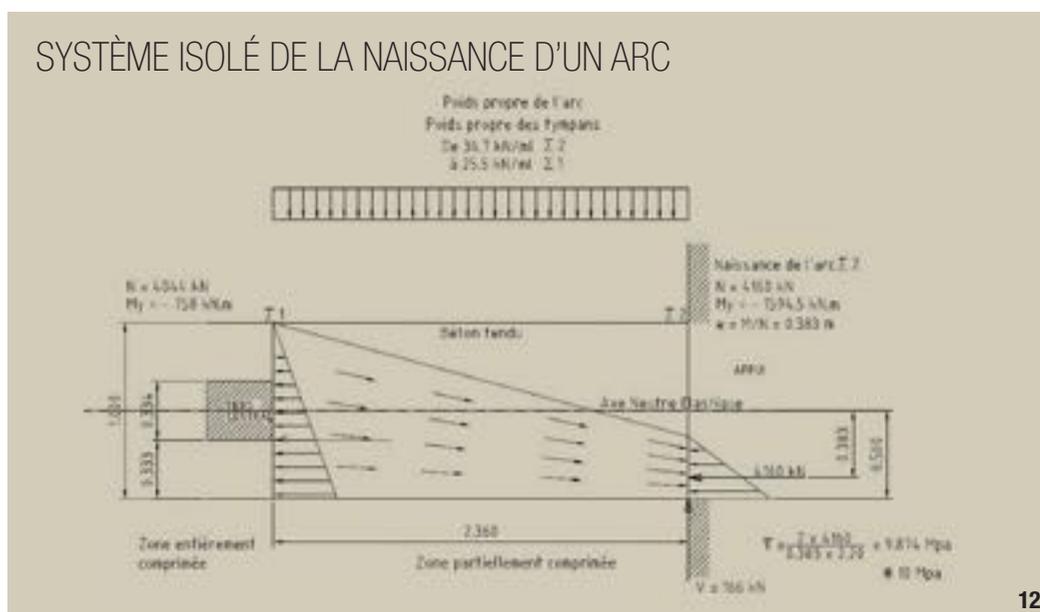
La ligne de pression sous la combinaison la plus défavorable (température : -40°C ; position des charges d'exploitation au 1/4 de la travée) (figure 15) sort du tiers central de l'arc. Dans ce cas, le béton non armé devrait être fissuré et sans redistribution des efforts internes, la structure devrait être endommagée. À la suite de ces résultats, il a été nécessaire de se demander pourquoi les inspections détaillées de l'ouvrage n'ont pas fait état de telles fissures, dans la mesure où l'ouvrage a dû être capable de résister à des cas de charges défavorables proches de ceux de notre étude.

Une étude menée avec un logiciel tenant compte de la non linéarité des matériaux n'a pas permis d'atteindre les états de sollicitations maximales du fait du mode de rupture fragile du béton non armé conduisant à des instabilités numériques.

Comme cas enveloppe, nous avons décidé de vérifier les arcs de l'ouvrage en supposant une rotule interne se créant dans la zone la plus sollicitée. Dans ce cas précis (figure 16), les contraintes dans l'arc, hors naissance, sont toutes supérieures à 0 MPa. L'Eurocode 2 étant plus prolixe que le BAEL 91 révisé 99 sur la vérification des éléments en béton non-armé, nous avons vérifié les arcs selon les critères de vérification de l'effort normal ELU (figure 17) et les efforts de compression combinée aux sollicitations tangentées (figure 18). Les résultats ci-dessous montrent que l'effort normal résistant est atteint au quart de la travée mais non dépassé et que les contraintes combinées de cisaillement et de compression sont largement vérifiées.

L'étude détaillée des arcs montre que ceux-ci ne se comportent pas comme des barres infiniment rigides, mais qu'ils subissent la création de rotules internes aux endroits les plus sollicités qui

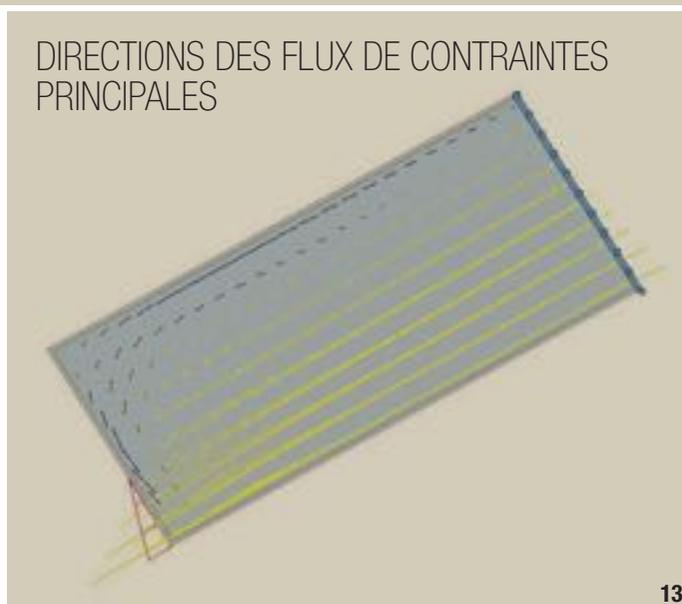
## SYSTÈME ISOLÉ DE LA NAISSANCE D'UN ARC



12

© ARCADIS

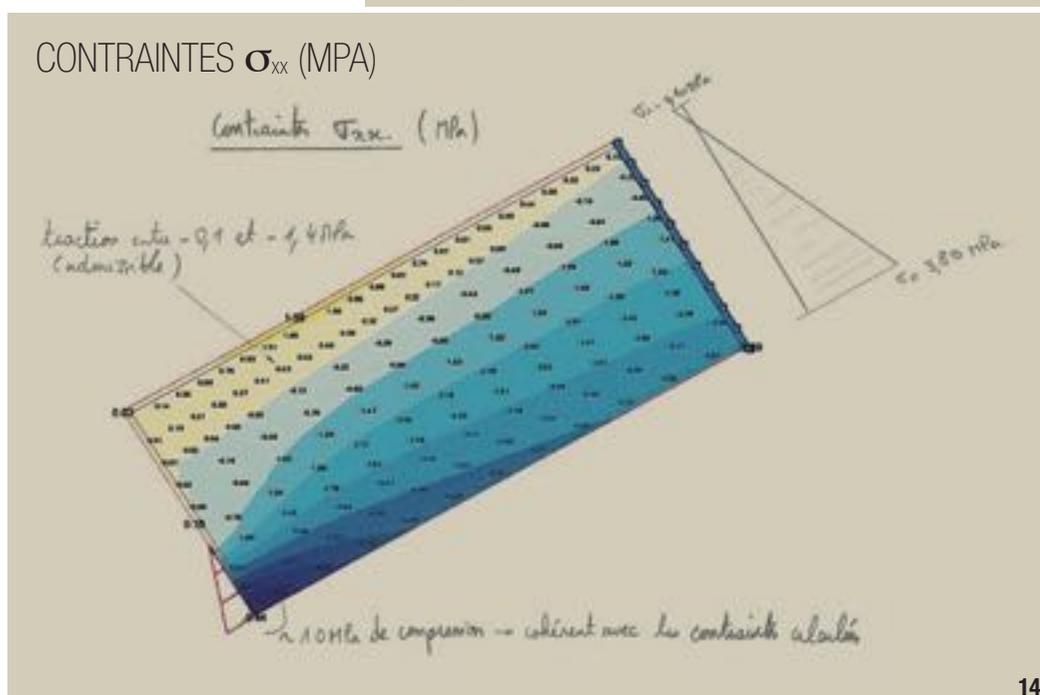
## DIRECTIONS DES FLUX DE CONTRAINTES PRINCIPALES



13

© ARCADIS

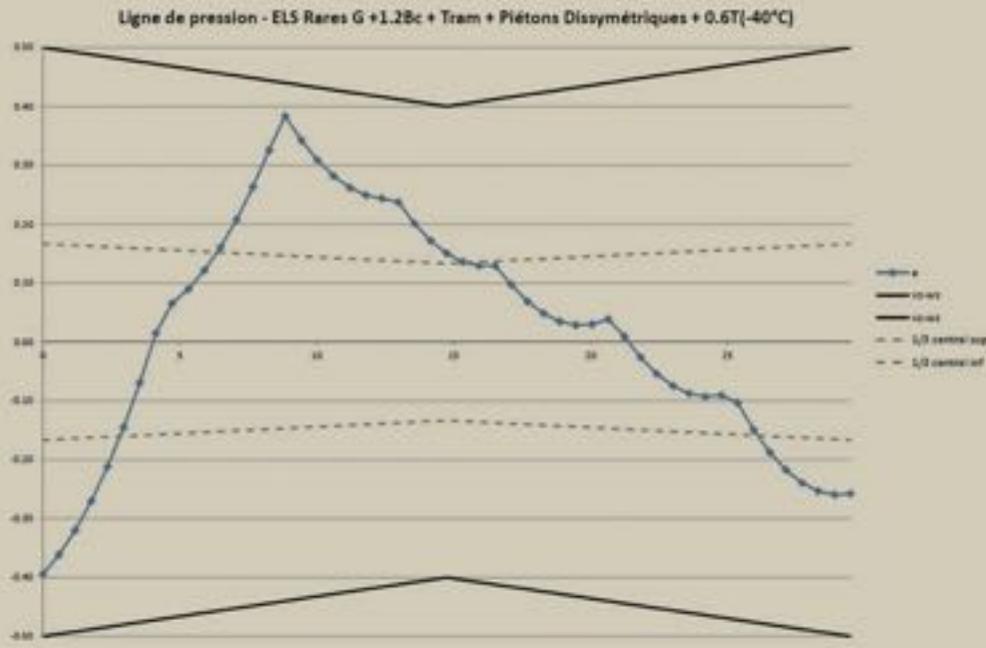
## CONTRAINTES $\sigma_{xx}$ (MPa)



14

© ARCADIS

## LIGNE DE PRESSION ELS



15

permettent de justifier les contraintes dans les arcs. Le comportement réel de l'ouvrage se situe certainement entre ces 2 hypothèses extrêmes, à savoir une continuité mécanique pure dans le domaine élastique et une redistribution des moments de flexion par la création d'une rotule interne. À la suite de discussions menées avec le client et son AMO Ouvrages d'Art, il a été décidé de ne pas renforcer les arcs, en raison de l'excellent état structural des arcs, de l'âge de l'ouvrage et du caractère favorable de la nouvelle configuration des charges sur l'ouvrage. ▽

15- Ligne de pression ELS.

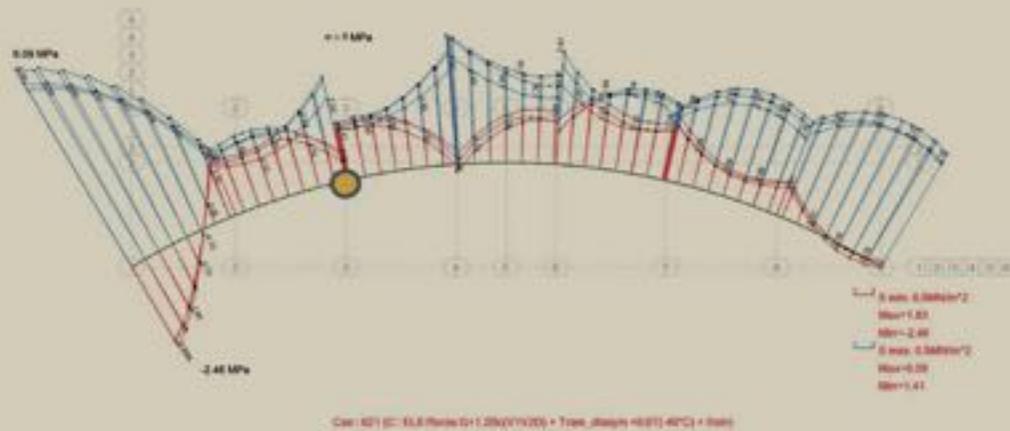
16- Contraintes ELS dans les arcs en supposant l'apparition d'une rotule au 1/4 de la travée.

17- Vérification de l'effort normal ELU.

18- Vérification de l'effort normal et du tranchant ELU.

## CONTRAINTES ELS DANS LES ARCS

en supposant l'apparition d'une rotule au 1/4 de la travée



16

15- SLS pressure line.

16- SLS stresses in the arches assuming the appearance of a ball joint at one-quarter of the span.

17- Verification of the normal ULS stress.

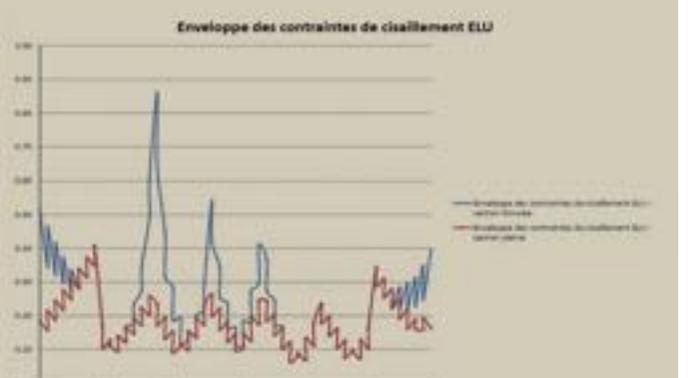
18- Verification of the normal stress and ULS shear stress.

## VÉRIFICATION DE L'EFFORT NORMAL ELU



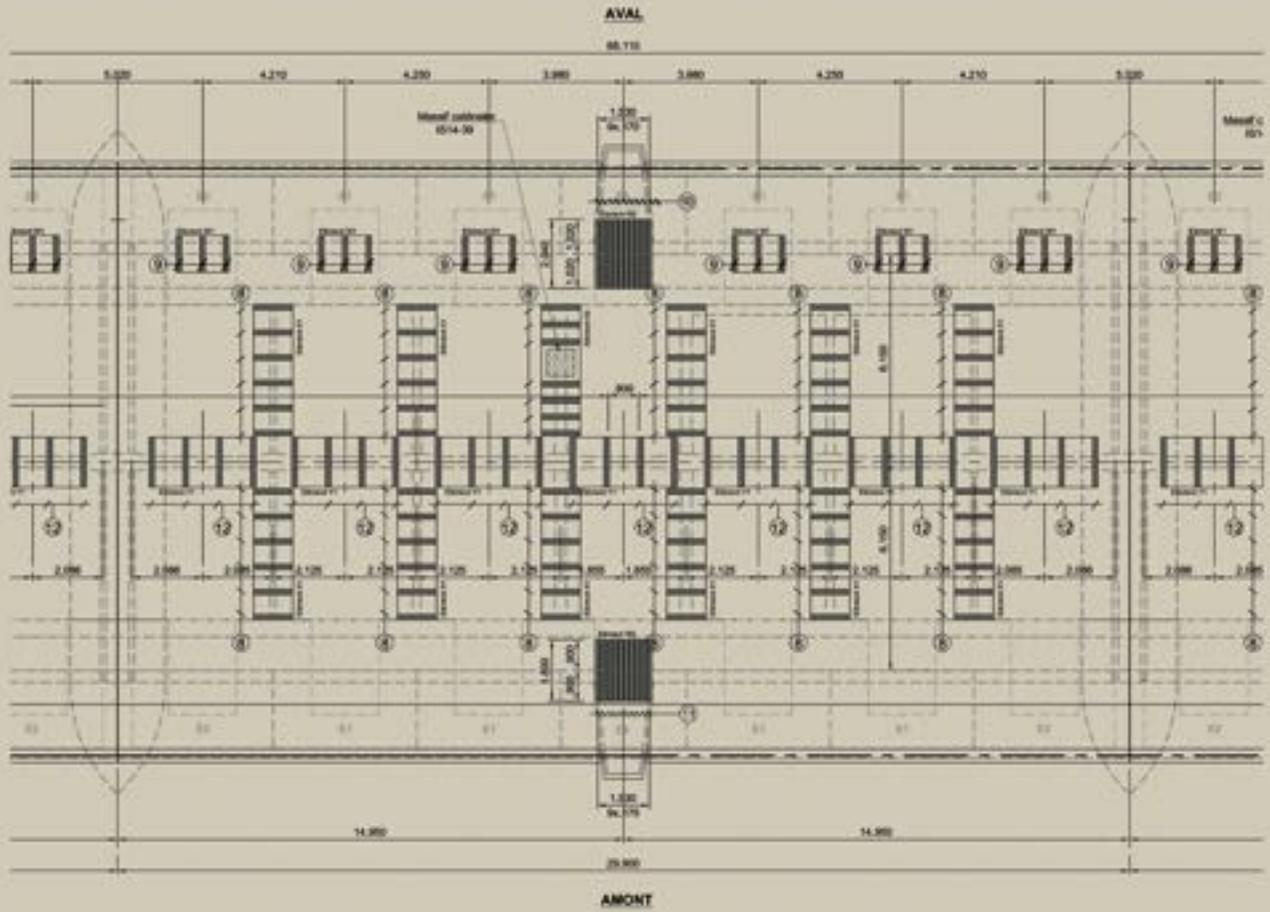
17

## VÉRIFICATION DE L'EFFORT NORMAL ET DU TRANCHANT ELU



18

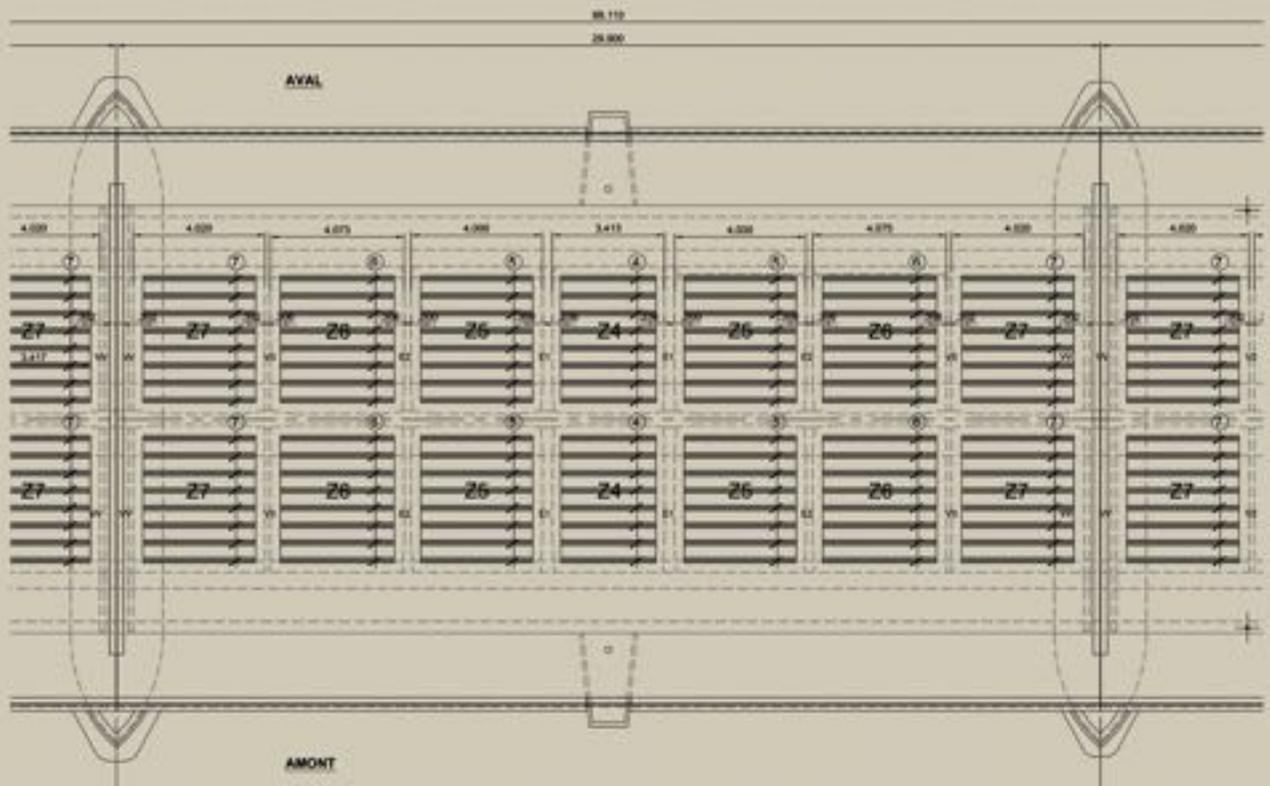
VUE EN PLAN DES RENFORCEMENTS DE L'**EXTRADOS** DE LA TRAVÉE CENTRALE



19

© BOUYGUES TPFF

VUE EN PLAN DES RENFORCEMENTS DE L'**INTRADOS** DE LA TRAVÉE CENTRALE



20

© BOUYGUES TPFF

19- Vue en plan des renforcements de l'extrados de la travée centrale.

20- Vue en plan des renforcements de l'intrados de la travée centrale.

21- Vue des renforts de l'extrados.

22- Vue des renforts de l'intrados.

19- Plan view of strengthening of the upper surface of the centre span.

20- Plan view of strengthening of the lower surface of the centre span.

21- View of upper surface strengthening.

22- View of lower surface strengthening.

## RENFORCEMENT DE L'OUVRAGE

Si les arcs ne nécessitent pas de renforcement particulier, l'incidence de l'évolution des surcharges conduit à renforcer les éléments en béton armé du tablier. Les renforts adoptés sont du type matériaux composites à coller par zone.

Le choix d'un renforcement en matériaux composites collés s'est avéré être plus judicieux vis-à-vis du délai d'exécution, du phasage de réalisation, de facilité de mise en œuvre et de coût que des solutions de type béton projeté. Les éléments ainsi renforcés en flexion sont l'extrados et l'intrados du hourdis (figures 19 et 20), les entretoises et les voiles. Ces derniers sont également renforcés vis-à-vis des sollicitations tangentées.

## RÉFECTION DES SUPERSTRUCTURES

Le renforcement de l'extrados de l'ouvrage en matériaux composites collés et la pose des nouvelles superstructures imposent une compatibilité d'exécution entre d'une part le matériau composite et son produit de collage, et d'autre part le système d'étanchéité et les enrobés. En raison de la température limite du produit de



21



22

collage de 60-70°C, une étanchéité par feuille préfabriquée et des enrobés bitumineux classique (130°C) auraient décollé les matériaux composites de leur support, rendant ainsi caduques les renforcements mis en œuvre.

Ainsi, il a été choisi de disposer une étanchéité liquide posée à température ambiante et des enrobés coulés à froid (50-60°C) afin de garantir le renforcement de l'ouvrage.

## TRAVAUX SUR SITE

Les travaux, attribués à l'Entreprise VSL France, filiale de Bouygues TP RF, ont débuté en août 2012 par le montage des plateformes de travail sous l'ou-

vrage et la démolition des superstructures en 3 phases, afin de conserver 2 voies de circulation. Les travaux de collage des matériaux composites en lamelle de fibres de carbone ont été réalisés et l'étanchéité a été mise en œuvre suivant chacune des phases (figures 21 et 22).

L'ouvrage est traité architecturalement par l'application de lasures de différentes teintes : les corniches sont nettoyées et peintes avec un produit de protection contre les chlorures, d'une teinte grise ; l'intrados de l'ouvrage est intégralement repeint d'une teinte beige clair rappelant les pierres naturelles locales (figure 24).

Concernant la compatibilité entre les enrobés et le produit de collage des lamelles, l'Entreprise a proposé une variante visant à remplacer le complexe [étanchéité liquide + enrobés coulés à froid] par un complexe [étanchéité collée à chaud + béton fibré].

Des essais au brûleur ont été réalisés pour vérifier la faisabilité de cette solution vis-à-vis des produits de collage des matériaux composites. Ces essais ont été concluants, la résistance d'arrachement de la colle n'étant jamais atteinte avant celle de l'étanchéité, cette dernière étant largement supérieure à la limite définie par les essais d'arrachement.



23

© ARCADIS

## CONCLUSION

L'approche du comportement des structures en béton non-armé est relativement complexe, du fait que peu de normes y fassent références, généralement orientées sur le béton armé, et du fait que les logiciels, qui permettent une approche non linéaire, ne soient pas adaptés aux éléments ayant un mode de rupture fragile comme un arc en béton non armé.

Dans notre cas précis, les charges futures appliquées sur l'ouvrage dans sa nouvelle configuration ne sont pas plus défavorables que les charges actuelles, évitant ainsi un renforcement d'élément non armé, ce qui présente l'intérêt de permettre les futures inspections détaillées de ces éléments, et de suivre également l'apparition d'éventuelles fissures, en particulier au droit des zones tendues mises en évidence par nos calculs. □



24

© ARCADIS

23- Vue des plateformes de travail depuis la rive gauche.  
24- Lasure teintée beige clair en intrados de l'ouvrage.

23- View of work platforms from the left bank.  
24- Light beige tinted surface coating on the lower surface of the structure.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Communauté d'Agglomération du Grand Besançon  
**ASSITANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Systra  
**MAÎTRISE D'ŒUVRE SPÉCIFIQUE PONT CANOT :** Arcadis  
**ENTREPRISE :** Bouygues TPRF / VSL France

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PLATS CARBONE EN EXTRADOS :** 615 m  
**PLATS CARBONE EN INTRADOS :** 1 900 m  
**BÉTON FIBRÉ :** 36 m<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### STRENGTHENING AND HEAVY MAINTENANCE FOR CANOT BRIDGE IN BESANÇON FOR THE FIRST TRAMWAY LINE CROSSING

PHILIPPE BATHÉLIER, ARCADIS ESG - PHILIPPE VION, SYSTRA DOAA

**Rebuilt in 1949**, following its demolition during the Second World War, this bridge is located in the Besançon city centre, crossing the Doubs River. It consists of a plain concrete roof and the main structure of three 27-metre spans, each consisting of a deck and reinforced concrete cross ties resting on three plain concrete arches. Originally supporting two road traffic lanes and two footpaths, it was widened in 1979 by means of prefabricated cantilever slabs bonded to the existing top slab in order to receive four traffic lanes and two footpaths. As part of the construction of the first tramway line, the surface layout of the structure was changed to receive two tramway tracks, two traffic lanes and two footpaths. This article analyses the behaviour of the main structure, the loading and modelling assumptions, the results obtained and the planned composite material strengthening. □

### REFUERZO Y MANTENIMIENTO IMPORTANTE DEL PUENTE CANOT EN BESANÇON PARA EL PASO DE LA 1ª LÍNEA DEL TRÁMVA

PHILIPPE BATHÉLIER, ARCADIS ESG - PHILIPPE VION, SYSTRA DOAA

**Reconstruido en 1949**, después de su demolición durante la Segunda Guerra Mundial, este puente está situado en el centro ciudad de Besançon y cruza el río Doubs. Consta de una bóveda de hormigón no armado y la estructura principal de 3 tramos de 27 metros, compuestos cada uno por un tablero y riostras de hormigón armado que toman apoyo en 3 arcos de hormigón no armado. Soportando inicialmente 2 carriles de carretera y 2 aceras, fue ampliado en 1979 por medio de losas en voladizo prefabricadas unidas a la plataforma existente para recibir 4 carriles de circulación y 2 aceras. En el marco de la realización de la 1ª línea de tranvía, se ha modificado la planificación de la superficie de la estructura para acoger 2 vías de tranvía, 2 carriles de circulación y 2 aceras. Este artículo presenta el análisis del comportamiento de la estructura principal, las hipótesis de carga y de modelización, los resultados obtenidos y los refuerzos en materiales previstos. □



1

© P. SANCEY

# A406 - LE VIADUC DE LA SAÔNE - CONTOURNEMENT SUD DE MÂCON

AUTEURS : CHRISTOPHE CÉZARD, INGÉNIEUR EGIS JMI - STÉPHANE GUICHON, INGÉNIEUR COGECI - BERNARD RÉMY, INGÉNIEUR CCS

MIS EN SERVICE EN MARS 2011, LE CONTOURNEMENT SUD DE MÂCON (A406) RELIE L'A40, À L'EST, AU NŒUD RN79-RN6-A6, AU SUD DE LA VILLE. APRR, MAÎTRE D'OUVRAGE, ET SON MAÎTRE D'ŒUVRE EGIS SE SONT APPLIQUÉS À FAIRE DE CES 9 KM D'AUTOROUTE UNE RÉALISATION EXEMPLAIRE, OÙ LES EXIGENCES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE SONT PRISES EN COMPTE À TOUS LES STADES DE LA CONCEPTION ET DE LA RÉALISATION. FONCTIONNEL ET NÉANMOINS HARMONIEUX, LE VIADUC DE FRANCHISSEMENT DE LA SAÔNE TÉMOIGNE QU'IL EST POSSIBLE DE CONCILIER L'ÉCONOMIE ET LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT.

La majeure partie du tracé de l'A406 est en zone inondable. Elle est presque entièrement en remblai, afin de rester hors d'atteinte des plus hautes eaux (figure 2). Le viaduc de la Saône s'intègre dans un système d'ouvrages de décharge hydraulique couvrant toute la largeur du lit majeur. Sa longueur et son tirant d'air ont été fixés par les contraintes

d'évacuation des crues. L'implantation et l'écartement des piles ont été déterminés par les exigences de la navigation. Le choix de la solution a été fortement influencé par les contraintes d'exécution : délais de réalisation serrés, difficultés de communication entre les deux rives, compressibilité des sols superficiels des berges, risque d'inondation.

**1- Le viaduc et la ville de Mâcon pendant la crue de fin 2010.**

**1- The viaduct and the city of Mâcon during the flood at the end of 2010.**

## CONTRAINTES IMPOSÉES PAR LE MILIEU NATUREL GÉOTECHNIQUE

La plaine est tapissée d'alluvions récentes à fort pourcentage de fines, peu perméables et compressibles.

De part et d'autre du lit mineur, leur épaisseur atteint 6 m. Elles recouvrent des alluvions plus anciennes (graves puis sables assez compacts), ▷



2

© P. SANCEY

épaisses d'une douzaine de mètres, qui reposent sur le substratum, constitué de limons sableux compacts.

Dans le lit mineur, les alluvions récentes sont presque absentes, et le substratum est beaucoup plus profond que sous les berges. Par contre, au-delà d'un à deux mètres de vase, les sondages ont trouvé des sables et graviers de bonne compacité sur quinze mètres d'épaisseur.

### HYDROGÉOLOGIE

La nappe alluviale est très proche de la surface du sol. Elle alimente des pompages destinés à la production d'eau potable. Les plus proches, en rive droite, sont à moins de 3 km en aval. Ils sont vulnérables à la pollution engendrée par l'autoroute, car la nappe affleure dans le lac de Varennes, une ancienne gravière située au pied du remblai. Les eaux des chaussées sont donc traitées dans des bassins aménagés sur chaque rive au-dessus du niveau des plus hautes eaux.

Sur l'ouvrage, elles sont conduites par des corniches-caniveaux dans les collecteurs d'assainissement de la section courante, implantés en crête des remblais.

### CRUES DE LA SAÔNE

Les faibles débits sont contrôlés en aval par le barrage de Dracé, dans le but

### 2- Vue vers le nord du lit majeur de la Saône pendant la crue de fin 2010.

**Au premier plan l'A406, à l'arrière-plan, Mâcon et Saint-Laurent-sur-Saône.**

### 2- View northward over the Saône flood plain during the flood at end-2010. In the foreground the A406, in the background, Mâcon and Saint-Laurent-sur-Saône.

de maintenir un niveau minimum égal à 169,45 NGF pour les besoins de la navigation.

En aval du port de Mâcon, des diguettes délimitent le lit mineur. Lorsqu'elles sont contournées par une crue (à peu près tous les deux ans), l'eau envahit les rives, dont la cote varie entre 170,4 et 172 NGF.

Quand les eaux atteignent 174 NGF, le champ d'inondation ne s'étend plus.

Si le débit augmente encore, le niveau monte et la vitesse de l'eau s'accroît. Néanmoins, elle n'excède pas 1,5 m/s. La crête des remblais et l'intrados des ouvrages sont calés par rapport aux plus hautes eaux connues (crue de 1840, estimée à 3 800 m<sup>3</sup>/s).

La cote de 175,9 NGF, considérée comme un majorant du niveau des crues futures, a été retenue. L'obligation de limiter à 2 cm la surélévation engendrée par l'autoroute a déterminé l'ouverture des ouvrages. Le point critique se trouvant sur la rive droite, la brèche de 450 m franchie par le viaduc est décalée vers cette rive par rapport au lit mineur.

### ZONES NATURELLES SENSIBLES

Les prairies humides du lit majeur accueillent de nombreuses espèces. Les discussions avec le Comité National de Protection de la Nature sur l'éten due des zones destinées à compenser l'emprise stérilisée par l'autoroute ont retardé de quatre mois le démarrage effectif des travaux.

### CONTRAINTES ENGENDRÉES PAR LA NAVIGATION

À Mâcon, la Saône est une voie navigable de classe VI. Pendant la construction du viaduc, des mesures de sécurité très strictes étaient requises, et le trafic devait être maintenu en tout temps.

Le Service de la Navigation a demandé d'assurer une hauteur libre de 7 m au-dessus de la cote des plus hautes eaux navigables (172,85 NGF).

Sur la largeur du rectangle de navigation, égale à 48,4 m du fait de la courbure du chenal, une hauteur d'eau minimale de 4 m est requise au-dessus des obstacles immergés éventuels (enrochements, semelles des piles, ouvrages provisoires recépés).

Le chemin de halage de rive gauche a été maintenu avec un gabarit de 4,50 m sur 9,75 m.

En rive droite, seule s'appliquait la servitude de marchepied, imposant de laisser libre une bande de 3,25 m le long de la rivière.

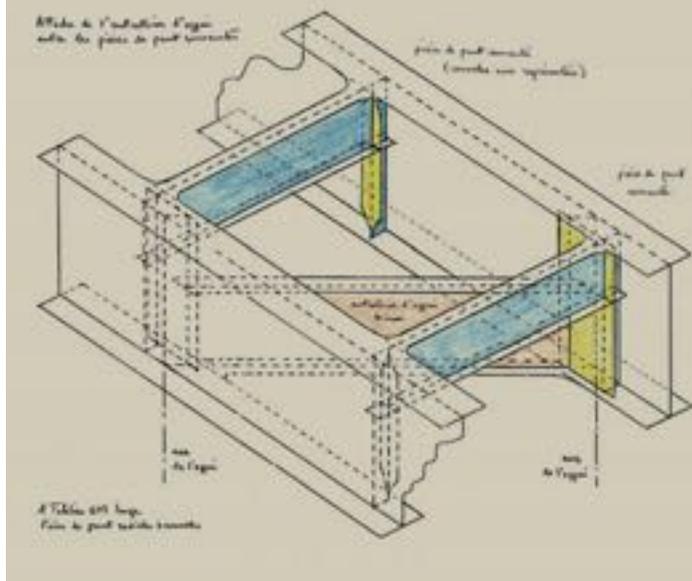
### CONTRAINTES DE RÉALISATION

Afin de pouvoir l'utiliser pour transporter d'une rive à l'autre les matériaux de chaussée de l'autoroute, le viaduc a fait l'objet d'un marché de travaux anticipé, dont le délai d'exécution a été fixé à 20 mois. Ce marché a dû inclure près de 90 000 m<sup>3</sup> de remblai, nécessaires à la construction du tablier.

Un bipoutre en ossature mixte, assemblé sur le remblai rive droite et mis en place par lancement paraissait en effet la solution la plus adaptée aux exigences de la navigation et aux difficultés de circulation sur le site.

## ENTRETOISE D'APPUI BIAISE

entre pièces de pont droites (pile P4)



Au début des travaux, le vieux pont de Mâcon constituait la seule liaison routière entre les deux rives, et l'accès à la rive gauche était restreint d'un côté par la traversée de Saint-Laurent-sur-Saône, et de l'autre par le faible gabarit des ouvrages perçant les remblais de la voie ferrée, au Nord, et de la LGV Paris-Lyon, au Sud.

### CHOIX DU PARTI ARCHITECTURAL

Bien que la Saône sépare deux départements et même deux régions, cette frontière ne s'exprime pas dans le paysage. Le pont qui la franchit n'a aucun rôle de porte. Ce n'est pas un pont urbain ; son traitement architectural devait viser la sobriété.

Ni le chenal de navigation, ni l'autoroute ne respectent la symétrie du lit mineur. Par rapport à celui-ci, tous deux ont un tracé courbe et biais ; le chenal est désaxé vers la rive gauche, et la brèche est désaxée vers la rive droite. Mais ces déséquilibres sont peu sensibles sur le site, car le paysage, très plat, passe sans rupture de la terre à l'eau.

Le parti retenu privilégie donc les lignes horizontales, et souligne la continuité du ruban autoroutier (figure 1).

### CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Les 4 voies de l'autoroute sont portées par un tablier unique en ossature mixte à sept travées. La charpente en acier S355 se compose de deux poutres de hauteur constante reliées par des

pièces de pont. Ces dernières sont prolongées par des consoles sous les encorbellements du hourdis collaborant en béton armé, large de 21,74 m.

Le schéma statique est celui d'une poutre continue sur appuis simples ; les deux appareils d'appui de chaque ligne sont des blocs de caoutchouc fretté sur les piles et des appuis à pot sur les culées.

Tracé en plan et profil en long sont définis dans l'axe de la plate-forme. Sur l'ouvrage, le tracé en plan est un cercle de 1 900 m de rayon. Pour respecter le gabarit de navigation, le profil en long est en dos d'âne (R 17 000 m). Le dévers est en toit à 2,5 %. Les portées sont mesurées sur le cercle du tracé en plan. Elles valent, de l'Ouest vers l'Est : 58,9 m, 4 x 72,2 m, 60,8 m, 39,9 m. Les lignes d'appui C0 et C7 sont perpendiculaires à l'axe, afin de simplifier la fabrication. Les lignes d'appui P1 à P6 sont orientées suivant la direction de l'écoulement des crues, et parallèles à C0. Le biais qu'elles forment avec l'axe est donc variable : il passe de 98 à 86 grades.

Les pièces de pont espacées de 3,8 m sont perpendiculaires à l'axe. Les portées ont été ajustées de telle sorte que les lignes d'appui biaisées des piles coupent l'axe à mi-distance des pièces de pont qui les encadrent. Cela a permis d'intercaler entre celles-ci une entretoise biaisée, reliant les montants d'appui verticaux qui diffusent dans chaque poutre la réaction des appareils d'appui (figures 3 et 4).



3 & 4- Entretoise d'appui biaisée entre pièces de pont droites (pile P4).

3 & 4- Skewed supporting cross tie between straight transverse girders (pier P4).

### COFFRAGE DES PILES

Large de 3,20 m, les piles sont disposées suivant la direction des écoulements. Elles ont toutes le même coffrage. Il associe deux fûts de 6 m de haut, distants de 9,5 m, à un sous-bassement dont la cote dépasse de quelques décimètres le niveau des plus hautes eaux navigables. Sa hauteur égale à 1,20 m pour les piles à terre atteint 8,35 m pour les piles encadrant le chenal (figures 5 et 6).

### FONDACTIONS DES PILES

Comme pour le pont de la LGV Paris-Lyon et le nouveau pont d'Arciat, situés quelques kilomètres en aval, les piles en rivière ont été fondées sur un massif de

béton non armé de 3 à 6 m d'épaisseur, coulé sous l'eau à l'intérieur du batardeau permettant de construire la pile à sec. Les palplanches du batardeau ont été recépées et intégrées à la fondation ; elles sont connectées au béton de la semelle. Enfin, des enrochements ont été mis en place autour des massifs pour prévenir les affouillements. Un levé bathymétrique a permis de fixer la cote des semelles. Alors que sous P3 le fond n'était qu'à 2,5 m sous le niveau minimal de la retenue, P4 et P5 se trouvaient au bord d'une cuvette profonde d'une dizaine de mètres. Les archives de VNF ont montré qu'elle avait été creusée une trentaine d'années plus tôt pour exploiter les matériaux du lit, et qu'elle ne s'était pas rebouchée depuis. Plutôt que de caler les semelles au niveau du fond de la cuvette, près de 5 m plus bas que la cote requise par le trafic fluvial, on a comblé celle-ci autour des piles et renforcé la protection en enrochements. Quoiqu'elle soit située sur la berge, la pile P6 a été fondée comme les piles en rivière, et justifiée comme elles sous le choc des bateaux. Par contre, les piles P1 et P2 de la rive droite ont été fondées sur 8 pieux Ø 1 400 de 15 à 19 m.



5

© APRR / STUDIO BERGOEND

La proximité de la nappe et la mauvaise tenue des alluvions récentes ont imposé le tubage provisoire des forages et le blindage des fouilles, étanchées par un bouchon de béton.

### CULÉES

Les culées sont de simples sommiers fondés sur pieux en crête des remblais d'accès. Les pieux Ø 1 400 (7 sous C0, 5 sous C7) sont disposés en quinconce. Forés au travers du remblai et des alluvions récentes à l'abri d'un tubage provisoire, ils sont ancrés dans les alluvions anciennes. Les efforts parasites dus aux déformations différées des sols mous ont été pris en compte.

### REMBLAIS D'ACCÈS

La majeure partie des matériaux a été tirée d'un emprunt destiné à compenser le volume perdu pour le stockage des crues du fait de la construction de l'autoroute. Pour pouvoir employer ces matériaux fins sous le niveau des plus hautes eaux, des masques de 3 m d'épaisseur ont dû être mis en place sur les talus. Ils ont été réalisés en matériaux rocheux 0/300, comme la couche de base des remblais. Enfin, des tranchées drainantes ont été creusées tous les dix mètres perpendiculairement à l'axe des remblais, afin d'éviter qu'ils ne bloquent les écoulements qui circulent sous la surface du sol. Sous le poids des remblais, hauts d'une dizaine de mètres, le tassement des alluvions fines atteignait 25 cm et durait plusieurs mois. Afin de ramener à dix semaines le délai de consolidation, un réseau de drains verticaux espacés de 1,5 m devait être réalisé, et une surcharge d'un mètre de remblai mise en place au droit des futures culées.

### 5 & 6- Coffrage des piles.

### 5 & 6- Formwork for piers.

Pour pouvoir remblayer en une seule phase sans risque de rupture du sol, une banquette périphérique provisoire de 10 m de large devait être édifiée jusqu'à mi-hauteur.

En rive gauche, ces dispositions ont été appliquées. Mais pour disposer à temps de la plate-forme d'assemblage du tablier malgré le retard pris au

début des travaux, les drains ont été remplacés en rive droite par des inclusions rigides, supportant directement la charge du remblai. 646 colonnes Ø 400 mm espacées de 1,7 m ont été réalisées par refoulement du sol à la tarière, puis remplissage en béton maigre (180 kg/m<sup>3</sup> de ciment, 100 kg/m<sup>3</sup> de filler). Pour assurer la stabilité du remblai, les inclusions situées sous les talus ont été armées par un tube d'acier Ø 126/140, ce qui a permis de supprimer les banquettes provisoires.

### CHARPENTE DU TABLIER

Les poutres principales sont écartées de 12,24 m. Hautes de 3,45 m, elles sont élancées au 1/21. L'épaisseur des âmes varie de 19 à 24 mm. Elles sont raidies à l'attache de chaque pièce de pont par un raidisseur en T. Larges de 1,10 m, les membrures supérieures ont une épaisseur variable de 37 à 135 mm. Les membrures inférieures sont larges de 1,25 m ; leur épaisseur varie de 42 à 135 mm.

La hauteur des pièces de pont varie de 1,30 m à 1,44 m dans l'axe du tablier. Les consoles qui les prolongent sont longues de 4,57 m et leur hauteur varie de 1,30 à 0,50 m.

Les entretoises biaises, hautes de 1,20 m, sont soudées sur des montants d'appui en double T.

### HOUDIS SOUS CHAUSSÉE

L'épaisseur totale du hourdis est de 250 mm sur les rives et de 277 mm entre les poutres. Des prédalles préfabriquées appuyées sur les poutres, les pièces de pont et les consoles ont permis de bétonner sans étalement des plots de grandes dimensions.



6

© APRR / STUDIO BERGOEND

7- Prédalles participantes et ferrailage du hourdis.

8- Répartition des inserts sur les prédalles.

9- Soudures d'attache des éléments transversaux sur les poutres.

7- Structurally participating formwork and top slab reinforcing bars.

8- Distribution of inserts on the precast formwork units.

9- Weld joints fastening transverse elements on the beams.



© APRI / STUDIO BERGEND

7

Épaisses de 120 à 130 mm, ces prédalles contiennent les armatures inférieures du hourdis ; un réseau serré de cadres verticaux les solidarise au béton de seconde phase (figure 7).

Moins délicate à mettre en œuvre que la préfabrication complète, cette solution permet de raccourcir le délai de réalisation du hourdis sous chaussée.

L'espacement des pièces de pont et les principes d'entretroisement ont été choisis de telle sorte que l'on puisse

couvrir de prédalles toute la surface du tablier avec un petit nombre de modèles distincts.

Sur les rives du tablier, alternent ainsi (figure 8) :

- Une prédalle munie d'un support de barrière à mi-distance de deux consoles successives ;
- Une prédalle munie d'un avaloir et de deux supports de barrière implantés au quart et aux trois quarts de l'intervalle séparant les consoles.

### CALCULS DE L'OUVRAGE

L'avant-projet d'ouvrage d'art a été établi à la fin de 2007 sur la base de la réglementation française en vigueur, suivant laquelle la séismicité du site pouvait être négligée. Mais la décision ministérielle d'approbation de l'étude préliminaire, prononcée le 29 janvier 2008 pendant la consultation des entreprises, a prescrit de justifier l'ouvrage conformément aux eurocodes, et de le vérifier au séisme dans l'esprit du nouveau règlement

en cours d'élaboration. Les nouvelles hypothèses des calculs fixées avec l'aide du SETRA ont pu être introduites dans le marché de travaux.

