

OUVRAGES D'ART. VIADUC METRO DE RENNES METROPOLE. LGV CNM : DEUX VIADUCS TRES BIAIS. VIADUC DE HOCHMOSEL EN ALLEMAGNE. PONT DE LA KAMORO A MADAGASCAR. VIADUCS D'ACCES AU PONT EIFFEL SUR LA DORDOGNE. PONT DE BUTHAUMONT SUR L'ORNE. VIADUC DE KINTELE AU CONGO. OUVRAGES EN SOL RENFORCE TERRAMESH® SYSTEM EN CORSE. CHAO PHRAYA RIVER CROSSING BRIDGE A BANGKOK. OUVRAGES TERRE ARMEE® SOUS LA LGV SEA. PASSERELLE DE L'ILE SEGUIN

N°932 AVRIL/MAI 2017



VIADUC DU MÉTRO
DE RENNES MÉTRO-
POLE - PILE EN X
© YVES CHANOIT

Vivre le progrès.



Des machines spécifiques pour des espaces restreints

Liebherr propose des machines adaptées aux utilisations dans les espaces réduits. Il s'agit d'une gamme spécifique de pelles sur chenilles et sur pneus, de chargeuses sur pneus, de bouteurs et de chariots télescopiques qui correspond à vos besoins. Aux dimensions réduites, ces machines n'en restent pas moins performantes et efficaces en application.

Liebherr-France SAS
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287
68005 Colmar Cedex
Tel. : +33 3 89 21 30 30
E-mail : info.fr@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.com

LIEBHERR

Directeur de la publication
Bruno Cavagné**Directeur délégué**
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03
morgenthalerm@fnfp.fr**Comité de rédaction**

Sami Bounatirou (Bouygues tp), Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage tp), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro**Rédaction**
Monique Trancart, Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**
Com et Com**Service Abonnement TRAVAUX**
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.frFrance (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité****Rive Média**
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr**Directeurs de clientèle**
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.frCarine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr**Site internet : www.revue-travaux.com****Édition déléguée****Com'1 évidence**
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@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°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

OÙ EN EST LE GÉNIE CIVIL FRANÇAIS ?



© WILLIAM JAPHET

Il est de tradition que la Revue Travaux publie, chaque année, un numéro consacré aux ouvrages d'art. Et, comme d'habitude, ce numéro met en évidence un certain nombre de brillantes réalisations. Mais elles restent d'un niveau modeste quand on les compare à ce qui se construit aujourd'hui dans le monde. Et les derniers bilans font apparaître un net recul des positions françaises à l'international.

Nous devons nous interroger sur les raisons de ce recul. Comment se fait-il qu'ayant construit des ouvrages spectaculaires depuis 20 ou 30 ans, comme le Pont de Normandie, le Pont de la Confédération au Canada, le Pont de Rion-Antirion et le Viaduc de Millau, qui ont contribué à la réputation de nos entreprises et de nos bureaux d'études, nous soyons aussi absents des grands projets internationaux ?

Bien sûr il y a le niveau des coûts et les contraintes fiscales-sociales. Il est difficile de lutter, sur le plan économique, contre des entreprises chinoises qui viennent en Afrique avec leur main d'œuvre, ou même sud-coréennes, indiennes peut-être demain. Mais il y a d'autres raisons.

C'est d'abord la faiblesse de notre marché intérieur. Parce que nous n'avons certainement plus besoin de construire autant qu'il y a trente ou quarante ans quand il fallait développer le réseau autoroutier et les lignes de trains à grande vitesse. Mais aussi parce que nous n'avons plus de politique technique, comme celle qu'impulsaient les Directeurs des Routes des années soixante-dix et quatre-vingt, Michel Fève et Jean Berthier. L'énarchisation forcée de l'administration et la disparition du ministère de l'équipement ne permettent plus de favoriser l'innovation, la qualité et l'architecture.

Sans oublier que les collectivités locales ne lancent plus aujourd'hui que des concours de conception "architecturale" où l'image prime sur le fond et la structure.

Des réussites comme le pont Jacques Chaban Delmas sont des exceptions. Et les grandes concessions, qui permettent des réalisations majeures à une époque où l'État n'a plus d'argent, n'ont guère favorisé l'innovation.

Or à l'étranger nous ne pouvons gagner qu'en étant en avance sur nos concurrents. Nous avons des groupes d'entreprises puissants, dont les moyens financiers leur permettent de se lancer dans de grandes opérations, mais il faut bien constater que les ouvrages les plus spectaculaires leur échappent.

Cela vient en partie de la faiblesse de l'ingénierie française. C'est une conséquence de notre histoire et de la prééminence qu'avait en France l'administration des ponts et chaussées. La disparition du ministère de l'équipement n'a pas permis l'émergence d'une ingénierie privée : le poids des règles juridico-administratives, l'absence de contrats globaux d'ingénierie, de l'étude préliminaire au contrôle des travaux, n'ont pas permis la création d'une ingénierie puissante.

Les ingénieries anglo-saxonnes occupent le terrain, en particulier dans l'ancien empire britannique, avec des bureaux locaux de centaines, voire de milliers d'employés. Ils connaissent les administrations locales ; traitent les affaires courantes ; savent avant tout le monde quels projets vont sortir.

Ce n'est pas par hasard que des entreprises comme Soletanche Bachy et Freyssinet, ou VSL, s'en tirent beaucoup mieux que les autres : elles ont des filiales sur place partout dans le monde, depuis des dizaines d'années, et sont intégrées dans le milieu local.

Notre profession a besoin d'une ingénierie forte et bien implantée, il faut pour cela valoriser la carrière des techniciens, en commençant par investir dans la formation des ingénieurs.