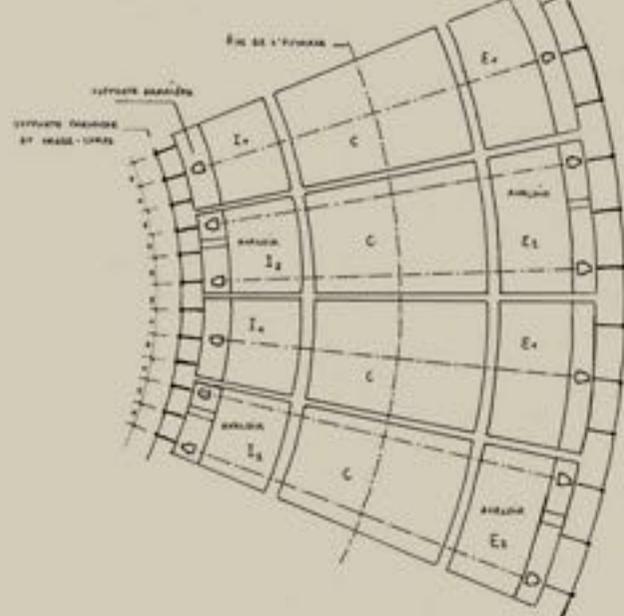
### OSSATURE MÉTALLIQUE

L'application des eurocodes a eu les effets suivants sur la répartition de matière des poutres :

- Les âmes ont été épaissies sur toute la longueur du tablier ; leur poids a augmenté de 18 % par rapport à l'APOA initial.

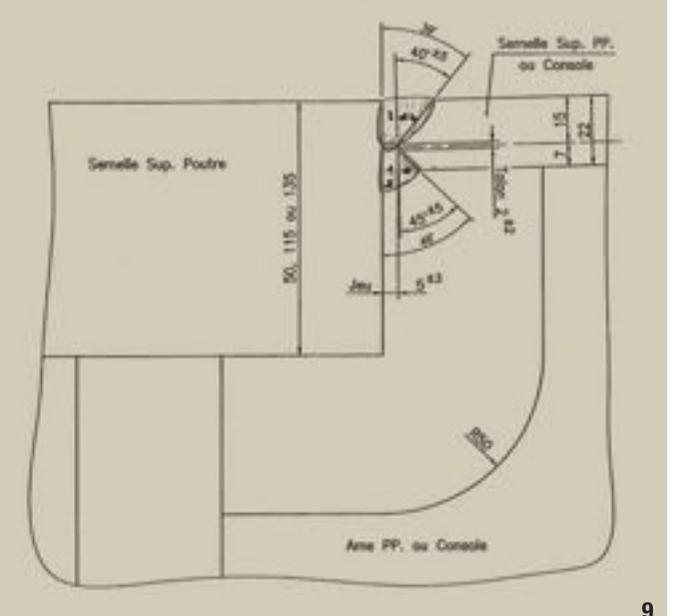


### RÉPARTITION DES INSERTS SUR LES PRÉDALLES



8

### SOUDES D'ATTACHE DES ÉLÉMENTS TRANSVERSAUX SUR LES POUTRES



9



10

© APRR / STUDIO BERGOEND

Par contre, le linéaire de raidisseurs longitudinaux a été réduit de 60 %.

→ L'épaisseur des membrures inférieures a été majorée de 5 à 15 mm au voisinage des piles. Le tonnage d'acier correspondant a augmenté de 4,5 % par rapport à l'avant-projet initial.

→ L'épaisseur des membrures supérieures a été majorée ponctuellement de 5 à 10 mm au droit des piles. Le tonnage d'acier correspondant n'a augmenté que de 2,5 %.

Le poids total des poutres est passé

**10- Avant- bec de lancement de 30 m.**

**11- Pose des prédalles participantes.**

**10- 30-metre launching nose.**

**11- Placing structurally participating formwork.**

ainsi de 1 419 t à 1 505 t, en augmentation de 6 %.

Cela résulte d'une part de la méthode de justification du cisaillement introduite par l'EN 1993-2, et d'autre part des nouvelles charges routières, plus lourdes et plus excentrées que celles du fascicule 61 titre II du CPC. La différence était d'autant plus sensible que l'on avait appliqué ces dernières sur 4 voies de circulation seulement, la DBA centrale étant considérée comme inamovible.

La conception particulière de l'entretoisement a permis de justifier sans difficulté la sécurité vis-à-vis du flambement transversal des membrures inférieures comprimées au droit des piles, bien que la méthode de calcul de l'EC 3 soit plus défavorable qu'auparavant.

Le poids des éléments transversaux est passé de 783 t à 859 t (en augmentation de 10 %) pour deux raisons :

→ Les règles de justification de la sécurité vis-à-vis du déversement des consoles supportant les rives sont plus sévères que celles du fascicule 61 titre V ; l'épaisseur des membrures inférieures des 238 consoles du viaduc est ainsi passée de 18 à 25 mm.

→ Pour assurer conformément à l'EC 2 le recouvrement des armatures des prédalles, la largeur des membrures supérieures des pièces de pont et des consoles a dû être portée de 450 à 520 mm.

En revanche, l'EC 3 est moins exigeant que les règles antérieures pour l'attache des éléments transversaux sur les poutres :

→ Pour les pièces situées dans les zones comprimées des travées (soit 55 % du total), aucun raccordement circulaire n'a été réalisé entre les membrures supérieures. Ailleurs un rayon de raccordement de 50 mm s'est avéré suffisant.

→ Les dimensions retenues en définitive pour les soudures ont été nettement supérieures aux valeurs théoriques issues des calculs (figure 9).



11

© APRR / STUDIO BERGOEND

## SYSTÈME D'APPUI

Pour la justification des piles sous le choc des bateaux, les valeurs des forces statiques équivalentes ont été tirées de l'annexe D du BAEL, comme pour les ponts voisins (celles de l'eurocode auraient été sensiblement plus importantes). Néanmoins, la prise en considération des séismes remettait en cause le système d'appui du projet initial.

Les appareils d'appui prévus étaient en effet des pots de caoutchouc munis de plaques de glissement. Les déplacements

transversaux du tablier étaient bloqués sur l'un des deux appuis de chaque ligne, et les déplacements longitudinaux sur les deux appuis de P3. Il est apparu rapidement que cette pile ne pouvait reprendre seule les efforts sismiques longitudinaux. Par contre, modifier le schéma statique en faisant reposer le tablier sur les piles par l'intermédiaire de blocs de caoutchouc fretté de grandes dimensions (1 100 x 900 x 12.(16+5) sur les piles 1 à 4) permettait de conserver les fondations prévues. Les calculs effectués par la méthode

multimodale ont montré qu'il restait possible de bloquer les déplacements transversaux sur les culées au moyen d'un appui glissant unidirectionnel construit sur mesures pour supporter les efforts de séisme. On a donc conservé des appuis à pot sur les culées.

## MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Pour la construction des appuis en rivière, le matériel a été installé sur des pontons. De part et d'autre du chenal, deux estacades légères permettaient

l'accès du personnel et le raccordement des réseaux. La charpente a été lancée en 4 phases à partir du remblai rive droite (figure 10). L'ensemble des opérations d'assemblage, de lancement et de dépose sur appuis provisoires a duré 30 semaines.

Les prédalles ont été posées par une grue installée sur un plateau roulant sur les poutres (figure 11). Un second plateau mobile la ravitaillait à partir de la culée. Du montage des plateaux au bétonnage du dernier plot, l'exécution du hourdis a duré 11 semaines. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### FONDATEMENTS PROFONDES SUR PIEUX :

- 28 pieux Ø 1 400 (16 m moyen)
- Armatures : 83 t

### BLINDAGE PROVISOIRE DES FOUILLES À TERRE : 75 t

### FONDATEMENTS PROFONDES SUR MASSIFS :

- Palplanches Dabrowa GU 8-600 : 330 t
- Béton immergé : 3 000 m<sup>3</sup>
- Enrochements : 2 500 m<sup>3</sup>

### REMBLAIS D'ACCÈS :

- 1 435 drains verticaux Ø équiv. 50 (6,6 m moyen)
- 646 inclusions rigides Ø 400 (7,5 m moyen)
- Armatures pour inclusions : 478 tubes Ø 126/140 (84 t)
- Remblais : 90 000 m<sup>3</sup>

### GÉNIE CIVIL :

- Béton des appuis : 5 000 m<sup>3</sup>
- Coffrage des appuis : 3 600 m<sup>2</sup>
- Armatures des appuis : 468 t
- Béton du tablier : 2 800 m<sup>3</sup>
- Coffrage du tablier : 9 100 m<sup>2</sup>
- Armatures du tablier : 812 t

### CHARPENTE MÉTALLIQUE :

- Tablier : 2 400 t (y.c. goujons 25 t)
- Passerelle de visite : 74 t

## LES INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** APRR

**MAÎTRE D'ŒUVRE PRINCIPAL :** Egis

**ÉQUIPE DE CONCEPTION :** Egis jmi - Architecture et Ouvrages d'Art

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :**

**GÉNIE CIVIL :** Demathieu & Bard (mandataire)

**CHARPENTE MÉTALLIQUE :** Matière

**TERRASSEMENTS :** Valérien

**SOUS-TRAITANTS :**

**ÉTUDES D'EXÉCUTION :**

- Génie civil : COGECI
- Charpente : CCS
- Batardeaux et estacades en rivière : SIOAH

**CHARPENTE MÉTALLIQUE :** Eiffage Construction Métallique

**APPAREILS D'APPUI :** ETIC

**INCLUSIONS RIGIDES :** Géotechnique et Travaux Spéciaux

**DRAINS VERTICAUX :** Ménard

**PIEUX FORÉS :** Bauer

**BATARDEAUX ET ESTACADES EN RIVIÈRE :** Tournaud

## ABSTRACT

### A406 - THE SAONE VIADUCT - MACON SOUTHERN BYPASS

C. CÉZARD, EGIS JMI - S. GUICHON, COGECI - B. RÉMY, CCS

The A406 motorway crosses the flood plain of the Saône River downstream of Mâcon city. The 450-metre, seven-span viaduct crossing the river forms part of the flood discharge system. The two beams of the composite-structure deck are connected by transverse girders that are extended by cantilever girders under the edges of the slab. The slab was concreted over structurally participating formwork which contributes to its strength. The frame was launched from the embankment on the right edge, built on rigid inclusions passing through the compressible soils. The bridge was designed in accordance with the French design code of 2007, but execution was verified in accordance with the new earthquake resistance codes and the Eurocodes, under preparation at that time. By using large-sized hooped rubber support systems, it was possible to keep the originally planned foundations. The total weight of the frame increased 7.5%, from 2210 to 2375 tonnes. □

### A406 - VIADUCTO DEL SAONE - CIRCUNVALACIÓN SUR DE MACON

C. CÉZARD, EGIS JMI - S. GUICHON, COGECI - B. RÉMY, CCS

La autopista A406 atraviesa la llanura inundable del Saône aguas abajo de Mâcon. El viaducto, de 450 m con siete tramos que cruza el río, forma parte del dispositivo de evacuación de crecidas. Las dos vigas del tablero de estructura mixta están unidas por piezas de puente prolongadas por consolas bajo los bordes de la losa. Esta última ha sido colada sobre prelosas prefabricadas que contribuyen a su resistencia. La estructura se lanzó desde el terraplén de la orilla derecha, construido sobre inclusiones rígidas que atraviesan los suelos compresibles. Diseñada según la normativa francesa de 2007, la estructura se ha ejecutado de acuerdo a las nuevas normas parasísmicas y los eurocódigos, que entonces se estaban elaborando. La utilización de aparatos de apoyo de caucho zunchado de grandes dimensiones permitió conservar los cimientos previstos inicialmente. El peso total de la estructura pasó de 2.210 a 2.375 toneladas, lo que representa un aumento del 7,5%. □

# LE VIADUC DU HASPELBAECHEL

AUTEURS : ALAIN CUCCARONI, DIRECTEUR D'OPÉRATION, RFF - ALAIN LACROIX, DIRECTEUR DE PROJET, SPIE ATIGNOLLES TPCI - STEFAN BERNHARD, RESPONSABLE DU BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES CBDI, CAMPENON BERNARD DODIN INGÉNIÉRIE - STÉPHANE JEAN VIÉNOT, DIRECTEUR TECHNIQUE / DIRECTION DE PROJET, DODIN CAMPENON BERNARD - FLORENT DELHOMME, CONDUCTEUR DE TRAVAUX / TOARC, GTM ALSACE - GILLES MAXIMIN, CHARGÉ QUALITÉ PRÉVENTION ENVIRONNEMENT / TOARC, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT - DANIEL COLLOMB, DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE INTÉGRÉE, BG INGÉNIEURS CONSEILS - ROMAIN GUTTER, INGÉNIEUR TRAVAUX / MAÎTRISE D'ŒUVRE INTÉGRÉE, BG INGÉNIEURS CONSEILS - LUC DE SAINT PALAIS, INGÉNIEUR TRAVAUX CONDUITE D'OPÉRATION, SETEC

LE VIADUC DU HASPELBAECHEL EST INTÉGRÉ AU LOT 47 DE LA DEUXIÈME PHASE DE LA LIGNE GRANDE VITESSE EST EUROPÉENNE, DONT LES TRAVAUX ONT ÉTÉ LANCÉS EN PROCÉDURE DE CONCEPTION-RÉALISATION. FRANCHISSANT LE RUISSEAU DU HASPELBAECHEL ET TRAVERSANT LE PARC NATUREL RÉGIONAL DES VOSGES DU NORD, IL PERMET L'ACCÈS EN COURBE AU TUNNEL BITUBE DE SAVERNE. LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION DE L'OUVRAGE PAR LE GROUPEMENT RÉPOND AUX EXIGENCES DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE, DU RÉGLEMENTAIRE ET DE LA FORTE CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALE. SA PARTICULARITÉ EST QUE LES EFFORTS LONGITUDINAUX DU POINT FIXE SONT REPORTÉS SUR UNE DALLE FROTTANTE EN ARRIÈRE DU CHEVÊTRE, VIA UNE TRAVÉE SUR REMBLAI.



© GROUPEMENT LOT47-JM BANNWARTH POUR BALLOÏDE PHOTOS

## INTRODUCTION

D'une longueur de 106 km environ, la 2<sup>e</sup> phase de la Ligne à Grande Vitesse Est - Européenne complète le projet de liaison Paris - Strasbourg et permettra début 2016 de relier les deux villes en 1 heure et 50 minutes.

RFF a découpé la construction de ces 106 km en 10 lots de génie civil dont le lot 47 qui permet le franchissement du massif des Vosges du Nord (figure 2). Ce lot d'environ 8 km de longueur permet la liaison entre la plaine d'Al-

sace et le plateau lorrain et comprend :

- Le tunnel de Saverne d'une longueur de 4 020 mètres ;
- Des sections de pleine voie pour une longueur cumulée de 2 890 mètres ;
- Le viaduc du Haspelbaechel d'une longueur de 270 mètres ;
- Un remblai de grande hauteur (36 mètres) sur le vallon du Fallbaechel ;
- Trois rétablissements de voirie : 2 ponts route et un pont rail.

## 1- Vue générale du viaduc en construction.

### 1- General view of the viaduct under construction.

Étant donné les évolutions de la réglementation en matière de sécurité ferroviaire, notamment des Spécifications Techniques européennes d'Interopéra-

bilité (STI), les solutions structurelles et constructives pour la réalisation du tunnel étaient nombreuses. RFF a estimé intéressant de ce fait de confier en conception - construction, la réalisation des travaux de Génie civil et d'équipement de sécurité du tunnel.

Ce type de marché permet en effet d'intégrer dès la conception les méthodes optimales de réalisation des entreprises et de fiabiliser ainsi le délai global de remise du tunnel aux équipements ferroviaires.

Le choix de la structure des tunnels (monotube ou bitube) ayant une incidence sur la largeur du viaduc, ce dernier a logiquement été intégré dans le même lot que le tunnel, ainsi que les sections de pleine voie attenantes.

Le Groupement adjudicataire du lot 47 regroupe les compétences principales suivantes :

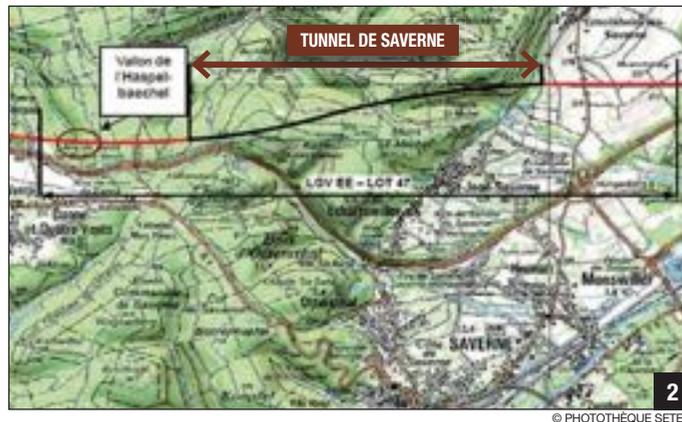
→ Des bureaux d'ingénierie (BG Ingénieurs Conseils, Campenon Bernard Dodin Ingénierie et ANTEA) et l'assistance nécessaire en matière d'architecture (Cabinet Alain SPIELMANN) et de paysage (LASSUS PAYSAGE) ;

→ Des entreprises spécialisées en tunnel : Dodin Campenon Bernard (mandataire) et Spie Batignolles TPCI ;

→ Des entreprises spécialisées en terrassements, assainissements et ouvrages d'art : Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction Terrassement, Valérien et GTM Alsace et Lorraine ;

→ Une entreprise spécialisée en équipements électriques : CEGELEC.

L'ensemble de ces entreprises est piloté par une direction de projet qui assure les relations avec RFF et qui coordonne l'ensemble des études et des travaux.



**2- Localisation du vallon du Haspelbaechel dans le cadre des travaux du Lot 47.**  
**3- Organigramme du projet.**

**2- Location of the Haspelbaechel dale for works as part of Work Package 47.**

**3- Project organisation chart.**

Une mission de conducteur d'opération a été également confiée à Setec ; Cette mission a pour objet de donner à RFF toute l'information nécessaire à la prise de décision, qui relève de sa compétence exclusive, et d'attirer son attention sur d'éventuels risques de dysfonctionnements de l'ouvrage, de surcoûts ou d'allongement des délais.

Le conducteur d'opération est le relais permanent des décisions du Maître d'Ouvrage auprès du Groupement du lot 47.

C'est dans ce cadre, donc, que la conception, les études d'exécution, la construction et les suivis des travaux ont été réalisés (figure 3).

## LE VIADUC DU HASPELBAECHEL

Le viaduc du Haspelbaechel est un ouvrage emblématique du lot 47 de la LGV Est Européenne, au même titre que le tunnel de Saverne.

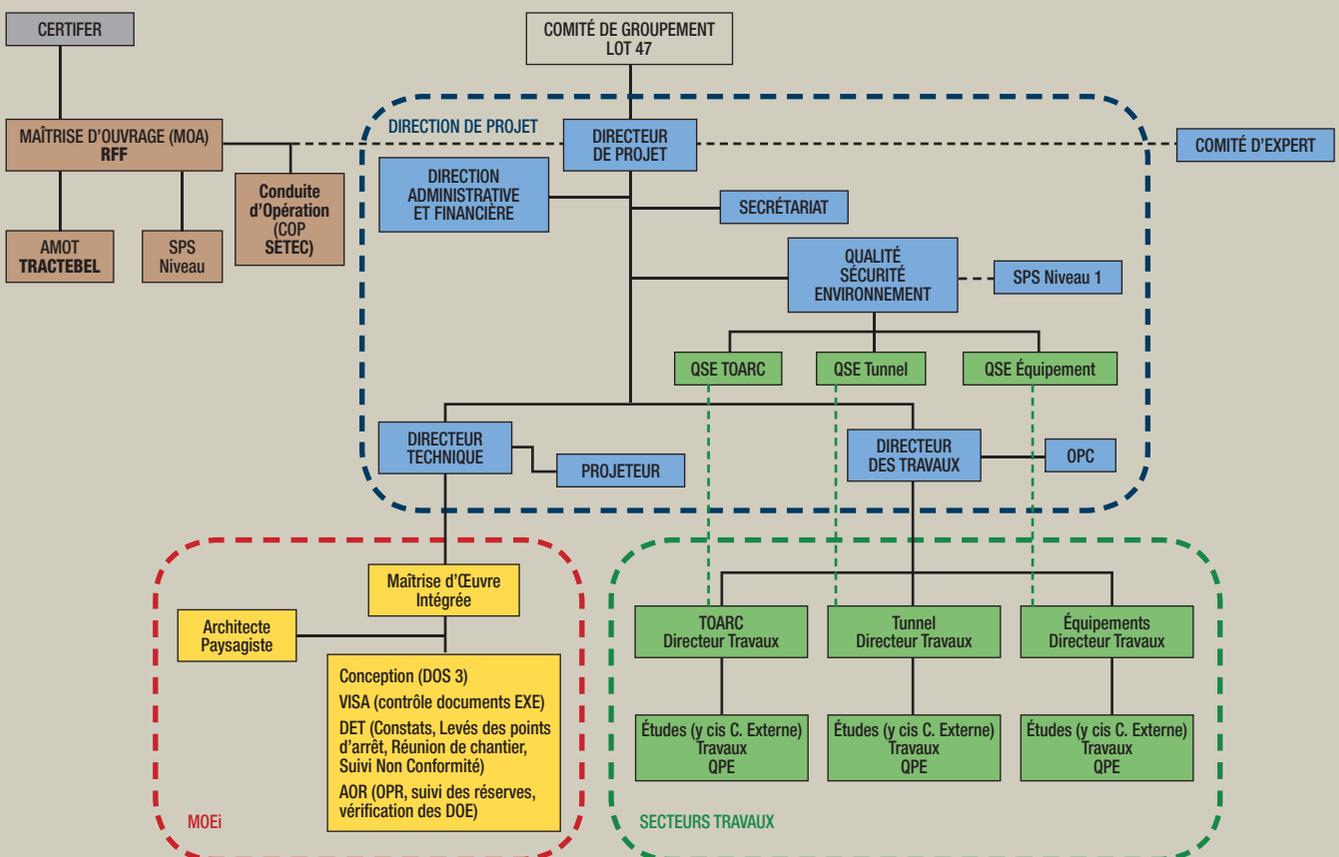
D'une longueur de 270 m, l'ouvrage, de type bi-poutre mixte, comporte 5 travées (48 m en rive contre 58 m en travée courante), pour une largeur de tablier variable de 12,87 à 13,83 m.

Il est prolongé du côté de son point fixe sur culée par une travée sur remblai et une dalle de frottement pour une longueur supplémentaire de 44,50 m. La hauteur des poutres métalliques est de 3,9 m.

L'ouvrage s'inscrit en courbe et franchit le vallon du Haspelbaechel a une hauteur de 45 m environ, la pile la plus haute mesurant 35 m, la plus courte 16 m.

Le présent article concerne uniquement ce viaduc. Il traite pour l'essentiel des aspects de conception.

## ORGANIGRAMME DU PROJET



## CONTRAINTES PRINCIPALES DU PROJET

### CADRE RÉGLEMENTAIRE

Étant donnée la vitesse de projet de 350 km/h prescrite au programme, la base réglementaire principale du projet du viaduc du Haspelbaechel est le référentiel technique RFF pour les LGV et les Eurocodes.

L'ouvrage est concerné par une sismicité modérée au sens des nouvelles réglementations, avec de ce fait deux types de séismes à considérer :

→ Un séisme dit majeur (calcul aux ELU), d'une période de récurrence de 475 ans et correspondant à une probabilité de dépassement de 10% sur une période de 50 ans ;

→ Un séisme dit de service (calcul aux ELS), d'une période de récurrence de 95 ans et correspondant à une probabilité de dépassement de 10% sur une période de 10 ans.

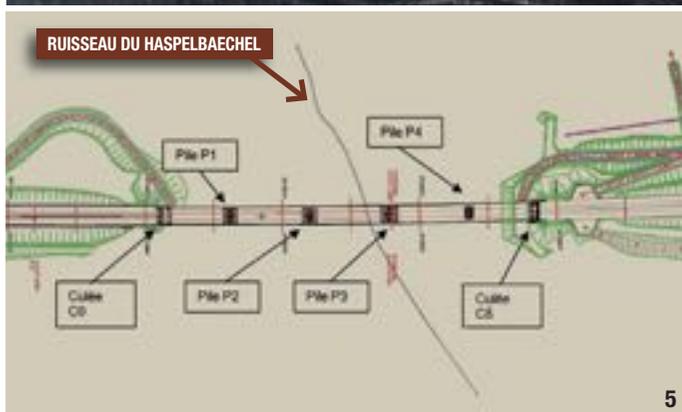
Les exigences spécifiques d'un projet ferroviaire, avec limitation des déplacements statiques et dynamiques, imposent généralement une conception lourde et raide très éloignée des considérations d'ordre parasismique usuelles orientées plutôt vers des structures souples.

Notre conception s'est attachée à la recherche d'un compromis entre la raideur minimale nécessaire pour satisfaire les exigences ferroviaires et la souplesse suffisante de la structure pour limiter les sollicitations sismiques dans l'ouvrage.

Le premier pas dans la volonté de limiter l'impact sismique a été de faire le choix de fonder tout l'ouvrage directement sur le rocher afin de pouvoir prendre en compte dans le dimensionnement une classe de sol



© ALAIN SPELMANN



© ALAIN SPELMANN

4- Vue générale du viaduc passant au-dessus du Haspelbaechel.

5- Localisation du ruisseau du Haspelbaechel et positionnement du Viaduc.

6- Bétonnage du tablier.

7- Palais des Rohan en maçonnerie de grès rose des Vosges (Saverne).

4- General view of the viaduct passing over the Haspelbaechel.

5- Location of Haspelbaechel stream and viaduct positioning.

6- Concreting the deck.

7- Rohan Palace in pink Vosges sandstone masonry (Saverne).

«A» au sens de la nouvelle norme. Un comportement en ductilité limité a été considéré pour la structure avec un coefficient de comportement  $q$  de 1.5, sauf pour les fondations qui ont été calculées avec un coefficient de 1 (comportement élastique).

Des piles massives de forte section ont été choisies afin de satisfaire les exigences ferroviaires de raideur transversale de l'ouvrage, la faible contrainte obtenue par ce fait ayant permis de s'affranchir de toute disposition

constructive sismique particulière pour ces parties d'ouvrage.

### CONTEXTE PARTICULIER

Le viaduc de Haspelbaechel décrit une courbe de rayon 7 000 m environ permettant l'inscription des deux voies ferroviaires pour partie en courbe (rayons de 6 750 et 7 300 m respectivement pour V1 et V2) et pour partie en clothoïde.

Le substratum rocheux est recouvert de colluvions sur une forte épaisseur

au droit des culées, matériau réputé de mauvaise qualité au plan géotechnique. Des caractéristiques médiocres étaient attendues notamment côté Lorraine, étant donnée la présence de terrain fortement remanié reconnue dans ce secteur par les campagnes de reconnaissance qui ont précédé l'appel d'offres aux entreprises.

Selon les conclusions du Programme de l'opération il était même probable que l'axe de l'appui C0 puisse se trouver au droit d'une ou plusieurs failles.



© GROUPEMENT LOT47-JM BANNWARTH POUR BALLOÏDE PHOTOS



© PHOTOThèque SETEC



© GROUPEMENT LOT17  
8

De fait, il était exclu d'ajouter des charges supplémentaires sur les talus existants côté Lorraine de l'ouvrage. Par ailleurs, l'instabilité des berges du Haspelbaechel attestait et atteste toujours d'une érosion active. Les matériaux sont emportés par charriage, situation qui interdisait d'approcher les fondations d'une pile du lit du Haspelbaechel. Ces considérations et les exigences du programme nous ont conduits à positionner le point fixe du viaduc côté Lorraine (culée C0), et ceci malgré la faiblesse des caractéristiques géotechniques attendues dans cette zone.

**8- Bétonnage de la semelle de culée C5.**

**9- Vue 3D de la jonction tablier-Culée C0 et du dispositif d'appui fixe.**

**8- Concreting the footing of abutment C5.**

**9- 3D view of the joint between the deck and abutment C0 and the fixed support device.**

À noter également les particularités suivantes de l'ouvrage :

- Les dimensionnements réalisés, notamment pour les piles et les fondations, intègrent les composantes radiales des charges longitudinales résultantes de la courbure du viaduc (freinage/accélération, frottements des appuis, interaction voie-OA, forces centrifuges, etc.) ;
- Le tablier est bloqué transversalement sur tous les appuis par des appareils d'appui glissants monodirectionnels et longitudinalement sur la culée C0 (point fixe) par l'intermédiaire d'une butée parasismique.

**ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX**

Le Viaduc franchit le vallon de l'Haspelbaechel et le ruisseau du même nom à une hauteur de 45 m environ (figures 4 et 5). La principale source du ruisseau est proche de la zone de travaux. L'enjeu environnemental de la réalisation de cet ouvrage était ici d'autant plus important que le vallon de l'Haspelbaechel se situe au cœur du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord (PNRVN) et d'une zone Natura 2000. Pour la réalisation de l'ouvrage, d'importantes mesures ont été prises pour la protection de l'environnement, notamment pour éviter toute pollution du cours d'eau et pour préserver le site forestier environnant. La rivière Haspelbaechel constitue en

aval de notre projet un lit important pour la conservation d'espèces piscicoles protégées.

Les contraintes techniques et météorologiques nous ayant contraints à planifier les travaux durant la période de reproduction de la faune aquatique, le premier défi environnemental du chantier a consisté en la mise en œuvre de dispositions pour protéger le cours d'eau et son bassin versant immédiat. Préalablement aux travaux de génie civil dans le ravin du Haspelbaechel, les équipes de travaux ont réalisé un important réseau d'assainissement à caractère provisoire constitué notamment de bassins de décantation et de filtres à proximité des pistes du chantier et des fouilles. Des barrières successives de géotextile et de fascines ont notamment été mises en œuvre au niveau des piles 2 et 3 du Viaduc (situées de part et d'autres du cours d'eau).

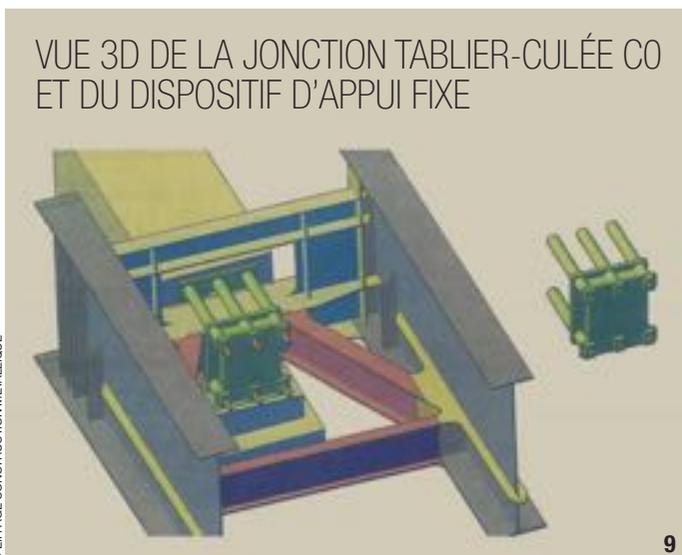
De fait, l'essentiel des eaux de ruissellement a ainsi été traité avant son rejet dans le milieu naturel.

Pour les bétonnages à proximité du cours d'eau, une attention particulière a été apportée au phasage des travaux et vis-à-vis de risques de projection. Des écrans de protection ont notamment été installés sur les outils coffrants. La dernière phase délicate au plan environnemental pour l'achèvement du viaduc concernait les finitions de peinture de la charpente métallique. Outre l'interdiction de tout stockage de produits dangereux dans la zone sensible du vallon, des dispositifs de protection ont été mis en œuvre au niveau de la nacelle pour limiter au maximum les risques d'épanchement de résidus lors des opérations de sablage et de peinture.

Au final, le suivi régulier réalisé de la qualité du cours d'eau durant les travaux a confirmé le bon fonctionnement des dispositifs de protection mis en place. Ce résultat est évidemment très satisfaisant pour l'ensemble des acteurs du projet et notamment pour les équipes travaux.

**ASPECTS ARCHITECTURAUX**

Le viaduc du Haspelbaechel est situé au cœur du massif Vosgien non loin du col de Saverne et de l'autoroute A4. Le relief n'est pas très marqué dans ce secteur. La couverture forestière est dense et principalement composée de sapins. Le fameux grès rose des Vosges affleure à de nombreux endroits. ▷



© EIFFAGE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE  
9

Quand bien même la nouvelle ligne ferroviaire vient longer l'autoroute A4 dans le secteur du viaduc, l'ouvrage n'est en fait pas visible depuis ladite autoroute. L'étude architecturale du viaduc a porté sur la définition des formes et matériaux de parement, la teinte de l'ouvrage et plus généralement sur son insertion dans le site, dans le respect de la définition du parti architectural d'ensemble de la ligne.

Le traitement de l'ouvrage vise un aspect unitaire par l'emploi de formes sobres et simples, l'utilisation d'une teinte homogène voisine de celle du grès rose qui a permis la construction de nombreux bâtiments dans la région tel que par exemple le palais des Rohan à Saverne (figure 7).

Les corniches en béton coloré teinte grès rose prolongent cet esprit. Pour mettre en valeur cette teinte et offrir un contraste, le vert foncé a été retenu pour la peinture des poutres du viaduc. Cette teinte sombre permet en effet d'affiner les lignes et les formes de l'ouvrage.

Elle participe ainsi à l'intégration esthétique du viaduc dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord.

Les piles sont composées en plan de deux «têtes» reliées par un «fût», lequel s'interrompt en partie haute pour laisser passer transversalement la lumière. Le fût est habillé d'un matriçage à relief crénelé permettant, par des jeux d'ombres et de lumières, d'apporter un rendu plus sombre encore, tranchant avec le gris clair du béton. Sur le champ, les «têtes» sont partiellement habillées de la même matrice.

## ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE L'OUVRAGE

### FONDATEMENTS

Pour obtenir un comportement satisfaisant en cas de séisme, la plupart des appuis ont été fondés au rocher sur semelles superficielles.

Seule la culée côté Lorraine (C0) déroge à cette règle puisqu'elle est fondée sur pieux.

Lorsque la qualité du terrain en fond de fouille n'était pas jugée suffisante, la fouille a été approfondie jusqu'au rocher sain, une couche de gros béton non armé étant ainsi intercalée entre la base des semelles et le rocher.

Le choix de retenir principalement des fondations superficielles a permis d'éviter des ateliers de pieux très difficiles à mettre en œuvre et source d'éventuelles pollutions dans ce vallon très escarpé dont la pente atteint ½ sur le versant mosellan.



10



11

Au plan dimensionnel, ce choix a permis de classer le sol en classe A selon les termes de l'Eurocode 8 et ainsi de calibrer les efforts sismiques de dimensionnement aux ordres de grandeur des efforts de service de l'ouvrage.

Le dimensionnement de l'ouvrage a ainsi été optimisé.

À noter que le calibrage a été obtenu grâce à l'utilisation d'un modèle de calcul dynamique spectral complet de l'ouvrage.

Conformément aux exigences du Programme de l'Opération, la culée C0 a été conçue pour que sa descente de charges soit transmise directement au rocher sain sans solliciter le talus existant (réputé fragile).

**10- Pile P3 en cours d'élévation.**

**11- Vue sur entretoises abaissées depuis le plateau coffrant de l'équipage mobile.**

**10- Pier P3 undergoing lifting.**

**11- View over the lowered cross ties from the formwork plate of the mobile rig.**

La culée C0 a été prolongée pour s'appuyer à l'arrière directement sur le rocher sain, alors qu'à l'avant elle s'appuie sur trois pieux en béton forés de longueur 16 m et de 1,60 m de diamètre. Le rôle de ces pieux est de transmettre la charge verticale au sol et de reprendre les charges transversales par effet de portique.

Dans leur partie supérieure (zone des colluvions) les pieux sont isolés du terrain environnant sur une hauteur de 6 m par un fourreau métallique de diamètre 1,80 m, un vide de 10 cm étant par ailleurs laissé entre le bord du pieu et le terrain environnant.

Les efforts longitudinaux de dimensionnement (environ 650 tonnes) correspondant aux cas de freinage/accélération et au séisme sont transmis par la travée sur remblai longue de 24 m jusqu'à une dalle de frottement de 246 m<sup>2</sup> (20,5 m de longueur pour 12 m de largeur) coulée sur le rocher sain. La butée parasismique est reliée à la culée par des barres précontraintes. Deux appareils d'appui à pot verticaux permettent les rotations du tablier sur cette culée (figure 9).

### PILES

#### Description générale

Les piles pleines, de forte section et donc peu comprimées, garantissent un bon fonctionnement en cas de séisme sans nécessiter d'armatures de confinement.

La partie supérieure des fûts comporte deux colonnes afin de calibrer les souplesses des piles de hauteur différente. Cela permet de mieux répartir les efforts entre les piles P1 à P4 sous séisme transversal.

L'accès aux appareils d'appui des têtes de pile se fait par des trappes (une par appareil d'appui) positionnées dans le hourdis inférieur du tablier.

À noter que les contraintes techniques décrites précédemment ont influé sur les choix architecturaux retenus.

#### Réalisation

Les piles ont été réalisées à l'aide d'un coffrage semi-grimpant métallique (l'élévation du coffrage était faite à l'aide d'une grue à tour). Les levées courantes sont de 4,40 m. Le coffrage a été conçu de sorte à minimiser le nombre de tiges de serrage traversantes afin de marquer au minimum le fût des piles.

Un seul outil coffrant a été utilisé pour la réalisation des quatre piles. L'outil disposait de parties amovibles pour permettre l'adaptation nécessaire aux géométries des parties basse (section

massive) et haute (section ouverte en partie centrale).

La face matricée a été réalisée en fixant une joue en polyuréthane directement sur le coffrage.

Sur chaque semelle de pile, une talonnette de même forme que la pile et très précisément implantée a été réalisée en même temps que la semelle pour garantir la parfaite implantation de la première levée et donc de la pile.

Avant chaque étape de bétonnage, un contrôle d'implantation du coffrage était réalisé pour éviter toute dérive géométrique de la pile.

Le chantier a pris l'option d'aménager une aire pour préfabriquer une partie du ferrailage. Cette solution a permis de gagner du temps lors des rotations de l'outil coffrant (une levée tous les 3 jours environ en décoffrant au plus tôt à 15 heures selon les résistances atteintes).

Au sommet des deux fûts de chaque pile, des bossages en béton armé ont été réalisés ; ils sont munis de platines métalliques noyées dans le béton. Les appuis à pot supports des poutres (PRS) de la charpente métallique reposent directement sur ces platines.

## TABLIER

### Description générale

Une solution mixte métal-béton a été retenue avec deux hourdis en béton armé.

Le hourdis supérieur a été coulé en place sur équipement mobile, les entretoises abaissées étant conçues pour faciliter la circulation du coffrage (figure 11). Le hourdis inférieur a été préfabriqué, les dalles étant clavées sur les poutres métalliques mais non liaisonnées entre elles.

À l'extrémité côté C0 le hourdis inférieur a été remplacé par un contreven-

tement métallique permettant la liaison avec la butée parasismique.

La section des barres de contreventement a été dimensionnée pour respecter les critères de déplacement en cas de freinage/accélération et pour offrir la souplesse nécessaire de la structure en cas d'un séisme.

### Réalisation

La charpente métallique du tablier a été mise en place par cinq lançages représentant à chaque fois une longueur de travée (environ 50-60 m) (figure 12).

à une extrémité du viaduc (côté C5 Alsace), une plateforme d'environ 90 m de longueur a été aménagée pour permettre les lançements.

à chaque lançage, les mêmes opérations ont été répétées, à savoir : mise en place des PRS (270 m de longueur en 12 poutres), soudage des jonctions de poutres, mise en place des diaphragmes entre PRS, sou-

dage des diaphragmes sur les PRS. Une fois l'ensemble soudé, les dalles préfabriquées composant le hourdis inférieur du tablier ont été mises en place avec une grue mobile (mais non clavées).

Le tablier a ensuite été lancé, travée par travée, pas l'intermédiaire des chaises disposées en têtes de pile avant d'être descendu sur ses appuis définitifs une fois le côté opposé atteint.

Une fois la charpente en position définitive, un équipement mobile a été mis en place au niveau de C0 afin de couler en place le hourdis supérieur du viaduc (ensemble de 28 plots de 10 m environ) (figure 13).

Le ferrailage du hourdis supérieur a été réalisé sur une zone de préfabrication au niveau de C5 avant d'être acheminé jusqu'en C0. Chaque cage d'armature a été lancée avec un système de ski tracté par des treuils électriques roulant entre les goujons des semelles supérieures des PRS.

Comme indiqué précédemment, l'ouvrage a été conçu pour avoir un diaphragme abaissé qui permettait au plateau central de l'équipement mobile (partie qui coffre la sous face du hourdis supérieur entre les PRS) de circuler librement d'un côté à un autre du tablier.

Une fois le hourdis supérieur réalisé, le hourdis inférieur a été clavé sur les PRS.

## ÉQUIPEMENTS DU VIADUC

Les équipements du viaduc du Haspelbaechel sont classiques :

→ Un complexe d'étanchéité de type Parafort Pont constitué d'un enduit d'imprégnation, d'une feuille d'étanchéité et d'une couche de protection en béton bitumineux d'épaisseur 30 mm ;  
→ De corniches béton teintées en rive d'ouvrage. Elles ont été mises en place à la grue mobile et maintenues provisoirement à l'aide de tire-pousse avant d'être clavées au tablier par la contre corniche ;  
→ Des massifs supports de poteaux caténaires dont la principale caractéristique est d'avoir des tiges ancrées en sous face du tablier par l'intermédiaire d'une platine métallique ;

→ Des caniveaux à câbles préfabriqués posés sur lit de mortier pour les équipements ferroviaires ;  
→ Des caniveaux à eaux constitués par une des faces de la contre-corniche et du caniveau à câble, recouverts par une dalle en béton et reliés au chéneau fixé en sous face du tablier (à l'aide d'une nacelle à déport négatif).



12- Premier tronçon lancé (vue sur P4).

13- Équipement mobile entre C0 et P1.

12- First section launched (view over P4).

13- Mobile rig between C0 and P1.





14

© SETEC TPI

L'intérieur du caisson est aménagé avec :

→ Un dispositif d'accès aux têtes de pile composé d'une trappe d'accès munie de garde-corps, d'un point d'accroche et d'une échelle (une unité par appareil d'appuis) ;

→ Des marches en caillebotis pour franchir les diaphragmes ;

→ Un système d'éclairage pour l'ensemble du caisson et de la travée sur remblai ainsi que des prises électriques au droit de chaque diaphragme.

### ZOOM SUR LE FONCTIONNEMENT PARTICULIER DU POINT FIXE

La solution retenue pour le secteur de la culée C0 a permis de dissocier la fonction des pieux (reprise des charges verticales) de celle de la dalle frottante (reprise des efforts longitudinaux de freinage/démarrage des TGV et de séisme), cette dernière, coulée directement sur le grès sain, transmettant la totalité des efforts horizontaux au substratum.

Étant donnée la préparation soignée de la surface d'appui effectuée (utilisation d'une raboteuse), la dalle de frottement réalisée constitue un élément massif de fonctionnement statique bien maîtrisé (rigidité, résistance) (figure 14).

Une travée béton en arrière de la culée dite travée sur remblai fait la liaison entre la culée C0 et la dalle frottante. La solution alternative, considérée au stade des premières études, d'un groupe de pieux fichés verticalement dans le terrain aurait généré des pressions localisées sur les berges, situation jugée trop hasardeuse étant donné la fracturation pressentie du terrain dans ce secteur.

La solution de dalle frottante, proposée par le Groupement lors de l'offre, a été affinée lors de la phase PRO à l'aide des résultats de la campagne de

sondages complémentaires de 2010. La campagne de sol complémentaire a mis en évidence un substratum sain au droit de la dalle près de la surface du terrain naturel. Le sondage carotté et les essais géophysiques sur site ont confirmé l'absence d'une fracturation « orientée » du massif au droit de la culée C0.

**14- Terrassement de la dalle frottante (C0).**

**15- Spectre de calcul.**

**14- Earthworks for the friction slab (C0).**

**15- Design spectrum.**

La résistance de la dalle à l'effort longitudinal de traction/compression a été améliorée en augmentant sa surface, solution retenue préférentiellement à celle de plusieurs bèches encastrées dans le rocher, écartant ainsi tout risque de fracturation du sol support.

La vérification du non-glisser de la dalle a été menée avec un calcul de frottement classique.

Des paramètres de sol conservatoires ont été considérés :  $\phi = 37^\circ$  et cohésion nulle.

En outre, un calcul aux éléments finis a été mené afin de valider la stabilité globale du massif, permettant ainsi de confirmer la non plastification du sol et la faible déformation de l'ensemble du massif sous efforts longitudinaux.

De fait, la solution dalle frottante avec les améliorations et aménagements présentés ci-dessus a été jugée comme étant optimale, notamment vis-à-vis des conditions de robustesse et de faisabilité.