Aujourd'hui les ingénieurs du *baby boom* d'après guerre partent ou sont partis à la retraite sans avoir été vraiment remplacés ; les plus brillants ingénieurs des générations suivantes quittent rapidement la technique pour prendre des postes de direction, dans la finance et le management, plus attractifs et bien mieux rémunérés.

Nous ne retrouverons une meilleure place dans le classement mondial qu'en nous appuyant sur la technique, en formant et en valorisant des ingénieurs capables de gagner des affaires par leur compétence, leur créativité et leur réputation.

MICHEL VIRLOGEUX
INGÉNIEUR CONSULTANT INDÉPENDANT

OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

OUVRAGE TERRE ARMÉE - SOUS LA LGV SEA TOURS BORDEAUX © PHOTO THÉOQUE TERRE ARMÉE



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC
GILLES CAUSSE**

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS :
CONSTRUIRE POUR LA DURÉE SUR
LES CINQ CONTINENTS

**26 ETIC : DES ÉQUIPEMENTS DE L'OMBRE
MAIS INDISPENSABLES**



34

**LE VIADUC DU MÉTRO
DE RENNES MÉTROPOLE**

Appuis et préfabrication
des voussoirs



40

LGV CNM

Deux viaducs (RN113 et A54)
très biaux



50

**LE VIADUC
DE HOCHMOSEL**

En Allemagne



57

**CONSTRUCTION
DU PONT DE LA KAMORO**

sur la RN4 à Madagascar



64

**RÉHABILITATION
DES VIADUCS D'ACCÈS
AU PONT EIFFEL**

sur la Dordogne
à Cubzac-les-Ponts



70

**LE PONT
DE BUTHAUMONT**

sur l'Orne à Boncourt



76

**VIADUC DE KINTÉLÉ
AU CONGO BRAZZAVILLE**

Construction d'un viaduc de près
de 7 kilomètres en un an et demi



82

**OUVRAGES
EN SOL RENFORCÉ
TERRAMESH® SYSTEM**

sur l'échangeur E1 de la liaison
Bastia - Furiani - (2B)



88

**CHAO PHRAYA RIVER
CROSSING BRIDGE**

à Bangkok



94

**LES OUVRAGES
TERRE ARMÉE®**

sous la ligne ferroviaire
à grande vitesse du projet
SEA Tours Bordeaux



102

**PASSERELLE
DE L'ÎLE SEGUIN**

Un lien vers la Musique
sur un ancien site industriel



PASTICHE SUR LA KAMORO UN DESSIN BIEN INSPIRÉ

EIFFAGE GÉNIE CIVIL a réalisé à Madagascar un parfait pastiche. Le pastiche est un exercice artistique ou architectural qui consiste à reproduire l'ancien. Son acception est positive lorsqu'il est assumé et revendiqué, ce qui est le cas. Le nouveau pont conçu par le groupement Spea Ingenieria Europa S.P.A - Luxconsult est implanté juste à côté de celui de 1932. Les deux ouvrages présentent des profils quasiment superposables. Il va sans dire que le neuf bénéficie de toutes les technologies modernes et offre le niveau de service adapté. L'ancien a été réhabilité et continue sa carrière, bientôt centenaire.

(Voir article page 57).





IL N'Y A PAS QUE LE BÉTON DANS LA VIE

MACCAFERRI, appliquant les procédés brevetés qu'il exploite, a réalisé, sur un échangeur à Furiani construit par Corse Travaux, des remblai renforcés à parement minéral pour soutenir les rampes et les culées de tous les ouvrages, y compris le terre-plein central autour duquel le giratoire est implanté. C'est une belle démonstration de technique alternative en sol renforcé. Pour la partie visible, le résultat est en rupture avec l'aspect souvent ingrat des échangeurs traditionnels. Les formes géométriques courbes et les pierres en parement sont du meilleur effet. (Voir article page 82).



© FRANCE MACCAFERRI

DEUX OUVRAGES MÉTALLIQUES EN PARALLÈLE



La passerelle ouvre après le pont, au printemps 2018, avec la placette Saussure.

© MARC MIMRAM

Le plus gros est fait pour la construction du pont et de la passerelle au-dessus des voies ferrées, au nord-ouest de la gare Saint-Lazare à Paris 17^e.

À cet endroit, les deux ouvrages, distants de 120 m, relient le nord-est de la Zac Paris Batignolles au sud-ouest.

Le pont routier, cyclable et piéton, ouvre à l'automne 2017, et la passerelle, piétonne et cyclable, au printemps 2018, après aménagement de la placette Saussure à son extrémité sud-ouest.

Ces liaisons ont été mises en place le week-end des 13 et 14 août 2016. L'obligation d'interrompre le moins longtemps possible le trafic de trains et à une date impérative, a fortement contraint l'organisation du chantier.

→ Deux jours de lancement

Le lancement simultané des 2 tabliers a commencé le samedi 13 août, les voies étant progressivement fermées. Le trafic a été complètement interrompu

pendant douze heures, le dimanche 14. Le pont - tablier mixte et piles métalliques - et la passerelle - tablier métal, piles béton - ont été assemblés sur un terrain mis à disposition du chantier, en bordure du parc Martin Luther King⁽¹⁾. Les deux piles du premier reposent sur les quais de la gare du Pont Cardinet. Les deux de la seconde ont trouvé place sur l'emplacement de voies déposées. Des palées provisoires (tours métalliques) ont été installées sur l'aire de chantier et autour des piles pour soutenir les tabliers lors du lancement.

La dalle qui couvre plusieurs voies, côté nord-est, a dû être renforcée pour encaisser les tensions de cette opération. Une fois en place, les tabliers ont été déverinés sur les piles et les culées.

→ Poutre de Vierendeel

Le pont de 125 m de long et 16-17,50 m de large, s'appuie sur des piles en V⁽²⁾. La partie métallique de son tablier pèse

1 135 tonnes. La voie circulée mesure 6,40 m y compris la piste cyclable. Les trottoirs sont larges de façon à accueillir

les descentes vers la future station Pont Cardinet (prolongement de la ligne de métro 14).

La passerelle, de 116 m de long sur 6-9 m de large, a une structure en poutre de Vierendeel (maillage rectangulaire). Elle pèse 360 tonnes.

Les fondations des piles ont été réalisées en micropieux.

En effet, il n'était pas possible d'utiliser de grosses machines au milieu des rails. ■

⁽¹⁾ Construiracria a organisé une visite du chantier, le 14 octobre 2016.

⁽²⁾ Conception du pont, cf. *Travaux* n°929, décembre 2016, pp 44-49.

2 OUVRAGES, 2 GROUPEMENTS

La direction de la voirie et des déplacements de Paris a attribué les marchés du pont et de la passerelle de franchissement des voies ferrées à Paris 17^e (cf. ci-contre) à deux groupements différents.

PONT

- Wilkinson Eyre Architects, Arcadis.
- NGE Génie Civil (mandataire), Baudin Châteauneuf (charpente métallique) ; GTS (fondations).
- 12,1 millions d'euros TTC.

PASSERELLE

- Marc Mimram Architecte, Marc Mimram Ingénierie.
- GTM TP IDF (mandataire génie civil) et Sogea TP ; Victor Buyck Steel Construction (charpente métallique) ; Soletanche Bachy (fondations).
- 7,5 millions d'euros TTC.

RÉAMÉNAGEMENT D'UN VIADUC

Le viaduc de Guerville, situé sur l'A13 à l'est de Mantes-la-Jolie (Yvelines), face au site EDF de Porcheville, a besoin d'être rénové. Depuis les années 1960, il enjambe des voies ferrées et la RD 113. Certains travaux qui nécessitent l'arrêt du trafic ferroviaire, se calent sur ceux du prolongement de la ligne de RER Éole par SNCF Réseau.

Chaque jour, 120 000 véhicules empruntent ce tronçon de l'A13. L'ouvrage comporte deux tabliers à trois voies, sans bandes d'arrêt d'urgence.

La Société des autoroutes Paris Normandie (SAPN), concessionnaire, a donc décidé, en accord avec l'État, de construire un 3^e tablier de 360 m en viaduc plus 370 m sur mur de soutènement.

Il servira à dévier la circulation pendant les travaux d'un tablier puis de l'autre. À terme, il recevra le trafic routier Caen-Paris. Ce sens souffre, actuellement, d'un manque de sécurité dû à une pente plus accentuée de ce côté et à la géométrie particulière de l'ouvrage.

La pente, adoucie avec le nouvel ouvrage à 4 %, génère un effet d'entraînement à combattre lors du lancement du tablier, en descente. La charpente métallique sera retenue par un système de balançoires à butées latérales guidant le positionnement sur les piles.

Le lançage aura lieu en trois fois : 160 m en décembre 2017, 140 m à Pâques 2018 et, enfin, 60 m en juillet. Le nouveau viaduc sera mis en service en



L'autoroute A13, à cette hauteur dans les Yvelines, ne dispose pas de bandes d'arrêt d'urgence.

© SANEF

février 2020, après quoi aura lieu la rénovation de l'existant jusqu'en 2021.

→ Poids lourds et véhicules légers séparés

Le sens Paris-Caen occupera alors les deux tabliers refaits, l'un sera réservé aux poids lourds, l'autre aux automobiles, chacun avec bande d'arrêt d'urgence. L'ouvrage fait partie du plan de relance

autoroutier de l'État (2015). Il coûte 47 millions d'euros HT réglés par la SAPN qui, en contrepartie, voit sa concession allongée de trois ans et huit mois.

Maître d'œuvre : Arcadis (groupement) ; entreprises : Bouygues Travaux Publics, Victor Buyck Steel Construction (charpente métallique) ; Colas. ■

COMPLÉMENTARITÉ ENTRE NUCLÉAIRE ET ÉNERGIES RENOUVELABLES INTERMITTENTES



© EDF

Vue d'un des trois dômes de la centrale nucléaire EPR de Flamanville (Manche) dont le démarrage est envisagé fin 2018.

Une section Nucléaire et énergies renouvelables vient de se créer au sein de la Société française d'énergie nucléaire (Sfen). La conférence "Nucléaire et EnR : des technologies complémentaires pour la transition énergétique" en était l'élément fondateur, le 8 mars à Paris⁽¹⁾.

« Les énergies renouvelables ont besoin du nucléaire mais quels besoins a la France des EnR intermittentes ? » a interrogé un auditeur, à propos du solaire photovoltaïque et de l'éolien. « La société a choisi de développer les énergies renouvelables, face à cela nous devons maintenir la rentabilité du nucléaire, » a répondu Stéphane Feutry d'EDF, qui supervise la production du parc nucléaire. « Le monde aura besoin de toutes les énergies bas carbone, y compris l'énergie nucléaire, pour lutter contre le changement climatique, » écrit la Sfen. « Il s'agit de remplacer le gaz pour le chauffage et le pétrole pour le transport par de l'électricité, » a précisé Franck Carré, directeur scientifique, direction nucléaire du CEA. Au niveau mondial, la puissance nucléaire installée devrait passer de 370 GWe en 2020 à 930 en 2050, selon l'Agence internationale de l'énergie.