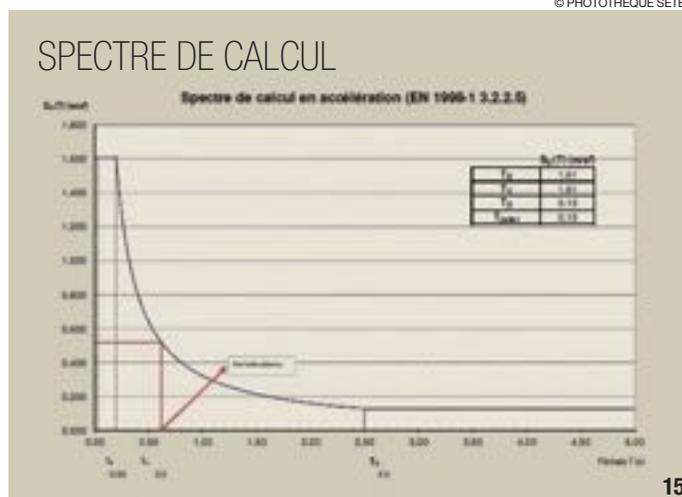
Cette solution a donc été celle déclinée lors de l'exécution des travaux.

Le déplacement du point fixe sous efforts de freinage/démarrage (650 tonnes) a pu être estimé à 1,5 mm environ, valeur à comparer aux 5 mm maximum prescrits par les Eurocodes. Connaissant le déplacement très faible de la culée et de sa dalle de frottement, nous avons pu déterminer les caractéristiques du contreventement métallique reliant le tablier à la butée sismique afin d'obtenir la souplesse nécessaire tout en respectant le critère de déplacement maximum imposé.

La période de vibration longitudinale du dispositif assurant le point fixe a ainsi pu être calée loin du palier du spectre de réponse élastique, permettant ainsi de réduire les efforts sismiques (figure 15).

La rigidité du système de blocage et du tirant béton armé étant calculée

© PHOTOTHÈQUE SETEC



### CARACTÉRISTIQUES

**LONGUEUR : 270 m avec 5 travées**

**LARGEUR TABLIER : variable de 12,87 m (C0) à 13,83 m (C5)**

**HAUTEUR MAXIMALE DU TABLIER : 45 m**

**HAUTEUR DES PILES : 16 m à 35 m**

**LONGUEUR DES TRAVÉES : 48 m en rive contre 58 m en travée courante**

**BÉTON : 10 000 m<sup>3</sup>**

**CHARPENTE MÉTALLIQUE : 1 100 t**

**ARMATURES BA : 1 000 t**

**PIEUX (CULÉE C0) DIAMÈTRE 1 600 : 48 m (3 unités de 16 m)**

**INCLUSIONS RIGIDES (PILE P4) : 378 m Ø 540 mm, maille 2,20 m x 2,20 m, hauteur 9 m**

**CORNICHES PRÉFABRIQUÉES : 540 m**

**ÉTANCHÉITÉ : 3 600 m<sup>2</sup>**

**DÉMARRAGE DES TRAVAUX : été 2011**

**ACHÈVEMENT DES TRAVAUX : printemps 2013**



16

© GROUPEMENT LOT47-JM BANNWARTH POUR BALLOÏDE PHOTOS

avec une bonne précision (calcul éléments finis et résistance des matériaux) et celle du complexe dalle de frottement/sol ayant été approchée en fourchette basse, nous avons ainsi la garantie de respecter le critère de déformation imposé.

## CONCLUSION

La forme de marché en conception-construction retenue ici, qui regroupe dans un même ensemble la maîtrise d'œuvre et les entreprises de construction, était motivée par les objectifs principaux suivants du Maître d'Ouvrage :

- Fiabiliser le délai global de l'opération ;
- Permettre une optimisation des solutions techniques tant pour le génie civil que pour les équipements non ferroviaires ;
- Réduire les risques de réclamation, toute erreur de conception étant de facto assumée solidairement par le Groupement.

À fin 2012, le viaduc est terminé pour sa partie génie civil. Les corniches sont posées et les massifs caténaux réalisés.

Les travaux se sont déroulés conformément au planning et avec la qualité demandée par le Programme. Les derniers travaux (réalisation de l'étanchéité, pose des caniveaux à câbles, finitions de peinture) seront achevés d'ici le printemps 2013.

Plus généralement, les prévisions actuelles de délais finaux, ainsi que le niveau de qualité atteint pour les travaux réalisés sur le lot 47, donnent à penser que l'expérience de Conception/Réalisation est positive tant pour le Maître d'Ouvrage que pour le Groupement du fait de la cohérence du « fonctionnement intégré études et travaux » (aspect réactivité notamment) et des optimisations réelles de projet et de moyens réalisées dès la phase d'offre. □

**16- L'ouvrage achevé sous la neige.**

**16- The completed structure under snow.**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** RFF

**ASSISTANT DU MAÎTRE D'OUVRAGE :** Tractebel

**CONDUCTEUR D'OPÉRATION :** Setec

**GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION :** Dodin Campenon Bernard (mandataire), Spie Batignolles TPCI, Sotrabas, Valerian, Vinci Construction Terrassement, GTM Alsace, GTM Lorraine, CEGELEC, les ingénieries BG ingénieurs Conseils, Campenon Bernard Dodin Ingénierie, ANTEA, l'architecte Alain Spiellmann et le paysagiste Bernard Lassus

## PRINCIPAUX SOUS-TRAITANT ET FOURNISSEURS

**ÉTUDE D'EXÉCUTION :** Secoa

**CONTRÔLE DES ÉTUDES D'EXÉCUTION :** Tonello / BG

**GÉNIE CIVIL :** Demathieu et Bard

**CHARPENTE MÉTALLIQUE ET POINT FIXE :** Eiffage Construction Métallique

**PIEUX ET INCLUSIONS :** Durmeyer

**CORNICHES PRÉFABRIQUÉES :** Capremib

**APPAREIL D'APPUI :** Maurer

**ÉTANCHEITÉ :** Sacan

**JOINTS :** ETIC

**ÉQUIPEMENTS MÉTALLIQUES :** Rousseau

**ÉQUIPEMENT DES TÊTES DE PILES :** Pont Équipement

## ABSTRACT

### THE HASPELBAECHEL VIADUCT

A. CUCCARONI, RFF - A. LACROIX, SPIE ATIGNOLLES TPCI - S. BERNHARD, CAMPENON BERNARD DODIN - S.J. VIÉNOT, DODIN CAMPENON BERNARD - F. DELHOMME, GTM ALSACE - G. MAXIMIN, VINCI CONSTRUCTION - D. COLLOMB, BG INGÉNIEURS CONSEILS - R. GUTTER, BG INGÉNIEURS CONSEILS - L. DE SAINT PALAIS, SETEC

*The Haspelbaechel viaduct forms part of work package 47 of the second phase of the East European High-Speed Train Line, for which work was launched on a Design and Build basis. Crossing the Haspelbaechel stream and passing through the Northern Vosges Regional Nature Park, it provides a curved approach to the double-tube Saverne tunnel. The design and execution of the works by the consortium complies with the requirements of the geological and regulatory context and with the major environmental constraints. It is special in that the fixed-point longitudinal forces are transferred to a friction slab at the back of the crossbeam, via a span on backfill. □*

### VIADUCTO DEL HASPELBAECHEL

A. CUCCARONI, RFF - A. LACROIX, SPIE ATIGNOLLES TPCI - S. BERNHARD, CAMPENON BERNARD DODIN - S.J. VIÉNOT, DODIN CAMPENON BERNARD - F. DELHOMME, GTM ALSACE - G. MAXIMIN, VINCI CONSTRUCTION - D. COLLOMB, BG INGÉNIEURS CONSEILS - R. GUTTER, BG INGÉNIEURS CONSEILS - L. DE SAINT PALAIS, SETEC

*El viaducto del Haspelbaechel está integrado en el lote 47 de la segunda fase de la línea alta velocidad este europea, cuyas obras han sido lanzadas en procedimiento de diseño y realización. Cruza el arroyo de Haspelbaechel, atraviesa el parque natural regional de los Vosgos del Norte y permite acceder en curva al túnel bitubo de Saverne. El diseño y la realización de la obra por la agrupación responden a las exigencias del contexto geológico y reglamentario, y a la gran exigencia medioambiental. Su particularidad es que los esfuerzos longitudinales del punto fijo están desplazados a una losa de fricción detrás del durmiente, a través de un tramo sobre terraplén. □*



1- Réalisation de la couche de forme sur le remblai RBT 551 (à l'arrière plan le viaduc et dans le fond le déblai DBT 549).

1- Execution of the capping layer on back-fill RBT 551 (in the background the viaduct and at the back the earth cut DBT 549).

© AIRDIASOL.ROTHAN

# CONCEPTION-RÉALISATION DU VIADUC DU LANDBACH - 2<sup>e</sup> PHASE DE LA LGV EST-EUROPÉENNE

AUTEURS : DIDIER KOENIG, DIRECTEUR DE DÉPARTEMENT OUVRAGES D'ART, EIFFAGE TP - VINCENT CRESPIN, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TP - SANDRA CROQUETTE, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE TP - JULIEN SAMMUT, RESPONSABLE DES ÉTUDES D'EXÉCUTION GC, EIFFAGE TP - STOA

LE VIADUC DU LANDBACH, LONG DE 500 M, EST L'OUVRAGE PRINCIPAL DU LOT 40, INSÉRÉ DANS LE LOT 41 DU TRONÇON G, DE LONGUEUR TOTALE 1,7 KM, RÉALISÉ EN CONCEPTION/CONSTRUCTION PAR UN GROUPEMENT MULTIDISCIPLINAIRE DONT EIFFAGE EST LE MANDATAIRE. CE GROUPEMENT AVAIT PRÉALABLEMENT FRANCHI LES ÉTAPES DE L'AVANT-PROJET DÉTAILLÉ ET DU PROJET. L'OUVRAGE EST UNE STRUCTURE BI-POUTRE MIXTE AVEC DES PORTÉES DE 52 M. SITUÉ AU CŒUR D'UN SITE CLASSÉ, IL A FAIT L'OBJET D'UN CONCOURS ARCHITECTURAL.



## LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

L'ordre de service de démarrage a fixé celui-ci au 3 janvier 2011. Les travaux préparatoires revêtent comme pour tout projet une grande importance et notamment pour ce viaduc inscrit dans le site classé de Saint-Ulrich (villa et pont gallo-romains situés à moins de 500 m de l'ouvrage) :

- Déboisement de la zone très pentue dans la partie du déblai à l'ouest sur la commune du Haut-Clocher ;
- Contact avec les riverains et propriétaires pour l'indemnisation des

2- Le viaduc du Landbach, fin 2012, presque achevé.

2- The Landbach viaduct, at end-2012, almost completed.

- emprises temporaires (dépôts provisoires et définitif, accès de chantier) ;
- Passage préalable des services archéologiques : aucun vestige gallo-romain n'a été détecté sur l'emprise des travaux ;
- Protection de la Scabieuse des prés (fleur protégée) entre les futures piles P4 et P5 ;
- Recherche de cavités karstiques par sondages destructifs et mesures micro gravimétriques, au cours d'une campagne géotechnique complémentaire ;
- Réalisation d'un linéaire important de pistes d'accès aux appuis

en site inondable. Un ouvrage provisoire a été construit sur le ruisseau du Landbach pour accéder à l'ouest du chantier aux piles P1, P2 et P3, à la culée C0 et au déblai Ouest. Les pistes ont été réalisées avec l'accord des autorités locales et des propriétaires ou exploitants ;

- Mise en place d'installations de chantier aussi discrètes que possible dans le site ;
- Mise au point des dépôts pour les excédents de déblais avec toutes les obligations administratives qui caractérisent cette démarche.



3

© EIFFAGE TP

### LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET D'ASSAINISSEMENT

Ils s'étendent à l'est de l'ouvrage sur une distance de 200 m, et à l'ouest sur une distance de 1 000 m. Ils sont étroitement liés au phasage de l'ouvrage et sont, de ce fait, très méticuleux et découpés dans le temps ; ils se différencient complètement des travaux de terrassement d'un TOARC classique.

#### À L'OUEST DU VIADUC

Le déblai de 1 km nécessaire à la trace du TGV est complété par 100 m de remblai à l'arrière de la culée C0 et permettant l'accostage de la charpente métallique du viaduc.

Le remblai est d'abord érigé jusqu'au niveau inférieur des poutres soit 4 m au dessous du niveau définitif de la plateforme ferroviaire. Après accostage, il est ensuite remblayé en 2<sup>e</sup> phase pour réaliser la PST (partie supérieure du terrassement) et le bloc technique du viaduc. La pente des talus du déblai (d'une hauteur maximale de 17 m) est de 2/1.

Les aménagements à l'ouest comprennent également la réalisation d'une piste pour l'amenée de l'engin de visite MOOG.

3- Vue du viaduc depuis les installations de chantier situées au nord-est.

4- Vue de la pile P2.

5- Profil en long - Coupe longitudinale.

3- View of the viaduct from the site facilities located in the North-East.

4- View of pier P2.

5- Longitudinal profile - longitudinal section.



4

© EIFFAGE TP

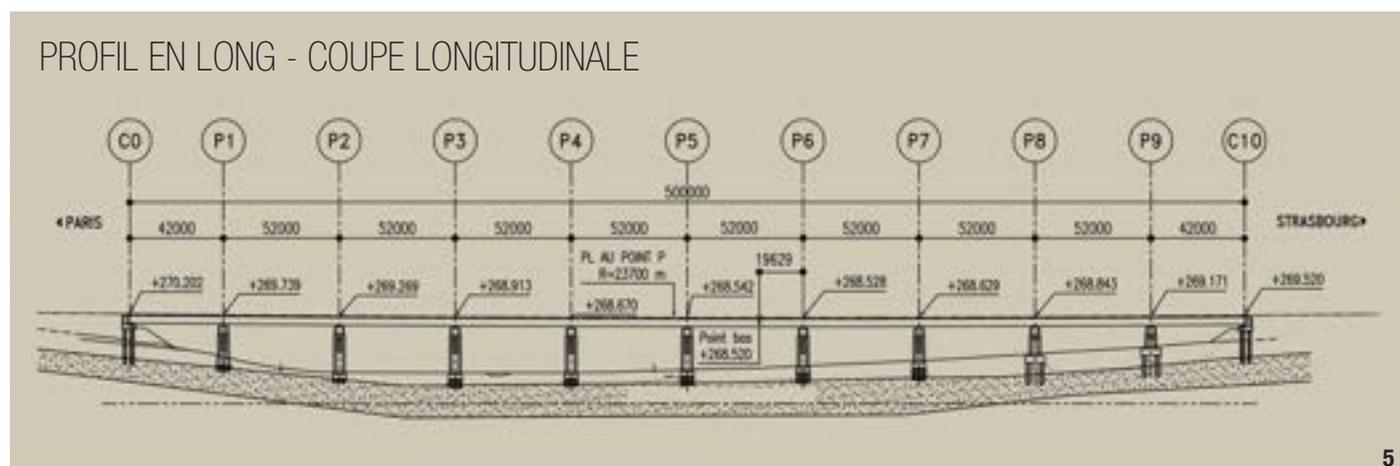
#### À L'EST DU VIADUC

Un remblai de 200 m est réalisé (figure 1) permettant d'accueillir la plateforme de lancement du tablier située à l'arrière de la culée C10.

#### Les matériaux et cadences de travail

Les matériaux du site sont principalement des marno-calcaires avec la présence de dolomie.

### PROFIL EN LONG - COUPE LONGITUDINALE



5

© EIFFAGE TP

6- Terrassement du batardeau de la pile P1 vu depuis la culée C0 (à l'arrière, l'ensemble du chantier).

7- Réalisation des semelles de fondations (ici semelle de la pile P9, au centre le coffrage de l'amorce du fût).

6- Earthworks on the cofferdam of pier P1 seen from abutment C0 (in the rear, the overall construction site).

7- Execution of the foundation footings (here the footing of pier P9, in the centre the formwork for the start of the shaft).



© EIFFAGE TP  
6



© AFDIASOL/ROTHAN  
7

L'extraction de ces matériaux nécessite l'utilisation de pelles mécaniques de grande capacité.

La mise en œuvre des deux remblais de 15 m de hauteur permettant l'accès aux culées, a nécessité l'extraction de 400 000 m<sup>3</sup> de matériaux. Le travail a été réalisé entre mai 2011 à juin 2012 à la cadence journalière de 2 500 m<sup>3</sup> avec un atelier de terrassement pelles-tombereaux articulés de forte capacité.

### LES PRINCIPES STRUCTURELS ET ARCHITECTURAUX

Le viaduc du Landbach a une longueur totale de 500 m, il repose sur 9 piles et 2 culées. La géométrie de la brèche à franchir (le vallon du Landbach) ne présentant pas de contrainte d'implantation particulière, les appuis sont régulièrement espacés avec 8 travées courantes de 52 m et 2 travées de rive

de 42 m. Le tracé en plan est rectiligne. Au droit du viaduc, le profil en long est circulaire de rayon 23 700 m. Compte tenu de la géométrie des voies en profil en long, le point bas de l'ouvrage se situe entre les piles P5 et P6 (figure 5). Le tablier est un bi-poutre mixte dont les poutres métalliques ont une hauteur de 3,50 m et un entraxe de 6 m. Le hourdis supérieur est constitué d'une dalle en béton armé de largeur

12,46 m avec des encorbellements de 3,23 m. L'épaisseur du hourdis supérieur en béton armé est variable entre 43 cm dans sa partie centrale (y.c. coffrage perdu) et 25 cm en extrémité. Le hourdis inférieur, jouant le rôle de contreventement est constitué de dalles préfabriquées, discontinues longitudinalement, et connectées aux semelles inférieures des poutres par clavage. L'épaisseur de ces dalles est de 15 cm. ▷



8  
© AIRDIASOL.ROTHAN

La hauteur des piles varie entre 10 et 21 m. Les piles courantes (P1 à P7) sont composées en partie basse d'un fût creux octogonal d'emprise 5 m par 8 m et de 40 cm d'épaisseur, prolongés par un double fût jusqu'au chevet. Ces piles sont fondées superficiellement sur le substratum calcaire, avec un massif de substitution permettant d'atteindre la couche porteuse.

Les piles points fixes de l'ouvrage (P8 et P9) ont un fût octogonal creux sur toute leur hauteur. L'épaisseur maximale des fûts est de 0,65 m sur les côtés parallèles à l'axe de l'ouvrage. Ces piles sont fondées sur 6 pieux de 2 m de diamètre ancrés d'environ 4 m dans le substratum.

L'architecte Fabrice Néel a recherché une esthétique nette et dépouillée. Le choix de l'ouvrage mixte tend à offrir un profil en long relativement discret dans le paysage (figure 3), le béton peint en noir des piles (figure 4) permettant d'affiner les lignes de l'ouvrage.

## LES ÉTUDES D'EXÉCUTION - POINTS PARTICULIERS

### L'interaction rails-structures (IRS)

Le schéma fonctionnel de l'ouvrage nécessite la disposition d'un appareil de dilatation de voie sur la plateforme côté C0, tandis que les rails sont continus côté C10. Cette disposition impose que la longueur dilatable de l'ouvrage côté C10 soit inférieure à 90 m, et par conséquent le positionnement de points fixes sur les piles P8 et P9. La nécessité d'avoir recours à 2 piles fixes étant par ailleurs guidée par la limitation des déplacements à 5 mm sous efforts de freinage-démarrage. La position du point fixe fictif du tablier

oscille, en fonction des hypothèses de frottement sur les appuis glissants, entre 63 m et 71 m de la culée C10. Une des particularités des études d'exécution de ce viaduc est l'étude spécifique d'interaction voie-ouvrage exigée par l'EN 1991-2 consistant à déterminer d'une part, l'effort transmis par les voies au tablier sous actions thermiques, et d'autre part, vérifier que les contraintes dans les rails restent dans les limites admissibles (72 MPa en compression, 92 MPa en traction). Les règles du livret 2.01 (IN0034) donnaient dans notre cas un effort d'interaction forfaitaire plafonné à 110 t par voie. Les études réalisées par le bureau d'étude de la SNCF (IGOA), à l'aide d'une modélisation sous ANSYS

**8- Plateforme de lancement - Charpente métallique en préparation en vue du 3<sup>e</sup> lancement.**

**9- Pile P7 - Décoffrage de la 2<sup>e</sup> levée : levée dédoublée au dessus d'une levée creuse.**

**8- Launching platform - Steel structure undergoing preparation for third launching operation.**

**9- Pier P7 - Formwork removal from the second concrete lift: concrete lift duplicated above a hollow concrete lift.**

du comportement non-linéaire du ballast à l'interface rail-tablier, ont conduit à des efforts plus importants que ceux pris en compte habituellement ; L'effort d'interaction obtenu est de l'ordre de 190 t par voie. Enfin, la généralisation de l'application de la méthode « bielles et tirants » permise par les Eurocodes a été largement appliquée pour les calculs des piles, notamment au niveau des transitions entre les fûts creux et les fûts doubles des piles courantes mais également pour le calcul des chevêtres, en particulier celui des piles fixes. Ces modèles de comportement ont été, dans la plupart des cas, extrapolés des directions principales des contraintes issues de modélisations aux éléments finis en contrainte plane.



9

© EIFFAGE TP



10

© AIRDIASOL-ROTHAN

### Les calculs sismiques

L'étude a été réalisée conformément à l'Eurocode 8, suivant les recommandations de la note d'information du SETRA N°32 de février 2010, qui anticipait le texte modifiant l'arrêté du 15 Septembre 1995 relatif à la classification et aux règles parasismiques applicables aux ponts (décret en projet à l'époque). Le zonage pris en compte est celui du 21 novembre 2005, remplaçant l'ancien zonage (décret n°91-461 de 1991).

L'ouvrage, de catégorie d'importance II, est situé en zone sismique faible, soit une accélération de dimensionnement  $a_g = 0,84 \text{ m/s}^2$ . La classe de sol est B.

Le calcul des spectres de réponses élastiques donnés dans l'Eurocode 8 a été réalisé en comportement élastique ( $q=1$ ) ce qui permet, étant donnée la zone sismique, de se dispenser de dispositions constructives spécifiques. L'effet du séisme suivant la direction longitudinale de l'ouvrage n'est pas dimensionnant, en revanche le séisme transversal, avec des efforts de l'ordre de 300 à 450 t en tête des piles, l'est pour les semelles superficielles des piles.

## LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

### LA RÉALISATION DES APPUIS

la réalisation des appuis est conditionnée par le lancement du tablier qui se fait de C10 vers C0.

Les travaux ont démarré par le batardeau de la pile P7 et les pieux de la pile P9. Les deux ateliers avancent ensuite, respectivement de P7 vers P6 jusqu'à P1 et de P9 à P8 puis C10 et enfin C0.

10- Vue d'ensemble après deux lançages.

10- Overall view after two launching operations.

### Réalisation des fondations (figures 6 et 7)

Le vallon du Landbach est caractérisé par une structure de sol assez homogène : un socle calcaire cohérent et dont le niveau est relativement constant, propre à reprendre la descente de charges transmise par les appuis, recouvert de marnes argileuses qui dessinent le profil du vallon.

Du fait de ces bonnes conditions géologiques il a été retenu la solution de semelles superficielles reposant sur un massif de substitution en gros béton pour fonder la majorité des piles (P1 à P7).

La profondeur du calcaire et la présence de couches de sol décomprimées sous les culées ont conduit à choisir pour celles-ci des pieux de diamètre 1200. Les piles fixes P8 et P9 soumises à d'importants efforts horizontaux ont été fondées sur des pieux de diamètre 2000.

Du fait de la nature plutôt favorable du terrain, les pieux n'ont pas nécessité d'être tubés sur toute leur hauteur. Après implantation, une virole a été mise en place sur les premiers mètres afin d'assurer la rectitude du forage. Suivant la dureté du sol il a été utilisé alternativement un bucket (couches meubles), un carottier (couches intermédiaires) ou un trépan (couches dures).

### Culée C10 et plateforme de lançage

Le lançage s'effectue depuis la culée C10 qui est juchée sur le remblai RBT 551. Ce dernier est édifié en une première phase (niveau de lançage) et augmenté provisoirement afin de permettre d'accueillir la plateforme d'assemblage (figure 8) de la charpente métallique mais également une aire de préfabrication et de stockage des cages de ferrailage.

### La réalisation des piles

Les fûts de piles sont réalisés en levées de 4 m (figure 9). Pour chacune d'entre elles, le ferrailage est préfabriqué sur une plateforme provisoire prévue à cet effet.

Pour l'ensemble des levées de piles, le chantier dispose de 5 ensembles de coffrages spécifiquement conçus pour le viaduc du Landbach :

→ Un coffrage extérieur, identique pour toutes les levées, sur lequel on dispose de négatifs pour les engravures présentes sur certaines faces ;

→ Un coffrage intérieur pour les levées des piles P8 et P9 dont les voiles sont plus épais que ceux des piles P1 à P7 ;

→ Un coffrage intérieur pour les levées inférieures des piles P1 à P7, creuses comme l'ensemble des fûts P8 et P9 ;

→ Un coffrage pour les faces intérieures des levées supérieures dédoublées des piles P1 à P7 ;

→ Un coffrage pour tous les chevêtres de piles.

Ces ensembles sont complétés de 2 plateformes de travail coulissant sur les piles. Toutes ces opérations (coffrage, mise en place du ferrailage, décoffrage, hissage des plateformes de travail) sont réalisées à l'aide de grues mobiles à

chenilles de 45 à 100 tonnes. En effet, du fait de la proximité du site protégé de Saint-Ulrich, le chantier s'est trouvé confronté à l'interdiction d'utiliser des grues à tours (solution envisagée en phase de conception). Il a donc fallu utiliser des grues mobiles plus discrètes et pouvant être facilement repliées.

## LA RÉALISATION DU TABLIER

### La charpente métallique

En parallèle de la réalisation des piles l'assemblage de la charpente métallique a commencé sur site en octobre 2011.

Les PRS sont acheminées en convois exceptionnels par tronçons de 18 à 25 m représentant chacun entre 30 et 40 tonnes.

→ Assemblage sur site :

Avant déchargement des tronçons, les camarteaux des poutres sont pré-églés en altitude. Après déchargement, la présentation et le jeu des joints de chantier entre les tronçons de poutres ainsi que la rectitude de ces dernières sont vérifiés. Les opérations de soudage des poutres et des diaphragmes sont réalisées. Les lançages s'effectuent sur une ou deux travées, les opérations d'assemblage s'étalant sur un délai de 2 à 5 semaines. Le contreventement de la charpente en phase de lançage est assuré par les dalles inférieures et supérieures. Ces éléments préfabriqués sont mis en place sur les semelles inférieures et supérieures des poutres et calés provisoirement pour le lançage. Les 30 premiers et les 30 derniers mètres de la charpente métallique ont été contreventés provisoirement à l'aide de câbles en croix pour alléger la structure et permettre l'accostage de l'avant bec.



11



12

© AFD/ASOL/ROTHAN

Le ferrailage, constitué de cages pré-fabriquées étaient également posé sur les prédalles supérieures.

→ Lançage :

Le lançage (figure 10) est opéré à l'aide de 2 treuils : un treuil de traction et un treuil de retenue permettant de contrôler le déplacement de l'ensemble.

Une fois lancé l'ensemble de la charpente métallique, est descendu sur appuis définitifs à l'aide de vérins hydrauliques. Les appareils d'appui du viaduc sont de type MAURER.

#### Les hourdis béton

→ Clavage du hourdis inférieur :

Après mise en place de la charpente, on procède à la réalisations des hourdis en béton du tablier. On commence par le clavage du hourdis inférieur : ferrailage et bétonnage d'une longrine de connexion entre les dalles préfabriquées posées sur les semelles inférieurs des poutres et les goujons soudés sur ces semelles.

→ Réalisation du hourdis supérieur :

Une fois les longrines de clavage d'une travée bétonnées, on peut procéder

au bétonnage du hourdis supérieur. Le hourdis supérieur est réalisé à l'aide de prédalles (non collaborantes) posées entre les poutres et un équipage mobile pour les encorbellements latéraux.

Le bétonnage est réalisé par plots de 10 et 10,50 m. Deux équipages sont nécessaires afin d'optimiser le planning de bétonnage (figure 11). Ceux-ci sont translattés à l'aide de treuils qui permettent de les déplacer facilement et en toute sécurité. Afin de limiter la fissuration du béton, l'ordre de bétonnage des plots suit la technique classique du pianotage : les plots d'appui ne sont bétonnés qu'après que les plots des deux travées adjacentes soient entièrement réalisés. Le bétonnage s'effectue depuis la piste en pied de piles à l'aide de pompes allant jusqu'à 50 m (figure 12).

La cadence de réalisation atteint un plot par jour et par équipage. Afin de s'assurer de la résistance du béton au décoffrage le lendemain matin, les bétonnages ont fait l'objet d'un suivi maturaométrique.

11- Pianotage du hourdis supérieur.

12- Bétonnage d'un plot de tablier.

11- Alternate lengths work on the top slab.

12- Concreting a deck section.

#### Écrans acoustiques

Afin de limiter les nuisances sonores dues à la ligne pour les villages de Dolving et Haut-Clocher tous proches, deux murs d'écrans acoustiques en béton armé sont mis en place de part d'autre du tablier. Ces écrans (figure 13) mesurent 3,50 m de haut et pèsent 5 tonnes. Leurs dimensions ainsi que leur forme caractéristique particulièrement travaillée par l'architecte Fabrice Néel en font la signature du viaduc du Landbach (figure 2).

#### LE VIADUC DU LANDBACH ET SON ENVIRONNEMENT

L'impact des travaux et de la présence de la ligne à grande vitesse ont fait l'objet d'études approfondies dès la phase d'appel d'offre.

La proposition architecturale s'est construite à partir des contraintes liées au site inscrit de Saint-Ulrich. L'ensemble des travaux a intégré les mesures fortes de respect de l'environnement dans l'unité hydro-géographique de la Sarre et plus particulièrement dans la zone humide du vallon du Landbach, véritable niche écologique pour de nombreuses espèces végétales et animales.

Soutenue par le maître d'ouvrage, cette stratégie d'intégration des données environnementales dans la conception du projet s'est avérée payante en phase d'exécution.

En effet, les contraintes sur les travaux se sont trouvés allégées : assainissement provisoire, limitation des prélèvements d'eau dans le ruisseau, protection des abords de celui-ci (barrière

anti-batrancien, franchissement par un pont provisoire surélevé et respectueux de la flore des rives...), analyse bi-mensuelle de l'eau du Landbach, protection par clôtures de la zone dans laquelle pousse la Scabieuse des prés (fleur protégée), repli des engins hors zone humide et équipement de chacun d'entre eux en kit de dépollution... En particulier, l'étude d'implantation a permis d'éviter tout déplacement d'espèce végétale ou animale. De plus l'ensemble du territoire impacté par les travaux a fait l'objet d'un aménagement paysager qui tient compte des caractéristiques de chaque zone (humide, boisée) et des espèces endémiques. Ces aménagements permettent de redonner à la nature environnante la richesse qu'elle avait au départ et contribue à l'intégration du viaduc dans le paysage.

### MAÎTRISE D'ŒUVRE ET ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Les relations maîtrise d'ouvrage - groupement se sont caractérisées, tant au niveau de la conception que de l'exécution, par un climat de confiance réciproque.

Si le respect de la qualité au niveau des études et des travaux a été supervisé par le conducteur d'opération Systra, RFF a toujours considéré le groupement concepteur-réalisateur comme un véritable maître d'œuvre.

L'assurance de la qualité au cours des différentes phases du projet a été définie dans le marché par l'intermédiaire d'un schéma directeur de la qualité (SDQ), repris par une NOG (Note d'organisation générale) au niveau de l'exécution.

Les études et les travaux ont fait l'objet d'un contrôle interne et d'un contrôle externe effectués par chaque cocontractant ; un contrôle externe complémentaire (responsable devant la maîtrise d'œuvre du projet) permanent sur site a garanti la validité et la cohérence des études ainsi que la qualité des travaux réalisés.

Le bon fonctionnement de la démarche mise en œuvre a été confirmé au cours des audits effectués par RFF et par des audits internes. □

**13- Les écrans acoustiques - signature du viaduc.**

**13- Noise barriers - the viaduct's signature.**

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### TERRASSEMENTS

- Déblai : 400 000 m<sup>3</sup>
- Remblais : 50 000 m<sup>3</sup>

#### GÉNIE CIVIL

- Béton : 10 500 m<sup>3</sup>
- Aciers HA : 1 300 t
- Étanchéité : 6 300 m<sup>2</sup>

#### CHARPENTE MÉTALLIQUE

- 1 850 t



© EIFFAGE TP

13

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Réseau Ferré de France

**CONDUCTEUR D'OPÉRATION :** Groupement Systra-Arcadis

**MAÎTRISE D'ŒUVRE - TRAVAUX (en groupement) :**

- EIFFAGE TP (mandataire – Génie Civil)
- EIFFAGE Construction Métallique (tablier métallique)
- FOREZIENNE d'Entreprises (terrassement)
- SECOA (Conception – Contrôle externe)
- ARCHITECTURE NÉEL (architecte)
- Cabinet ALLIOD (aménagement paysagers)

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS ET FOURNISSEURS :**

- Études génie civil et béton armé : EIFFAGE TP - STOA
- Études de charpente métallique : EIFFAGE CM, CCS
- Bétons : Holcim
- Aciers HA : Armatures SA & CDF
- Coffrage : Coffrag&quipage
- Pont provisoire et batardeaux : ETMF
- Pieux : Presspali
- Écrans pare-ballast : Capremib
- Étanchéité : Eurovia
- Peinture de la charpente métallique : BORIFER FIB
- Études géotechniques : Fondasol et Sotrec

### ABSTRACT

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF LANDBACH VIADUCT - PHASE 2 OF THE EAST EUROPEAN HIGH-SPEED TRAIN LINE

D. KOENIG, EIFFAGE TP - V. CRESPIAN, EIFFAGE TP - S. CROQUETTE, EIFFAGE TP - J. SAMMUT, EIFFAGE TP - STOA

The viaduct, a composite two-girder structure, is 500 m long, making it the longest in phase 2 of the East European High-Speed Train Line. Its main spans are 52 m long. The work package of which the structure forms part has the original feature, moreover, of being executed on a Design and Build basis, with Eiffage TP being the leader of a multidisciplinary consortium which first went through the «detailed preliminary design» and «final design» stages before being placed in charge of work execution. The viaduct is located in the heart of the classified natural beauty spot of Saint Ulrich, and an architectural design contest was held to adapt the project both technically and visually to the environmental and technical constraints of the East European High-Speed Train Line. A perfect match was found between the design, the work methods and the requirements of the client, especially with regard to safety and protection of the environment and quality. □

## DISEÑO Y REALIZACIÓN DEL VIADUCTO DEL LANDBACH - 2ª FASE LGV ESTE EUROPEA

D. KOENIG, EIFFAGE TP - V. CRESPIAN, EIFFAGE TP - S. CROQUETTE, EIFFAGE TP - J. SAMMUT, EIFFAGE TP - STOA

El viaducto, estructura bi-viga mixta, tiene una longitud de 500 m. Es el más largo de 2ª fase de la LGV Este Europea. Sus luces principales tienen 52 m. Por otra parte, el lote del que forma parte la estructura presenta la originalidad de estar realizado en diseño y realización, siendo Eiffage TP el mandatario de una agrupación multidisciplinaria que realizó previamente las fases «anteproyecto detallado» y «proyecto» antes de encargarse de la realización. El viaducto, situado en el centro del sitio clasificado de Saint Ulrich, fue objeto de un concurso arquitectónico para adaptar el proyecto tanto técnica como visualmente a las exigencias medioambientales y a las del referencial técnico de la LGV Este Europea. Se encontró una perfecta adecuación entre el proyecto, los métodos de ejecución y las exigencias del promotor, en particular en materia de seguridad y de respeto del medio ambiente y de la calidad. □



# LA PASSERELLE DU GRAND LARGE À DUNKERQUE

AUTEURS : CLOTILDE ROBIN, INGÉNIEUR RESPONSABLE DE PROJET, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY,  
INGÉNIEUR DIRECTEUR DE PROJET, SETEC TPI - BRIGIT DE KOSMI, ARCHITECTE

**LA PASSERELLE DU GRAND LARGE RELIE LA PLAGES DE MALO-LES-BAINS AU QUARTIER DU GRAND LARGE DE DUNKERQUE, QUARTIER EN PLEINE RÉNOVATION. FRANCHISSANT UN CANAL SUR UNE PORTÉE DE 112 M, LA PASSERELLE RENVOIE L'IMAGE DES MÂTS DES BATEAUX DU PORT DE PLAISANCE PROCHE GRÂCE À UNE SOLUTION STRUCTURELLE ORIGINALE : UN HAUBANAGE À PLUSIEURS MÂTS.**

## CONTEXTE

Lors de la Seconde Guerre Mondiale, la ville de Dunkerque est détruite à 80%. La reconstruction prend plus de dix ans. Le port est reconstruit sans lien avec le centre-ville et sans imaginer ce va devenir l'activité maritime. Rapidement, seuls les chantiers navals restent et se développent près de la ville. Malheureusement, dans les années 1980, la crise oblige les chantiers navals de la Normed à fermer,

laissant 150 hectares de docks, môles et bassins à l'abandon. Ces friches qui représentent un foncier important deviennent l'assise d'un grand projet d'urbanisme, mené notamment par la S3D (Société de Développement du Dunkerquois). Le premier Master plan, conçu par l'architecte Richard Rogers, est approuvé en 1991. Il conduit à la réalisation de nombreux ouvrages et bâtiments qui permettent à

la ville de se rapprocher de la mer et au port de retrouver une certaine activité. Dans ce contexte, le projet « Grand Large » qui s'inscrit entre le port et Malo-les-Bains, a des ambitions sociales et environnementales, mais aussi éducatives et culturelles, illustrées par exemple par, la décision de transformer l'ancienne et emblématique halle des chantiers navals en Fonds d'Art Contemporain (FRAC). C'est l'équipe d'architectes Lacaton

& Vassal qui assure actuellement la conception et le suivi du chantier de ce projet ambitieux qui consiste à doubler l'ancienne halle en béton par un volume identique en acier et verre. Ce chantier culturel fait face à la plage de Malo-les-Bains, haut lieu de promenades, de jeux et de baignades à la belle saison. Alors, plutôt que de laisser ces deux mondes s'ignorer, la Communauté Urbaine de Dunkerque passe mandat



1  
© BRIGIT DE KOSM



2  
© BRIGIT DE KOSM

1- Vue générale de la passerelle de franchissement.

2- Vue intérieure de la passerelle de franchissement.

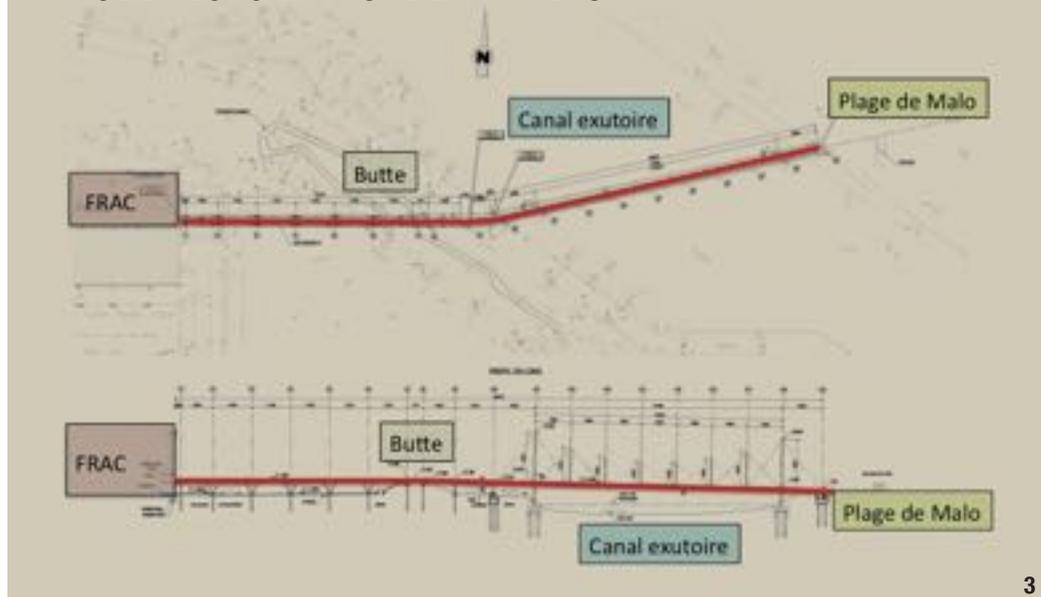
3- Tracé en long et profil en travers.

1- General view of the crossing foot bridge.

2- Interior view of the crossing foot bridge.

3- Longitudinal alignment and cross section.

## TRACÉ EN LONG ET PROFIL EN TRAVERS



3

à la S3D pour assurer la Maîtrise d’Ouvrage de la passerelle, trait d’union tant physique que symbolique.

Cette passerelle, longue de 300 mètres, reliera donc le FRAC à la pointe de la digue des Alliés, en franchissant le canal. Inscrite dans la continuité d’une « rue intérieure », sur l’axe de jonction des deux halles du FRAC, elle traversera le parvis qui lui fait face, effleurera une butte puis amorcera la promenade du front de mer de Malo-les-Bains.

### TRACÉ EN LONG ET PROFIL EN TRAVERS

Le cahier des charges imposait le point de départ - la rue intérieure du FRAC, à 5 m de hauteur- et le point d’arrivée - sur la rive Nord du Canal exutoire, près du Monument aux Morts, au niveau du sol.

Entre les deux, outre le canal exutoire, nous notons l’existence d’une butte, amas de terre et de gravas qui au fil du temps est devenu un relief impor-

tant du paysage. Cette butte protège le parvis qui se situera devant le FRAC et offre un point de vue sur la mer et la plage pour ceux qui se promènent dessus. Nous avons donc décidé qu’elle serait un point de passage pour notre passerelle. Elle deviendra même un cheminement privilégié pour descendre, en douceur, de la passerelle vers le parvis.

Le tracé en long se précise : un tronçon rectiligne du FRAC vers la butte,

puis un autre tronçon rectiligne dans l’axe de la plage pour franchir le canal, et entre les deux, un raccord en courbe au-dessus de la rue Militaire. Le départ du FRAC se fait perpendiculairement à la façade. La connexion avec la butte n’est qu’un effleurement. Le franchissement du canal se fait de biais, déterminé par la ligne générale de la plage de Malo. Et l’ancrage sur la digue tangente le Monument aux Morts qui devient un point de repère.

Le profil en travers est donné par les contraintes de départ et d'arrivée. Du premier étage du FRAC à 10.70 NGF, la passerelle monte légèrement vers la butte, puis redescend doucement pour retrouver le niveau de la digue et du parvis du Monument aux Morts. Les pentes sont faibles et compatibles avec un cheminement utilisable par des Personnes à Mobilité Réduite. La passerelle se situant à 5 m de hauteur dans toute la partie Dunkerquoise, la question de la montée et de la descente sur l'ouvrage a été essentielle dans notre la réflexion. Plutôt que d'envisager un escalier et un ascenseur, ouvrages toujours délicats à réaliser, difficiles à entretenir et sans relation architecturale avec le bâtiment du FRAC et la passerelle, nous avons

choisi d'utiliser la butte comme cheminement unique et paysager (figure 3).

#### LES PROJETS ET CHANTIERS VOISINS

C'est ainsi qu'un nouveau projet est né : celui de la butte, lien essentiel entre la passerelle, le FRAC et son parvis. Sa conception paysagère ainsi que celle du parvis ont été confiées à Philippe Thomas. Les études ont été accélérées afin que ce chantier, anticipé, s'inscrive dans le planning de ceux du FRAC et de la passerelle. Aujourd'hui, les travaux de réaménagement sont en cours. Les Entreprises en charge des travaux sont :  
 → COLAS Nord Picardie - Voiries ;  
 → SET Tertiaire - Réseaux divers ;  
 → PLATEVOET - Espaces verts.

**4- Virginia Railroad Bridge, USA.**

**5- Royal Victoria Dock Bridge, UK.**

**6- Forthside Bridge.**

**4- Virginia Railroad Bridge, USA.**

**5- Royal Victoria Dock Bridge, UK.**

**6- Forthside Bridge.**

Le projet du FRAC est, quant à lui, bien avancé, avec une inauguration prévue à l'automne 2013. Les principales Entreprises en charge des travaux sont :  
 → EIFFAGE TP - Gros-Œuvre ;  
 → LOISON - Charpente.

#### LA PASSERELLE : PRÉSENTATION DE LA SOLUTION STRUCTURELLE ET ARCHITECTURALE

Bien qu'elle soit continue, on peut facilement distinguer deux ouvrages dans cette passerelle : la partie reliant le FRAC à la butte et le franchissement du canal. Alors que des appuis peuvent être régulièrement prévus sur le parvis, le franchissement du canal, brèche d'une longueur de 112 m, ne peut se faire avec un appui intermédiaire.



FIGURE 4 © PHOTO EXTRAITÉ DU LIVRE STRESS RIBBON AND CABLE-SUPPORTED PEDESTRIAN BRIDGES DE JIRI STRASKY - FIGURE 5 © PHOTO EXTRAITÉ DU LIVRE FOOTBRIDGES DE URSULA BAUS ET MIKE SCHLAICH - FIGURE 6 © SETECT/PI



7

© BRIGIT DE KOSMI

Cela nous a amené à proposer deux solutions structurelles différentes mais liées architecturalement.