→ **Réacteurs à puissance modulable**
La Sfen a, toutefois, rappelé que la priorité, en France, était d'économiser l'énergie et d'accroître l'efficacité des systèmes.

Dorénavant, presque toutes les centrales nucléaires peuvent réduire leur produc-

tion de 100% à 20%, grâce à quoi elles s'adaptent à l'apport irrégulier de kilowattheures photovoltaïques et éoliens. Actuellement, l'électricité renouvelable a priorité sur le réseau.

Un réacteur nucléaire peut supporter deux baisses de puissance par jour. Il le fait en trente minutes⁽²⁾. Aujourd'hui, la production d'électricité renouvelable entraîne, en moyenne, une baisse par jour. Il reste de la marge si celle-ci montait en puissance, à 32% de l'électricité produite en 2030 (loi de transition énergétique). « Les variations de pression et de température pourraient générer une certaine érosion du réseau secondaire, sans menacer la sûreté, a informé Stéphane Feutry. Il vaut mieux exporter l'excédent que diminuer la production, ce en quoi nous aident les interconnexions entre pays. »

→ **Étude de perception**

L'innovation s'attache à abaisser le coût du nucléaire qui, jusqu'à présent, a eu tendance à augmenter alors que celui des énergies renouvelables baissait.

La recherche et le développement portent sur une meilleure maîtrise du vieillissement des réacteurs, la sûreté et la compétitivité. La tendance actuelle des chantiers à s'éterniser et les taux d'emprunt élevés à cause des risques, grèvent les coûts.

L'accroissement de la compétitivité du nucléaire passe aussi par sa transformation numérique, thème de la convention annuelle de la Sfen du 30 mars. De plus,

le secteur doit se pencher sur son acceptabilité par la population. C'est pourquoi la Sfen a lancé une étude sociologique sur le sujet.

Évitant la compétition frontale entre nucléaire et EnR, l'organisation qui rassemble 4000 personnes, estime que la simple comparaison des coûts technologiques ne permet pas de cerner les avantages et inconvénients de chaque secteur. « Il faut raisonner sur des scénarios d'évolution de mix énergétique dans une analyse dynamique des systèmes électriques, sur une base multicritère, écrit la Sfen. (...) Les résultats des études récentes sont contrastés et il est encore trop tôt pour dégager les bases d'un consensus. »

→ **Stocker l'électricité**

Du côté des renouvelables, sauf à recourir à du stockage d'électricité, l'éolien et le solaire photovoltaïque impliquent d'être raccordés au réseau pour éviter la coupure. Selon la Sfen, un fort pourcentage de ces énergies dans la production/consommation ne changerait rien à cette nécessité. La régulation de ces 2 énergies renouvelables est envisagée, par exemple en écrétant leur production, quand il y a trop d'électricité disponible.

En savoir plus sur www.sfen.org. ■

⁽¹⁾ Cf. dossier de la *Revue générale nucléaire*, janvier-février 2017, Sfen.

⁽²⁾ La puissance remonte en une demi-heure mais après un palier de deux heures.

IMPACTS DES INFRASTRUCTURES

Les lauréats du concours et appel à projets sur les effets - écologique, socio-économique, paysager, juridique et patrimonial - des infrastructures, seront connus fin juin.

L'appel baptisé "Fonctionnalités écologiques et territoriales des infrastructures linéaires de transport et de leurs emprises" émane du programme de recherche Ittecop.

Concours et appel se placent dans la dynamique de la conférence Iene - Intégrer les infrastructures de transport au sein des territoires vivants - de Lyon, en septembre 2016.



© ASF

Abri pour chauve-souris sur l'autoroute A89, Bordeaux-Lyon (ASF, 2011).

FIN DE CONCESSION

L'exploitation de la ligne à grande vitesse Perpignan-Figueras (Espagne) a été confiée, fin décembre, à Linea Figueras Perpignan, filiale de SNCF Réseau et d'Adif (infrastructures ferroviaires espagnoles).

TP Ferro Concesionaria qui avait obtenu la concession pour cinquante ans, en 2004, a été mise sous administration judiciaire, suite aux difficultés liées à sa surestimation du trafic sur cette section de 44,4 km. La ligne assure une connexion à écartement de rails au standard européen, pour du fret et des trains voyageurs.

DEUX QUALIFICATIONS SITES ET SOLS POLLUÉS

Deux nouvelles qualifications sites et sols pollués figurent dans la nomenclature de l'OPQIBI, organisme de qualification de l'ingénierie : l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la gestion de ces sites et l'ingénierie des installations de traitement des nappes et des sols. De plus, la qualification existante "08.04 : étude de la pollution des nappes et des sols" a été modifiée. Ces évolutions correspondent à celles de la norme NF X31-620. Elles ont été conçues avec l'Union des consultants et ingénieurs en environnement.

MINI RÉSEAU URBAIN

Un réseau de chaleur de 500 m est en cours d'implantation dans le quartier logistique Chapelle international (2020), à Paris 18^e, bâti sur d'anciens terrains SNCF. Il sera alimenté par la chaleur dégagée par un centre de données logé dans l'hôtel logistique multimodal Sogaris, en chantier sur le site, et par du biogaz, portant à 50 % les sources d'énergies renouvelables de ce réseau.

À sa mise en service, le data center fournira 10 % de la chaleur et ce taux montera avec l'arrivée d'autres serveurs. Des pompes à chaleur sur boucle d'eau apporteront le niveau de température souhaitée.

Montant : 2,4 millions d'euros financés par Espaces ferroviaires, filiale de la SNCF, et la Compagnie parisienne de chauffage urbain.

UNE AUTORISATION AU LIEU DE 13

Depuis le 1^{er} mars, les autorisations administratives pour l'implantation d'énergies renouvelables - parfois jusqu'à 13 - sont regroupées en une seule, suite à la parution au Journal officiel d'une ordonnance et de deux décrets le 26 janvier. Ces autorisations uniques étaient, depuis 2014, expérimentées dans l'éolien, la méthanisation et l'hydroélectricité. Ce regroupement s'applique à toutes les installations relevant du régime de la loi sur l'eau ou des installations classées pour la protection de l'environnement.

MONTPELLIER : LE RÉSEAU DE CHAUFFAGE URBAIN SE MET AU FROID



La clinique Saint-Roch abrite une machine à absorption qui produit du froid à partir de la chaleur du réseau.

Climatiser à partir de chaleur récupérée est une solution qui évite l'emploi de fluides frigorigènes, contributeurs de l'effet de serre. Le ministère de l'Écologie l'encourage dans ses appels à projets sur la climatisation et le froid du futur⁽¹⁾.

La Société d'équipement de la région de Montpellier (Serm) a installé une machine qui produit du froid à partir d'eau chaude, à la clinique Saint-Roch, dans le nouveau quartier des Grisettes. Le concessionnaire du réseau de chaleur urbain de la métropole utilise ainsi la chaleur en excédent

l'été. Son réseau est alimenté par des calories de la méthanisation d'ordures ménagères à l'usine Amétyst. Celle-ci produit toute l'année du biogaz qui alimente les moteurs d'une cogénération - production simultanée d'électricité et de chaleur (refroidissement des moteurs et des gaz de combustion). Cette chaleur n'est utilisée qu'en partie sur place, le reste sert au réseau de chauffage urbain.

→ **8°C obtenus à partir de 80-100°C**
La machine à absorption qui produit de l'eau glacée à 8°C à partir d'une eau à

80-100°C, couvre 30 % des besoins de froid de la clinique dont la climatisation des salles d'opération. Des groupes frigorifiques électriques font l'appoint.

La clinique a payé une partie de l'investissement - 170 000 euros -, les 130 000 euros restant font l'objet d'une subvention de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie⁽²⁾. Elle règle l'entretien, l'eau et l'électricité. En échange, la Serm ne lui facture pas la fourniture de froid, prenant en compte également l'hébergement de la machine dans les locaux de la clinique.

→ **70 % d'énergies nouvelles renouvelables**

En 2017, le réseau de chauffage urbain de Montpellier - 23 km - fonctionne à 70 % à partir d'énergies nouvelles ou de récupération (ENR). La Serm, société d'aménagement émanant des collectivités locales⁽³⁾, concrétise la politique de développement de l'agglomération dont celle sur l'énergie (plan climat). ■

⁽¹⁾ Appels à projets recherche et développement, ou dans le cadre du programme investissements d'avenir.

⁽²⁾ Dans le cadre de l'appel à projets Nouvelles technologies émergentes de 2014.

⁽³⁾ Actionnaires : collectivités majoritaires, Caisse des dépôts et consignations, Caisse d'épargne, CCI, Dexia Crédit local de France.

RÉCUPÉRATION SUR EAUX USÉES RENTABLE EN TROIS ANS

Les thermes de Vals-les-Bains (Ardèche) ont été équipés d'un échangeur de chaleur sur eaux usées. La source d'eau chaude naturelle, à 14°C, passe à 24°C grâce à l'échange avec de l'eau à 34°C, celle qui a servi aux soins. La chaudière au gaz, qui fait l'appoint pour monter de 24°C à 38°C ou 56°C, selon le niveau recherché, sera remplacée l'hiver prochain par des pompes à chaleur. Placées sur le circuit de rejet final des eaux usées à 20°C, elles pourront assurer 74 % du complément.

L'échangeur à plaques et les ballons tampons réduisent de 30 % la consommation de gaz pour réchauffer l'eau thermique. À ce titre et à celui d'opération pilote (Ademe), l'installation a ouvert des droits à certificats d'économie d'énergie pour les producteurs qui rachètent des certi-

cats dans le but de diminuer leur taxe carbone. Ici, ils ont versé 18 000 euros pour 6,198 millions de kWhcumac, au propriétaire des thermes, le Syndicat intercommunal du thermalisme et de l'environnement (Sithere). Les kWhcumac sont les kilowattheures économisés sur la durée de vie de l'équipement, celle de l'échangeur à plaques étant supérieure à trente ans, selon le Sithere.

Grâce aux économies d'énergie, 536 MWh/an, les 90 000 euros d'investissement auxquels il faut enlever 18 000 euros, sont remboursés en trois ans.

→ **Prix "certificats blancs"**

Le Syndicat a reçu un des prix "certificats blancs" de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), fin janvier, aux côtés de six autres collectivités. ■



L'échangeur à plaques fait gagner 30 % sur la consommation de gaz.

LE BIOMÉTHANE INJECTÉ PROGRESSE VITE



© FRANCE BIOGAZ

La production d'électricité et de chaleur reste le débouché principal du biogaz mais, cela pourrait changer d'ici à 2030. Sur la photo : digesteur de la SCEA Baie des Champs (Vienne), puissance électrique de 330 kW.

L'injection dans le réseau de gaz d'origine renouvelable augmente rapidement. En 2016, 215 GWh ont été injectés contre 82 GWh en 2015⁽¹⁾. À fin 2016, il était injecté par 26 sites de production contre 17, fin 2015, selon le 2^e panorama du gaz renouvelable, publié fin février. Rappelons que le biométhane est du biogaz purifié pour atteindre la qualité du gaz naturel de réseau.