Le premier choix a été celui du franchissement. Pour une telle portée, de nombreuses propositions structurelles étaient envisageables : une passerelle treillis, une passerelle suspendue, une passerelle haubanée, une passerelle ruban... Nous avons écarté la passerelle treillis, car la hauteur des treillis aurait lourdement marqué le paysage. Quant à la passerelle ruban, il ne nous a pas paru judicieux de poursuivre dans cette voie en raison des sols sableux peu aptes à reprendre les efforts horizontaux d'ancrage inhérents à ce type de structure. Restaient alors les solutions suspendues ou haubanées. La différence se trouve notamment dans la hauteur des mâts, d'autant plus si on considère un haubanage asymétrique avec un seul mât. Les gabarits envisagés sont alors les suivants : deux mâts de 15 m de hauteur pour une solution suspendue, un mât de 50 m de hauteur, placé en rive Malo, pour la solution haubanée.

Le mât de 50 m de hauteur ne s'inscrivait pas dans le paysage plat de la plage et concurrençait la silhouette du FRAC, tandis que la solution suspendue manquait de caractère. Nous avons donc opté pour une solution mixte : une passerelle haubanée

**7- Vue de la passerelle d'accès au FRAC.**

**8- Construction géométrique et reprise du moment.**

**7- View of the FRAC access foot bridge.**

**8- Geometric construction and force absorption.**

avec plusieurs mâts dont la hauteur varie selon la courbe en chaînette du câble central d'une passerelle suspendue, avec finalement, un comportement structurel plus proche de celui d'une poutre treillis à laquelle on aurait supprimé la membrure supérieure. Cela paraît complexe et ambitieux mais notre proposition trouve là une justification architecturale forte : la multiplication des mâts rappelle la présence proche mais invisible des bateaux du port de plaisance qui se cache derrière la halle du FRAC. Encore une fois, le lien entre les loisirs et la culture est maintenu.

Les grues du port, les mâts des bateaux, les gâbles du quartier du Grand Large, ponctués par les verticales du phare de Risban, du beffroi, de la tour du centre-ville et du clocher de la Mairie composent l'horizon depuis la dune. La silhouette du franchissement sur le canal s'inscrit en accord avec le caractère maritime du lieu et l'échelle des hauteurs en présence. Elle offre une réponse spécifique au site (figures 1 et 2). Structuellement, ce type de solution a déjà un nom :

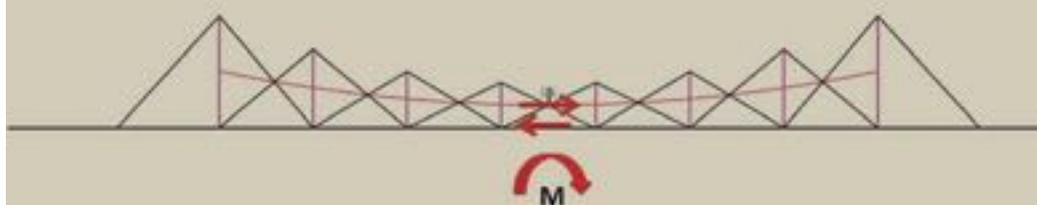
« poutre Fink inversée », en référence à la poutre treillis Fink utilisée dans de nombreux ponts ferroviaires (figure 4). Des passerelles de ce type existent donc. La plus emblématique et celle qui nous a inspirés est le pont transbordeur, « Royal Victoria Dock Bridge » à Londres, conçu par les architectes Lifschutz Davidson Sandilands (figure 5). Nous avons découvert ensuite que l'agence d'architecture anglaise, Wilkinson Eyre Architects, associée au Bureau d'Ingénierie Gifford, en a conçu une similaire, franchissant des voies ferrées en Écosse (figure 6). Très proche de notre solution, elle s'en distingue, toutefois, par une complexité géométrique additionnelle, notamment dans l'inclinaison variable des mâts et la dissymétrie des plans de haubanage. Le positionnement et la hauteur des mâts de notre passerelle respectent, eux, une loi géométrique simple.

À partir d'un découpage en un nombre de tronçons impair (7) et des hauteurs de mâts de rive choisies (23 m), les autres mâts se positionnent naturellement selon la règle suivante : le croisement des haubans entre deux mâts adjacents se trouve sur une parabole représentant l'évolution des moments le long de la passerelle.

En effet, l'altimétrie de ce point de croisement correspond au bras de levier permettant d'équilibrer le moment dans la poutre par un couple de forces se décomposant entre une force horizontale dans le tablier et deux forces inclinées dans les haubans (figure 8).

Afin de limiter les efforts dans les mâts et les haubans, et surtout pour permettre le passage libre des usagers, nous avons choisi deux plans de haubanage en rive du platelage. ▽

## CONSTRUCTION GÉOMÉTRIQUE ET REPRISSE DU MOMENT



8

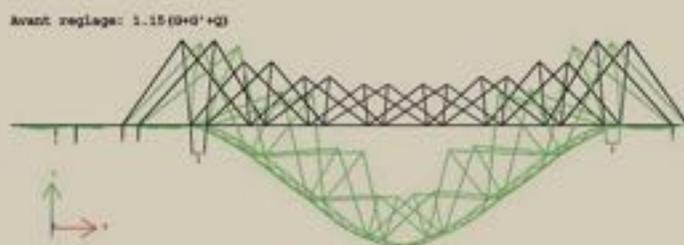
© SECTEPI

SCHÉMA STATIQUE ELS



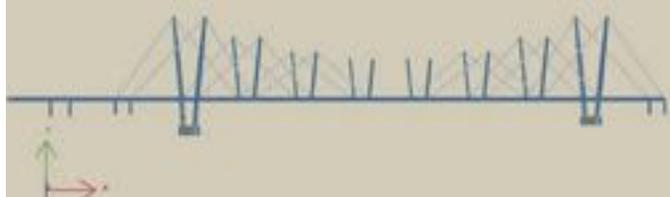
9a

FLÈCHE AVANT RÉGLAGE



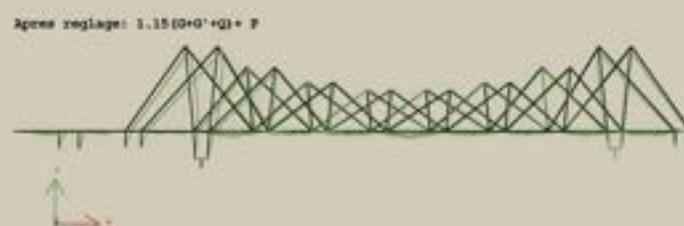
10a

SCHÉMA STATIQUE ELU



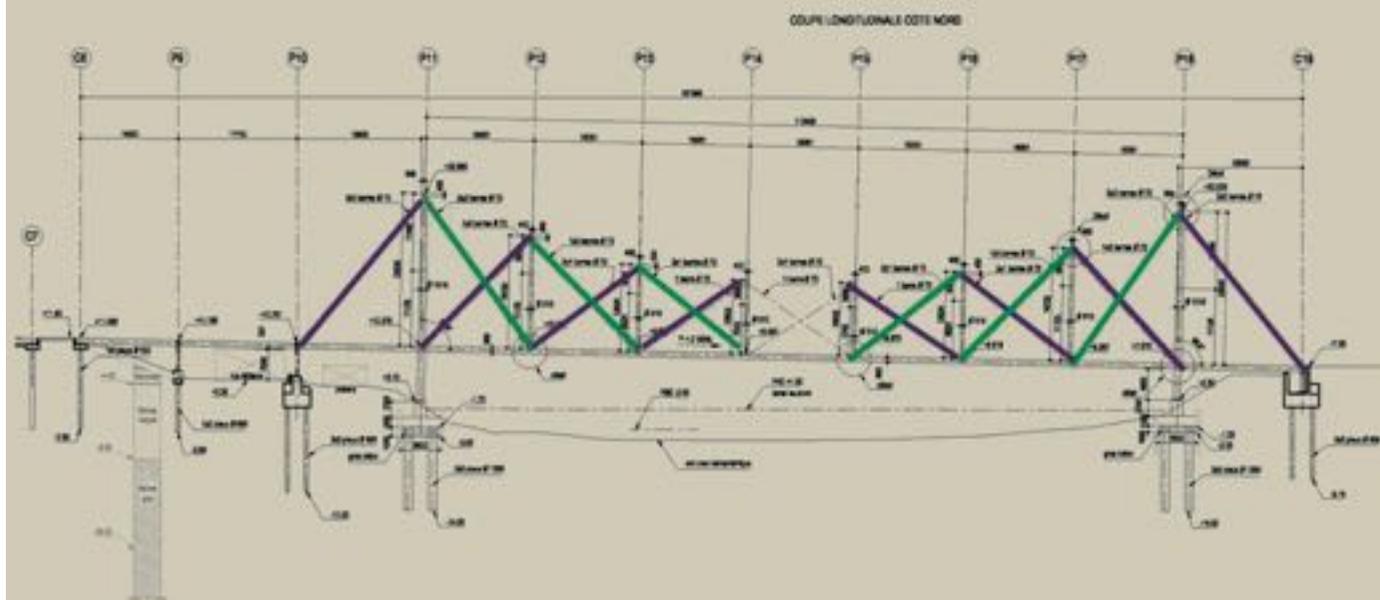
9b

FLÈCHE APRÈS RÉGLAGE



10b

RÉGLAGE DES HAUBANS



11

Les mâts fonctionnent donc deux à deux, reliés en pied par des traverses importantes formant des U rigides qui donnent à la passerelle sa stabilité transversale. Mais à cause du franchissement en biais, ces U ne sont pas perpendiculaires au platelage. Cela ajoute une certaine dynamique à l'ouvrage. En rive, les mâts se prolongent sous le tablier et deviennent des béquilles encastrees dans deux piles en béton émergeant de talus. À cette image forte du franchissement, répond une image plus douce de la partie d'accès au FRAC. Les paires de

mâts inclinés deviennent des béquilles d'appui en V. L'intention est de proposer une promenade « cadrée » sous la passerelle. Ainsi, les supports sont en V dans les sens longitudinal et transversal. Les « V » dans le sens longitudinal sont dessinés suivant le même angle que les gâbles des toitures voisines. Le rythme des appuis reprend celui des mâts et le tablier se poursuit naturellement d'une suspension vers un système porteur. L'intention architecturale est d'inviter à la promenade sous et sur la passerelle

**9- Schémas statiques ELS et ELU.**  
**10- Flèche avant et après réglage.**  
**11- Réglage des haubans.**

**9- SLS and ULS static schemes.**  
**10- Sag before and after adjustment.**  
**11- Stay cable adjustment.**

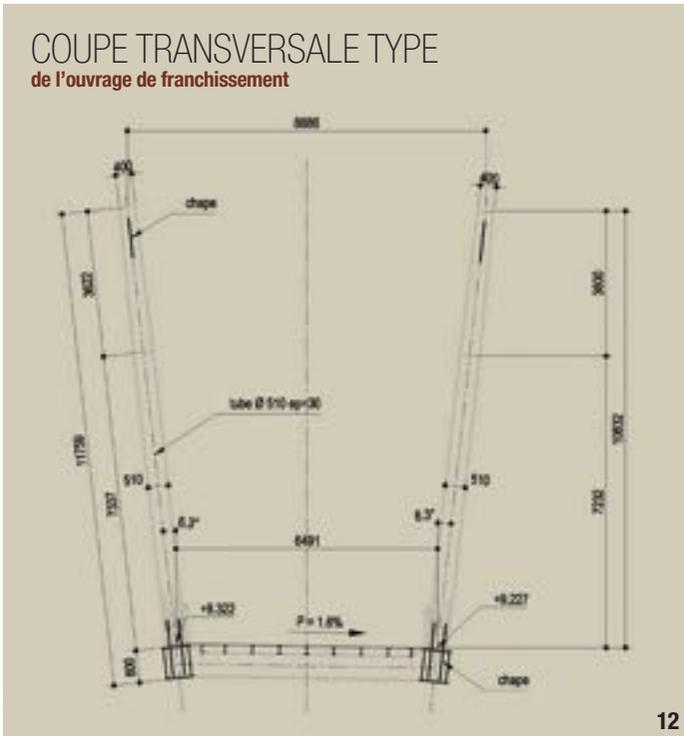
avec des temps de pause matérialisés par des bancs en pieds des appuis ou au niveau du garde-corps. Le parvis traversé par la passerelle pourra être un lieu de manifestations artistiques, comme une scène devant le FRAC. Et la passerelle sera sa tribune (figure 7).

**RÉGLAGE ET DIMENSIONNEMENT DE LA PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT**

**Réglage des haubans**

La tension de réglage est choisie afin qu'aucun hauban ne soit détendu à l'État Limite de Service. En revanche,

**COUPE TRANSVERSALE TYPE**  
de l'ouvrage de franchissement



12

**12- Coupe transversale type de l'ouvrage de franchissement.**

**13- Vue en plan du tablier de l'ouvrage de franchissement.**

**14- Élévation de la passerelle de franchissement.**

**12- Typical cross section of the overbridge.**

**13- Plan view of the deck of the overbridge.**

**14- Elevation view of the overbridge.**

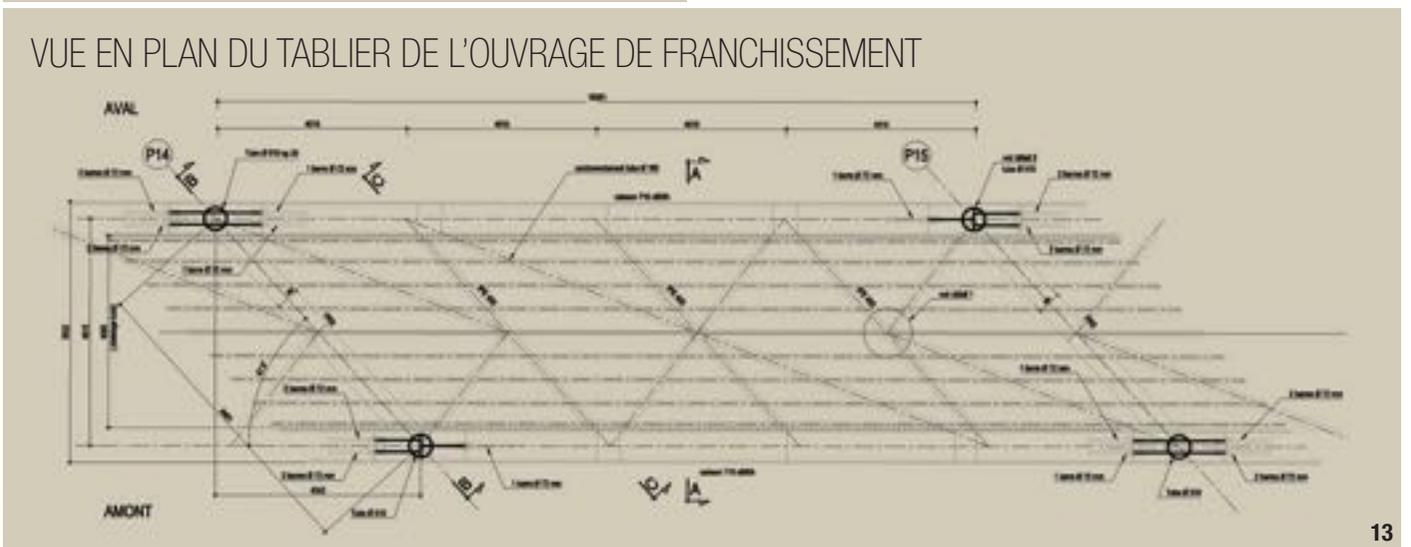
on autorise une détente dans les haubans centraux, à l'État Limite Ultime. La passerelle fonctionne alors comme deux consoles. Les flèches sont donc plus importantes mais les contraintes restent acceptables (figure 9).

Afin de n'admettre aucune détente à l'ELS, nous avons déterminé un réglage permettant à la passerelle chargée de retrouver sa géométrie initiale. En effet, sous charge verticale, la passerelle fléchit et cela détend les haubans centraux. Annuler cette déformation revient à éviter toute détente des haubans (figure 10).

Le moyen de réglage est le suivant (figure 11) :

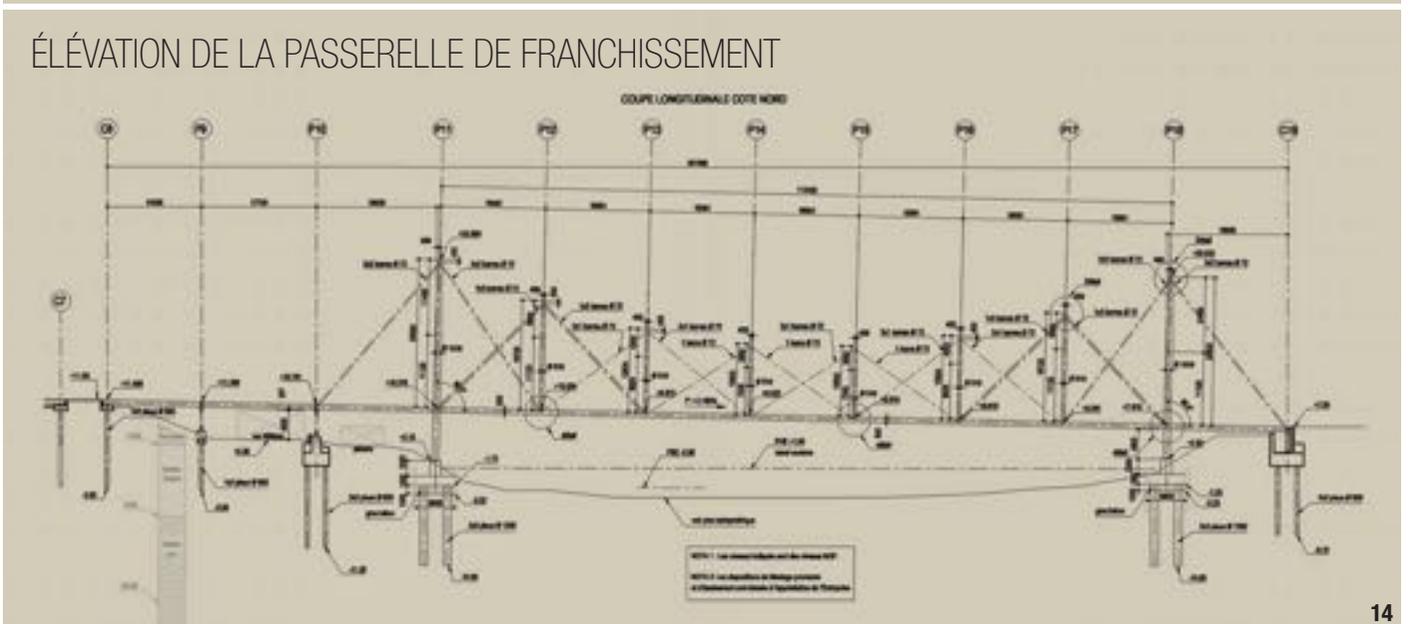
- On tend les haubans de retenue (en violet) afin d'annuler le déplacement relatif entre la tête et le pied du mât ;
- On tend les haubans de traction (en vert) afin d'annuler la flèche verticale du tablier en pied de mât.

**VUE EN PLAN DU TABLIER DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT**



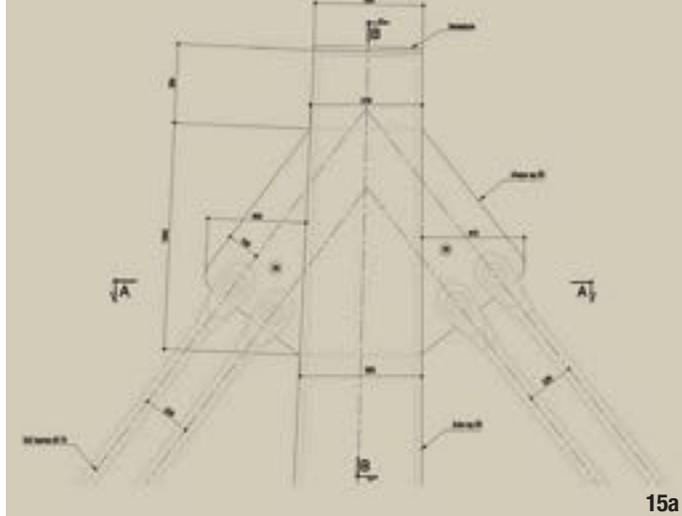
13

**ÉLÉVATION DE LA PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT**



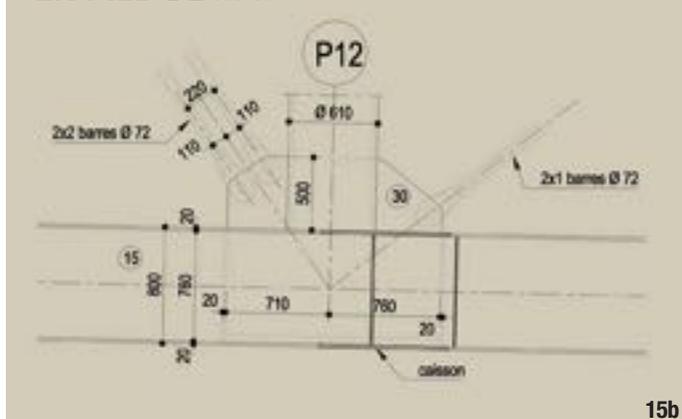
14

## DÉTAILS D'ANCRAGE DES HAUBANS EN TÊTE DE MÂT



15a

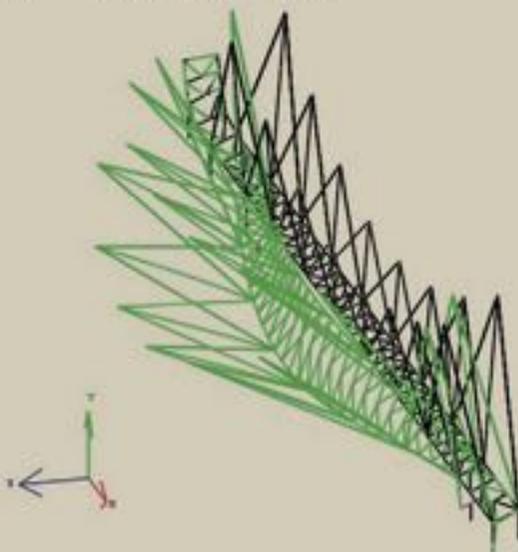
## DÉTAILS D'ANCRAGE DES HAUBANS EN PIED DE MÂT



15b

## MODE PROPRE HORIZONTAL

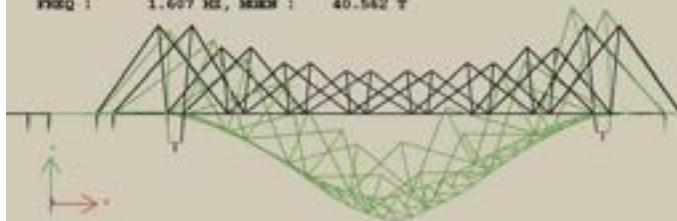
MODE PROPRE NUMERO 1  
FREQ : 0.727 Hz, MGEN : 41.550 T



16

## MODE PROPRE VERTICAL

MODE PROPRE NUMERO 12  
FREQ : 1.607 Hz, MGEN : 40.562 T



17

La combinaison de réglage est 1.15 G + 1.15 G' + 1.15 Q. Cela permet de s'assurer que sous l'ensemble des combinaisons ELS, notamment celles contenant des cas de chargement dissymétriques de foule ou de vent ainsi que sous les effets thermiques, aucun hauban n'est détendu.

Numériquement, la méthode utilisée est la suivante. On applique une déformation unitaire dans chaque hauban et on stocke les déplacements résultants aux nœuds voulus. On construit ainsi une matrice de passage qui, transposée puis inversée et multipliée au vecteur déplacement objectif (DX = 0 et Y = 0), donne les déformations à imposer aux haubans.

À l'État Limite Ultime, il est acceptable d'étudier des schémas de ruine tout en garantissant la stabilité de la structure. Afin de ne pas introduire une précontrainte trop importante dans le système, nous avons donc choisi

d'autoriser une détente des haubans à l'ELU tout en vérifiant que l'équilibre était maintenu. Ainsi, un calcul pas à pas est effectué pour repérer l'instant de détente des haubans. Ce sont les haubans centraux et ceux contigus qui se détendent. Alors, ils sont retirés du modèle de calcul et la vérification ELU se poursuit sans eux.

### Tablier

Le tablier métallique de la passerelle de franchissement est constitué de :

- Deux longerons en caisson ;
- De traverses de type profilés du commerce, espacés tous les 4 m ;
- De traverses renforcées au niveau des mâts ;
- De solives de type profilés du commerce, espacées tous les 0,6 m ;
- De tubes de contreventement.

Les traverses sont encastrées dans les longerons et les mâts afin d'assurer la stabilité transversale de l'ensemble tablier et mâts (figures 12 et 13).

**15- Détails d'ancrage des haubans en tête et en pied de mât.**

**16- Mode propre horizontal.**

**17- Mode propre vertical.**

**15- Details of stay cable anchoring at mast head and foot.**

**16- Horizontal natural mode.**

**17- Vertical natural mode.**

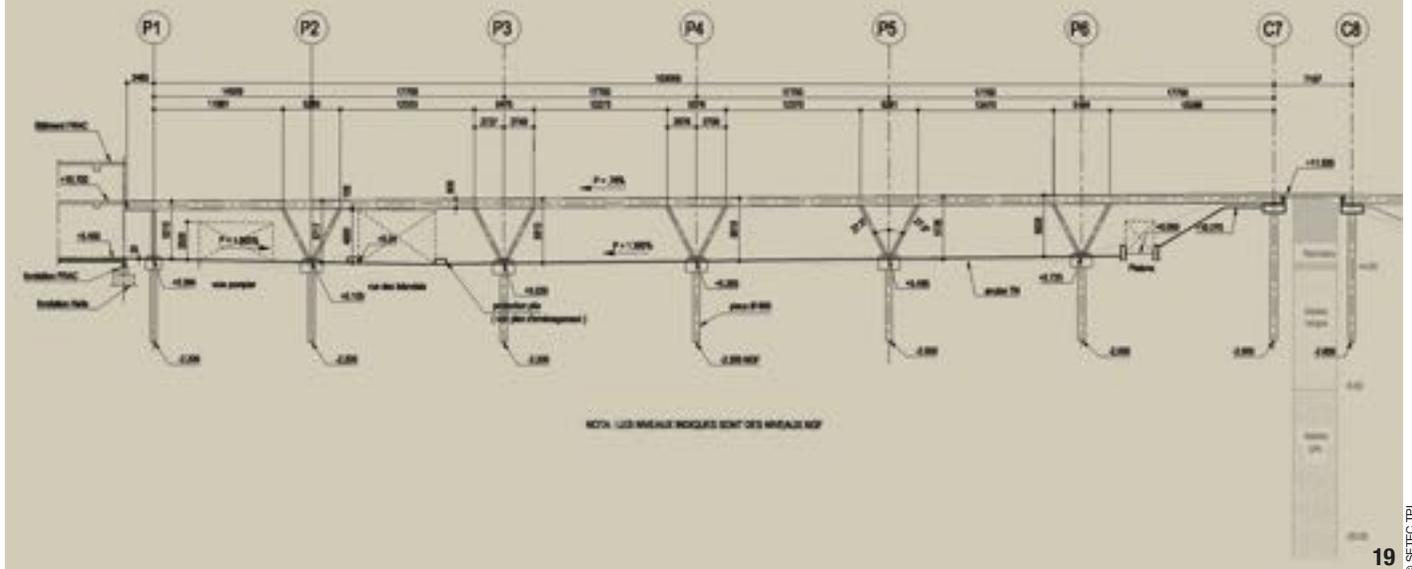
### Suspension

Les mâts sont des tubes métalliques d'épaisseur constante et de section constante en pied mais variable au moyen d'un retraite conique en tête. Ils sont encastrés dans le longeron et libres en tête où, dans la zone d'ancrage des haubans, des tôles épaisses permettent le transfert direct par cisaillement des charges des haubans à travers le pylône. En pied, la jonction mât/tablier est assurée par la continuité des chapes d'ancrage des haubans qui sont enfourchées dans le mât et dans le longeron (figure 15).

Les haubans sont des barres pleines réglées en déformation à l'aide de ridoirs. Ils sont connectés aux mâts et aux longerons à l'aide de chapes. L'assemblage permet l'équilibre des efforts entre la composante inclinée des haubans et celles verticale du mât et horizontale du longeron. La tension de réglage est choisie afin qu'aucun



## ÉLÉVATION DE LA PASSERELLE D'ACCÈS



19

© SETEC TPI

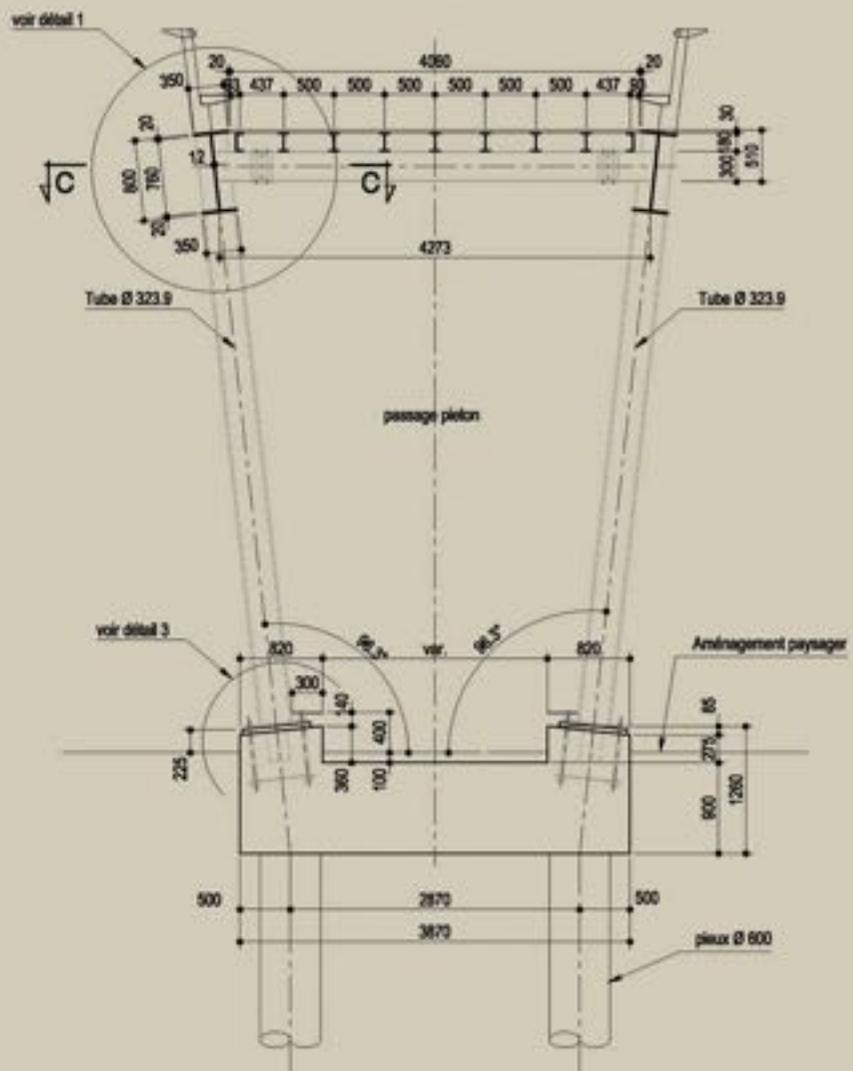
19- Élévation de la passerelle d'accès.

20- Coupe transversale type de la passerelle d'accès.

19- Elevation view of the access foot bridge.

20- Typical cross section of the access foot bridge.

## COUPE TRANSVERSALE TYPE DE LA PASSERELLE D'ACCÈS



20

© SETEC TPI

Afin qu'il n'y ait pas de traction sous charges quasi-permanentes dans les pieux, des massifs en gros béton sont portés par la semelle en béton armé. La culée d'ancrage côté Malo est, elle, complètement enterrée. En effet, le tablier effleurant le niveau fini du sol, les bielles métalliques en traction se retrouvent enterrées. Pour les protéger et permettre leur inspection, nous avons créé une boîte creuse accessible par une échelle à crinoline.

### DYNAMIQUE DE LA PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT

Les premiers modes propres observés sont des modes de torsion couplés à des modes horizontaux.

Avec une fréquence proche de 0,75 Hz, le premier mode peut être excité par la composante horizontale de la marche des piétons (figure 16).

Les neuf modes suivants sont des modes couplés entre torsion et déplacement horizontal. Le onzième mode est le premier mode vertical. Avec une fréquence d'environ 1,6 Hz. Il est également susceptible d'être excité par la marche piétonne (figure 17).

À partir de ces modes propres, le guide du SETRA permet de calculer des accélérations. Alors que pour le mode horizontal, il semble que l'accélération soit légèrement inférieure à la limite acceptable, l'accélération verticale est, elle, en dehors des limites. Ainsi, nous avons prévu des amortisseurs verticaux, situés sous le platelage, au centre de la passerelle, à l'emplacement du ventre de vibration. Par précaution, nous avons également envisagé de poser des amortisseurs horizontaux. Les amortisseurs sont de type ADA (Amortisseurs Dynamiques Accordés). Leurs caractéristiques (masse, ressort, fréquence) seront à confirmer par des essais dynamiques.

#### MONTAGE DE LA PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT

Le canal ayant une profondeur inférieure à 4 m, nous avons privilégié un montage avec une digue et des palées provisoires afin d'assembler la structure de la manière suivante (figure 18) :

- Mise en place d'une digue provisoire en matériau du site en amont de la passerelle ;
- Mise en place de 3 palées provisoires dans le canal ;
- Construction des travées d'équilibrage ;

- Pose de tronçons isostatiques à la grue, à partir de la digue provisoire ;
- Pose des mâts et mise en tension des tirants ;
- Sous la mise en tension, la passerelle se lève et décolle de ses appuis provisoires ;
- Déconstruction de la digue et des palées provisoires ;
- Reconstruction des talus et cicatrization du site.

#### PASSERELLE D'ACCÈS AU FRAC

La passerelle d'accès est longue d'une centaine de mètres et repose sur six piles et une culée au niveau de la butte. Les piles sont constituées de doubles béquilles en tube acier en V inclinées transversalement et longitudinalement vis-à-vis du tablier (figures 19 et 20).

Alors que toutes les béquilles métalliques sont encastrées dans des massifs en béton, celles de la première pile près du FRAC sont rotulées afin de permettre un déplacement longitudinal. Sur la culée, on dispose des appuis simples en néoprène.

Le tablier est constitué de deux poutres principales longitudinales continues en I, reliées par des traverses espacées d'environ 4 mètres. Des solives supportent le platelage. Le contreventement est effectué par des tubes disposés en croix.

#### ÉQUIPEMENTS : PLATELAGE, GARDE-CORPS ET ÉCLAIRAGE

Le platelage est en bois de type Ipé, constitué de planches régulièrement espacées non jointives. Il est vissé dans les solives.

La largeur du platelage est constante et filante sur tout le linéaire de la passerelle.

Le platelage étant ajouré, les eaux de pluie ne sont pas récupérées.

Au niveau des appuis de la passerelle d'accès, des zones en caillebotis sont prévues. Cette alternance entre platelage bois et caillebotis permet un jeu avec l'éclairage de sous-face de la passerelle.

Le garde-corps est constitué de montants métalliques entre lesquels est tendue une maille en inox. La main courante du garde-corps comprend un éclairage pour la partie franchissement. Sur l'ouvrage d'accès, certaines parties de garde-corps font office de banc et sont donc dessinées en conséquence. L'éclairage s'est inspiré du rythme des marées lié à la lune. Des projecteurs

munis de leds bleues et blanches sont situées sous l'ouvrage de franchissement afin d'envelopper la passerelle d'une lumière bleue à marée haute et d'une lumière blanche à marée basse. Une lumière plus fonctionnelle sera incluse dans les garde-corps de la passerelle.

Au niveau de la passerelle d'accès, un éclairage existe déjà pour le parvis et pour le FRAC. Ainsi, nous avons décidé de travailler seulement la sous-face de la passerelle.

#### APPEL D'OFFRES

À l'heure de la rédaction de l'article, l'appel d'offres est en cours. Un lauréat sera choisi fin février 2013. □

## CHIFFRES CLÉS

**DURÉE PRÉVUE DES TRAVAUX : 13 mois**

**TONNAGE DE CHARPENTE : 600 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### MAÎTRISE D'OUVRAGE :

- **S3D en mandat pour la CUD** : Nathalie Brocq et Sophie Meullenet

### MAÎTRISE D'ŒUVRE :

- **Setec TPI (Bureau d'Études Mandataire)** : Jean-Bernard Datry, Clotilde Robin, Franklin Gedalof, Gemma Aubeeluck, Olivier Coval
- **Brigit de Kosmi (Architecte)** : Brigit de Kosmi
- **Philippe Thomas Paysagiste (Paysagiste)** : Philippe Thomas, Julie Billard, Marie Gallienne
- **Biotope (Faune & Flore)** : Céline Dubreuil
- **Patrick Rimoux Sculpteur Lumière (Éclairagiste)** : Patrick Rimoux, Dorian Rigal

## ABSTRACT

### "GRAND LARGE" FOOT BRIDGE IN DUNKIRK

C. ROBIN, SETEC TPI - J.-B. DATRY, SETEC TPI - B. DE KOSMI, ARCHITECTE

The "Grand Large" foot bridge links Malo-les-Bains beach to the Grand Large district of Dunkirk, a district in the process of renovation. Crossing a canal with a 112-metre span, the foot bridge reflects the image of the masts of the boats in the yacht harbour thanks to an original structural solution: stay cables with several masts. It therefore behaves like a lattice beam without an upper chord and requires precise adjustment of the stay cables. This is performed geometrically using turnbuckles so that, in the serviceability limit state, no relaxation appears. In the ultimate limit state, on the other hand, relaxation of the central stay cables is permitted and the static scheme of the foot bridge changes: it functions like two opposite cantilevered beams. □

### PASARELA DEL GRAN LARGE EN DUNQUERQUE

C. ROBIN, SETEC TPI - J.-B. DATRY, SETEC TPI - B. DE KOSMI, ARCHITECTE

La Pasarela del Gran Large comunica la playa de Malo-les-Bains con el barrio del Grand Large de Dunquerque, barrio en plena renovación. Salvando un canal con una luz de 112 m, la Pasarela transmite la imagen de los mástiles de los barcos del puerto deportivo mediante una solución estructural original: un arriostramiento con varios mástiles. De este modo, se comporta como una viga triangulada sin cordón superior y requiere un ajuste preciso de los tirantes. El ajuste se realiza geométricamente por medio de tensores para que en el Estado Límite de Servicio, no aparezca ninguna distensión. En cambio, en el Estado Límite Último, se permite una distensión de los tirantes centrales y el esquema estático de la pasarela cambia: funciona como dos consolas una frente a otra. □



1

© JEAN-FRANÇOIS TREMEGE

# LA PASSERELLE SUR L'ISLE À BOULAZAC

AUTEURS : M. NOVARIN & G. DELPLACE, EIFFAGE TP STOA - F. FORGEOT, EIFFAGE TP SUD-OUEST -  
P. LEPERT, EIFFAGE TP PRÉCONTRAINTE - H. VADON, STRATES - J. MAC FARLANE & X. SCALIERI, INGEROP

**SITUÉE DANS LE DÉPARTEMENT DE LA DORDOGNE, LA PASSERELLE DE BOULAZAC S'INSCRIT DANS UN PROJET PLUS LARGE D'AMÉNAGEMENT DES BERGES DE LA RIVIÈRE L'ISLE POUR LA CIRCULATION DES PIÉTONS ET DES CYCLISTES. ELLE PROLONGE VERS LA COMMUNE DE BOULAZAC LA VOIE VERTE EXISTANTE EN RIVE DROITE SUR LA COMMUNE DE TRÉLISSAC. C'EST UN PONT SUSPENDU AUTO-ANCRÉ D'UNE LARGEUR UTILE DE 3,50 M D'UNE SEULE TRAVÉE DE 56 M.**

## PRÉSENTATION DU PROJET

À l'issue d'un concours de conception-réalisation portant sur une passerelle de franchissement de l'Isle, la ville de Boulazac a retenu le projet d'une passerelle suspendue proposée par le groupement composé d'Eiffage TP Sud-Ouest, Entreprise générale mandataire, STRATES, Architecte, et INGEROP, Maître d'œuvre études et travaux. Le projet a été réalisé pour répondre aux exigences fixées par le programme de l'opération :

- Portée de 50 à 55 m ;
- Aucune pile en rivière ;
- Structure à câbles ;

- Ligne architecturale marquée par la légèreté ;
- Création d'un repère dans le paysage urbain ;
- Construction sur berges sans aucune intervention en rivière.

La constitution d'un groupement réunissant l'ensemble des compétences architecturales, techniques et constructives a permis de satisfaire le programme, et de définir avec précision dès la phase du concours le coût de l'opération en proposant une structure optimisée marquée par sa légèreté et faisant appel à des méthodes constructives originales.

## 1- Vue d'ensemble.

## 1- General view.

Cette passerelle est un ouvrage singulier qui exprime, par l'architecture de sa structure, le contexte général dans lequel elle s'inscrit.

Les choix de conception que nous proposons s'appuient sur une lecture du site qui allie insertion architecturale et paysagère, et usage fonctionnel de la passerelle.

La dissymétrie du lieu est une évidence. Le front bâti de la rive gauche répond à la plaine plus champêtre de la rive droite. Le contraste est fort et le futur objet prend cette donnée comme une base de travail.

## LE PARTI ARCHITECTURAL

Le projet de franchissement de l'Isle, aussi ambitieux que nécessaire, est une vraie chance pour Boulazac. Il va promouvoir et faciliter la pratique des modes doux intercommunaux de liaison douce entre Boulazac, Tréllissac et Périgueux.

La courbe douce de la suspension qui descend lentement de la rive gauche à la rive droite apporte une élégance au dessus de la rivière.

Le travail sur les mâts s'inspire du monde végétal. Leur forme cylindro-conique les assimile à des troncs élancés cohérents avec les arbres qui bordent les berges de l'Isle.

L'absence de verticales et l'inclinaison dans deux plans renforcent ce côté naturel et organique et dessinent dans l'espace une porte symbolique, une invitation à la promenade.

L'éclairage recrée un paysage nocturne (figure 3) et s'inscrit dans cette démarche innovante et durable de renforcer la sécurité et le confort des usagers.

Les mâts nécessitent une mise en valeur particulière. La position des mâts, côté Boulazac nous incite à prolonger, de jour, l'effet de signal qu'ils envoient le jour. Ce trait d'union au service du public propose un acte fort qui suscite une émotion. Cette passerelle a pris très vite sa place dans la ville.

## LA CONCEPTION STRUCTURELLE

Le projet de la passerelle est la synthèse d'un parti architectural bien affirmé, dont l'élément principal a été le franchissement de l'Isle avec un pont suspendu à câbles latéraux, et de la recherche d'optimisations portant sur la structure et les méthodes constructives. Pour le tablier suspendu, le groupement a opté (figure 4) pour une structure à poutres latérales avec câbles porteurs auto-ancrés. Les pylônes, situés à une extrémité du tablier métallique et inclinés dans le sens transversal et longitudinal, sont encastrés à leur base aux poutres latérales. Cette option a permis de réaliser d'une part une culée ramassée et élégante et une structure métallique aux lignes bien définies et immédiatement lisibles, et d'autre part de rigidifier le tablier en flexion longitudinale. Les poutres latérales (figure 5) sont des profilés HEB 800. Elles sont reliées transversalement par des entretoises IPE 300 sur lesquels sont appuyés les longerons IPE 200 et HEB 200 portant le hourdis en béton avec bac acier collaborant. Les oreilles d'ancrage des suspentes au tablier, espacées de 5,5 m, sont soudées aux semelles supérieures des poutres latérales. L'extrados du hourdis est situé au même niveau que les semelles supérieures des poutres latérales, et les montants des garde-corps sont fixés aux deux longerons HEB 200 appuyés sur les entretoises IPE 300. La même



FIGURE N°2 © STRATES - FIGURE N°3 © JEAN-FRANÇOIS TREMEGE

**2- Perspective.**

**3- Vue de nuit.**

**2- Perspective view.**

**3- Night view.**

conception structurelle, hourdis béton sur ossature de longerons et entretoises, a été reconduite pour le tablier de la rampe d'accès.

Les pylônes (figure 6) en tôle de 12 mm d'épaisseur ont une forme conique. Ils reçoivent les oreilles d'ancrage des câbles porteurs de la suspension.

Le parti architectural étant de ne pas poser d'entretoises de contreventement en partie haute, les pylônes sont encas-

trés à leur base à une pièce de pont en PRS, soudée aux extrémités des profilés HEB 800. Pour des raisons esthétiques, tous les assemblages apparents, et notamment les rabouages des poutres maîtresses et des pylônes, sont réalisés par soudure. Les assemblages des éléments secondaires sont réalisés par boulonnage. Du fait du schéma statique avec suspension auto-ancrée, le tablier métallique est comprimé sur toute sa longueur par la composante horizontale de la tension des câbles porteurs ancrés à ses extrémités. Cette force est équilibrée par la composante horizontale de la tension des câbles de retenue ancrés dans le massif contrepoids situé à l'arrière des pylônes.