La filière du biogaz contribue à l'économie circulaire car elle utilise des déchets agricoles ou autres. Elle émet moins de

gaz à effet de serre, lors de son processus, que le gaz d'origine fossile. Le gaz d'origine renouvelable, injecté ou non, représente 0,05% de la consommation française. Cette part devra monter à 10% en 2030 - 12 TWh - pour satisfaire les objectifs de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (2015).

→ Tarifs d'achat identiques

Les organismes qui contribuent au panorama⁽²⁾, proposent plusieurs mesures pour y parvenir dont un tarif d'achat identique pour les nouvelles installations et

celles qui passent du biogaz au biométhane injecté, et des contrats d'achat portés de quinze à vingt ans au même tarif.

Pour en savoir plus : www.enr.fr/recherche-publications.php. ■

⁽¹⁾ Cf. Travaux n°924, juin 2016, page 13.

⁽²⁾ GRDF (distribution), GRTgaz (transport), Syndicat des énergies renouvelables, Syndicat professionnel des entreprises gazières municipales et assimilées (SPEGNN), Transport et infrastructures gaz France (TIGF, transport international).

BIOGAZ 2030 : COGÉNÉRATION ET INJECTION À ÉGALITÉ ?

Sur 548 unités de production de biogaz en France, 522 le font avec, comme objectifs, d'en tirer de l'électricité et de la chaleur (cogénération) mais le débouché en biométhane, à injecter dans le réseau, se développe à grands pas (cf. ci-contre).

Les projections de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) prévoient, en 2030, une répartition à parts égales du biogaz destiné à l'injection et celui de cogénération, ou, dans un scénario moins optimiste, à 40-60%*. L'Ademe estimait que, en 2013, la cogénération fournissait 1 300 GWh d'électricité et 1 400 GWh de chaleur, le biométhane n'atteignant à l'époque que 20 GWh.

France biogaz valorisation, entreprise spécialisée dans les unités de méthanisation (biogaz) à partir de déchets, signale la mise en service de deux installations récentes de cogénération. Le Gaec Bienvenues aux Herbiers (Vendée) dispose d'une puissance électrique de 137 kW à partir de 4 000 t/an de déchets agricoles. La SCEA Baie des champs (Vienne) alimente une installation de 330 kW avec 16 000 t/an de déchets d'élevage et agro-industriels.

* http://www.greengasgrids.eu/fileadmin/greengas/media/Markets/Roadmaps/D4.1_Roadmap_France_french.pdf.

LYON-SAINT-EXUPÉRY : DERNIÈRE LIGNE DROITE POUR LE TERMINAL 1

L'extension du terminal 1 de l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry (Rhône) sera mise en service totalement en septembre, le secteur des arrivées de compagnies bon marché l'ayant été à la mi-mars et celui des départs à la mi-avril.

Cet agrandissement contribue à l'accueil de 15 millions de passagers par an, en 2020, contre 8,7 millions en 2015. Rappelons que l'aéroport avait été inauguré en 1975.

Dans un premier temps, 53 000 m² seront livrés cette année, l'actuel T1 étant réa-

© CHRISTINE CHAUDAGNE



L'agrandissement du terminal 1 de Lyon-Saint-Exupéry en janvier.

ménagé après 2020 pour former un terminal de 70 000 m².

→ Passerelle à construire

Le prolongement du terminal 1, réalisé par GFC Construction et Quille Construction, sera suivi de la création d'une liaison entre ancien et nouveau dont une passerelle, et de la démolition du terminal 3. Vicat, Delta Pompage et Sigma Béton participent au chantier.

Les travaux se montent à 251 millions d'euros (2014-2018). La maîtrise d'ouvrage, Aéroports de Lyon, est assistée par Ingerop. ■

ENGIE RÉDUIT SES ÉMISSIONS DE CO₂

Engie détient 40% des parts de Energia Sustentável do Brasil, société de projet de la centrale hydroélectrique de Jirau, sur le fleuve Madeira au nord du Brésil (État de Rondônia). Cette centrale - 3 750 MW (50 turbines), 10 millions de foyers desservis - a été mise en service fin 2016 après sept ans de travaux. Coût : 5 milliards d'euros.

Par ailleurs, le groupe va construire et exploiter une centrale électrique à cycle combiné gaz près de Jubail, sur le golfe persique (Arabie Saoudite). La centrale de Fadhilli, de 1 507 MW, peut fournir des kilowatts-heures à 1,4 million de personnes, ainsi que 1 447 tonnes de vapeur/heure et dessaler 770 tonnes d'eau/heure. Engie détient 40% de la société de projet avec deux sociétés saoudiennes. Mise en service : fin 2019. Coût : 1,122 milliard d'euros.

Le groupe a signé un accord avec Enea (producteur d'électricité polonais) pour lui vendre ses parts dans Engie Energie Polska, propriétaire de la centrale de Polaniec (Pologne) de 1,9 GW, avec 7 unités au charbon et une en biomasse. Citons également des ventes de centrales à charbon ou au gaz, conclues en Inde, Indonésie et aux États-Unis.

CENERI : SIGNALISATION THALES

Thales a remporté le contrat de signalisation du tunnel du Ceneri* de 15,4 km, qui ouvre en 2020 dans le prolongement de celui du Saint-Gothard, en Suisse.

Le marché de 57 millions d'euros couvre le contrôle des trains - aiguillages et feux de signalisation -, leur position et vitesse sur le réseau. Sa technologie ETCS transfère en continu des informations entre la voie et le train.

* Cf. Travaux n°931, actualité.

ATTRIBUTIONS À PARIS SACLAY

Le Pôle de mécanique, commun à l'École polytechnique et l'Ensta Paris Tech, sera livré à l'été 2019. Il sera réalisé par un groupement mené par Pascale Guédot Architecte.

Le bâtiment de 7 110 m² utiles se situe à Palaiseau (Essonne) dans le quartier dit de l'École polytechnique. Il est financé par l'Établissement public d'aménagement (EPA) Paris-Saclay⁽¹⁾. Ces laboratoires de recherche travaillent sur la mécanique des solides, l'hydrodynamique, la mécanique des fluides et celle du vivant.

Autre attribution : la maîtrise d'œuvre urbaine du quartier de Corbeville, à l'ouest de celui de Polytechnique, confiée au groupement conduit par UAPS.

Enfin, encore plus à l'ouest, l'EPA a désigné la maîtrise d'œuvre du projet urbain autour de la halle Freyssinet, quartier à cheval sur la ligne de train Versailles-Rambouillet et la N10, en collaboration avec l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines et la ville de Trappes (Yvelines), la SNCF, les services routiers de l'État et du département, et le CAUE Yvelines⁽²⁾.

L'équipe désignée se compose de Jam, Germe, Mageo, Alpha-ville, Roland Ribl, In situ, Une autre ville et Zoom.

⁽¹⁾ Cf. Travaux n°929, décembre 2016, page 8.

⁽²⁾ CAUE : Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement.

NGE REMPORTE 2 MARCHÉS

NGE va réaliser la mise à deux fois 3 voies de l'autoroute A63 sur 17 km entre Bénésse-Maremmes et Saint-Geours-de-Maremmes (Landes, ASF). L'élargissement coûte 118,5 millions d'euros. Fin des travaux : 2019.

De plus, le groupe a signé le contrat du contournement nord de Saint-Flour (Cantal) en partenariat public privé sur vingt ans, avec le Conseil départemental. Montant : 28,15 millions d'euros. Mise en service : début 2020.

AUTOROUTE A10 ÉLARGIE



© SPIE BATIGNOLLES

Tronçon élargi par l'extérieur et en mordant sur le terre-plein central.

L'élargissement du sens Paris-province de l'autoroute A10 au sud de Tours (Indre-et-Loire) se termine cet été.

Le sens inverse a été élargi en trois voies plus la bande d'arrêt d'urgence, en 2016. Le niveau de trafic entre Chambray-les-

Tours et Veigné était tel que le tronçon souffrait d'embouteillages aux heures de pointe et lors des vacances scolaires. Cette portion de 6,7 km se trouve au croisement avec l'A85 (est-ouest). Après études, il a été décidé de gagner

de la place sur les côtés et sur le terre-plein central. La largeur de celui-ci variait de 2 à 5 m. À terme, en 2018, l'A10 comportera, à cet endroit, deux fois 3 voies de 3,50 m plus deux bandes d'arrêt d'urgence de 3 m. Le terre-plein central sera restructuré d'ici à fin 2017.

→ Trois ponts reconstruits

Trois ponts sur cet itinéraire ont dû être reconstruits, le pont Maupas, le pont Baudot et un franchissement réservé aux véhicules d'exploitation de l'autoroute. Les bretelles des échangeurs ont également été reprises. Les aménagements liés à la protection de l'environnement sont intégrés. Maîtrise d'ouvrage : Cofiroute (Vinci autoroutes) ; maîtrise d'œuvre : Egis France ; mandataire du groupement d'entreprises : Valérian (Spie Batignolles). Les travaux ont été estimés à 35 millions d'euros environ, fin 2015. ■

UN BARRAGE AU LIEU DE CINQ

Début février, s'est terminé le percement au tunnelier de la branche d'amenée d'eau, côté aval, du nouveau barrage sur la Romanche.

L'ouvrage d'EDF, situé sur la commune de Livet-et-Gavet (Isère) et à mettre en service en 2020, remplace six centrales et cinq barrages existants, tout en augmentant la production de kilowatt-heures hydrauliques.

Ce premier tronçon de 3 843 m de long a été creusé par le tunnelier Rosali en 350 jours, chantier mené par Spie Batignolles TPCI. La partie aval, en direction de la prise d'eau de Livet, est réalisée par le tunnelier Lilorosa.

Au total, l'amenée d'eau - côté aval + amont - mesure 10 km sur 4,70 m de diamètre. L'eau y transite depuis le barrage de Livet jusqu'au sommet du puits blindé de la centrale de Gavet, avec une chute de 280 m et 40 m³/s, propice à la production d'électricité.



© SPIE BATIGNOLLES - ÉQUIPE ROSALI

L'amenée d'eau mesure 4,70 m de diamètre.

RÉPARATION DE DIGUES À SAINT-JEAN-DE-LUZ



© CEMEX

L'hélicoptère fait la navette avec sa benne entre le chantier et les camions de béton, ici pour la digue de Socoa.

Les digues de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques) sont suivies de près par les équipes du département qui en a la gestion et agit beaucoup en prévention. Lors de la tempête de début mars, un gros bloc de béton qui était posé devant une digue, s'est retrouvé dessus. En 2016, des travaux de grosses réparations ont eu lieu sur trois digues.

Sur la digue d'Artha, au milieu de la baie de Saint-Jean-de-Luz, la risberme a été remise à niveau. Le chantier s'est organisé en fonction du vent, de la houle et de la pluie, dans des fenêtres de 4-5 heures à mi-marée. Le béton employé, ici du

CXB Hyperfluide fourni par Cemex, devait sécher avant le retour de la mer. Une douzaine de maçons et marins du Conseil départemental ont accédé au site par bateau, un hélicoptère les a approvisionnés en béton grâce à de petites bennes remplies aux camions malaxeurs à quai.