Pour matérialiser ce schéma statique, les extrémités des poutres métalliques latérales sont reliées aux massif-contre-

pois par deux butons en béton armé qui traversent la culée au niveau des murs garde-grève. En alternative, il aurait été envisageable de disposer au niveau du mur garde-grève des appareils d'appui d'axe horizontal et d'encastrer les butons dans la culée. Cela aurait toutefois assoupli considérablement le tablier rotulé à son appui sur la culée, et donc compromis, en l'absence de tout dispositif d'amortissement, le bon comportement de l'ouvrage vis-à-vis des vibrations en phase d'exploitation.

Les culées et les appuis de la rampe d'accès sont fondés sur micropieux ancrés dans le substratum calcaire. Le massif contrepoids a été dimensionné pour équilibrer par sa propre masse la composante verticale de la tension sous charges permanentes des câbles de retenue. Le complément de tension apporté par les surcharges variables est équilibré par les micropieux.

La suspension est constituée de câbles clos Ø 70 mm et Ø 90 mm (respectivement pour les câbles porteurs et câbles de retenue). Cette typologie de câble offre avec sa triple protection contre les agressions externes des bonnes garanties en termes de durabilité.

Les suspentes sont des câbles hélicoïdaux Ø 20 mm avec des ancrages de petite taille offrant un résultat esthétique optimal.

La conception structurelle de la passerelle a par ailleurs tenu compte, et cela à partir de la phase même de définition du projet architectural, des contraintes liées aux méthodes constructives.

En effet, les structures suspendues sont adaptées aux ponts de grande portée, et ne peuvent être retenues pour des franchissements plus modestes sans d'importantes incidences financières, qui les rendent peu compétitives par rapport à des structures plus simples mais de moindre effet architectural. C'est pourquoi les techniques traditionnelles de construction des ponts suspendus ont été ici écartées, et d'autres, mieux adaptées au contexte de l'opération, ont été envisagées.

La réflexion a porté sur deux points principaux : la mise en œuvre de la charpente et de la suspension. Ces deux points sont généralement liés dans la construction des ponts suspendus, car la charpente est mise en œuvre progressivement, en l'accrochant aux suspentes portées par les câbles principaux préalablement mis en place. Les éléments de charpente du tablier sont le plus souvent hissés du bas et raboutés par soudage. ▶

Ces opérations sont longues et coûteuses. Dès la phase de conception, il a été donc retenu de réaliser le montage de l'ensemble du tablier en rive gauche de l'Isle et de le mettre en place en une seule intervention. Pour cette raison, les profilés des poutres latérales ont été d'emblée dimensionnés pour pouvoir supporter la totalité du poids propre de la charpente et les charges de chantier sans l'aide de la suspension. Une fois le tablier posé, les pylônes sont soudés aux poutres latérales et les câbles porteurs, avec les suspentes déjà accrochées, sont mis en place.

L'application des méthodes constructives traditionnelles aurait comporté ensuite la mise en tension des câbles porteurs et de retenue et l'accrochage du tablier aux suspentes à l'aide de tire-forts, opération longue et nécessitant des multiples réglages de la tension des suspentes. L'analyse du comportement de la structure autoporteuse constituée du tablier et des pylônes avec les câbles porteurs ancrés à leurs extrémités a toutefois rapidement confirmé ce que l'intuition avait laissé présager : il était possible de profiter de la souplesse du tablier pour ancrer en une seule phase et sans difficulté toutes les suspentes au tablier. La mise en tension des câbles et des suspentes a ainsi été faite en une seule opération, une fois toutes les chapes des câbles et des suspentes positionnées dans leurs oreilles d'ancrage, à l'aide de deux vérins appliqués entre les extrémités des câbles de retenue et les ancrages des massifs contrepoids. Cette opération a eu par effet de relever tablier et pylônes dans leur position définitive, en une seule phase de mise en tension des câbles de retenue.

### LES ÉTUDES TECHNIQUES

Les études techniques des phases de concours et de projet ont débuté durant le concours et se sont poursuivies après la notification de l'opération jusqu'à aboutir à la formalisation d'un Projet d'Ouvrage d'Art.

L'enjeu des études lors de la phase concours était de valider la conception structurelle et la méthodologie constructive de l'ouvrage. Pour cela, il a été fait recours à une méthode de calculs permettant à la fois une itération aisée et offrant un degré de précision satisfaisant pour le dimensionnement. Dans un premier temps, les efforts et la géométrie de la suspension ont été définis par des méthodes de calculs analytiques basées sur les équations

d'équilibre des câbles. Ces premiers résultats ont permis de pré-dimensionner les câbles eux même mais également le massif de retenue et les fondations de la culée au droit des mâts.

Les calculs ont ensuite été complétés par des modélisations à barres sous ST1 (2D et 3D) et ROBOT (3D).

Ces modèles ont été calibrés sur la base des géométries déformées et des tensions des câbles de l'étude manuelle.

Un premier modèle sous charges permanentes seules a permis le réglage initial de la suspension avec un objectif de flèche quasi-nulle. Un second modèle sous « charges permanentes + charge d'exploitation » a permis de déterminer la tension maximale dans les câbles, les contraintes dans les profilés métalliques principaux (HEB 800) et la flèche de l'ouvrage avec la raideur définitive des câbles.

C'est ce modèle qui a servi au dimensionnement et à l'établissement des quantités.

Enfin, un modèle sous « charges permanentes + piétons à 70 kg/m<sup>2</sup> » a permis de définir les fréquences propres dans le cadre de l'étude vibratoire. La définition préalable de la géométrie par une méthode analytique sous

des cas de charges définis permet de s'affranchir d'une modélisation avec prise en compte des grands déplacements lors des phases d'étude amont et offre la possibilité de faire évoluer la conception sans reprise de calculs lourds. Cette méthode a pu être validée a posteriori par les faibles écarts constatés entre les modèles analytiques et les modèles numériques, les écarts sur les valeurs des efforts dans les câbles obtenus sont de l'ordre de 1%. Les études d'Avant-Projet ont mis en évidence plusieurs aspects :

→ Par rapport aux dimensionnements initiaux, il a été nécessaire de raidir le tablier pour améliorer le comportement dynamique de l'ouvrage tout en maintenant un élanement permettant le fonctionnement et la mise en œuvre de la suspension ;

→ Le respect du profil en long parabolique de la passerelle est une

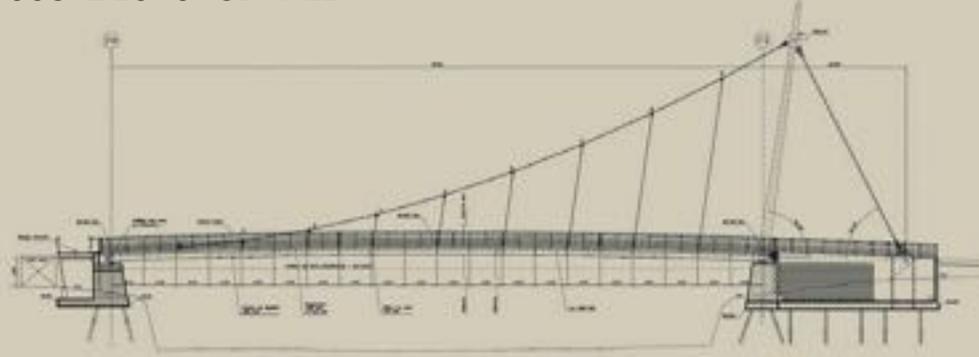
#### 4- Coupe longitudinale.

#### 5- Tablier - coupe transversale.

#### 4- Longitudinal section.

#### 5- Deck - cross section.

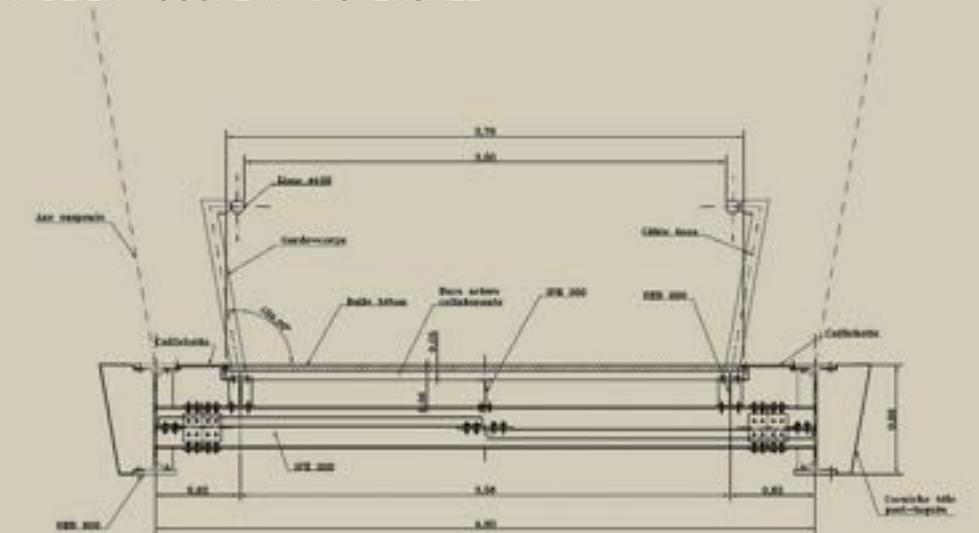
COUPE LONGITUDINALE



4

© EIFFAGE TP

TABLIER - COUPE TRANSVERSALE



5

© EIFFAGE TP

donnée d'entrée incontournable pour le bon fonctionnement de l'ouvrage. Sur la base des résultats des différents calculs, les principes structuraux de la passerelle ont pu être confirmés :

→ Ancrage des mâts directement sur le tablier ;

→ Création d'une rotule à la jonction entre les butons et les poutres principales en phase provisoire et réalisation d'un encastrement en phase définitive pour obtenir une rigidité suffisante vis-à-vis du comportement vibratoire ;

→ Recours à des profilés du commerce pouvant être cintrés (HEB800) de façon à respecter le profil en long de l'ouvrage.

Ces choix techniques ont abouti à la conception d'un ouvrage respectant le parti architectural en préservant l'économie de l'opération grâce à des méthodes de réalisation simples.

**6- Pylône - élévation transversale.**

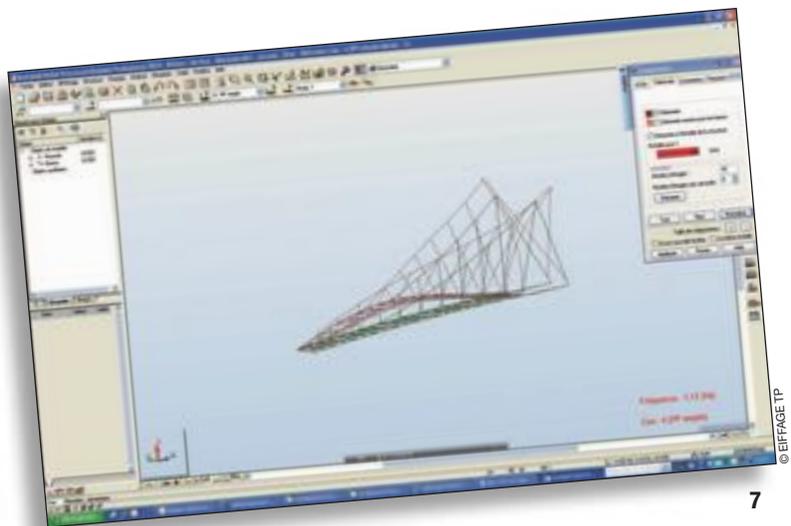
**7- Mode 1 - Vibration verticale (f = 1,12 Hz).**

**8- Mode 6 - Vibration horizontale (f = 2,59 Hz).**

**6- Tower - Transverse elevation.**

**7- Mode 1 - Vertical vibration (f = 1.12 Hz).**

**8- Mode 6 - Horizontal vibration (f = 2.59 Hz).**



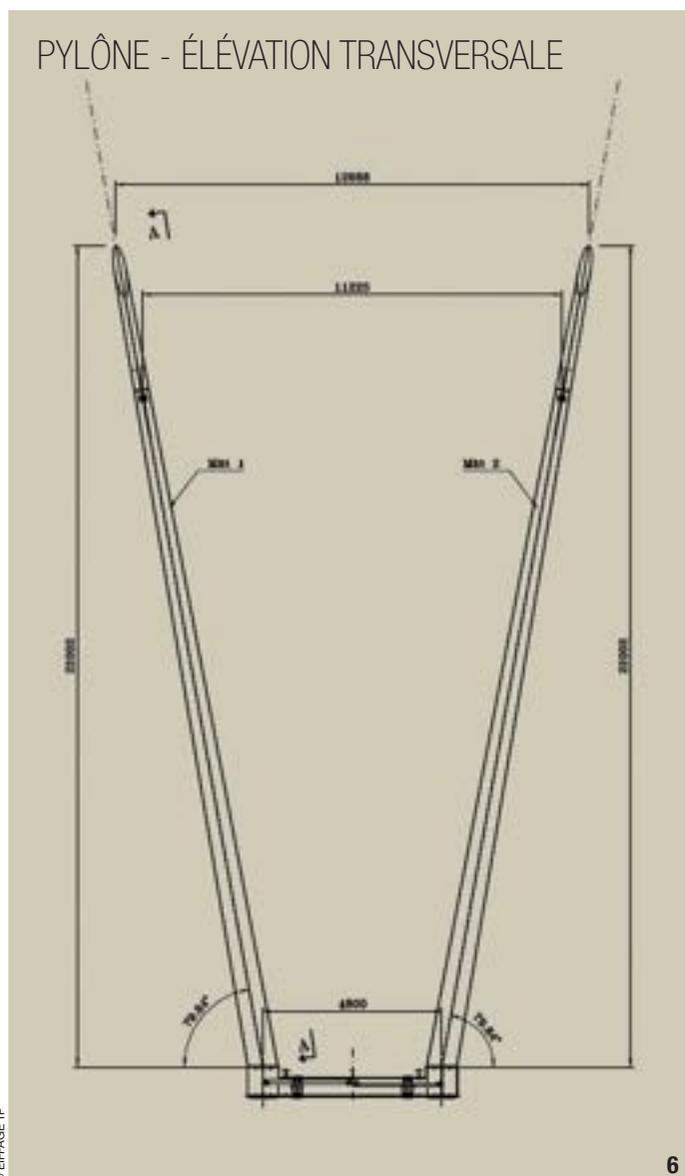
7

© EIFFAGE TP



8

© EIFFAGE TP



6

© EIFFAGE TP

## LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution de la charpente et du génie civil de la passerelle suspendue ont été confiées au bureau d'études interne STOA d'EIFFAGE TP. Les études d'exécution de la charpente de la rampe d'accès ont été réalisées par l'entreprise lyonnaise Legrand.

La passerelle suspendue a fait l'objet d'une modélisation 3D à l'aide du logiciel de calcul EF Robot. S'agissant d'une structure à comportement non-linéaire, les calculs ont été faits en grands déplacements. De par sa conception rationnelle, avec des cheminements d'efforts clairement définis, la passerelle a été entièrement étudiée avec des modélisations à barres. La charpente a aussi été optimisée, en évitant d'inutiles redondances.

La structure de la passerelle présente néanmoins la particularité, par rapport à celles des ponts suspendus usuels, d'avoir sous charges d'exploitation un schéma statique différent de celui sous charges permanentes. En effet, le clavage entre les butons en béton du massif contrepoids et les poutres latérales du tablier est réalisé après mise en tension des câbles de suspension. Il s'est donc avéré nécessaire,

pour l'étude de la passerelle dans sa configuration finale, de corriger l'état à vide de la structure clavée, obtenu à partir du « réglage » (déformations des câbles et suspentes donnant sous charges permanentes des moments de flexion longitudinale négligeables) de la structure non clavée. Cette correction a été réalisée en calculant la différence entre les deux états à vide et en tenant compte pour les justifications de la structure clavée.

L'ensemble des études a été réalisé par application du règlement français (Fascicule 62 titre II, BAEL 91, Fascicule 61 titre V, fascicule 62 titre V) et de l'EC3 pour quelques points particuliers, tel que la stabilité au voilement des pylônes.

Le guide méthodologique du SETRA « Passerelles piétonnes - Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons » a servi de référence pour l'étude vibratoire de la passerelle. L'analyse modale préconisée par le guide a été réalisée en tenant compte de la rigidité de torsion apportée par le hourdis béton en le remplaçant par un réseau de tirants et butons de contreventement dont la section a été évaluée selon la méthode de Kollbrunner. ▽



9



10



11

Le hourdis comporte en effet des joints transversaux, et il ne participe pas à la résistance en flexion longitudinale, mais constitue un contreventement transversal au même titre que les croix de saint André inférieures du tablier métallique. La suspension a été justifiée en respectant une limitation de contrainte de 0,50Frg sous combinaisons ELS rares et 0,75Frg sous combinaisons ELU fondamentales. Le cas de charge de rupture d'une suspente a été étudié avec application d'un coefficient dynamique de 1,33. Le comportement vibratoire de cette passerelle de classe III (figures 7 et 8) s'est avéré satisfaisant sans l'utilisation d'amortisseurs, en conformité aux critères de dimensionnement de la phase de conception, avec un risque moyen et faible de mise en résonance vis-à-vis respectivement des vibrations verticales et transversales.

### LA RÉALISATION DES TRAVAUX

À l'issue de la phase de conception, les travaux de génie civil ont été lancés par ETPSO Agence de Bordeaux en octobre 2010 suivant les principales phases suivantes :

**Phase 1 :** forage et injection des micropieux type III sous les massifs poids des culées ;

**Phase 2 :** terrassement des appuis à l'abri de batardeaux ; fabrication en usine de la charpente métallique et des équipements du tablier ;

**Phase 3 :** réalisation du génie civil des culées creuses : radier, voiles inclinées matricés ;

**Phase 4 :** remblaiement des massifs poids en GNT ;

**Phase 5 :** assemblage du tablier métallique, des bacs acier et des équipements sur la rive ;

**9- Levage du tablier pour pose sur ponton flottant.**

**10- Levage double pour pose sur appuis définitifs.**

**11- Suspension avant la mise en tension.**

**9- Lifting the deck for placing on floating pontoon.**

**10- Double lifting for placing on permanent supports.**

**11- Suspension before tensioning.**



12

© JEAN-FRANÇOIS TREMEGE

**Phase 6 :** levage du tablier de 63 tonnes par grutage lourd (figures 9 et 10) puis ripage sur ponton flottant ;

**Phase 7 :** mise en place des ancrages du tablier dans les culées, puis scellement ;

**Phase 8 :** mise en place des 2 pylônes ;

**Phase 9 :** mise en place de la suspension ;

**Phase 10 :** bétonnage du hourdis de la passerelle ;

**Phase 11 :** réglage définitif des suspentes.

L'installation et la mise en tension de la suspension (figure 11) s'est déroulée

**12- Rendu final.**

**12- Finished appearance.**

en un temps record de deux semaines, grâce à une analyse préalable approfondie des méthodes de construction. Elle s'est répartie en trois étapes :

**1-** Pose des câbles porteurs sur le tablier et connexion des suspentes aux colliers de portées latérales ;

**2-** Hissage des câbles porteurs sur les pylônes ;

**3-** Hissage des câbles de retenue.

La mise en tension a été réalisée selon un principe consistant à exercer un effort de traction sur les deux câbles de retenue, ce qui entraîne un basculement des pylônes vers l'arrière, et le relèvement du tablier métallique vers son niveau définitif.

Il a été décidé de profiter de la présence des barres de précontrainte nécessaires pour le clouage des chapes d'ancrage sur les massifs.

Des surlongueurs de plusieurs mètres ont été prévues, ce qui a permis de positionner initialement les chapes d'ancrages des câbles de retenue à

environ deux mètres au-dessus de leur position définitive.

L'effort exercé par deux vérins creux de 60 t sur chaque chape a permis de les ramener jusqu'à leur position définitive, quasiment contre les massifs d'ancrage.

Ce déplacement a eu pour effet de tendre l'ensemble des câbles à leur effort prévu et d'obtenir le profil en long souhaité pour le tablier.

Chaque paire de vérins était alimentée par une centrale hydraulique indépendante, permettant ainsi d'ajuster le profil en travers de la passerelle avec une très grande précision. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON :** 350 m<sup>3</sup>

**ARMATURES PASSIVES :** 40 t

**CHARPENTE MÉTALLIQUE DU PONT SUSPENDU :** 58 t

**SUSPENSION :** 15 t

**MICROPIEUX :** 40 u

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Commune de Boulazac

**MANDATAIRE GROUPEMENT CONCEPTION - RÉALISATION :** EIFFAGE TP Sud-Ouest

**ARCHITECTE :** STRATES

**PAYSAGISTE :** Hélène Sirielys

**CONCEPTION ET ÉTUDES D'EXÉCUTION :** Eiffage TP - STOA

**ÉTUDES ET TRAVAUX :** GROUPE INGEROP

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :** Eiffage TP Sud-Ouest

**SUSPENSION :** Eiffage TP Division Précontrainte

### PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

**MICROPIEUX :** Temsol

**CHARPENTE MÉTALLIQUE :** Legrand charpente métallique

**ÉCLAIRAGE :** Telelec

**LEVAGE :** Foselev

## ABSTRACT

### THE FOOT BRIDGE OVER THE ISLE AT BOULAZAC

M. NOVARIN, G. DELPLACE, F. FORGEOT, P. LEPERT : EIFFAGE TP - H. VADON : STRATES - J. MAC FARLANE, X. SCALIERI : INGEROP

**The foot bridge at Boulazac, located in the Dordogne «département» of France, forms part of a more extensive project for development of the banks of the Isle River for pedestrian and cycling traffic. The bridge extends toward the municipality of Boulazac the existing green path on the right bank in the municipality of Trélissac. It is a self-anchored suspension bridge of useful width 3.50 m in a single 56-metre span. The steel deck consists of two main beams in HEB 800 sections, linked transversely by IPE 300 cross ties. The tower located on the right bank of the Isle consists of two transversely and longitudinally inclined steel masts on which are anchored suspension cables and restraining cables. □**

### PASARELA SOBRE EL ISLE EN BOULAZAC

M. NOVARIN, G. DELPLACE, F. FORGEOT, P. LEPERT : EIFFAGE TP - H. VADON : STRATES - J. MAC FARLANE, X. SCALIERI : INGEROP

**Situada en el departamento de Dordogne, la pasarela de Boulazac se inscribe en un proyecto más amplio de ordenación de las orillas del río Isle para la circulación de peatones y ciclistas. Prolonga hacia el municipio de Boulazac la vía verde existente en la orilla derecha que se dirige al municipio de Trélissac. Es un puente colgante autoanclado de una anchura útil de 3,50 m, de un solo tramo de 56 m. El tablero metálico está constituido por dos vigas principales de perfiles HEB 800, unidas transversalmente por riostras de IPE 300. El pilón situado en la orilla derecha del Isle está compuesto por dos mástiles metálicos inclinados transversal y longitudinalmente en los que van anclados los cables portadores y los cables de retención. □**



1 - Vue de l'île  
Russki et du  
pylône M7.

1 - View of  
Russki island  
and the M7  
pylon.

© PHOTOTHÈQUE  
FREYSSINET

# LE PONT À HAUBANS DE RUSSKI À VLADIVOSTOK

AUTEURS : JEAN-DANIEL LEBON, DIRECTEUR GRANDS PROJETS, FREYSSINET - VINCENT MAILLET, INGÉNIEUR EN CHEF, FREYSSINET

AVEC UNE PORTÉE CENTRALE DE 1 104 M, DEUX PYLÔNES EN A D'UNE HAUTEUR DE 319 M, LE PLUS LONG HAUBAN JAMAIS POSÉ (582 M), UN DÉLAI DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION DE 4 ANS SEULEMENT ET DES OPÉRATIONS RÉALISÉES DURANT L'HIVER SIBÉRIEN AVEC DES TEMPÉRATURES DESCENDANT JUSQU'À -30°C, LE PONT DE RUSSKI À VLADIVOSTOK EST LE PONT DE TOUS LES RECORDS. CONÇU PAR LA SOCIÉTÉ RUSSE MOSTOVIK ET CONSTRUIT PAR L'ENTREPRISE GÉNÉRALE RUSSE USK MOST, LE PONT DE RUSSKI A AUSSI ÉTÉ LE THÉÂTRE D'OPÉRATIONS DE L'INGÉNIERIE FRANÇAISE AVEC LA MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNOLOGIE DES HAUBANS À TORONS PARALLÈLES « COMPACT » DE FREYSSINET.



## INTRODUCTION

Vladivostok, à l'extrême est de la Sibérie Orientale, est devenue en septembre 2012, le point de convergence et d'attraction de la Russie. Dans le cadre de la présidence russe au sommet de l'APEC (Forum de Coopération Asie-Pacifique), les autorités russes avaient choisi en 2007, l'île Russki, non loin de Vladivostok et à quelques 6 000 km à vol d'oiseau de Moscou, pour accueillir cette manifestation.

Les travaux se sont terminés à temps pour permettre la tenue de cette rencontre internationale.

La cité portuaire de Vladivostok, interdite aux étrangers à l'époque soviétique puis négligée dans les années qui ont suivi la chute de l'URSS, et la province de Primorié, ont fait l'objet d'un investissement de 20 milliards de dollars pour la construction d'un aéroport international, de routes, de ponts, d'une nouvelle université et d'aménagements

2- Localisation de l'ouvrage & infrastructures APEC 2012.

2- Location of the bridge and infrastructure, APEC 2012.

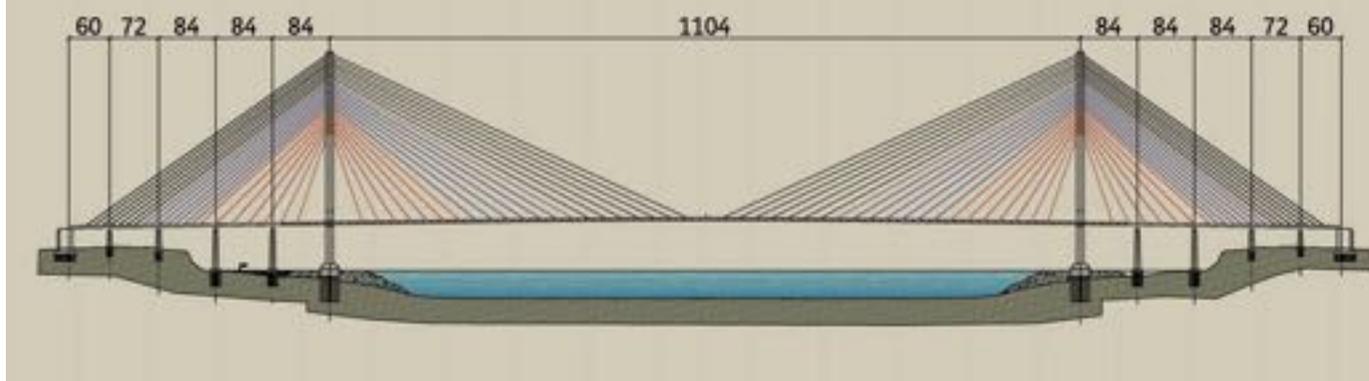
urbains (figure 2). Ce projet pharaonique et symbolique aura mobilisé des concepteurs, ingénieurs et constructeurs russes, mais aussi français qui sont intervenus sur les ponts à haubans de la Corne d'Or (737 mètres de portée centrale) qui traverse la baie dans le centre de Vladivostok et de Russki qui franchit le détroit Bosphore Vostochny reliant ainsi la péninsule Nazimova à l'île Russki.

Le pont de Russki est donc aujourd'hui l'unique lien terrestre vers l'île (figure 1).

Passage obligé pour rejoindre le site de l'APEC 2012, c'est l'ouvrage de tous les records : une portée centrale de 1 104 m, deux pylônes en A d'une hauteur de 319 m, le plus long hauban jamais posé (582 m), un délai de conception et de construction de 4 ans seulement et des opérations réalisées durant l'hiver sibérien avec des températures descendant jusqu'à -30°C. Cet ouvrage a fait l'objet de toutes les attentions par les concepteurs russes en raison de la technicité du projet, mais aussi par les autorités russes en raison des enjeux liés au sommet de l'APEC.

Il a été conçu par la société russe Mostovik et construit par l'entreprise générale russe USK Most qui en a sous-traité la partie côté péninsule à l'entreprise russe Mostovik. Les études de méthodes de construction ont été réalisées par les sociétés Institute Gyprostroimost Moscou et Mostovik. ▷

## ÉLÉVATION DE L'OUVRAGE



3

© PHOTO THÉQUE FREYSSINET

Le pont de Russki a aussi été le théâtre d'opérations de l'ingénierie française et de la mise en œuvre de la technologie des haubans à torons parallèles « compact » de Freyssinet, qui a relevé le défi technique et technologique permettant ainsi la réalisation de cet ouvrage hors normes dans un délai record.

### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

#### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le pont de Russki franchissant le détroit Bosphore Vostochny a une longueur totale de 1872 mètres. Il comprend des travées latérales de 384 mètres chacune et une travée centrale haubanée de 1104 mètres, qui avec 16 mètres de plus que celle du pont de Sutong en Chine, constitue aujourd'hui le record du monde de portée pour un ouvrage de ce type (figure 3). Le gabarit de navigation est 450 mètres de large avec 70 mètres de hauteur.

La travée centrale est supportée par deux nappes latérales de haubans ancrés dans les têtes des pylônes en A d'une hauteur de 319 mètres. Les pylônes reposent sur des deux semelles en béton armé de 13 mètres de hauteur, reliées entre elle par un tirant et supportées par 240 pieux de 2 mètres de diamètre et de longueur variant de 20 mètres à 65 mètres ancrés dans le substratum rocheux (figure 4).

Dans la tête du pylône, les haubans sont ancrés dans des « boîtes d'ancrage », constituées par des structures métalliques connectées au béton par des goujons.

Le tablier, en forme d'aile d'avion inversée, a une largeur totale de 25,96 mètres et une hauteur de 3,20 mètres. Dans la travée centrale, il est constitué par un caisson métallique à dalle orthotrope qui s'étend de 70 mètres

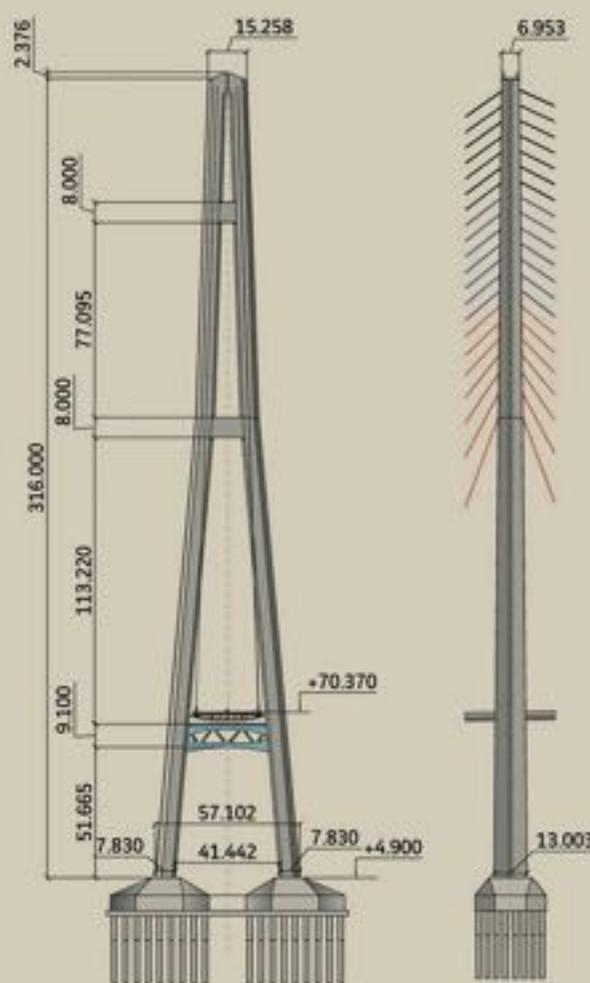
dans les travées latérales au-delà des pylônes (figure 5). La position du premier hauban à 53 mètres de part et d'autre de l'axe du pylône a conduit à étendre la section métallique dans la travée arrière pour des raisons d'équilibre. Le tablier métallique représente ainsi 67 % de la longueur totale de l'ouvrage. Le tablier de la travée centrale est construit par encorbellements successifs de voussoirs de 12 mètres et 24 mètres de longueur.

Les travées latérales reposent sur des culées et des piles en béton armé et ont des portées variables entre 60 mètres et 84 mètres. Dans la partie en béton des travées latérales, le tablier est un caisson en béton précontraint multicellulaire avec 2 âmes verticales latérales de 0,6 mètres et une âme centrale de 0,4 mètres d'épaisseur en partie courante. Les hourdis supérieur et inférieur ont une épaisseur courante de 0,3 mètres (figure 6).

#### LE SYSTÈME DE HAUBANS ET LEUR AMORTISSEMENT

Le système de haubans mis en œuvre sur le pont de Russki est le système dit à « torons parallèles » et « compact » de Freyssinet. Inventé dans les années 70 et dérivé initialement de la technologie de la précontrainte par post-tension, les haubans à torons parallèles de Freyssinet ont été utilisés à grande échelle pour la première fois sur le Pont de Normandie (record du monde de portée en 1994 avec 856 mètres de portée) et ont depuis fait l'objet de développements techniques importants. Le hauban compact est constitué de torons individuellement protégés et placés parallèlement dans une gaine extérieure. Chaque toron est composé de 7 fils galvanisés protégés par un film de cire et une gaine en polyéthylène haute densité directement extrudée sur

## ÉLÉVATIONS DU PYLÔNE



4

© PHOTO THÉQUE FREYSSINET

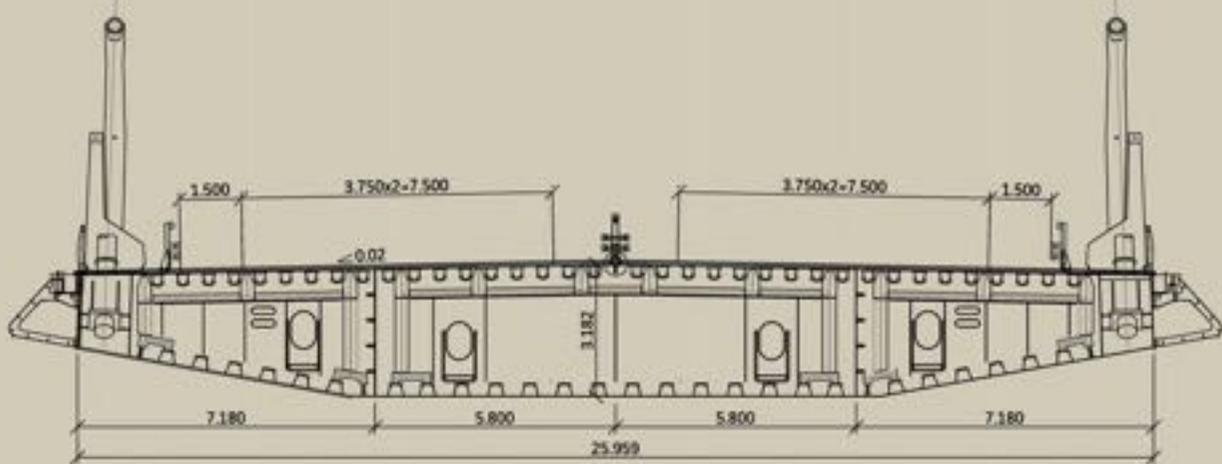
3- Élévation de l'ouvrage.  
4- Élévations du pylône.

3- Elevation view of the bridge.  
4- Elevation views of the pylon.

le toron en usine après application de la cire (figure 7). La surface d'un toron est de 150 mm<sup>2</sup> et sa résistance garantie à la rupture de 279 kN.

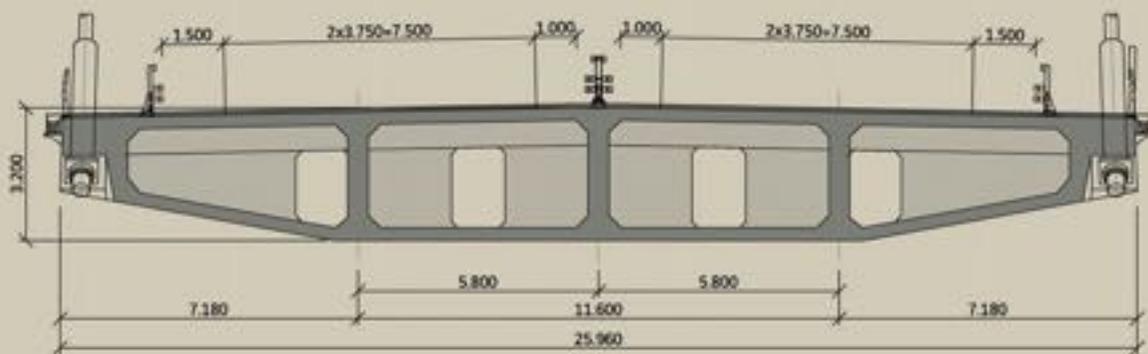
Les torons sont placés dans une gaine extérieure en polyéthylène haute densité construite par extrusion et dont la couche extérieure, résistante au

## SECTION TRANSVERSALE (TRAVÉE CENTRALE)



5

## SECTION TRANSVERSALE (TRAVÉE LATÉRALE EN BÉTON PRÉCONTRAIT)



6

5- Section transversale (travée centrale).

6- Section transversale (travée latérale en béton précontraint).

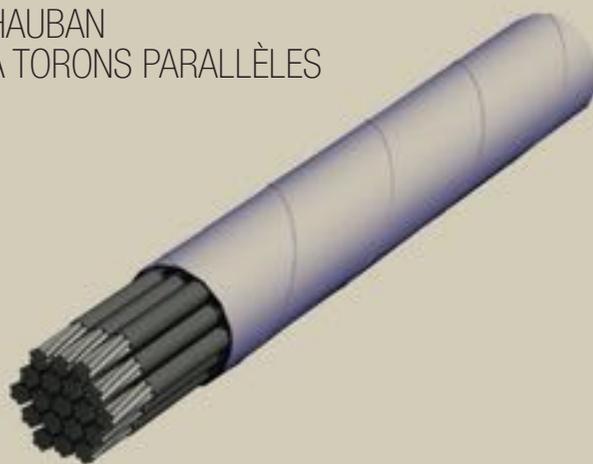
7- Hauban à torons parallèles.

5- Cross section (centre span).

6- Cross section (side span in prestressed concrete).

7- Parallel-strand stay cable.

## HAUBAN À TORONS PARALLÈLES



7

rayonnement ultra-violet, est colorée selon les demandes. De plus la gaine est fournie avec un filet hélicoïdal extérieur permettant d'éviter l'apparition de vibrations sous l'effet combiné de la pluie et du vent, tout en minimisant le coefficient de traînée à fortes vitesses de vent ( $C_D=0.60$ ). Dans le cas du pont

de Russki les gaines sont fournies aux couleurs du drapeau russe, rouge, bleu et blanc.

Pour les ouvrages de très grande portée, les efforts de traînée dus au vent deviennent prépondérants pour le dimensionnement des pylônes et de leurs fondations. Il est indispensable

de minimiser ces efforts. Pour ce faire Freyssinet a développé la technologie du hauban « compact » qui permet, par rapport aux autres technologies, la mise en place d'un nombre de torons plus important dans une gaine de même diamètre, et ainsi réduire de l'ordre de 25% les efforts dus à la traînée.

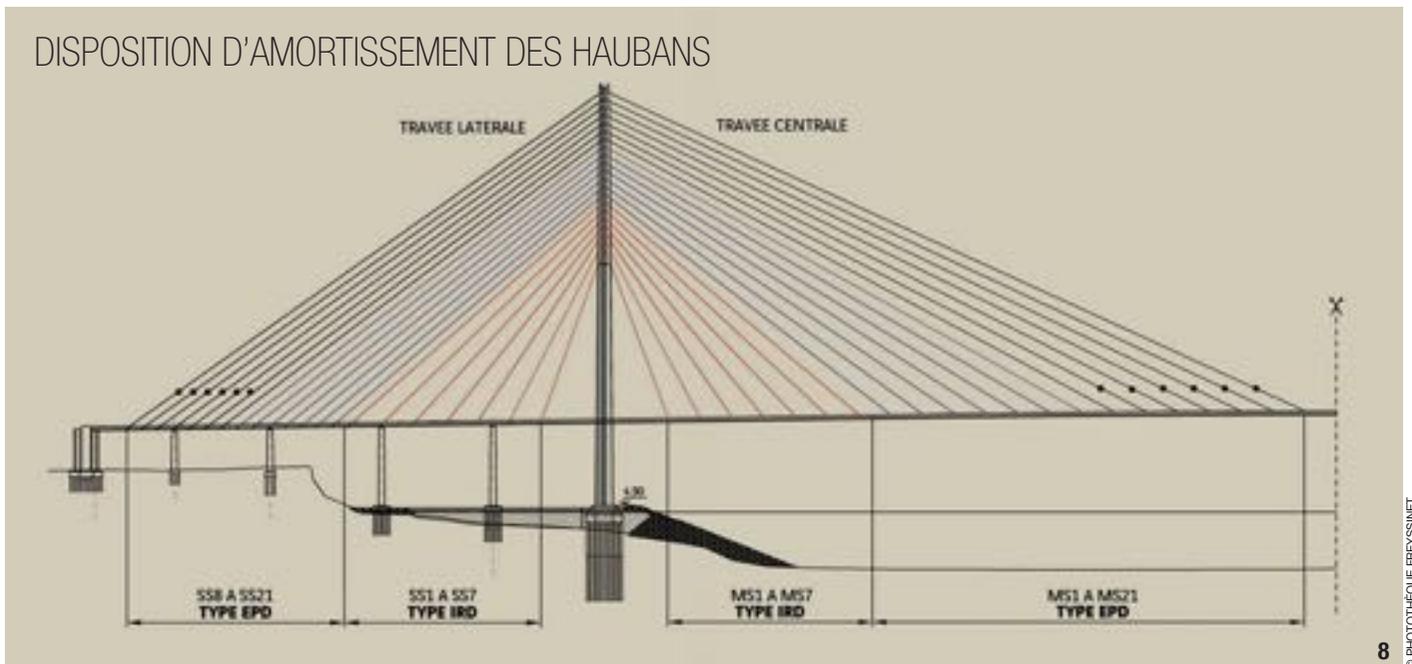
Au niveau du tablier et des pylônes, les torons sont ancrés individuellement, au moyen de clavettes spécialement conçues pour cette fonction, dans des ancrages comportant des dispositifs brevetés permettant d'assurer la résistance à la fatigue et la minimisation des efforts parasites dus aux mouvements du câble. De plus les ancrages Freyssinet sont équipés d'un dispositif assurant sa parfaite étanchéité.

Les parties dénudées des torons ainsi que les parties internes du bloc d'ancrage sont protégées contre la corrosion par injection de cire. Cet ensemble de dispositifs, combiné à une protection contre la corrosion des parties métalliques externes des ancrages, assure au système de haubans Freyssinet une durabilité inégalée.

Un autre avantage majeur du système de haubans compact de Freyssinet est sa facilité de mise en œuvre.

Les composants du système sont assemblés sur site en fonction de la taille du câble (nombre de torons, longueur, etc.) au moyen de matériels légers d'installation.

## DISPOSITION D'AMORTISSEMENT DES HAUBANS



8

© PHOTO THÉQUE FREYSSINET



9

© PHOTO THÉQUE FREYSSINET



10

© PHOTO THÉQUE FREYSSINET

La mise en œuvre des haubans a donc un impact minimum sur le chemin critique d'installation des voussoirs en encorbellement.

Pour le pont de Russki, chaque nappe de haubans est constituée de 21 haubans formés de 27 à 86 torons, représentant ainsi 3640 tonnes de torons. Le câble le plus court mesure 135 mètres et pèse 4 tonnes, le câble le plus long mesure 582 mètres et pèse 65 tonnes. La longueur totale des torons et des gaines installés est res-

pectivement de 2860 km et de 54 km ! En travée centrale, les haubans sont espacés de 24 mètres et en travée arrière leur espacement varie de 12 mètres à 24 mètres.

Le système de haubans est équipé de 48 cellules de mesure de force et de 48 accéléromètres permettant ainsi de mesurer les efforts et les accélérations dans les haubans, ce qui combiné avec les mesures issues du système d'instrumentation global, permettra de mesurer le comportement de l'ouvrage

**8- Disposition d'amortissement des haubans.**

**9- Amortisseurs IRD®.**

**10- Amortisseurs PED®.**

**8- Stay cable damping arrangement.**

**9- IRD® vibration dampers.**

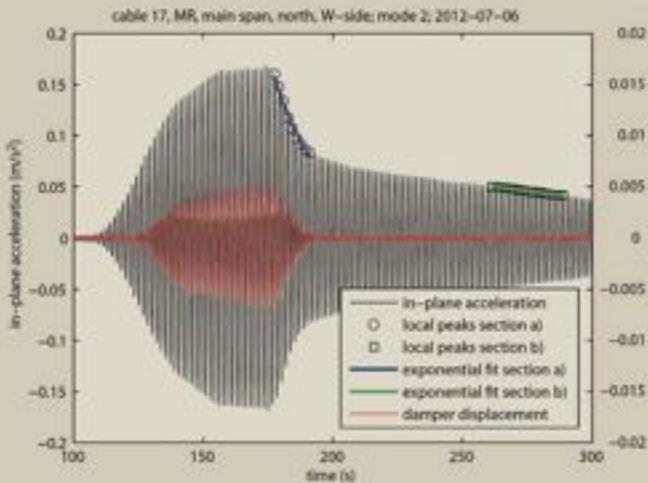
**10- PED® vibration dampers.**

et de le corréliser avec les analyses structurales.

Pour chaque nappe, les haubans sont équipés en pied d'amortisseurs internes (IRD®) et externes (PED®) conçus par Freyssinet pour assurer, pour une plage de température allant de -40°C à +65°C, un décrétement logarithmique complémentaire dans le plan de la nappe de 4% pour les haubans 1 à 14 et 6% pour les haubans 15 à 21, et ce même à très faible amplitude de vibration.

## ACCÉLÉRATION FONCTION DU TEMPS

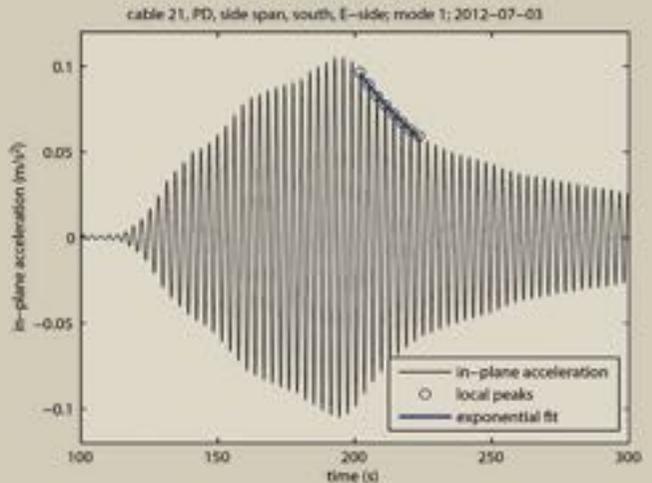
Mode 2 pour le hauban MS17



11

## ACCÉLÉRATION FONCTION DU TEMPS

Mode 1 pour le hauban SS21



12

De plus ces valeurs de décrément logarithmique doivent être atteintes pour les modes de vibration propre de 1 à 4 pour chaque hauban. Dans le plan perpendiculaire 70 % de l'amortissement à atteindre dans le plan de la nappe est exigé. Cela a été possible grâce aux principes de conception et de fonctionnement des amortisseurs IRD® et PED® de Freyssinet. Ces critères dépassent largement l'état de l'art qui propose une valeur de 3% afin de limiter les phénomènes de vibration sous sollicitation périodique uniquement pour les modes 1 et 2 généralement. Le caractère exceptionnel de l'ouvrage (portée centrale, longueurs des haubans) a conduit le concepteur à réaliser des analyses complexes et à définir les performances ci-dessus.

**11 & 12- Accélération fonction du temps - Mode 2 et mode 1 pour les haubans MS17 et SS21.**

**13- Programme des travaux.**

**11 & 12- Acceleration as a function of time - Mode 2 and mode 1 for stay cables MS17 and SS21.**

**13- Work schedule.**

Afin de limiter et dissiper l'énergie de vibration des haubans, Freyssinet a développé les amortisseurs hydrauliques IRD® et PED® permettant de satisfaire ces critères et de garantir un taux d'amortissement constant quelque soit l'amplitude de vibration (figure 8).

L'énergie de vibration est ainsi dissipée à l'aide de pistons hydrauliques passifs et semi-actifs dont les spécifications techniques ont été développées par Freyssinet.

Avec la technologie hydraulique utilisée, l'efficacité des amortisseurs est constante pour chaque mode de vibration quelque soit l'amplitude de vibration. Il n'y a donc pas d'effet fusible pouvant réduire et dégrader l'efficacité de l'amortisseur contrairement à

un système à frottement de Coulomb. L'efficacité maximale est obtenue pour une valeur de viscosité optimale pour chaque mode et pour la plage de température considérée. L'étude théorique des différents modes permet de valider une valeur de viscosité permettant de satisfaire le critère d'amortissement quelque soit le mode de vibration du hauban.

La technologie IRD® a été utilisée pour les haubans courts d'une longueur inférieure à 230 mètres (figure 9). Pour les plus longs haubans, c'est la technologie pendulaire PED® qui a été utilisée (figure 10).

Des spécifications techniques très strictes, définies par Freyssinet, ont été appliquées par les fabricants de pistons hydrauliques passifs et semi-actifs. ▷

## PROGRAMME DES TRAVAUX

#	Title	Actual Start	Actual End	2008		2009		2010		2011		2012				
				Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
0	☐ Pont de Russki - Programme Général		30/07/2012	[Progress bar]												
1	Excavations (piles travées arrière)	01/09/2008	30/09/2009	[Progress bar]												
2	Culées	27/08/2008	30/11/2009	[Progress bar]												
3	Piles des travées arrière (M1-M5 & M8-M12)	01/12/2008	10/10/2011	[Progress bar]												
4	Fondations des pylônes	15/02/2009	15/04/2010	[Progress bar]												
5	Jambes des pylônes	01/02/2010	10/04/2012	[Progress bar]												
6	Entretroises sous tablier	31/10/2010	13/08/2011	[Progress bar]												
7	Travées arrière (béton)	07/08/2010	30/01/2012	[Progress bar]												
8	Travée arrière métallique & amorce encorbellement	26/03/2011	24/07/2011	[Progress bar]												
9	Installation voussoirs travée centrale & haubans	25/07/2011	12/05/2012	[Progress bar]												
10	Installation & tests des amortisseurs de haubans	01/04/2012	30/07/2012	[Progress bar]												

13

Les valeurs de décrétement correspondantes ont été évaluées pour les différents haubans en corrélation avec les déplacements de piston. Des valeurs mesurées entre 7% et 8,7% pour les PED® ont ainsi permis de valider la technologie au regard du critère de 6% demandé par le Cahier des Charges (figures 11 & 12).

En complément de ces dispositions, les gaines des haubans ont été conçues pour permettre dans le futur l'installation d'amortisseurs complémentaires. Pour ces derniers, des études et recherches ont été réalisées et ont conduit à la mise au point de dispositifs innovants assurant un décrétement logarithmique supérieur à 10%.

## CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

### PROGRAMME DES TRAVAUX

Les travaux de construction de l'ouvrage se sont déroulés sur une période de 47 mois comme indiqué sur la figure 13. La réalisation dans un délai aussi court n'a été rendue possible qu'avec un travail continu sur 24 heures, 365 jours par an.

### FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE DES HAUBANS

La conception du système de haubans compact de Freyssinet utilisé pour le pont de Russki a fait l'objet d'études et de mesures spécifiques pour résister à l'environnement sévère de la région du Primorié (environnement marin, température négative jusqu'à -30°C, vitesse de vent importante pendant la construction, etc.) et prendre en compte les exigences techniques importantes du projet.

Le système de haubans de l'ouvrage est équipé des dernières avancées technologiques garantissant une durabilité étendue et la sécurité de la structure avec :

→ Des produits adaptés au grand froid assurant la sécurité de la structure pour des températures de -40°C ;

→ Des haubans compacts pour réduire les effets de la traînée ;

→ Une résistance à la fatigue des haubans accrue par la présence de dispositifs intégrés dans les ancrages et contrôlant les déviations et les flexions du câble ;

→ Un système de protection anticorrosion actif et réversible aux ancrages ;

→ Des mécanismes amortisseurs de haubans permettant de satisfaire des critères exigeants d'amortissement dans le plan et hors du plan de la nappe ;



14

© PHOTO THÉÂTRE FREYSSINET



15



16

© PHOTO THÉÂTRE FREYSSINET

→ Des équipements légers permettant d'optimiser le cycle de pose des voussoirs métalliques ;

→ Des méthodes de mise en place et des outils de mise en tension adaptés prenant en compte les grandes longueurs des haubans tout en assurant des durées de mise en œuvre minimales.

### DES CONDITIONS OPÉRATIONNELLES RUDES

Le programme très court pour un ouvrage de cette envergure a nécessité la mise en place d'une structure

**14- Levage de voussoir.**

**15- Levage de gaines.**

**16- Mise en tension individuelle des torons.**

**14- Lifting a segment.**

**15- Lifting ducts.**

**16- Individual strand tensioning.**

technique dédiée, intégrée à l'équipe de travaux à Vladivostok, afin de répondre rapidement aux besoins de méthodes d'exécution adaptées (figure 14).

Pour les phases d'installation, Freyssinet a développé de nouveaux équipements utilisables pour des travaux réalisés par grand froid. En effet, les travaux d'installation des haubans pouvaient se faire de jour comme de nuit par des températures descendant jusqu'à -30°C. Pour intégrer ces contraintes de planning, les méthodes d'installation ont été redéfinies, notamment pour le



17

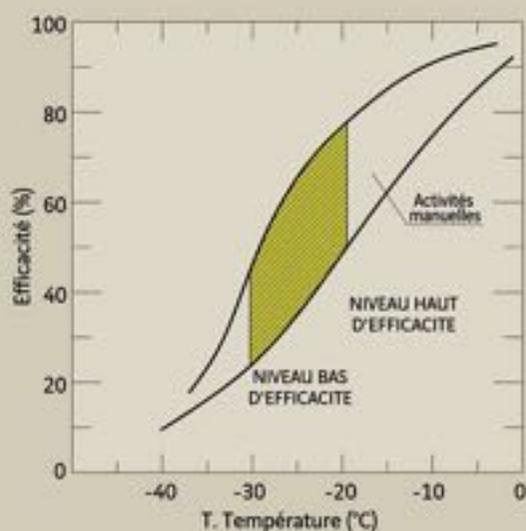
**17- Faible visibilité pendant la construction des pylônes.**

**18- Effet du froid sur les tâches manuelles.**

**17- Low visibility during pylon construction.**

**18- Effect of cold on manual tasks.**

## EFFET DU FROID SUR LES TÂCHES MANUELLES



18

levage des gaines de grande longueur. L'objectif était de garantir la sécurité du personnel avec un levage à 320 mètres de hauteur pour les gaines les plus longues, mais aussi de garantir l'intégrité de la gaine, le remplacement de celle-ci en cours d'installation aurait généré un retard significatif sur le programme. L'installation des haubans a donc nécessité une préparation précise des moyens de levage mais aussi des composants de haubans. Pour tenir compte des températures négatives, la préparation des gaines et de leurs soudures a été réalisée en atmosphère contrôlée. Les équipements d'installation ont également exigé une maintenance plus importante afin de répondre aux cadences du chantier (figure 15). Les instructions de mise en tension étaient préparées par Freyssinet en tenant compte des instructions données par le bureau d'études Mostovik. Pour ce type de structure, la mise en

tension des haubans à la longueur est nécessaire afin de réduire les étapes de réglage. Une précision optimale sur la mise en tension des haubans a été atteinte grâce à l'automate Isotension® 3000 de Freyssinet. Celui-ci permet à l'aide de son interface programmable de définir la tension du toron de référence selon l'instruction reçue et d'automatiser le réglage des torons suivants par isotension® (figure 16).

### LA SÉCURITÉ

Les opérations de mise en place des haubans ont été réalisées à tout moment sans interruption, ce qui a nécessité la mise en œuvre d'un plan Sécurité adapté aux risques liés aux opérations de montage des haubans, aux conditions de travail de nuit et aux conditions climatiques extrêmes, la température ressentie pouvant descendre en dessous de  $-30^{\circ}\text{C}$  en fonction de la vitesse du vent. De plus la région du Bosphore Vostochny est sujette à des changements soudains de conditions de visibilité et de vent, des rafales tourbillonnantes pouvant survenir très rapidement particulièrement sur l'île (figure 17).

L'analyse des risques et la formation ont été les piliers du système de management de la qualité et la sécurité pour toutes les phases d'installation des haubans.

L'analyse des risques a permis de mettre en exergue les difficultés et risques opérationnels liés au froid et aux conditions de travail nocturne.

Trois types de risques ont été analysés :

- 1- Le risque matériel lié au dysfonctionnement d'un équipement sans préjudice pour l'avancement des opérations ;
- 2- Le risque opérationnel qui impacte le bon avancement du cycle d'installation ;
- 3- Le risque humain lié aux opérations et à l'environnement.

Pour minimiser chacun de ces risques, des méthodes, moyens et outils spécifiques ont été développés.

Pour le risque matériel, de nouveaux équipements ont été conçus pour les opérations de haubanage, notamment des treuils grand froid permettant d'assurer les cycles de hissage à des températures de  $-40^{\circ}\text{C}$  ont été développés. Les équipements hydrauliques ont aussi été calorifugés.

Pour le risque opérationnel, de nouvelles procédures de mise en œuvre ont été définies afin de tenir compte de l'environnement et du caractère compact des gaines combiné au record de longueur.

TABLEAU 1 : PALMARÈS DES PONTS À HAUBANTS DES DEUX DERNIÈRES DÉCENNIES

Nom de l'Ouvrage	Lieu	Pays	Travée centrale (m)	Année de mise en service
Pont de Russki	Vladivostok, Détroit Bosphor Vostochny	Russie	1104	2012
Pont de Sutong	Suzhou, Nantong	République Populaire de Chine	1088	2008
Pont de Stonecutters	Rambler Channel	Hong Kong (République Populaire de Chine)	1018	2009
Pont de E'dong	Huangshi	République Populaire de Chine	926	2010
Pont de Tataru	Mer intérieure de Seto	Japon	890	1999
Pont de Normandie	Le Havre	France	856	1995
Pont de Jingyue	Jingzhou	République Populaire de Chine	816	2010
Second Pont d'Incheon	Incheon, Séoul	Corée du Sud	800	2009
Pont de la Corne d'Or	Vladivostok	Russie	737	2012
Shanghai Yangtze River Bridge	Shanghai	République Populaire de Chine	730	2009

Pour le risque humain, une analyse détaillée des effets du froid sur le comportement humain et l'efficacité au travail a été effectuée afin de maîtriser au mieux l'environnement et son impact sur le cycle de travail. Cette analyse a permis de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour réaliser les opérations en toute sécurité en maintenant un niveau d'efficacité optimal (figure 18).

De nouvelles méthodologies ainsi que de nouveaux moyens ont été développés afin de maintenir les cadences souhaitées.

Il a été également nécessaire de développer et dispenser une formation technique adaptée au chantier. Au total 200 heures de formation réparties en 88 sessions ont été ainsi dispensées. Chaque poste de travail, en particu-

lier le poste de travail à l'extérieur du pylône pendant la phase de hissage des torons, a fait l'objet d'une revue détaillée qui a conduit à la définition de procédures spécifiques.

Cela a conduit en particulier au travail en équipe de deux personnes au minimum avec obligation d'observation mutuelle afin de prévenir les effets du froid.

La réalisation d'abris chauffés situés sur les plateformes au voisinage des zones de travail a aussi été nécessaire pour permettre une rotation rapide et efficace des équipes.

Les travaux de haubanage, de pose des amortisseurs et du système de monitoring des haubans se sont terminés en juillet 2012 conformément au planning et sans accident (figure 19). □



19

© PHOTOTHÈQUE FREYSSINET

19- Paquebot de croisière dans le détroit.

19- Cruise liner in the strait.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** État russe (Ministère des transports)

**CLIENT :** FGU DSD Vladivostok

**INGÉNIEUR :** Mostovik

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :** USK Most

SOUS-TRAITANTS PRINCIPAUX

**GÉNIE CIVIL :** SK Most et Mostovik

**CONCEPTION, FOURNITURE ET POSE DES HAUBANS :** Freyssinet

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### TRAVÉES LATÉRALES

#### PILES

- Béton : 80 490 m<sup>3</sup>
- Acier béton armé : 8 792 t

#### TABLIER

- Béton : 80 490 m<sup>3</sup>
- Acier béton armé : 8 792 t
- Acier de précontrainte : 647 t

### PYLONES

#### FONDACTIONS

- Béton : 74 475 m<sup>3</sup>
- Acier de béton armé : 7 351 t

#### JAMBES DES PYLÔNES

- Béton : 41 419 m<sup>3</sup>
- Acier de béton armé : 10 462 t
- Acier de précontrainte : 133 t
- Structures métalliques : 3 394 t

### TABLIER MÉTALLIQUE

- Caisson orthotrope métallique : 22 567 t

### HAUBANS

- Câbles (unités 27 à 91) : 168 u
- Torons : 3 650 t
- Amortisseurs internes (IRD) : 56 u
- Amortisseurs externes (PED) : 112 u
- Cellules de mesure de force : 48 u
- Accéléromètres : 48 u

## ABSTRACT

### THE CABLE-STAYED BRIDGE OF RUSSKI IN VLADIVOSTOK

JEAN-DANIEL LEBON, FREYSSINET - VINCENT MAILLET, FREYSSINET

With a centre span of 1104 m, two A-pylons 319 m high, the longest stay cable ever installed (582 m), a design and construction completion period of only four years, and operations carried out during the Siberian winter in temperatures as low as -30°C, the Russki Bridge in Vladivostok is a bridge breaking all the records. Designed by the Russian company Mostovik and built by the Russian prime contractor USK Most, Russki Bridge was also a theatre of French engineering operations, using Freyssinet's «compact» parallel-strand stay cable technology. □

### PUENTE ATIRANTADO DE RUSSKI EN VLADIVOSTOK

JEAN-DANIEL LEBON, FREYSSINET - VINCENT MAILLET, FREYSSINET

Con una luz central de 1104 m, dos pilones en A de 319 m de altura, el tirante más largo instalado hasta la fecha (582 m), un plazo de diseño y de construcción de sólo 4 años y operaciones realizadas durante el invierno siberiano con temperaturas que descienden hasta -30°C, el puente de Russki en Vladivostok es el puente que bate todos los récords. Diseñado por la sociedad rusa Mostovik y construido por la empresa general rusa USK Most, el puente de Russki ha sido también el teatro de operaciones de la ingeniería francesa con la utilización de la tecnología de tirantes con cables trenzados paralelos "Compact" de Freyssinet. □

CONSULTEZ  
**TRAVAUX**  
SUR INTERNET

**revue-travaux.com**

*Vous pourrez*

→ télécharger gratuitement l'article du mois

→ vous abonner en ligne

→ accéder à la présentation de la revue

SON HISTOIRE, SON PUBLIC, SA VOCATION, SON LECTORAT

→ consulter 12 ans d'archives de la revue

→ compléter votre collection

PLUS DE 100 NUMÉROS ET 1000 ARTICLES

**THÈMES DES PROCHAINS NUMÉROS**

- *Sols et Fondations*
  - *Spécial Béton*
  - *Ville durable -  
Énergies non polluantes*
  - *International*



1

© EIFFAGE

# DIX ANNÉES DE MONITORING STRUCTUREL DU VIADUC DE MILLAU

AUTEURS : SYLVESTRE GALLICE, CHEF DE SERVICE SÉCURITÉ ET VIABILITÉ, CEVM - HERVÉ LANÇON, DIRECTEUR TECHNIQUE, SITES - CLAUDE SERVANT, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

LE SYSTÈME DE SUIVI ET D'INSTRUMENTATION DU VIADUC DE MILLAU A ÉTÉ CONÇU PAR UNE ÉQUIPE D'EXPERTS DÉJÀ IMPLIQUÉS DANS LES ÉTUDES DE LA STRUCTURE DE L'OUVRAGE. AVEC LE MAÎTRE D'OUVRAGE, ILS ONT FIXÉ DES OBJECTIFS ET DES PRIORITÉS. LA GESTION DES DONNÉES AINSI QUE LA SURVEILLANCE ET LA MAINTENANCE DU SYSTÈME ONT ÉGALEMENT ÉTÉ ÉTUDIÉES. APRÈS DESCRIPTION DU PROGRAMME DE SUIVI, LES RÉSULTATS DES PREMIÈRES ANNÉES D'EXPLOITATION DE L'OUVRAGE SONT PRÉSENTÉS. IL Y A LIEU DE RAPPELER QUE LES ENREGISTREMENTS ET LE TRAITEMENT DES MESURES POUR LES DIFFÉRENTES PHASES DE LA CONSTRUCTION ET POUR LES OPÉRATIONS DE RÉCEPTION DE L'OUVRAGE ONT DÉJÀ FAIT L'OBJET DE DEUX ARTICLES DANS LE N° 868 DE JANVIER 2010 DE TRAVAUX.

## PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le viaduc de Millau est un ouvrage financé et réalisé par le groupe EIFFAGE dont la filiale, la Compagnie Eiffage du Viaduc de Millau (CEVM), est concessionnaire de l'ouvrage pour 75 ans (figure 2).

Ce viaduc multi-haubané exceptionnel a une longueur de 2 460 m et une hauteur de 343 m au sommet des pylônes (figure 3).

Le tablier dont la largeur totale est de 27,75 m (chaussée à 2 x 2 voies de circulation) est également équipé de barrières lourdes et d'écrans de protection des usagers contre le vent latéral.

Les piles constituées d'un fût unique en forme de caisson dans sa partie basse qui se dédouble dans sa partie supérieure précontrainte reposent sur un système de fondation semi-profonde constitué de 4 puits de gros diamètre (5 m maxi).



2

© EIFFAGE

Le tablier est constitué d'un caisson métallique trapézoïdal de 4,20 m de hauteur à l'axe comportant un platelage supérieur orthotrope constitué de tôles de 12 à 14 mm d'épaisseur (sous la voie lente). Le tablier repose sur toutes les piles par l'intermédiaire d'appareils

**1- Lançage du tablier.**  
**2- Le viaduc.**

**1- Deck launching.**  
**2- The viaduct.**

d'appuis sphériques qui sont cloués sur les piles à l'aide de câbles de précontrainte.

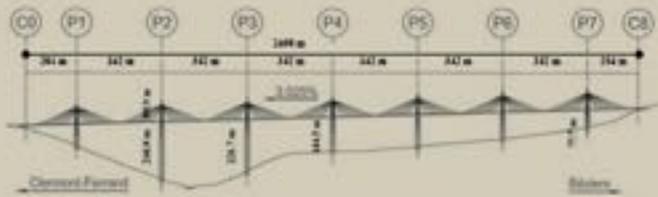
Chaque travée est supportée par l'intermédiaire de onze paires de haubans disposés en semi-éventail ancrés de part et d'autre des pylônes dans l'axe du tablier. En forme de « Y » renversé orienté longitudinalement et dans le prolongement des fûts dédoublés des piles les pylônes de 87 m de hauteur totale sont métalliques.

Le tablier a été réalisé par phases successives d'assemblage et de lancement à partir des plateformes aménagées derrière les culées C0 et C8 (1 743 m côté Sud et 717 m côté Nord - figure 1).

## LES OBJECTIFS ET LA CONCEPTION DU SUIVI DE L'OUVRAGE

Les objectifs de suivi de l'ouvrage étaient précisés par l'autorité concédante dans l'annexe 10 du « Cahier des

## VUE LONGITUDINALE DU VIADUC



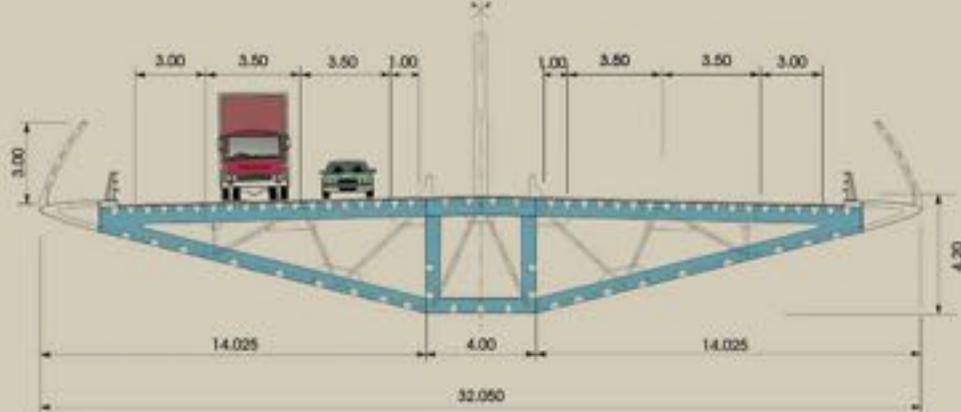
3



4

- 3- Vue longitudinale du viaduc.
- 4- Accéléromètre en tête de pile P2.
- 5- Coupe transversale du viaduc.
- 6- Schéma d'implantation des coffrets d'acquisition de l'instrumentation du viaduc.

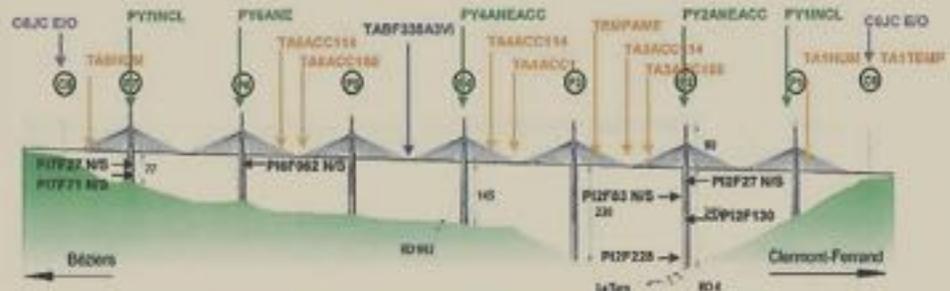
## COUPE TRANSVERSALE DU VIADUC



5

- 3- Longitudinal view of the viaduct.
- 4- Accelerometer on pier cap P2.
- 5- Cross section of the viaduct.
- 6- Layout diagram of the viaduct instrumentation data acquisition units.

## SCHÉMA D'IMPLANTATION DES COFFRETS D'ACQUISITION DE L'INSTRUMENTATION DU VIADUC



6

Charges de la Concession », qui prévoit pour l'ouvrage une « durée d'utilisation de projet » de 120 ans.

Cette durée de 120 ans s'entend comme étant la durée pendant laquelle le viaduc doit être utilisé comme prévu, en faisant l'objet de l'entretien et de la maintenance escomptée sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des réparations majeures.

Le suivi a été divisé en trois phases : construction, réception et surveillance à long terme dont les objectifs diffèrent d'une phase à l'autre.

L'installation des dispositions d'instrumentation en cours de travaux a été menée dans un contexte d'optimisation de son utilisation pour les phases de réception et de suivi à long terme.

Pendant la construction, des contrôles sont nécessaires pour vérifier la géométrie et les déplacements de l'ouvrage, principalement lors des opérations de lancement du tablier. Les techniques topographiques qui ont été utilisées, ont permis de vérifier que le comportement du viaduc était conforme aux prévisions des calculs.

Au moment de la réception de l'ouvrage, c'est l'état de référence de l'ouvrage qui est enregistré et notamment sa réponse vis-à-vis des sollicitations statiques et dynamiques lors des essais de chargement. Cet état sert de « point zéro » pour la surveillance à long terme. En phase d'exploitation la surveillance à long terme comporte trois aspects : contrôle des paramètres spécifiques

liés à la sécurité des véhicules et de leurs passagers, contrôle du comportement du viaduc et contrôle du vieillissement de l'ouvrage.

Le suivi du viaduc (tableau 1) a été volontairement séparé des systèmes de contrôle conçus pour la sécurité du trafic. La mesure de la vitesse du vent qui peut déclencher la fermeture du viaduc utilise un canal indépendant des informations de surveillance.

La plupart des instruments de suivi - capteurs, modules d'acquisition de données, réseau - sont des dispositifs issus du monde industriel pour la plupart en technologie électronique (figure 4). Seul le suivi du comportement en déformation au jeune âge du béton des fondations a été réalisé

avec des capteurs à technologie fibre optique.

La gestion de milliers de données exige un soin particulier. Les données doivent être organisées au début du suivi : codes, formats d'enregistrement, formats de fichier, noms de fichier, traitement des données. Les enregistrements et fichiers de données sont structurés pour être exportés directement dans un tableur plutôt que dans une base de données, pour une plus grande efficacité.

Dans l'esprit d'un maître d'ouvrage, le suivi est souvent envisagé pour le très long terme. Dans le cas du viaduc de Millau, il était prévu une première période de suivi en continu de trois années avec enregistrement de

TABLEAU 1 : INSTRUMENTATION DU VIADUC

Mesure de...	Au moyen de...	Nombre	Dans le but de...
<b>Phase de construction</b>			
Déformation du béton des fondations au jeune âge (semelle P2)	Extensomètres à fibres optiques	8	Mesurer l'impact des contraintes de cisaillement à la suite de l'exothermie et du retrait du béton des semelles
Géométrie de la structure	Station totale et prismes optiques	141	Contrôler la position des repères
Position du coffrage glissant	GPS différentiel (DGPS)	1	Contrôler la position des coffrages
Déplacement vertical et rotation des fondations	Nivellement optique à haute précision de 4 repères	4 cibles / semelle	Comparer le tassement et la rotation des fondations sous la charge croissante de la pile dans le temps
Rotation fondation et piles	Inclinomètres amovibles sur embases	2 embases par pile = 14	Redondance sur item précédent
Déformation thermique des piles	Capteurs de température dans le béton	103	Comparer les déplacements horizontaux des piles aux résultats d'une simulation numérique
<b>Lançage du tablier</b>			
Vitesse et orientation vent	Anémomètre à ultrasons	1 + 1 de secours	Mesurer la vitesse du vent, la comparer aux seuils d'alerte et de vigilance
Position du tablier	Station totale et DGPS	1	Comparer les positions théoriques et réelles du tablier
Déformation des âmes du tablier (patch-loading)	Capteurs de déplacement sur dispositif fixe et mobile	36	Mesurer les déplacements de l'âme entre deux diaphragmes d'un segment de tablier se déplaçant sur une pile ou palée
Mouvements dynamiques du tablier et du pylône	Accéléromètres	7 sur tablier, 1 sur pylône	Contrôler les accélérations pendant le lancement
Déplacement en temps réel et torsion des têtes de palée	Téléètres laser	5	Contrôler les déplacements des palées provisoires
Déplacement en temps réel des têtes de pile	Dispositif d'alignement au laser	1 par pile	Contrôler les déplacements des têtes de pile pendant le lancement (avec seuil d'alerte)
Efforts dans les haubans	Cellule de force	4	Contrôler les variations d'efforts dans les haubans pendant le lancement
<b>Phase d'exploitation</b>			
Température		27	Mesurer la température des tôles en acier pour déterminer son impact sur le tablier. Calculer les corrections thermiques à appliquer aux simulations
Vitesse, direction et turbulence du vent	Anémomètres à coupelles et à ultrasons	Ultrasons 1 A coupelles 2	Mesurer la vitesse et la direction du vent pour déterminer son impact sur pylônes, haubans, tablier et piles
Rotations des piles d'extrémité	Inclinomètres	Pylônes 2 Piles 2	Mesurer les rotations de la structure
Déformation	Extensomètres	52	Mesurer la déformation du béton des piles, essentiellement pour déterminer le fluage du béton (P2, P7)
Vibrations	Accéléromètres	Tablier 6 Pylônes 3 Haubans 3	Mesurer l'amplitude et la fréquence des oscillations et vibrations (effets du vent)

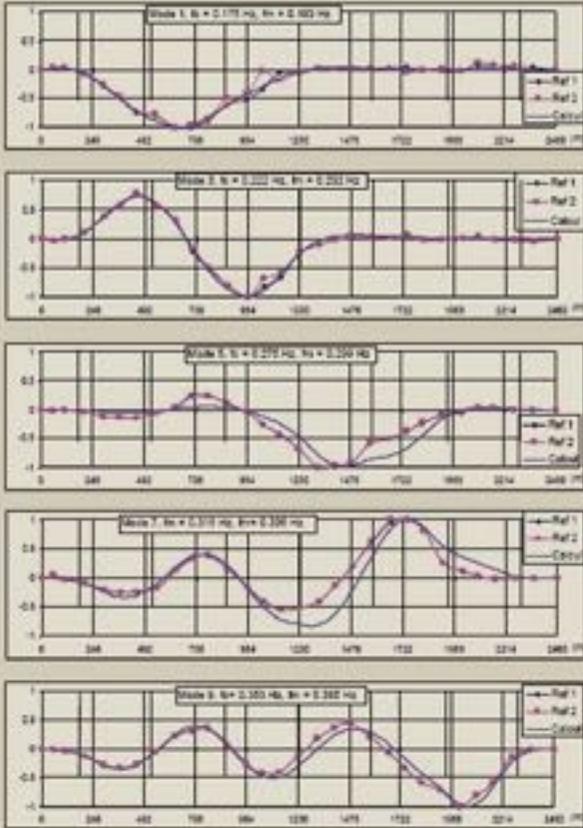
TABLEAU 2 : COMPARAISON DES FRÉQUENCES MESURÉES ET CALCULÉES POUR LES 14 PREMIERS MODES VERTICAUX DU TABLIER

Modes propres verticaux	Fréquence calculée Fc [Hz]	Fréquence mesurée Fm [Hz]
4	0.250	0.256
6	0.280	0.293
8	0.321	0.336
10	0.370	0.385
12	0.423	0.433
15	0.474	0.494
17	0.532	0.549
21	0.589	0.604
26	0.639	0.653
28	0.685	0.702
29	0.725	0.748
32	0.766	0.762
34	0.797	0.845
36	0.818	0.833

TABLEAU 3 : TASSEMENT MOYEN DES PILES ET DES CULÉES DEPUIS 2006

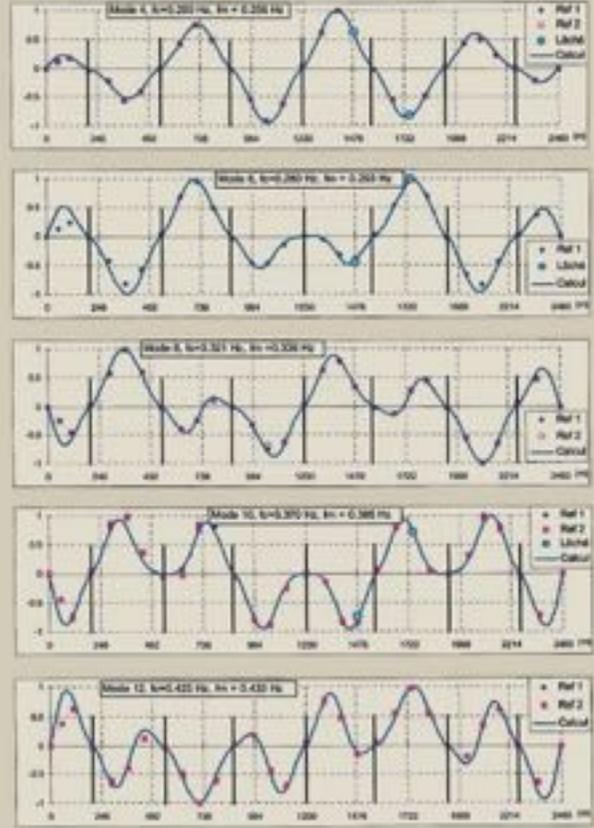
	Décembre 2006 Origine*	Novembre 2007	Décembre 2008	Janvier 2010	Octobre 2010
C0	s = 0 mm	+ 0,4	+ 1,0	+ 1,4	+ 2,2
P1	s = 0 mm	- 1,3 *	+ 0,1	+0,5	- 0,4
P2	s = 0 mm	- 0,2	- 0,4	+ 0,7	+ 0,6
P3	s = 0 mm	- 1,5	- 1,2	- 1,0	- 0,8
P4	s = 0 mm	+ 0,7	+ 0,5	+ 1,2	+ 1,4
P5	s = 0 mm	+ 0,2	- 0,2	+ 1,0	+ 1,2
P6	s = 0 mm	- 0,9 **	- 2,0	- 0,8	- 0,4
P7	s = 0 mm	- 1,2 **	- 1,4	+ 1,2	+ 1,7
C8	s = 0 mm	- 0,1	- 0,3	+ 0,0	+ 0,1
* Origine en 2007 avec les 4 repères ** Origine en 2008 avec les 4 repères					

## DÉFORMÉES MODALES DES CINQ PREMIERS MODES **TRANSVERSAUX** DU TABLIER



7

## DÉFORMÉES MODALES DES CINQ PREMIERS MODES **VERTICAUX** DU TABLIER



8

7- Déformées modales des cinq premiers modes transversaux du tablier.

8- Déformées modales des cinq premiers modes verticaux du tablier.

9- Dispositif de mesure de l'excitation impulsionnelle du tablier.

7- Mode shapes of the first five transverse modes of the deck.

8- Mode shapes of the first five vertical modes of the deck.

9- Deck pulse excitation measuring system.



9a



9b



9c



9d



9e

nombreux paramètres en dynamique de façon à appréhender des périodes de très fortes sollicitations de vent ainsi que la réponse de l'ouvrage. Au bout de cette période, les connaissances du comportement de l'ouvrage, par-

ticulièrement en cas de tempête, devaient être complètes. Le suivi était donc prévu d'être revu à ce moment-là en fonction de cette expérience et en tenant compte de la véritable durée de vie de l'instrumentation.

### LE SUM DE L'OUVRAGE EN PHASE D'EXPLOITATION

L'instrumentation du viaduc de Millau est divisée en deux ensembles distincts : le système statique et le système dynamique.

Chaque ensemble possède sa propre chaîne d'acquisition et son application dédiée (figure 6).

**SYSTÈME STATIQUE**

Une acquisition est effectuée toute les 30 secondes et la valeur de chaque capteur est enregistrée toutes les 30 minutes.

**SYSTÈME DYNAMIQUE**

L'enregistrement dynamique (suivant une cadence de 40 Hz) est effectué sur dépassement de seuil de la vitesse instantanée du vent (seuil réglable - actuellement à 90 km/h) ; la durée de cet enregistrement est à chaque fois de 10 minutes et inclut les 4 composantes fournies par l'anémomètre 3D situé au sommet du pylône PY2.

Depuis la fin des travaux, plusieurs types de mesure ont ainsi été réalisés :  
→ Des mesures juste avant la mise en



10

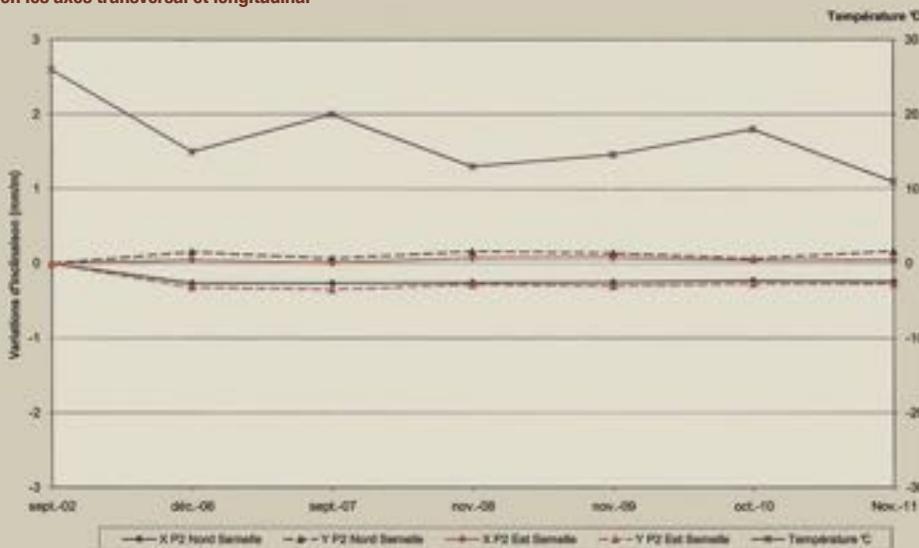
service afin de vérifier que le comportement réel est conforme à celui prévu par le calcul ;

→ Des mesures en continu à partir de la mise en service pour s'assurer de son bon fonctionnement et vieillissement dans le temps.

Les mesures réalisées avant la mise en service par le CSTB Nantes furent :

- Des mesures dynamiques :
  - sous excitation ambiante, pour déterminer les principaux modes et fréquence propres de la structure (figures 7 et 8 et tableau 2),
  - sous excitation impulsionnelle pour mesurer l'amortissement des premiers modes propres de vibration (figure 9).
- Des mesures statiques :
  - mesure des flèches du tablier sous un chargement réglementaire induit par une trentaine de camions de 30 tonnes environ.

**VARIATIONS DE L'INCLINAISON DE P2  
selon les axes transversal et longitudinal**



11

10- PC d'exploitation.

11- Variations de l'inclinaison de P2 selon les axes transversal et longitudinal.

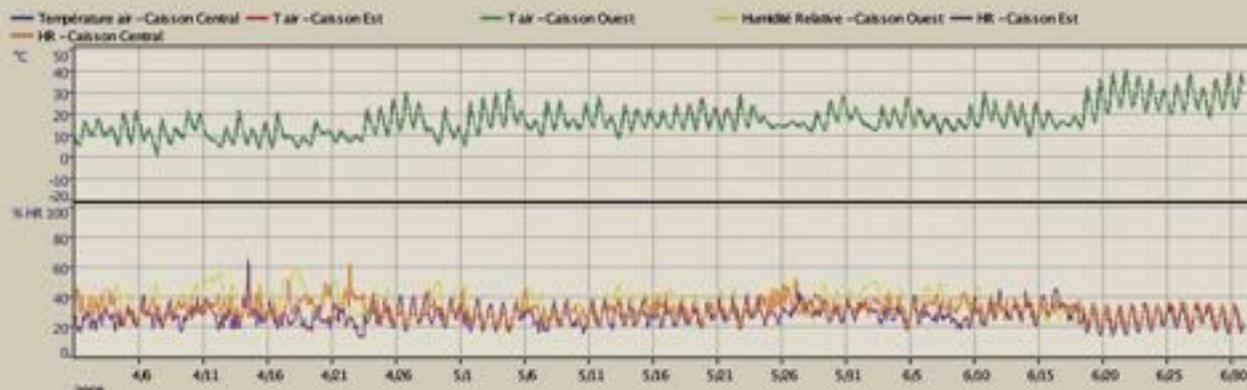
12- Température et humidité relative du tablier.

10- Operating control centre.

11- Variations in the slope of P2 on the transverse and longitudinal axes.

12- Temperature and relative humidity of the deck.

**TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ RELATIVE DU TABLIER**



12

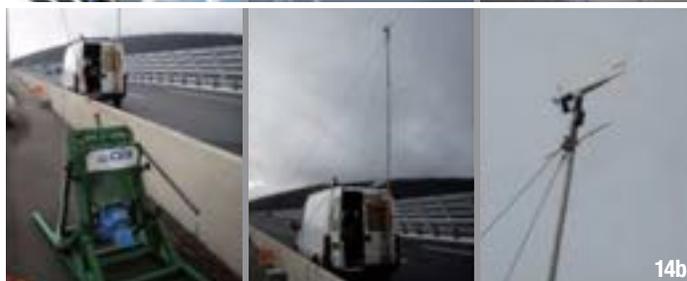
## RÉSULTAT DES MESURES D'AMORTISSEMENT POUR LE HAUBAN S08

hauban S08									valeurs retenues	
date	heure	mode	freq 1 (Hz)	X1 (%)	freq 2 (Hz)	X2 (%)	freq 3 (Hz)	X3 (%)	freq (Hz)	X (%)
04-avr	17:46	1	0.8563	0.43	0.8534	0.43	0.8546	0.32	0.85	0.39
04-avr	18:04	2	1.6969	0.26	1.6843	0.28	1.6932	0.36	1.69	0.30
04-avr	18:15	3	2.5544	0.16	2.5521	0.13	2.5399	0.15	2.55	0.15
04-avr	18:26	4	3.3905	0.21	3.3864	0.22	3.386	0.24	3.39	0.22
04-avr	18:32	5	4.2269	0.33	4.2238	0.36	4.2293	0.24	4.23	0.31
04-avr	18:42	6	5.0705	0.27	5.0645	0.14	5.07	0.25	5.07	0.22
04-avr	18:51	7	5.8977	0.37	5.9009	0.39	5.898	0.45	5.90	0.40
04-avr	18:57	8	6.7378	0.64	6.7176	0.55	6.7185	0.56	6.72	0.58
04-avr	19:02	9	7.5623	1.09	7.6192	1.18	7.5901	1.1	7.59	1.12
04-avr	19:10	10	8.3907	0.58	8.3586	0.63	8.3918	0.53	8.38	0.58

13



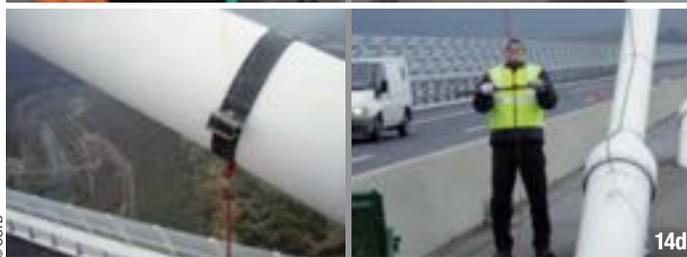
14a



14b



14c



14d



15

**13- Résultat des mesures d'amortissement pour le hauban S08.**

**14- Dispositif de mesure de l'amortissement des haubans.**

**15- Joint de chaussée et capteur.**

**13- Result of damping measurements for stay cable S08.**

**14- Stay cable damping measuring system.**

**15- Pavement joint and sensor.**

En ce qui concerne les mesures réalisées après la mise en service, trois objectifs fondamentalement différents sont visés :

**1-** Le premier, et le plus important, est de contrôler en permanence les conditions d'exploitation de l'ouvrage pour assurer la sécurité du trafic et des usagers. L'ouvrage est ainsi équipé de capteurs et dispositifs particuliers permettant d'assurer les fonctionnalités suivantes :

- La surveillance du trafic,
- La mesure de la vitesse du vent,
- La détection des phénomènes glissants,
- Le suivi continu des paramètres suivants :
  - ouverture des joints de chaussée sur culées,
  - température (moyenne) de l'air et du caisson,

- humidité relative du tablier métallique,
- température en surface de la chaussée.

L'ensemble de ces mesures est visualisé en temps réel au PC d'exploitation de la gare de péage situé à Saint-Germain à 6 km au nord du viaduc (figure 10).

Ce suivi des différentes valeurs mesurées est affiché sur écran sous forme numérique et graphique. L'afficheur permet de savoir si l'on est dans le cas de franchissement de seuil ou non. Les alertes surviennent lorsqu'un seuil prédéfini est franchi.

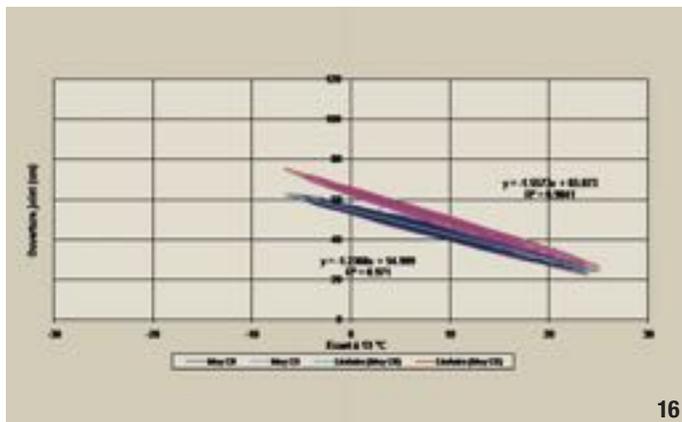
**2-** Le second est de contrôler le vieillissement de l'ouvrage. L'ouvrage est équipé d'une instrumentation permettant le suivi :

→ Des fondations : il est réalisé des mesures altimétriques par nivellement direct et une redondance par des mesures inclinométriques permettant d'évaluer le tassement absolu et différentiel éventuel des fondations dans le temps (tableau 3).

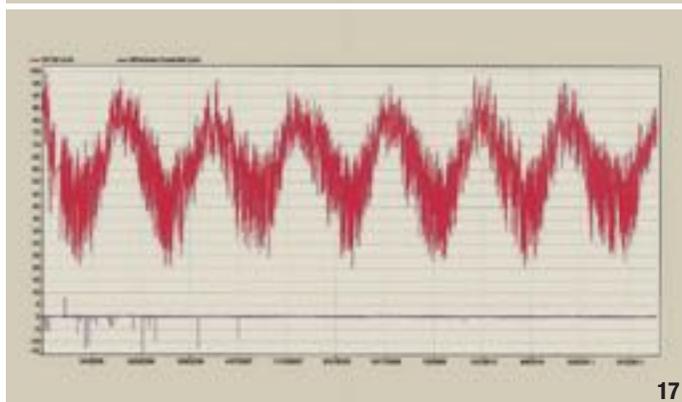
→ Des piles : il est réalisé des mesures géométriques discrètes sur prismes conjuguées à des mesures sans prisme sur les génératrices des piles de grande hauteur. En effet, en regard des mouvements importants journaliers du tablier les piles sont en permanence en mouvement et il s'avère important de surveiller l'allure de leur déformée à partir d'une mesure réalisée dans un temps le plus court possible. En outre, les piles d'extrémité P1 et P7 comportent des capteurs inclinométriques avec des mesures en continu à l'aide du système de surveillance (figure 11). Des mesures des déformations dans le béton des piles sont réalisées à l'aide d'extensomètres afin de connaître l'évolution du fluage du béton. Il est aussi effectué des mesures de la température pour évaluer les gradients thermiques transversaux et leurs effets.

→ Du tablier : il est réalisé des mesures géométriques (en travée et sur appui) ; des mesures de température (dans le tablier et dans l'air) ; des mesures de l'humidité de l'air à l'intérieur du caisson afin de s'assurer du bon fonctionnement des dispositifs de déshumidification (figure 12) et des mesures accélérométriques sur déclenchement du seuil de vent.

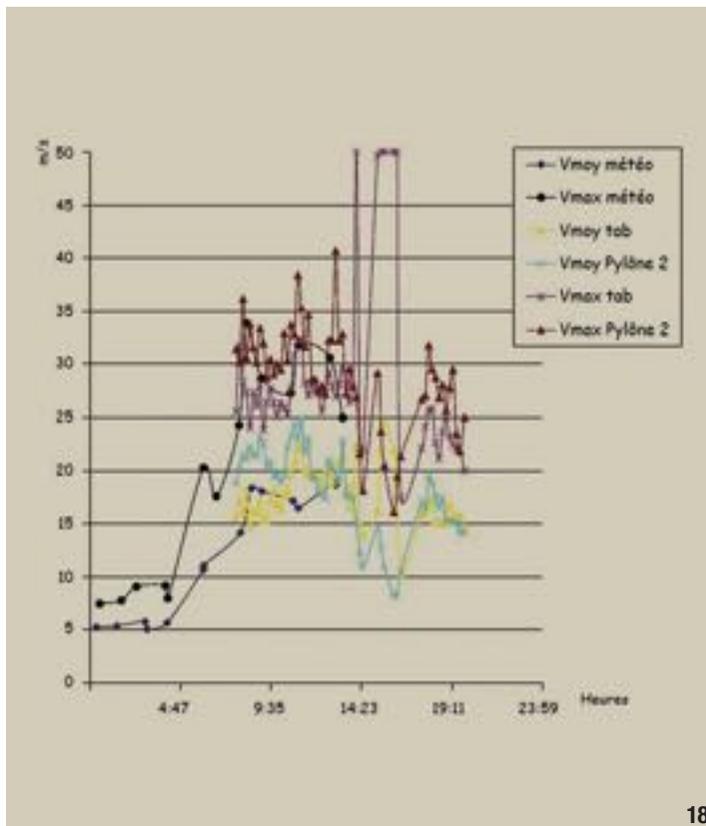
→ Des pylônes : il est réalisé des mesures géométriques à l'aide de prismes et d'inclinomètres, des mesures accélérométriques en tête des pylônes P2 à P4 sur déclenchement du seuil de vent.



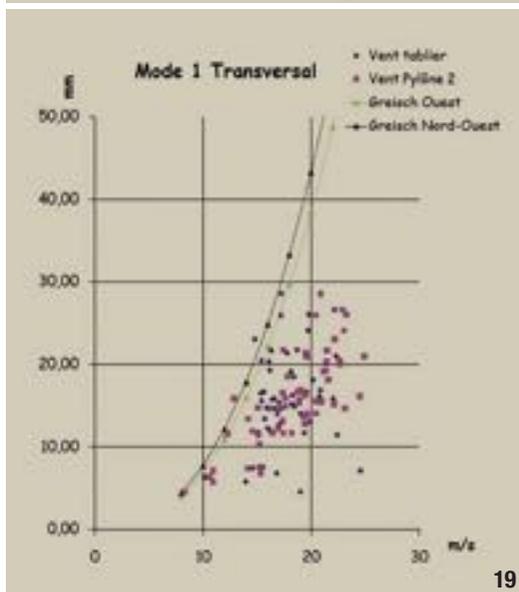
16



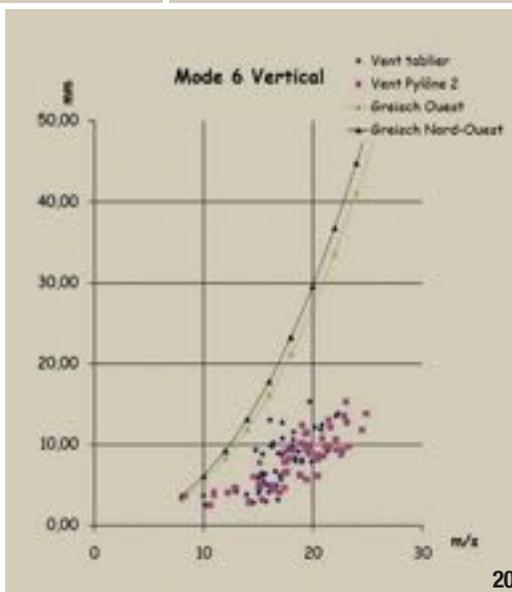
17



18



19



20

16- Joints de chaussée : déplacement / température sur 1 trimestre.

17- Évolution du souffle du joint de chaussée sur culée C0.

18- Tempête Klaus du 24 janvier 2009, enregistrement des vitesses de vent.

19- Résultats pour le mode 1 transversal.

20- Résultats pour le mode 6 vertical.

16- Pavement joints: displacement versus temperature over one quarter.

17- Change in relative displacement of the pavement joint on abutment C0.

18- The Klaus storm of 24 January 2009, recording of wind speeds.

19- Results for transverse mode 1.

20- Results for vertical mode 6.

→ Des haubans : il est réalisé le suivi :  
- de l'amortissement des six haubans instrumentés côté sud du pylône P3 (figures 13 et 14),  
- de la tension dans les torons équipés de cellules de mesure,  
- des éventuelles vibrations des haubans.

→ Du souffle (ou déplacement) des joints de chaussée sur culée (figures 16 et 17).

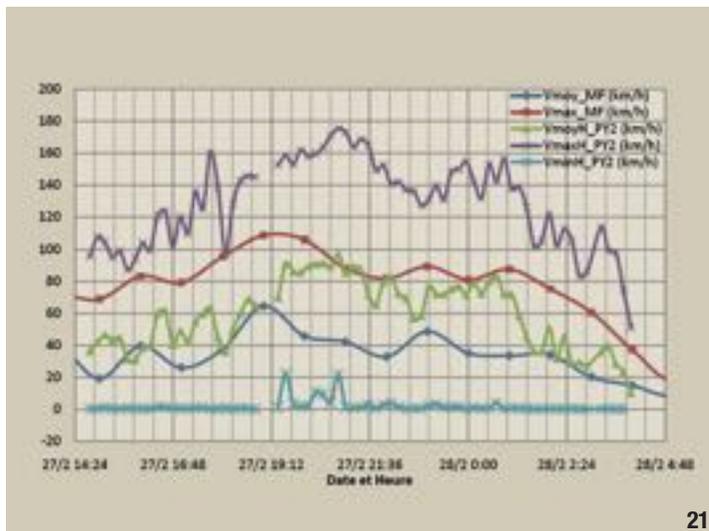
Chaque joint de chaussée est équipé d'une paire de capteurs de déplacement pour surveiller la déformation et le déplacement du tablier par rapport

au culées (figure 15). Chaque trimestre SITES fournit un rapport de synthèse des mesures acquises, qui permet la constitution de la base données météorologiques sur l'ouvrage. Ce rapport présente les mesures météorologiquement fiables associées à des traitements statistiques permettant de disposer de critères d'évaluation, issus de corrélation et de comparaison temporelle simple. Cette synthèse permet au Maître d'Ouvrage et à ses experts de s'assurer de l'état de santé de l'ouvrage.

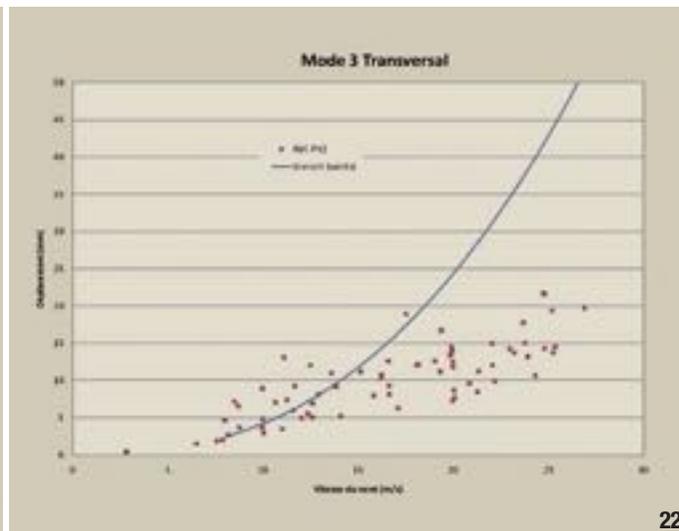
3- Le troisième et dernier objectif est de contrôler que le comportement de

l'ouvrage en service est conforme aux prévisions des calculs d'exécution. Comme pour le pont de Normandie, il a été étudié par le CSTB de Nantes des séquences de vent fort lors des tempêtes Klaus (le 24 janvier 2009) et Xynthia (le 28 février 2010).

Ces études ont confirmé que les résultats des calculs théoriques effectués par le bureau Greisch lors des études d'exécution étaient sécuritaires par rapport aux résultats des calculs effectués sur la base des enregistrements mesurés par les différents capteurs (figures 18 à 23).



21



22

De plus, afin de s'assurer que les hypothèses de calcul concernant les effets de la température établies à partir des analyses menées sur le pont de Normandie étaient bien adaptées, le tablier a été équipé de 27 sondes de température dans une section située en travée P2-P3 afin de permettre des enregistrements en continu depuis la mise en service fin décembre 2004 (acquisition toutes les 30 minutes environ) (figure 24).

Les enregistrements des mesures font actuellement l'objet d'une étude de la part du STOA d'Eiffage TP avec les conseils de Michel Virlogeux qui avait déjà piloté celle du pont de Normandie. Nous donnons ci-après sous forme de courbes les résultats des premiers traitements réalisés à fin 2012 (figures 25 à 31).

Une estimation du gradient thermique transversal dans les piles est également prévue afin de la comparer aux

**21- Vitesses du vent observées lors de la tempête Xynthia.**

**22- Résultats pour le mode 3 transversal.**

**23- Résultats pour le mode 4 vertical.**

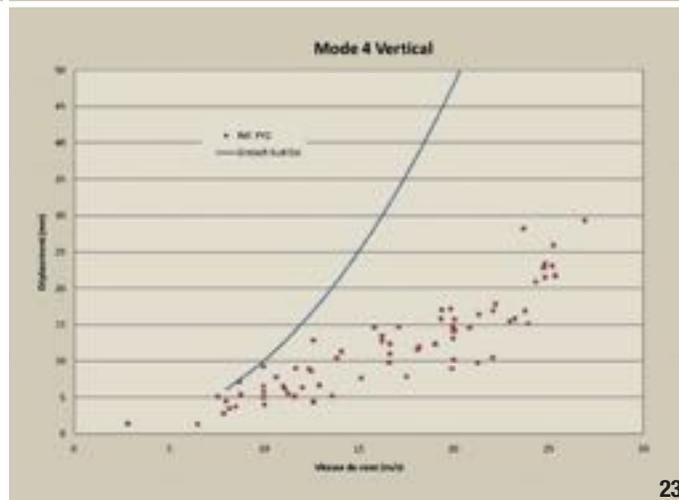
**24- Localisation des capteurs dans le caisson.**

**21- Wind speeds monitored during the Xynthia storm.**

**22- Results for transverse mode 3.**

**23- Results for vertical mode 4.**

**24- Location of sensors in the box girder.**



23

6°C pris en compte dans les calculs et qui sont vraisemblablement largement surestimés.

En outre, il est prévu de réaliser tous les 10 ans à partir de sa mise en service, soit en 2014, 2024, etc. des mesures sur des prélèvements de carottes de

béton afin de contrôler simultanément la durabilité et le vieillissement du béton armé des piles (carbonatation et pénétration des chlorures).

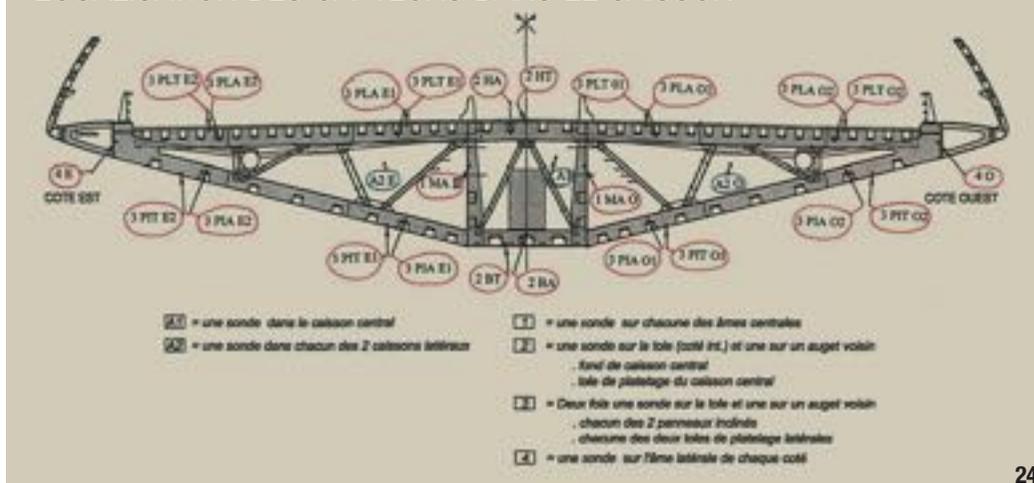
Les premiers essais réalisés en 2008 sur les échantillons prélevés en pied et au droit des planchers aux niveaux -90 et -168.58 m de la pile P2 ont montré que :

→ Pour le contrôle de la résistance à la compression, du module d'Young statique et de la résistance à la traction par fendage du béton (B60) : les valeurs mesurées 75 MPa en moyenne en compression et 7 MPa en traction et un module de déformation longitudinale moyen de 45 GPa sont largement supérieures aux valeurs prises en compte dans les calculs ;

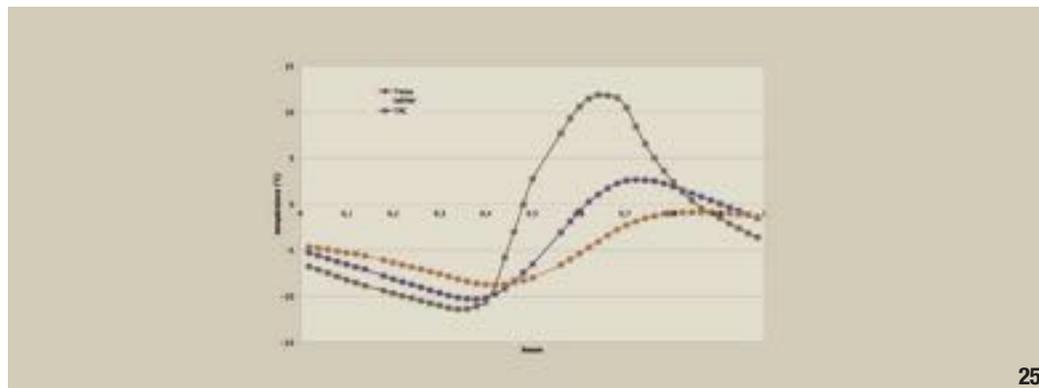
→ La perméabilité à l'oxygène (selon les recommandations de l'AFPC-AFREM) est de l'ordre de  $4.10^{-17} \text{ m}^2$  en moyenne ;

→ La teneur en chlorures est quasiment non détectable quelle que soit la profondeur compte tenu de sa limite de détection égale à 0.005% de la masse du béton.

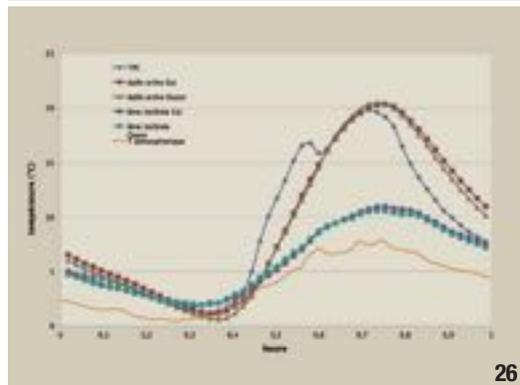
## LOCALISATION DES CAPTEURS DANS LE CAISSON



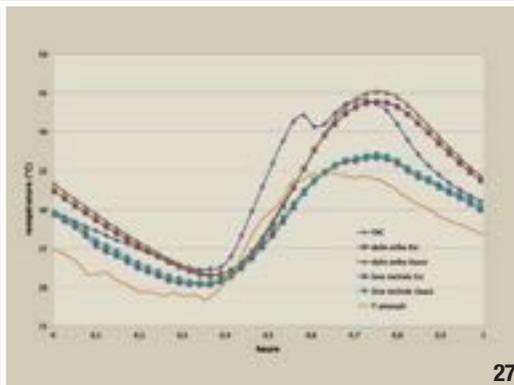
24



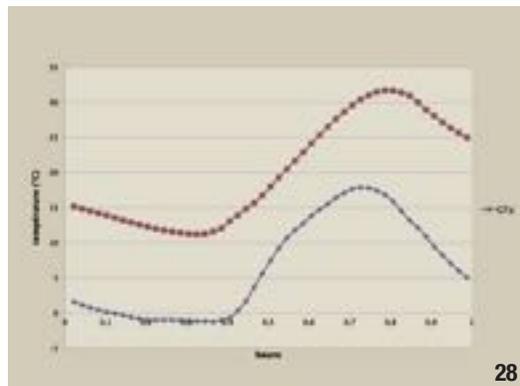
25



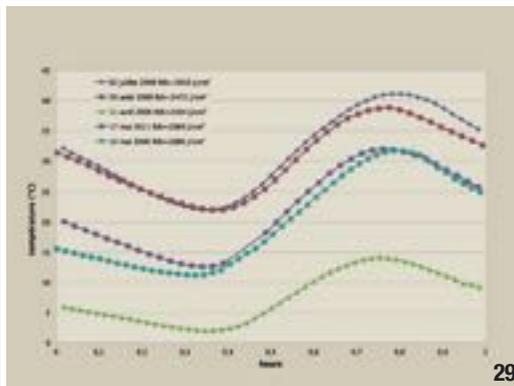
26



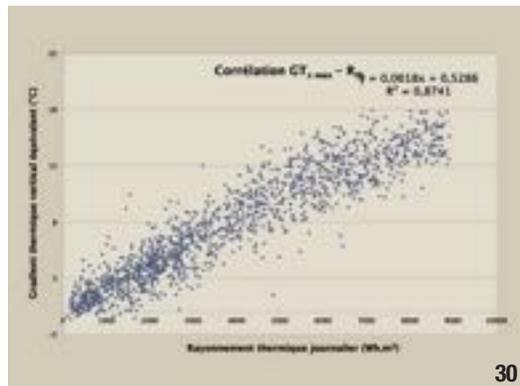
27



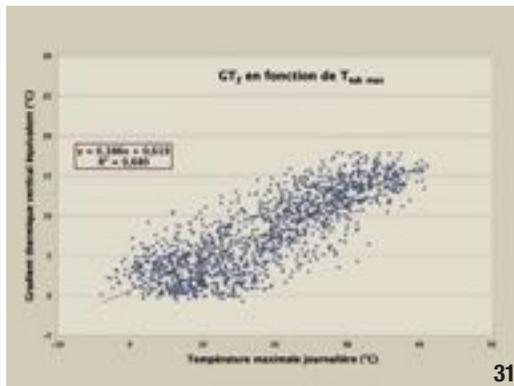
28



29



30



31

**CONCLUSION**

Afin de valider les calculs et de pouvoir juger du comportement de l'ouvrage pendant sa construction (et notamment pendant les opérations de lancement), puis durant la phase d'exploitation, il a été mis en œuvre un programme d'instrumentation, dont l'importance dépasse de beaucoup ce qui se fait habituellement pour les ouvrages haubanés

et exceptionnels. Après avoir suivi le comportement de tous les éléments de l'ouvrage pendant sa construction (fondations, piles, palées provisoires, tablier, pylônes, haubans), les opérations liées à la réception de l'ouvrage ont permis d'établir les valeurs de base qui servent de référence pour le suivi du viaduc pendant son exploitation. Par ailleurs, le viaduc de Millau a été associé aux deux

programmes de recherche suivants :  
→ Le projet ANR « ORTHOPLUS » dont l'objectif était l'optimisation du comportement mécanique des dalles orthotropes et de leur revêtement pour une optimisation globale de leur cycle de vie. Deux campagnes d'essais se sont déroulées sur le viaduc de Millau en octobre 2009 et en octobre 2010 afin de confronter et comparer les

25- Températures du caisson central en journée froide le 1 mars 2005.

26- Températures des tôles de surface en journée froide le 11 avril 2011.

27- Températures des tôles de surface en journée chaude le 20 août 2011.

28- Évolution du gradient thermique équivalent en fonction de la température moyenne.

29- Évolution de la température moyenne du caisson sous fort rayonnement thermique.

30- Représentation du gradient thermique vertical équivalent en fonction du rayonnement thermique journalier.

31- Représentation du gradient thermique vertical équivalent en fonction de la température du caisson.

25- Temperatures of the central box girder on a cold day on 1 March 2005.

26- Temperatures of the surface plates on a cold day on 11 April 2011.

27- Temperatures of the surface plates on a hot day on 20 August 2011.

28- Change in the equivalent vertical thermal gradient as a function of the average temperature.

29- Change in the average temperature of the box girder under strong thermal radiation.

30- Representation of the equivalent vertical thermal gradient as a function of the daily thermal radiation.

31- Representation of the equivalent vertical thermal gradient as a function of the box girder temperature.

32- Comparaison valeurs mesurées - valeurs calculées (programme ORTHOPLUS).

33- Pesage en marche des camions.

34- Extensomètres disposés sur les augets entre deux diaphragmes pour le système B-WIM.

35- Instrumentation des augets pour le système B-WIM.

36- Organisation du dispositif d'essai.

32- Comparison between measured values and calculated values (ORTHOPLUS program).

33- Weighing trucks in operation.

34- Strain gauges placed on the inclined reinforcing bars between two diaphragms for the B-WIM system.

35- Instrumentation of inclined reinforcing bars for the B-WIM system.

36- Organisation of the test system.

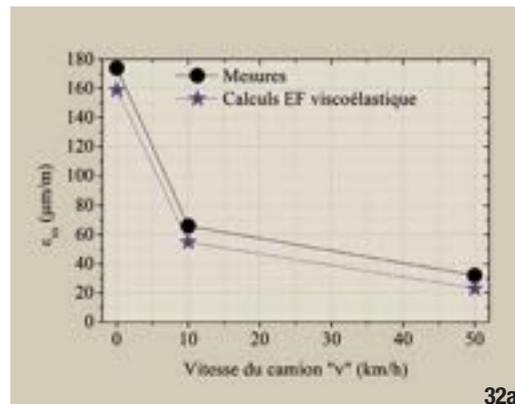
résultats des mesures sur site avec ceux des calculs 3D aux éléments finis (figure 32) ;

→ Le projet LCPC de pesage en marche par pont instrumenté (Système B-WIM) dont l'objectif est de s'assurer de la capacité de systèmes à mesurer avec une précision très satis-

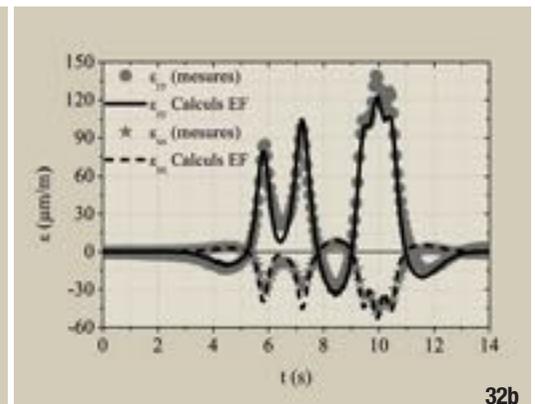
faisante et avec une bonne fiabilité les charges sur les ouvrages à dalle orthotrope ; et ainsi de fournir aux maîtres d'ouvrages et exploitants des renseignements sur le comportement sous trafic avec une connaissance précise des charges réellement appliquées et de leur historique. Les données

recueillies seront ainsi utiles au suivi et à la surveillance de leur ouvrage (figures 33 à 36).

Depuis la mise en service de l'ouvrage le 16 décembre 2004, il a ainsi été vérifié que le comportement de l'ouvrage restait conforme aux prévisions des calculs d'exécution. □



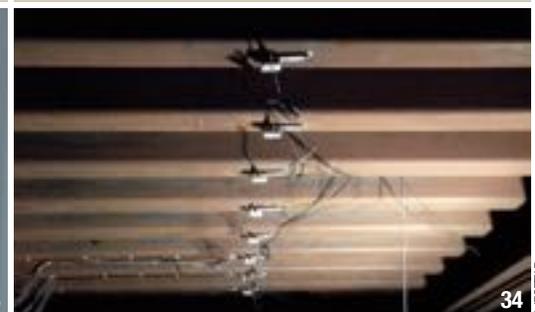
32a



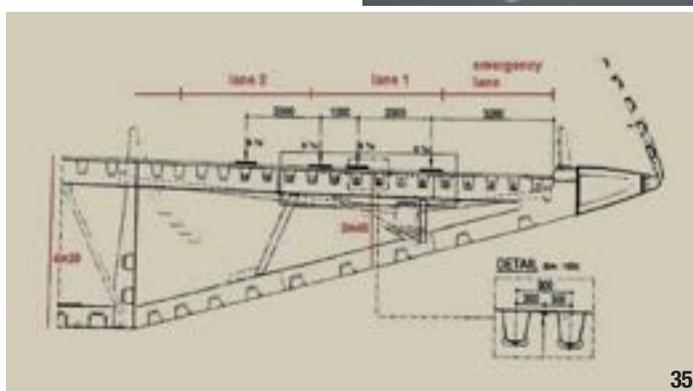
32b



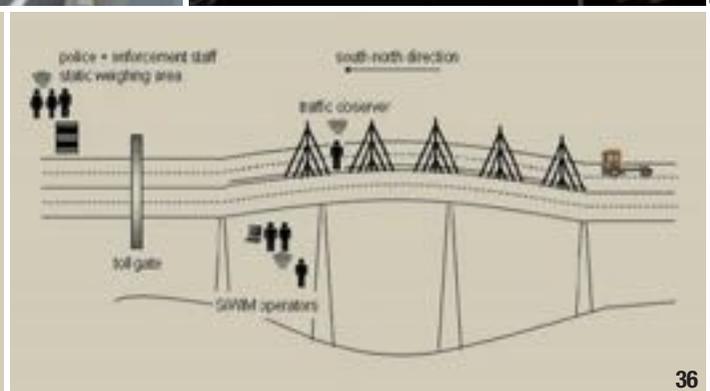
33



34



35



36

## ABSTRACT

### TEN YEARS OF STRUCTURAL MONITORING OF MILLAU VIADUCT

S. GALLICE, CEVM - H. LANÇON, SITES - C. SERVANT, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

The Millau Viaduct monitoring and instrumentation system was designed by a team of experts already involved in structural engineering of the bridge. With the client, they set objectives and priorities. Data management and system monitoring and maintenance were also examined. After describing the monitoring programme, the results are presented for the first few years' operation of the structure. As a reminder, measurement recording and processing for the various construction phases and for the bridge acceptance operations has already been dealt with in two articles in issue No. 868 of TRAVAUX in January 2010. □

### DIEZ AÑOS DE MONITORING ESTRUCTURAL DEL VIADUCTO DE MILLAU

S. GALLICE, CEVM - H. LANÇON, SITES - C. SERVANT, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

El sistema de seguimiento y de instrumentación del viaducto de Millau ha sido diseñado por un equipo de expertos ya implicados en los estudios de la estructura. Junto con el promotor, fijaron objetivos y prioridades. También se estudió la gestión de los datos, así como la vigilancia y el mantenimiento del sistema. Después de describir el programa de seguimiento, se presentan los resultados de los primeros años de explotación de la estructura. Cabe destacar que los registros y el tratamiento de las mediciones para las diferentes fases de la construcción y para las operaciones de recepción de la estructura ya fueron objeto de dos artículos en el N° 868 de enero de 2010 de TRAVAUX. □

# UNE INGÉNIERIE FRANÇAISE AUX CONFINS DES BALKANS

AUTEUR : VINCENT GRANGE, DIRECTEUR RESPONSABLE MAÎTRISE D'ŒUVRE, INGEROP

RÉALISÉ EN CONCEPTION-CONSTRUCTION, LE PONT RELIANT LES VILLES DE VIDIN (BULGARIE) ET CALAFAT (ROUMANIE) PORTE SUR UN MÊME NIVEAU UNE AUTOROUTE 2X2 VOIES ET UNE VOIE FERRÉE. CET OUVRAGE EN BÉTON PRÉCONTRAIT, LARGE DE 31,35 M ET LONG DE 1 791 M, S'ÉLÈVE À 16 M AU-DESSUS DES PLUS HAUTES EAUX DU DANUBE DONT IL FRANCHIT LA PASSE NAVIGABLE PAR TROIS TRAVÉES EXTRADOSSÉES DE 180 M. CE PROJET TECHNIQUE D'IMPORTANCE A ÉTÉ ACCOMPLI DANS UN CONTEXTE EUROPÉEN COSMOPOLITE.



## UN PROJET EUROPÉEN

Le IV<sup>e</sup> corridor pan-européen de transport relie la Turquie et la Grèce à l'Allemagne. Identifié lors de la conférence des transports de Crète en mars 1994 comme l'une des routes d'Europe nécessitant un investissement majeur, il constitue un axe d'échange qui, une fois achevé transitera via la Bulgarie, La Roumanie, La Hongrie, la République Tchèque et la Slovaquie (figure 2).

Cet itinéraire franchit le Danube entre les villes de Vidin (Bulgarie) et Calafat (Roumanie). C'est ainsi qu'un chantier d'ouvrage d'art et d'infrastructures associées pesant 230 millions d'Euros a vu le jour dans les Balkans, dans l'une des régions les plus pauvres de l'Union Européenne.

TABLEAU 1 : LE FINANCEMENT

<b>Don ISPA de la Communauté Européenne*</b>	<b>70 M €</b>
<b>Prêt de la banque Européenne d'investissement</b>	<b>70 M €</b>
<b>Don de la République Fédérale Allemande (via la banque KFW)</b>	<b>20 M €</b>
<b>Don du Gouvernement Français (via l'Agence Française de Développement)</b>	<b>5 M €</b>
<b>Budget du Gouvernement Bulgare</b>	<b>65 M €</b>
<b>Total pour le projet</b>	<b>230 M €</b>

\* Le don ISPA (Instrument for Structural Policies for Pre-Accession) est un instrument financier de l'Union européenne pour aider les pays candidats dans leur préparation à l'adhésion. Il fournit une assistance pour les projets d'infrastructure dans les domaines de l'environnement et des transports. La Bulgarie a pu bénéficier d'un tel don pour ce projet car il avait été initié avant son adhésion à l'Union Européenne le 1<sup>er</sup> janvier 2007 (en même temps que la Roumanie).

Ce pont routier et ferroviaire deviendra le second lien fixe sur le Danube qui constitue la frontière séparant la Bulgarie et la Roumanie sur 608 km. Son voisin est situé à Roussé, à 5 heures de route plus à l'est (350 km). (figure 3).

## LE FINANCEMENT

La construction de l'ouvrage de franchissement du Danube et des infrastructures associées en territoire bulgare a été assurée par divers fonds, tous en provenance de pays européens (tableau 1).

## LES ACTEURS DU PROJET

Les acteurs de ce projet sont à l'image, de ce corridor dont il est l'un des maillons : européens. ▷



1- Vue générale de l'ouvrage prise depuis la rive roumaine du Danube.

1- General view of the bridge taken from the Romanian bank of the Danube.

PHOTOTHÈQUE INGEROP

### LE MAÎTRE D'ŒUVRE

Le bureau d'ingénierie français Ingérop s'est lié en joint-venture avec le bureau High Point - Rendel (ingénierie britannique) pour assurer la mission d'« Independent Supervising and Checking Engineer (ISCE) ». Les termes de cette mission sont fixés d'après les règles « FIDIC yellow book » (Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils), fréquemment utilisées dans le cadre de projets réalisés en Conception - Construction. En janvier 2007, cette JV dont Ingérop est le mandataire a été déclarée lauréate d'un concours qui regroupait les plus grandes ingénieries internationales.

Pour exécuter la mission de maîtrise d'œuvre des infrastructures liées au projet situées sur le territoire bulgare, Ingérop et HPR ont créé une seconde JV en intégrant une ingénierie grecque : Salfio. Cette nouvelle JV s'est vu attribuer en octobre 2007 la mission d'ISE (Independent Supervising Engineer) dans un contexte « FIDIC red Book » (Marché de construction payé au bordereau) à l'issue d'un second concours international.

Pour réaliser ces missions, Ingérop, High Point - Rendel et Salfio se sont alliés avec un bureau d'étude local. Les compétences de *Patconsult 2000 EOOD* ont été précieuses pour appréhender correctement les problématiques issues du contexte bulgare avec lequel nos ingénieries Ouest-Européennes n'étaient que peu familières. Les études de l'entreprise ont été visées à Londres (HPR) et à Courbevoie (Ingérop) par une équipe d'ingénieurs pluridisciplinaire balayant un vaste champ de compétences : structures en béton armé et béton précontraint, fondations, construction maritime, matériaux, remblais de grande hauteur, renforcement de terrain, structures autoroutières et ferroviaires, équipements et télécommunication...

Sur le site de construction, une équipe qui a compté jusqu'à 40 personnes était en charge de la gestion administrative, contractuelle et financière du projet en plus de la supervision proprement dite des travaux.

### L'ENTREPRISE

L'Entreprise en charge de la construction est espagnole : FCC Construcción est l'un des majors ibériques dans le domaine du BTP.

Sur site, l'entreprise a mobilisé jusqu'à un millier de personnes qui ont régulièrement travaillé en postes 24 heures par jour, 7 jours par semaine.

Les études du pont franchissant le

Danube ont été réalisées par le bureau d'ingénierie espagnol *Carlos Fernández Casado*. Le dimensionnement de l'ouvrage a été effectué sur la base des British Standards (BS 5400).

FCC Construcción a également été déclarée adjudicataire du marché des infrastructures d'accompagnement du pont situées sur le territoire bulgare.

### LE MAÎTRE D'OUVRAGE

Le maître d'ouvrage est le Ministère des Transports, Infrastructures et Technologie de la Communication (MTITC) de la République de Bulgarie.

En juillet 2000 ce Ministère a créé le PIMU (Project Implementation Management Unit), une cellule chargée d'organiser et de gérer ce projet depuis sa phase préliminaire jusqu'à son achèvement. Cette entité est composée d'experts dans divers domaines : construction, ouvrages d'art, technologies ferroviaires, finance, gestion contractuelle...

Le maître d'ouvrage est également assisté par un consortium Acciona, Flint & Neill, Scott & Wilson.



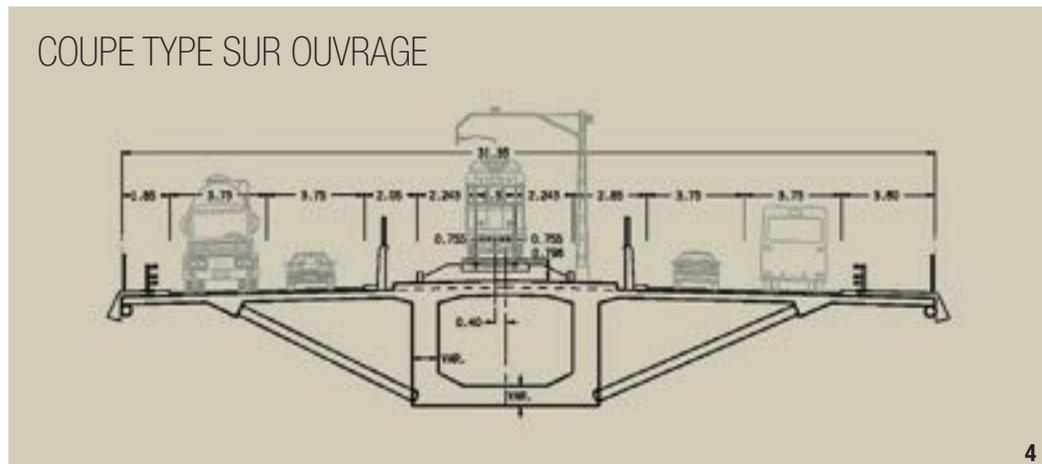
2



3

- 2- IV<sup>e</sup> corridor pan-européen.
- 3- Localisation de l'ouvrage.
- 4- Coupe type sur ouvrage.

- 2- Fourth pan-European corridor.
- 3- Location of the bridge.
- 4- Typical section on the bridge.



4

FIGURE 2 © WIKIPEDIA COMMONS - FIGURE 3 © DIVISION GÉOGRAPHIQUE DE LA DIRECTION DES ARCHIVES DU MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES - 2004

© EXTRAIT DE PLAN FCC

## ORGANISATION GÉNÉRALE DU PONT DE VIDIN-CALAFAT - UN OUVRAGE AVEC 3 CULÉES

Viaduc d'accès ferroviaire

Viaduc Principal

Ouvrage extradossé au-dessus de la passe navigable du Danube



Sur la rive bulgare, un remblai de grande hauteur (environ 12 m) permet à la voie ferrée d'accéder à la culée A1 de l'ouvrage.

Le viaduc d'accès permet alors à cette voie ferrée de venir s'implanter dans le terre-plein central de l'autoroute. L'ouvrage est constitué d'une travée de 32 mètres suivie de 13 travées de 40 m ; il est lié rigidement avec l'ouvrage principal.

Le viaduc principal est en alignement droit depuis sa culée A2 jusqu'à sa jonction avec l'ouvrage haubané. Derrière la culée, le remblai - d'une hauteur également supérieure à 10 m - repose sur un sol liquéfiable sous accélérations sismiques. Il a été renforcé à l'aide de colonnes ballastées.

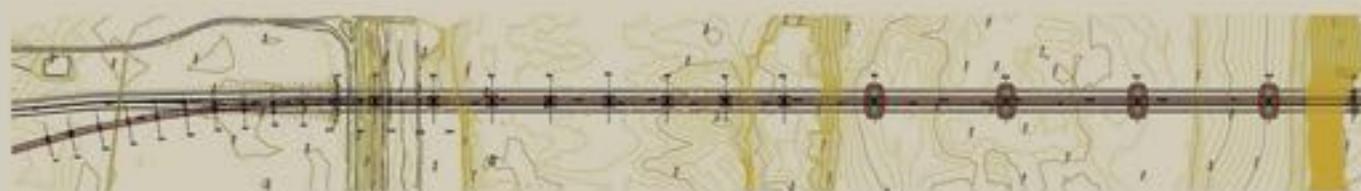
La pente du viaduc principal s'adoucit après sa jonction avec l'ouvrage d'accès afin de présenter un profil en long compatible avec les contraintes ferroviaires.

Travure : 52 m + 7 x 80 m.

Le franchissement de la passe navigable doit respecter 3 chenaux de 150 m de largeur. Une structure extradossée (haubanée surbaissée) présentant des travées de 180 m a été réalisée sans interruption de la navigation dans le Danube. Le tirant d'air de 20,55 m au-dessus des plus hautes eaux navigables autorise un passage quotidien de barges aux dimensions impressionnantes.

Côté Roumanie, la culée A3 est implantée au sommet d'une falaise qu'il a fallu stabiliser.

Travure : 124 m + 3 x 180 m + 115 m.



© EXTRAIT DE PLAN FCC

5

La mission AMO (Assistance à Maîtrise d'Ouvrage) de ce groupement comporte divers volets :

- Rédaction des *outline design criteria* (Cahier des charges),
- Définition et chiffrage de diverses solutions de bases de l'ouvrage assurant le franchissement du Danube,
- Design des infrastructures situées en territoire bulgare,
- Intervention sur requête du maître d'œuvre pour éclaircir certains points de règlements,
- Audit de la maîtrise d'œuvre.

### L'OUVRAGE

Le franchissement du Danube est assuré par trois viaducs continus d'une longueur totale de 1 791 m.

**5- Élévation générale et vue en plan générale.**

**6- Viaduc ferroviaire franchissant une voie d'autoroute - coupes.**

**5- General elevation view and general plan view.**

**6- Rail viaduct crossing a motorway lane - Cross sections.**

Il porte une voie ferrée qui est encadrée par 2x2 voies autoroutières. En rive d'ouvrage sont implantées une voie pour circulation douce et un passage réservé à la maintenance (figure 4).

### LE VIADUC D'ACCÈS FERROVIAIRE

L'ouvrage ferroviaire est un bipoutre très élancé de hauteur constante (1,89 m) en béton précontraint longitudinalement.

Il doit enjamber l'une des voies de l'autoroute à l'aide de portiques, eux-aussi précontraints, afin de se poser « à niveau » au centre des voies de circulation (figures 6 & 7). L'extrémité du tablier est rendue solidaire du viaduc principal par une liaison en béton précontraint. (figure 8).

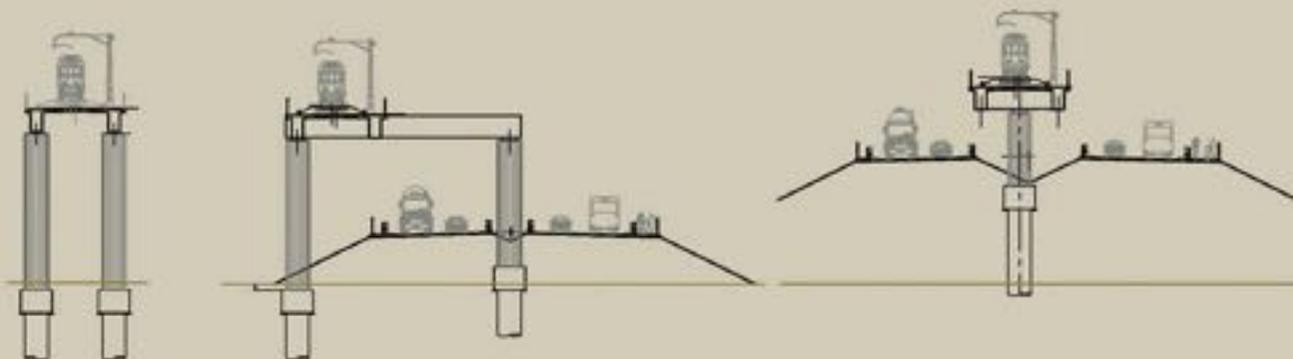
L'ouvrage, coulé en place, repose sur des appuis en élastomère frettés de grandes dimensions. Ces appuis, glissants dans le sens longitudinal, autorisent également un déplacement transversal du tablier par rapport aux piles. Cette flexibilité diminue de façon significative les efforts sismiques, au niveau des fondations du viaduc ferroviaire.

### LE VIADUC PRINCIPAL

La partie centrale du tablier du viaduc principal est préfabriquée.

Les 300 voussoirs de hauteur constante (4,50 m) ainsi réalisés, ayant une masse comprise entre 100 t et 140 t, sont posés à l'aide d'une poutre de lancement (figure 9).

## VIADUC FERROVIAIRE FRANCHISSANT UNE VOIE D'AUTOROUTE - COUPES



© EXTRAIT DE PLAN FCC

6



**7- Vue du bipoutre ferroviaire avec un portique et ses appareils d'appuis néoprènes.**

**8- Les dernières piles du viaduc d'accès ferroviaire reposent sur le viaduc principal.**

**9- Voussoir posé par la poutre de lancement.**

**10- Coupe du caisson (viaduc principal et Ouvrage extradossé).**

**7- View of the rail double-girder with a portal frame and its neoprene support devices.**

**8- The last piers of the rail access viaduct rest on the main viaduct.**

**9- Segment placed by the launching girder.**

**10- Cross section of the box girder (main viaduct and curved structure).**



8

© PHOTO THÉÂTRE INGEROP

Les encorbellements des hourdis supérieurs sont ensuite coulés en place. Durant cette opération, des bracons transversaux préfabriqués sont positionnés entre le hourdi inférieur des caissons et la dalle.

La faible longueur des voussoirs préfabriqués (2,15 m) a rendu complexe la finalisation des bossages d'ancrage de la précontrainte dont certaines unités étaient assez importantes (jusqu'à 31T15).

La faible largeur des caissons (7,20 m) rapportée à la largeur totale du tablier (31,35 m) a complexifié le dimensionnement de l'ouvrage (figure 10).

### L'OUVRAGE EXTRADOSSÉ

Les quatre pylônes de cet ouvrage ne s'élèvent qu'à 22 m au-dessus du niveau du tablier, ce qui donne un ratio « hauteur pylône (au-dessus du tablier)/travée » ( $22/180 = 0,12$ ) assez faible, caractéristique des ouvrages extradossés. À titre de comparaison, ce ratio excède souvent 0.20 pour des ouvrages haubanés. (figure 11).

Le montage du tablier a été réalisé en encorbellement, les voussoirs préfabriqués étant acheminés par barge puis levés par des chèvres (figure 12).

Les 178 éléments préfabriqués sont deux fois plus longs que ceux du viaduc principal (4,30 m) et ils intègrent une partie de la dalle ainsi que les bracons transversaux ; leur masse est donc plus importante : entre 200 t et 300 t (figure 13).

### LES FONDATIONS

Chaque pylône de l'ouvrage extradossé est fondé sur 24 pieux de 2 m de diamètre et 80 m de long. Les pieux des piles du viaduc principal ont une longueur comparable et un diamètre de 1,5 m.

Le sol présente une couche d'alluvions et de loess d'épaisseur variable (environ 20 m) reposant sur des argiles du pliocène. Afin d'optimiser le dimensionnement des fondations, en plus des tests triaxiaux et pressiométriques, six tests de chargement des pieux ont été réalisés. Ces diverses approches ont donné des résultats cohérents.

### QUELQUES DÉFIS TECHNIQUES

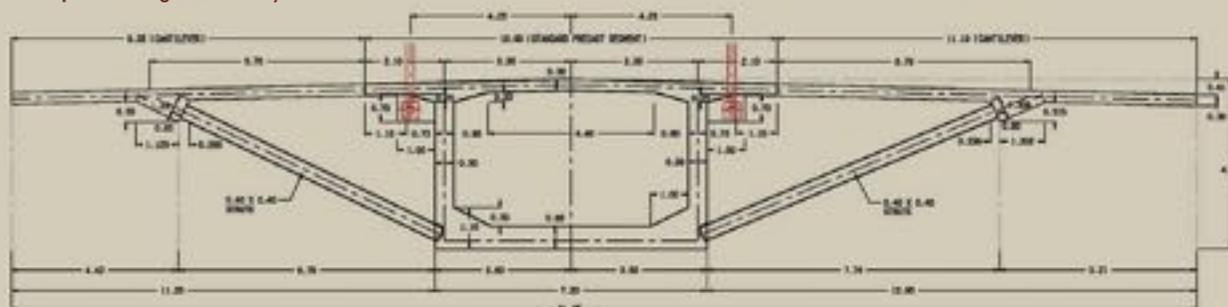
Ce projet complexe et varié a présenté de nombreux défis qu'il a fallu relever. Si certaines problématiques étaient prévisibles, d'autres n'ont été résolues que grâce à l'implication forte de l'ensemble des acteurs en présence.



9

© PHOTO THÉÂTRE INGEROP

### COUPE DU CAISSON (Viaduc Principal et Ouvrage extradossé)



10

© EXTRAIT DE PLAN FCC



© PHOTOTHÈQUE INGEROP  
11



© PHOTOTHÈQUE INGEROP  
12



13

Les dimensions des pieux interdisant tout essai de chargement statique classique, les portances et coefficients de frottement ont été mesurés à l'aide d'O-Cells (essai Osterberg) : vérins sacrificiels de forte capacité, noyés entre deux plaques dans les pieux qui sont équipés de jauges d'extensométrie. L'activation du vérin sépare le pieu en deux parties, la force résistante de la partie supérieure est due aux frottements latéraux, celle de la partie inférieure intègre également le terme de pointe. (figure 14).

Le coulage des 250 m<sup>3</sup> de béton de chaque pieu situé dans la passe navigable du Danube a donné lieu à un véritable ballet de barges et de citernes à béton afin d'éviter tout joint sec dans la structure. (figure 15).

**11- Vue des pylônes.**

**12- Levage d'un voussoir.**

**13- Voussoirs préfabriqués sur l'aire de stockage.**

**11- View of the pylons.**

**12- Lifting a segment.**

**13- Prefabricated segments on the storage area.**

## LES PROTECTIONS CONTRE LES CHOCS DE BATEAUX

Des chocs de bateaux importants ont été pris en compte pour le dimensionnement des fondations. Les pylônes de la passe navigable du Danube ont également dû être protégés contre ces impacts.

Un système de protection a ainsi été imaginé et dimensionné : des blocs de protection contre les impacts de barges sont liaisonnés aux semelles par de la précontrainte. Ces blocs sont ensuite solidarisés par trois poutres en béton armé enserrant l'ensemble du dispositif (figure 17).

La mise en place de ces blocs d'environ 100 t s'est révélée complexe et a nécessité la mise au point d'engins de levages spécifiques (figure 16).

## DES CONDITIONS CLIMATIQUES... CHANGEANTES

La ville de Vidin est située dans une zone de climat continental rude. Les températures extrêmes à considérer pour les calculs (-36,5°C à +41,5°C) ont régulièrement été atteintes sur site (figure 18). En février 2012, des températures descendant jusqu'à -32°C ont ainsi été enregistrées en bordure du Danube qui était entièrement pris dans la glace. À l'inverse, le thermomètre montait régulièrement jusqu'à +45°C l'été.

Afin de ne pas arrêter le chantier pendant de trop longues périodes, des mesures ont été adoptées notamment sur l'aire de préfabrication afin, par exemple, de conserver des températures de bétons acceptables lors des coulages.



14



15



16



17

14- O-Cell insérée dans une armature de pieux.

15- Coulage des pieux dans la passe navigable du Danube.

16- Positionnement d'un VIP (Vessel Impact Protection unit).

17- Dispositif de protection contre les chocs de bateaux.

14- O-Cell inserted in a pile reinforcement.

15- Casting piles in the navigable channel of the Danube.

16- Positioning a VIP (Vessel Impact Protection unit).

17- System for protection from vessel impacts.

Le travail de nuit a été généralisé pendant les épisodes chauds.

Le marnage du Danube (8 m environ) a également été un élément perturbateur à prendre en compte dans les plannings. Les périodes de hautes eaux comme de basses eaux interdisaient la réalisation des protections contre les chocs de bateaux. Le niveau du fleuve descendant sous la limite navigable a

parfois empêché l'accès des barges d'approvisionnement à certaines zones du chantier (figure 19).

#### UN OUVRAGE TRANSFRONTALIER

Le caractère transfrontalier de l'ouvrage a complexifié la gestion administrative du projet.

Outre le contrat FIDIC qui règle habituellement l'ensemble des clauses d'un

contrat, il a fallu respecter l'ensemble des règles en vigueur tant en Bulgarie qu'en Roumanie. Les conséquences ont été assez variées :

→ La JV de maîtrise d'œuvre a dû obtenir une licence en Roumanie pour avoir le droit de superviser les travaux effectués par l'entreprise. Une démarche analogue a été menée en Roumanie. L'obtention de l'ensemble

des autorisations a nécessité plusieurs années.

→ Des opérations spécifiques de réception ont dû être menées pour les travaux réalisés en territoire Roumain.

→ Une coordination parfois complexe devait être gérée avec l'équipe en charge des structures d'accompagnement côté Roumanie (voie ferrée, signalisation ferroviaire, route...).

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

**LONGUEUR DE L'OUVRAGE :**  
1 791 m

### QUANTITÉS

**ARMATURES :** 23 000 t

**BÉTON :** 110 000 m<sup>3</sup>

**PIEUX :** 13 000 m

INFRASTRUCTURES  
EN BULGARIE

**VOIE FERRÉE :** 18 km

**AUTOROUTE :** 8 km

**GARES :** 2 (fret et passagers)

**ÉCHANGEURS ROUTIERS :** 5



18

© PHOTOTHÈQUE INGEROP

→ Des problèmes d'accès à certaines zones du chantier ont retardé de façon conséquente le démarrage des travaux.

→ De nombreux protocoles propres à chacun des deux pays ont dû être rédigés dans leur langue locale.

Les gouvernements bulgare et roumain ont heureusement, pas à pas, résolu l'ensemble des écueils administratifs, permettant la finalisation du pont, son ouverture prochaine au public et son exploitation.

## CONCLUSION

L'ouvrage de franchissement du Danube entre la Bulgarie et la Roumanie sera mis en circulation mi-2013.

Ce projet a rassemblé une grande variété d'experts de spécialités diverses, de nationalités différentes et travaillant dans des pays différents.

Les études de dimensionnement et les méthodes de réalisation ont été finalisées en Espagne et en Bulgarie avec l'intervention ponctuelle de spécialistes basés en Angleterre. Elles ont

été contrôlées en France, en Angleterre et en Bulgarie.

Ce projet qui aura mobilisé l'entreprise et la maîtrise d'œuvre durant 7 années a été une formidable aventure humaine et un réel défi technique qui a été relevé grâce au travail coordonné de l'ensemble des intervenants. □

**18- Le Danube intégralement pris dans les glaces (-32°C).**

**19- Chantier inondé par la montée des eaux du Danube.**

**18- The Danube completely icebound (-32°C).**

**19- Construction site flooded by the rising waters of the Danube.**



19

© PHOTOTHÈQUE INGEROP

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Ministère des Transports, Infrastructures et Technologie de la Communication (MTITC) de la République de Bulgarie

**INGÉNIEUR CONSEIL :** joint-venture : Acciona, Flint & Neill, Scott & Wilson

**MAÎTRE ŒUVRE :** joint-venture : INGEROP, High Point - Rendel, Salfo

**ENTREPRISE :** FCC Construcción

**BUREAU D'ÉTUDES :** Carlos Fernández Casado

## ABSTRACT

### A FRENCH ENGINEERING PROJECT IN THE BALKANS REGION

VINCENT GRANGE, INGEROP

**The cross-border bridge** linking the towns of Vidin (Bulgaria) and Calafat (Romania) carries a two-lane dual-carriageway motorway and a railway track on a single level. Executed on a Design and Build basis, the prestressed concrete bridge is 31.35 m wide and 1 791 m long. The bridge crosses the navigable channel of the Danube by means of three curved 180-metre spans. To ensure project completion, the contractors solved numerous technical problems (regulations, geology, interoperability, etc.) as well as climatic, contractual, administrative and political issues. This major technical project was performed in a cosmopolitan European context under French-English project management: INGEROP (leader) - High Point Rendel. □

### UNA INGENIERÍA FRANCESA EN LOS CONFINES DE LOS BALKANES

VINCENT GRANGE, INGEROP

**Realizado en "Diseño y Construcción"**, el puente transfronterizo que comunica las ciudades de Vidin (Bulgaria) y Calafat (Rumania) recibe en el mismo nivel una autopista 2x2 carriles y una vía férrea. Está realizado de hormigón pretensado, tiene una anchura de 31,35 m y mide 1.791 m de longitud. La obra cruza el paso navegable del Danubio por tres tramos en extradós de 180 m. Para garantizar el cumplimiento del proyecto, los participantes solucionaron muchas problemáticas técnicas (normativa, geología, interoperabilidad, etc.), climáticas, contractuales, administrativas y políticas. Este importante proyecto técnico se realizó en un contexto europeo cosmopolita con dirección de obra franco-británica: INGEROP (mandatario) - High Point Rendel. □



# AUX PORTES DE BORDEAUX, UN PONT SE LÈVE

AUTEURS : ALAIN DENAT, DIRECTEUR DÉVELOPPEMENT GRAND-OUEST, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - ALAIN FRBEZAR, DIRECTEUR DE PROJET, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS ROUBINET, DIRECTEUR ACTIVITÉ GRANDS PROJETS, GTM SUD-OUEST TP GC - JULIE SIMON, CHARGÉE DE COMMUNICATION, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

**LES DÉFIS À RELEVER N'ONT PAS MANQUÉ POUR BÂTIR LE PONT JACQUES CHABAN-DELMAS. VINCI CONSTRUCTION, VIA L'ENTREPRISE GTM SUD-OUEST TP GC, PILOTE LE GROUPEMENT EN CHARGE DE SA CONCEPTION-CONSTRUCTION. CE PONT, QUI RELIE LES QUARTIERS BORDELAIS BACALAN (RIVE GAUCHE) ET BASTIDE (RIVE DROITE), EST IMPLANTÉ ENTRE LE PONT DE PIERRE ET LE PONT D'AQUITAINE. C'EST UN PONT À TRAVÉE LEVANTE. IL A ÉTÉ INAUGURÉ LE 17 MARS 2013.**

**P**endant un peu plus de trois ans, les habitants de la Communauté Urbaine de Bordeaux ont pu suivre les étapes de la construction de cet ouvrage pas comme les autres. Ce pont a en effet comme particularité d'être équipé d'une travée levante. « *Elle peut s'élever à 53 mètres de hauteur pour permettre le passage des paquebots et des navires à hauts mâts et leur entrée*

*dans le port de la Lune* », précise Alain Frbezar, directeur du projet.

Cet ouvrage d'art dispose de 4 voies de circulation automobile et de 2 autres voies réservées au bus puis au tramway dans un second temps. Sur les côtés, volontairement séparées des voies de réservations aux véhicules à moteur : 2 passerelles pour les piétons et les cyclistes. À seulement 2 kilomètres du centre-ville bordelais, le pont

Jacques Chaban-Delmas représente un gain de temps précieux pour les usagers se rendant d'une rive à l'autre. À l'origine de ce projet : un groupement d'experts dont GTM Sud-Ouest TP GC (une société de VINCI Construction) est mandataire. Il se compose du cabinet d'architecture Lavigne et Chéron, de Michel Virlogeux et d'EGIS-JMI (mandataire) pour la maîtrise d'œuvre, de Cimolai pour la réalisation de la

charpente métallique et d'Hardesty et Hanover pour les mécanismes de levage. Une synergie qui a également pris place au sein du groupe VINCI. Trois pôles participent à ce projet : VINCI Construction, VINCI Energies pour l'éclairage de l'ouvrage et EUROVIA pour la chaussée et l'aménagement des voies d'accès. Des PME ont également été associées à la réalisation de cet ouvrage.



1

© RICHARD NOURRY

Bien que perturbés par des événements inattendus (ajustements de l'architecture à la demande de l'Unesco, grève au Port Autonome là où des pièces ont été préfabriquées...) le projet a pu être mené à bien dans les délais annoncés. C'est véritablement le travail d'équipe et l'enthousiasme des participants qui a permis cette réussite.

#### EMBASES ET ÎLOTS REMORQUÉS

La 1<sup>ère</sup> étape constructive revenait à fabriquer 2 énormes embases allongées de 5 700 tonnes et 44 m de long chacune, supportant chacune 2 pylônes

**1- Pont Jacques-Chaban Delmas.**  
**2- Remorquage des îlots et de l'embase de la rive droite.**

**1- Jacques-Chaban Bridge.**  
**2- Towing the units and the base on the right bank.**

qui assurent la levée de la travée centrale. Elles sont également flanquées de 2 îlots cylindriques de béton armé (2 500 tonnes par îlot). Ils protègent la structure du pont d'éventuels chocs de bateaux à la dérive. Ces 6 éléments de béton ont été réalisés dans un bassin en cale sèche, à Bassens, sur le site du Port Autonome de Bordeaux, à 6 km du chantier.

Un procédé qui limite notamment l'impact des travaux sur la Garonne. Une fois ces énormes pièces réalisées, la forme de radoub a été mise en eau et, par flottaison et remorquage, elles

ont pu être amenées au milieu de la Garonne à l'aide de puissants remorqueurs (plus de 7 200 CV). Elles ont ensuite été échouées à leur emplacement définitif par ballastage.

Une opération de plusieurs heures qui a eu lieu en juin 2010 pour les pièces de la rive droite et mars 2011 pour celles de la rive gauche (figure 2).

Posées sur un tapis de gravier mis en place après le dragage du lit du fleuve, les embases sont fixées par 20 pieux (diamètre 1 600) ancrés dans les marnes à une trentaine de mètres de profondeur. ▶



© RICHARD NOURRY

2



3

© RICHARD NOURRY

Les flôts de protection reposent, quant à eux, directement sur le lit de pose. Ils servent de protection fusible, destinée à amortir les chocs de bateaux grâce à 24 tirants précontraints. « Toutes ces opérations ont nécessité des travaux subaquatiques importants, réalisés par des scaphandriers. Ils sont descendus dans l'obscurité à 18 m de profondeur, luttant parfois contre les forts courants dus aux marées », poursuit Alain Frbezar.

#### DE VENISE À BORDEAUX : LES TRAVÉES VOYAGENT EN BATEAU

Il s'agit du 2<sup>e</sup> temps fort du chantier : l'arrivée des travées métalliques, sur barge, depuis l'Italie (figure 3).

Le tablier du pont Jacques Chaban-Delmas est composé de quatre travées fixes et une mobile, la centrale.

Ces 5 éléments d'acier ont été construits par l'entreprise italienne Cimolai, près de Venise. Par trois fois, un convoi maritime est parti du nord de la mer Adriatique jusqu'au golfe de Gascogne, en passant par le détroit de Gibraltar, les côtes espagnoles et portugaises. Un trajet de 5 000 km (soit 22 jours minimum de navigation sur barge). Le 1<sup>er</sup> voyage a eu lieu en août 2011 (travées de la rive droite), le 2<sup>nd</sup> en février 2012 (rive gauche). La travée centrale mobile, aussi grande qu'un terrain de football, a débarqué fin octobre 2012. Chacune de ses arrivées doit tenir compte de l'heure, du coefficient des marées et de la force du vent. Du fait de l'influence des marées, le niveau du fleuve varie de 5 m environ, ce qui permet la dépose de la travée

sur ses points de fixation. « C'est un travail d'une grande précision, très délicat, où nous ne tolérons que 2 centimètres d'écart », détaille Alain Frbezar. Dès que les travées fixes ont été installées coffreurs et maçons ont procédé à la réalisation du tablier du pont : une dalle de couverture composée de 160 prédalles de béton préfabriquées sur le chantier, à quelques dizaines de mètres de l'ouvrage, a été posée puis bétonnée.

La réalisation des chaussées, les installations des équipements de sécurité et la mise en lumière sont ensuite venues compléter l'ouvrage.

#### DES PYLÔNES DE BÉTON ET DE VERRE

De septembre 2011 à avril 2012, les équipes chantier ont procédé à la 3<sup>e</sup> grande phase des travaux : l'édification des 4 pylônes, s'élevant face à face à 75 m de haut dans le ciel bordelais et prenant leur appui sur les deux embases. Comme sur l'ensemble de

l'ouvrage, une attention particulière a été portée au béton : sa composition devant notamment, quel que soit le climat, assurer la couleur claire souhaitée par l'architecte en rappel à la pierre locale de Bordeaux.

Chacun des pylônes se compose de 19 levées de 4,76 m de haut.

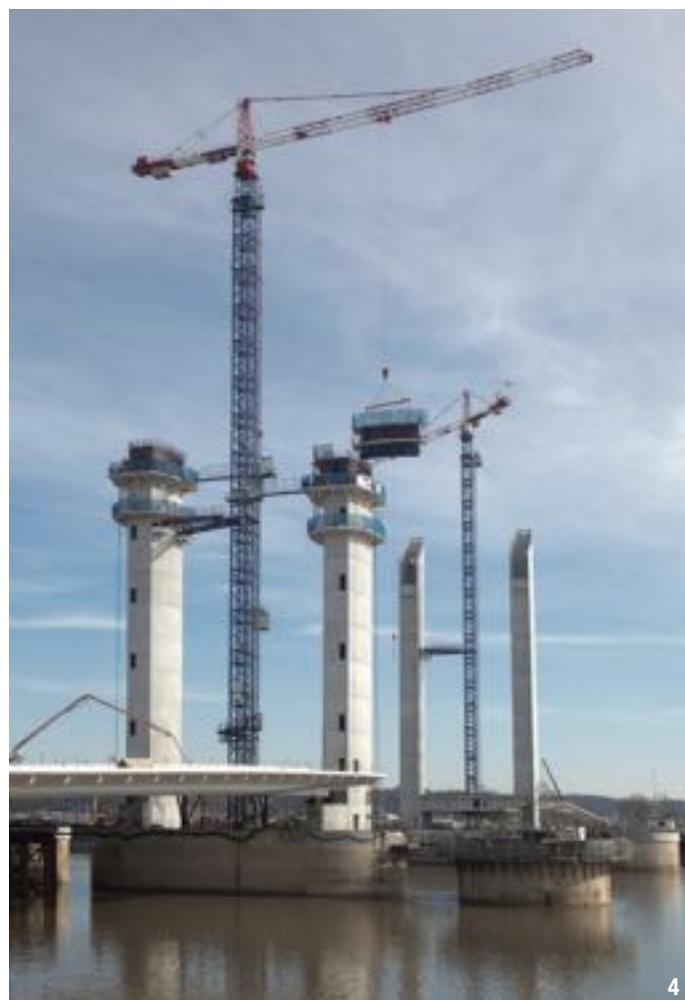
Pour les réaliser, les coffrages spécifiques assemblés sur site ont été amenés par la grue (une par rive) puis remplis de béton.

**3- Pose de la 1<sup>re</sup> partie (en rive droite) de la travée métallique.**

**4- Construction des pylônes.**

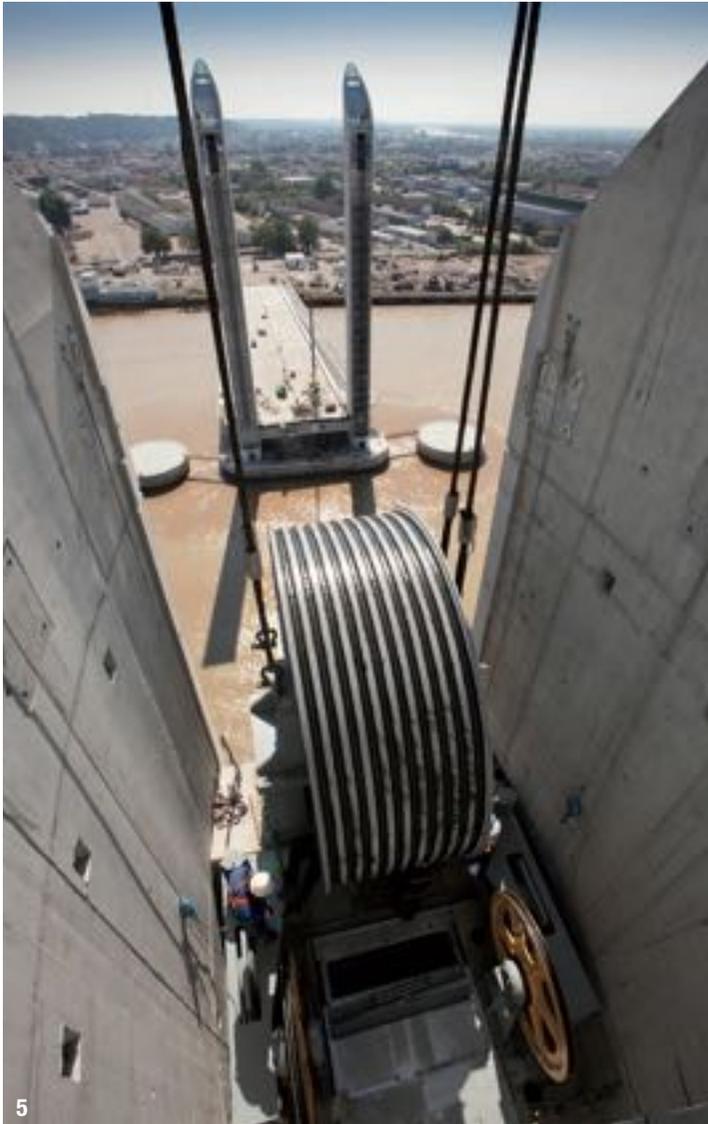
**3- Placing the first part of the steel span (on the right bank).**

**4- Construction of the pylons.**



4

© RICHARD NOURRY



5

© RICHARD NOURRY

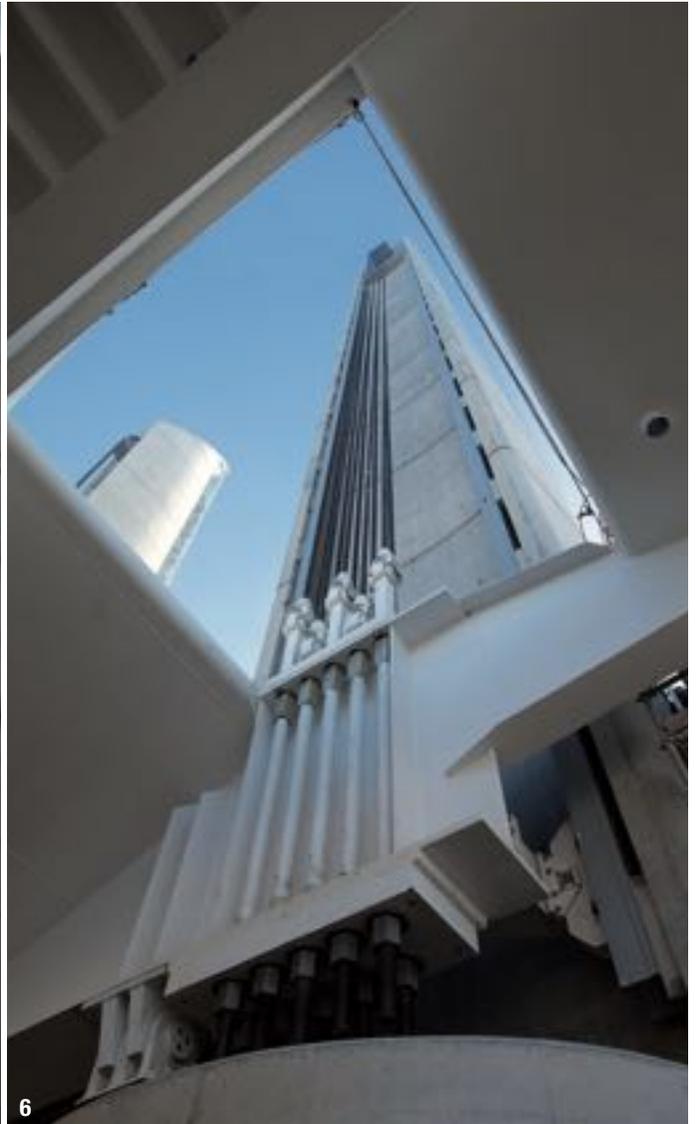
Les pylônes se sont ainsi élevés au rythme de 4 levées par semaine. Montées dans les embases auxquelles elles étaient solidarées, les grues ont atteint une hauteur maximale de 100 m. Une fois l'édification terminée, des verrières ont été positionnées à l'extérieur des pylônes, laissant apparaître les escaliers de secours et ajoutant à l'élégance de l'ouvrage (figure 4).

#### MÉCANISMES : COMME UN ASCENSEUR

Creux, ces quatre pylônes ont aussi la particularité d'abriter les ascenseurs d'accès ainsi que le système nécessaire au maniement de la travée. Ils fonctionnent comme un ascenseur, avec un système de 40 câbles de 2 tonnes chacun (10 par pylônes), 2 poulies de 5 m de diamètre et d'une masse de 54 tonnes chacune et 4 contrepoids affichant une masse totale de 2 500 t. 4 moteurs (dont 2 de secours) installés dans les embases

**5- Pose d'une poulie.**  
**6- Aux pieds des pylônes.**

**5- Installing a pulley.**  
**6- At the base of the pylons.**



6

© RICHARD NOURRY

permettent la mise en marche du système et assurent la levée de la travée centrale en 11 minutes. Les pylônes sont également équipés de dispositifs de guidage et de contrôle de longueur des câbles pour assurer le maintien horizontal de la travée lors des levées/descentes (figure 5). Toutes ces manœuvres sont contrôlées et dirigées depuis le poste de

commande construit sur la rive droite de la Garonne. 60 à 90 manœuvres (une montée + une descente) liées au passage des bateaux sont prévues par an (figure 6).

#### DU HAUT DE SES 53 m...

Après la pose de la travée levante le 23 octobre 2012 et l'installation des mécanismes, vient le temps des tests. Ils permettent de vérifier que l'ensemble répond à toutes les règles de sécurité et à des scénarios types liés à des incidents qui pourraient se produire lors des manœuvres. Un moment important pour les équipes du chantier en prévision de la réception de l'ouvrage. 1 m d'abord, puis 4, puis 10... Avant d'atteindre sa hauteur maximale, 53 m au-dessus de l'eau, la travée a été levée progressivement, par étape, afin de juger le comportement des moteurs, des câbles et de l'ensemble des systèmes qui activent et contrôlent le mécanisme.

#### CHIFFRES CLÉS

**LONGUEUR TOTALE DU TABLIER : 433 m (dont 117 m de travée centrale mobile)**

**POIDS DU TABLIER DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE (QUASI ÉQUIVALENT AU POIDS DE LA TOUR EIFFEL) : 6 100 t**

**HAUTEUR DE LA TRAVÉE EN POSITION HAUTE : 53 m**

**DURÉE DE LEVAGE OU DE DESCENTE : 11 minutes**

**BÉTON : 40 000 m<sup>3</sup>**

**COMPAGNONS : jusqu'à 150**



7 © RICHARD NOURRY

« 10 levées étaient obligatoires contractuellement » précise Jean-François Roubinet, directeur des grands projets pour GTM SO TP GC. Autre obligation, phase classique en fin de construction d'un ouvrage d'art : les tests de charge. Ils suivent une procédure précise (établie par les bureaux d'études) et sont nécessaires pour vérifier et confirmer la résistance et la déformation du pont. Quatre camions-toupies remplis de sable, ont ainsi circulé puis stationné sur la travée centrale. Les mécanismes ont ensuite été actionnés et la travée centrale levée avec une charge supplémentaire de 320 tonnes. Le 1<sup>er</sup> janvier 2013, le maître d'ouvrage du projet a choisi d'ouvrir exception-

nellement le pont Jacques Chaban-Delmas aux piétons. 38 000 personnes ont ainsi pu fouler le sol de ce nouvel ouvrage. Les automobilistes ont dû, quant à eux, patienter jusqu'à la mi-mars avant d'emprunter le 5<sup>e</sup> franchissement de la Garonne. □

**7- Vue du pont avec la travée levée.**

**7- View of the bridge with the span raised.**

## FICHE D'IDENTITÉ

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Communauté urbaine de Bordeaux

**GROUPEMENT CONCEPTION-CONSTRUCTION :** GTM Sud-Ouest TP GC (mandataire), GTM Sud, VINCI Construction Grands Projets, Cimolai, EGIS-JMI, Lavigne et Chéron Architectes, Michel Virlogeux, Hardesty & Hanover

**MONTANT :** 156 M € TTC

**CALENDRIER :** 51 mois (18 mois d'études + 33 mois de travaux) : livraison printemps 2013

**AUTRES ENTREPRISES DU GROUPE VINCI INTERVENANT**

**SUR LE PROJET :** DODIN CAMPENON BERNARD, BOTTE Fondations, DEME, SOLETANCHE-BACHY, GTM Sud-Ouest Bâtiment, COFEX Littoral, MOTER, EUROVIA, SANTERNE, AXIANS, CITEOS

### ABSTRACT

#### AT THE GATES OF BORDEAUX, A BRIDGE RISES

ALAIN DENAT, VINCI - ALAIN FRBEZAR, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS ROUBINET, GTM SUD-OUEST TP GC - JULIE SIMON, VINCI

**The Design and Build project for the Jacques Chaban-Delmas Bridge was managed by GTM Sud-Ouest TP GC, a subsidiary of VINCI Construction France. This bridge links the Bordeaux districts of Bacalan (left bank) and Bastide (right bank). It will be open to traffic in the spring of 2013.**

**This project, offering 4 motor car lanes, 2 lanes reserved for buses and 2 foot bridges for pedestrians and cyclists, required slightly more than three years' work. A feature of the bridge is its lift span carried by four pylons rising to a height of 75 m. At a rate of 60 to 90 operations per year, the span will rise up to 53 m above the water to allow the passage of liners and masted vessels going back up Gironde estuary to the Port de la Lune in Bordeaux.** □

#### A LAS PUERTAS DE BURDEOS, SE LEVANTA UN PUENTE

ALAIN DENAT, VINCI - ALAIN FRBEZAR, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS ROUBINET, GTM SUD-OUEST TP GC - JULIE SIMON, VINCI

**El diseño y construcción del puente Jacques Chaban-Delmas ha sido dirigido por GTM Sud-Ouest TP GC, filial de VINCI Construction Francia. Este puente comunica los barrios de Burdeos Bacalan (orilla sur) y Bastide (orilla derecha). Se abrirá a la circulación en la primavera de 2013. Para la realización de este proyecto, de 4 carriles de circulación automóvil, 2 carriles reservados para el autobús y 2 pasarelas para peatones y ciclistas, habrán sido necesarios un poco más de 3 años de obras. La estructura se caracteriza por su tramo levadizo sostenido por 4 pilones que se elevan a 75 m. A razón de 60-90 operarios al año, el tramo se elevará hasta 53 m por encima del nivel de agua para permitir la circulación de los paquebotes y de los barcos con mástiles que remontan el estuario de Gironde hasta el Puerto de la Luna en Burdeos.** □

# MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ :

EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr

## MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

## MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

## MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

## MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

## MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

## MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ELÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

## MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDEUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDEUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDEUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

## MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

## MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

## MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

## BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

## MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

## MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION

- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

## MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

## MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÈSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE

# RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

## MATERIEL DE TERRASSEMENT



Ammann France - ZI Les Petites Haies  
31/33, rue de Valenton - 94046 Cretail Cedex  
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90  
Email : info@ammann-group.com  
[www.ammann-group.com](http://www.ammann-group.com)



BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT  
N°1 Technicien  
**Numéro Indigo**  
0 825 08 43 81



FRANCE  
PLUS DE 350 Machines et  
700 Équipements en TP, PL,  
Lévage et Manutention  
T : 00 33 10 3 23 04 00 68  
F : 00 33 10 3 23 68 33 80  
Mail : sodineg@wanadoo.fr  
DEPOTS 02 ET 74

### ■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

**BOBCAT EUROPE**  
J. Huysmanslaan 59 B  
1651 Lot - Belgique  
Tél. 00 32 2 371 68 11  
Fax 00 32 2 371 69 00

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ MINI-PELLE

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT

**ONE - TP.COM**  
1 Place du 8 Mai 1945  
60119 Neuville Bosc  
Tél. 01 30 37 06 26  
Fax 01 34 40 01 44

### MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

### ■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

**ATLAS COPCO FORAGE  
ET DÉMOLITION SA**  
ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Éguillette  
BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

### ■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LOADER)

**VOLVO  
CONSTRUCTION EQUIPMENT -  
EUROPE SAS**  
37, avenue Georges Politzer - BP 117  
78192 Trappes Cedex  
Tél. 01 30 69 28 28  
Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

## MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION



**Coffrages et Etaisements**  
**PERI S.A.S.**  
Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière  
77109 Meaux cedex  
Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50  
peri.sas@peri.fr  
[www.peri.fr](http://www.peri.fr)

## MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES



Ammann France - ZI Les Petites Haies  
31/33, rue de Valenton - 94046 Cretail Cedex  
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90  
Email : info@ammann-group.com  
[www.ammann-group.com](http://www.ammann-group.com)



2, avenue du Général de Gaulle  
91170 VIRY CHATILLON  
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60  
[www.bomag.com](http://www.bomag.com)



**WIRTGEN FRANCE**  
**WIRTGEN**  
Fraiseuses sur roues et sur chenilles  
Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol  
Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface  
Outils au carbure Betek/Sitek  
**VÖGELE**  
Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs  
**HAMM**  
Rouleaux tandem vibrants  
Compacteurs à pneus  
Compacteurs monocylindre vibrants  
**KLEEMANN**  
Installations de concassage mobiles et fixes / cribles  
Distributeur exclusif pour la France des épandeurs  
de liants pulvérulents  
**STREUMASTER série SW**  
**WIRTGEN FRANCE**  
BP 31633 - 7, rue Marc Seguin  
95696 Goussainville Cedex  
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49  
E-mail : [contact@wirtgen.fr](mailto:contact@wirtgen.fr)  
[www.wirtgen.fr](http://www.wirtgen.fr)

## METALLIANCE

ZI de la Saule - BP 111  
71304 Montceau Cedex  
Tél. 03 85 57 01 34  
Fax 03 85 57 88 73

### ■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

## RABAUD

Bellevue - 85110 Sainte-Cécile  
Tél. : 02 51 48 51 58  
Fax 02 51 40 22 97  
[www.rabaud.com](http://www.rabaud.com)  
[info@rabaud.com](mailto:info@rabaud.com)

## MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

### ■ TRAVAUX SOUTERRAINS



**AUSCULTATIONS  
Automatiques**  
Tél. 01 41 42 06 30  
Fax 01 41 42 06 31  
[www.miretopo.com](http://www.miretopo.com)

### ■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE



Bureau d'Etude  
Bathymétrie - Topographie  
Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages  
Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27  
[www.bathys.fr](http://www.bathys.fr) - [contact@bathys.fr](mailto:contact@bathys.fr)

CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.

## MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE



**Concassage, broyage, criblage, manutention**

Matériels et installations fixes et mobiles  
Installations de recyclage  
Transporteurs et accessoires  
Pièces d'usure et de rechange  
Produits anti-usure, blindages, capotages  
Pompes  
*(Nordberg-Svedala-Trellex-Lindemann)*

**Metso Minerals (France)**  
41, rue de la République - 71009 Milon Cedex  
Tél. : 03 85 39 62 00 - Fax : 03 85 39 63 49  
www.metso.com

## POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE

### SOTRES

Parc Européen des entreprises  
BP 80072 - Rue Richard Wagner  
63200 RIOM  
Tél. 04 73 15 36 00  
Fax 04 73 15 36 20

## INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE

### GRAVEL

1 Chemin de Villers à Combault  
94420 Le Plessis Trevisse  
Tél. 01 45 94 59 53  
Fax 01 45 94 59 83

## MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

## PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE

### LEDUC T.P

1, rue de Folenrue  
27202 VERNON cedex  
Tél. 02 32 51 74 97  
Fax 02 32 51 57 18

## MATERIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION



**www.g-octopus.com**  
Tél. : +33 01 47 32 48 30

## DÉSABLEUR DE BOUES

### SOTRES

Parc Européen des entreprises  
BP 80072 - Rue Richard Wagner  
63200 RIOM  
Tél. 04 73 15 36 00  
Fax 04 73 15 36 20

## SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

## ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

## POMPES À BOUES

## ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

## PRESSE D'INJECTION

## ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

## MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS



**MARAIS CONTRACTING SERVICES**  
1, rue Pierre et Marie Curie  
49430 DURTAL  
Tél. : 02 41 96 16 99 - Fax : 02 41 96 16 99  
Email : info@samarais.com - Web : www.samarais.com

## TRANCHEUSE

## MARAI CONTRACTING SERVICES

1, rue Pierre et Marie Curie  
ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20  
49430 DURTAL  
Tél. 02 41 96 16 90  
Fax 02 41 96 16 99

## MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS



**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION S.A.S.**  
Z.I. du Vert Galant - 2, avenue de l'Eguillette  
B.P. 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise cedex

Tél. : 33 (0) 1 39 09 32 22  
Fax : 33 (0) 1 39 09 32 49  
www.atlascopco.fr



ZA Ecoles 4020 MONTREUIL-SUR-LOIRE  
Tél. : 03 21 99 42 40 - Fax : 03 21 99 42 41  
E-mail : ducrocq.industrie@wanadoo.fr  
Site Internet : www.ducrocq.ingenierie-process.com

## METALLIANCE

ZI de la Saule  
BP 111  
71304 Montceau Cedex  
Tél. 03 85 57 01 34  
Fax 03 85 57 88 73

## BERLINE

### PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945  
95340 Persan  
Tél. 01 39 37 45 45  
Fax 01 39 37 45 44  
www.patry.fr

## TECHNICRIBLE

Zone industrielle  
81150 LAGRAVE  
Tél. 05 63 81 41 57  
Fax 05 63 81 41 56

## LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE

### PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945  
95340 Persan  
Tél. 01 39 37 45 45  
Fax 01 39 37 45 44  
www.patry.fr

## MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)

## METALLIANCE

ZI de la Saule  
BP 111  
71304 Montceau Cedex  
Tél. 03 85 57 01 34  
Fax 03 85 57 88 73

## ENGIN DE BOULONNAGE

## ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette  
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

## ENGIN DE FORATION

## ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette  
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

## MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE



**Lhoist France**  
Une société du Groupe Lhoist  
105, Rue de l'Éclat - 77000 Paris Cedex 07  
Tél. : +33 (0)1 52 45 20 00 - Fax : +33 (0)1 52 45 80 14  
www.lhoist.com

## BUREAU ETUDES



**Rincenat BTP**  
25 agences en France  
www.rincenatbtp.fr  
Tél. +33 (1) 60 87 21 25  
direction.technique@rincenatbtp.fr



**CATHIE ASSOCIATES**  
www.cathie-associates.com  
Tél. : +33 1 47 32 48 30

## MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

### SDMO INDUSTRIE

12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241  
29272 Brest cedex  
Tél. 02 98 41 41 41  
Fax 02 98 41 13 10

Mon assurance-vie à la SMAvie BTP

En 2013, la SMAvie BTP a...

**80**  
ans  
C'EST  
RASSURANT!

Bâtis-moi  
une assurance-vie solide



Depuis 80 ans, nous vous accompagnons dans vos projets tout au long de votre vie.

Société d'assurance mutuelle, la SMAvie BTP vous permet de vous constituer une épargne solide et durable. Avec le contrat **BATIRETRAITE MultiCompte**, vous bénéficiez de performances parmi les meilleures et les plus sûres du marché. La SMAvie BTP est ouverte à tous. Vous pouvez vous aussi en devenir sociétaire. Parlez-en avec nos conseillers. Ils sont à votre écoute pour vous aider à construire et sécuriser votre patrimoine.

**Vous nous faites confiance depuis 80 ans...** parce qu'il est rassurant de confier son épargne à un assureur reconnu pour sa solidité financière !

Pour découvrir l'offre de la SMAvie BTP  
prenez rendez-vous avec un conseiller :

- par téléphone : 01 40 59 73 00
- ou sur [smabtp.fr](http://smabtp.fr)

**BATIRETRAITE MULTICOMPTE :**

**3,21%\***  
en 2012

**5,36%\*\***  
en 2012

pour une épargne investie  
à 85% sur le support en euros  
et à 15% sur l'unité de compte  
**BATI ACTIONS INVESTISSEMENT**

  
**SMAVIE BTP**  
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

\* Taux de rendement du support en euros de BATIRETRAITE MultiCompte, après application des frais de gestion et avant prélèvements sociaux.

\*\* Après application des frais de gestion et avant prélèvements sociaux, le capital est garanti uniquement sur les contrats et supports en euros.

Les performances passées ne préjugent pas des rendements futurs.

**SOCIÉTÉ MUTUELLE D'ASSURANCE SUR LA VIE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS**

Société d'assurance mutuelle à cotisations fixes - Entreprise régie par le code des assurances - 175 584 772 rs Paris - 84 Avenue Emile Zola - 75739 Paris cedex 15

Document publicitaire. Seule la notice d'information a valeur de contrat. Photographie : G. gooduz - Fotokaz.com, Illustration : Philippe Baret