→ Béton à durcissement ultra rapide

La digue de Sainte-Barbe a été renforcée avec du CXB Hydro, à forte résistance à l'eau salée et au délavage. Celle de Socoa l'a été avec un nouveau produit, le Promptis, à durcissement ultra rapide. Les travaux sur celle-ci se poursuivent en 2017, en mai-juin. ■

VINGT BÂTIMENTS À SMARTGRID



© MORBIHAN ÉNERGIES

45 % de l'électricité consommée au siège du Syndicat départemental d'énergies du Morbihan est produite sur place par des capteurs photovoltaïques.

Morbihan Énergies, Syndicat départemental d'énergies du Morbihan (Sdem), vient de lancer les marchés de centrales photovoltaïques et de smartgrid pour vingt bâtiments publics du département. Ceci sur le modèle de celui mis en route à son siège de Vannes fin 2013, un des premiers de France dans le tertiaire, si ce n'est le premier. L'idée remonte à 2009.

En 2015, le nouveau bâtiment du Sdem de 3 800 m² a couvert 45 % de ses besoins en électricité grâce à 850 m² de capteurs photovoltaïques, posés en toiture, soit 122 000 kWh d'origine solaire. « Lors des tempêtes de début mars, nous n'avons pas souffert de coupures de cou-

rant, » témoigne Christophe Laly, chargé de mission planification et énergie du Sdem, nommé directeur de la Sem 56 Énergies, créée en février. Les kilowattheures produits localement évitent d'avoir à renforcer les réseaux. De plus, les boucles énergétiques reliant plusieurs bâtiments autorisent une consommation d'électricité solaire de jour, dans les commerces, bureaux et industries, et de nuit, grâce au stockage, dans les logements, à partir d'une même surface de capteurs.

→ Stockage : 56 kWh

Ce smartgrid qui « préfigure ce que deviendront les sites de production photovoltaïque en auto consommation, » selon M. Laly, gère le système d'auto

consommation qui nécessite des onduleurs spécifiques, le stockage (batteries lithium-ion Saft) et l'injection dans le réseau extérieur. L'automate intègre les prévisions météo et celles d'occupation des locaux (moins de demande le week-end et les jours fériés). Il peut commander le stockage d'électricité aujourd'hui en prévision d'un lendemain pluvieux. D'autres paramètres peuvent être pris en compte.

L'installation de la centrale solaire (127 kWc), du stockage de 56 kWh (deux heures de fourniture) et du serveur, a coûté 600 000 euros. Elle a été conçue et réalisée avec Schneider Electric. C'est un démonstrateur qui a reçu 100 000 euros du Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (Prebat).

Outre le Sdem, le bâtiment abrite le syndicat départemental de l'eau, Eaux du Morbihan, et l'association des maires et présidents d'EPCI⁽¹⁾ du département.

→ Projet Smile

Le président de Morbihan Énergies est membre de l'association de gouvernance du projet national Smile (Smart Ideas to Link Energies), retenu dans l'appel à projets Plan réseaux électriques intelligents (2016). Cette distinction donne accès à des crédits français et européens, facilite l'engagement des opérateurs et encourage la commande publique. ■

⁽¹⁾ Établissements publics de coopération intercommunale.

RELEVÉS PLUS PRÉCIS

Topcon, spécialisé dans les solutions de positionnement précis pour relevés topographiques, génie civil, construction et cartographie (dont les systèmes d'informations géographiques), a perfectionné son kit de surveillance des déformations. Le dispositif - station MS AXII et plusieurs logiciels - enregistre des données, édite des rapports et, en option, déclenche des alertes.

Il comporte le logiciel Delta Link, pour réaliser des opérations autonomes de communication sur le terrain.



© TOPCON POSITIONING

Le dispositif se renforce en communication.

TRAÇABILITÉ PAR PLATE-FORME

Auxitec Bâtiment, s'est dotée d'une plate-forme de travail sur serveur informatique pour déployer sa démarche qualité (certification Iso 9001) sans peser sur la productivité.

L'outil répond à la traçabilité inhérente à la démarche.

Les partenaires d'un projet utilisent la plate-forme, depuis l'expression de la commande jusqu'à la livraison. Elle a été conçue pour être utilisée dans des projets petits ou grands. La division d'Auxitec Ingénierie a choisi Aconex, notamment à cause de la présence de ses serveurs en Europe et sa sécurisation des données.

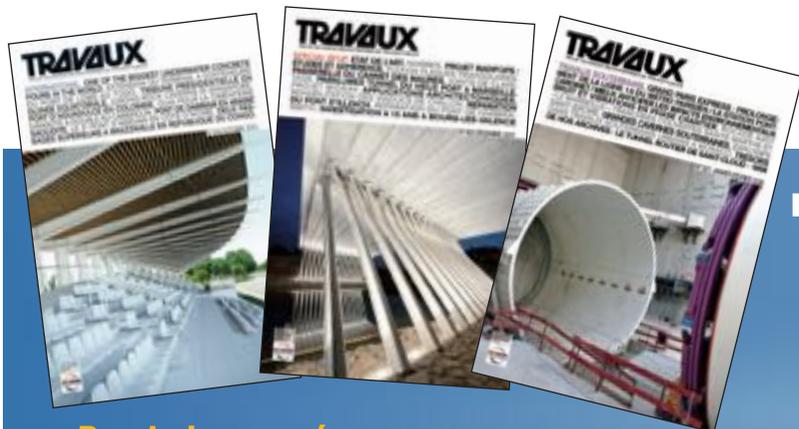
ÉNERGIES MARINES : APPEL À PROJETS R&D

Les régions Bretagne et Pays de la Loire se sont regroupées pour participer au projet européen Ocean Energy Era Net Cofund, lancé le 25 janvier par l'Union européenne.

Ce projet de recherche et développement, cofinancé par Horizon 2020, vise à tester et à valider des technologies d'énergies houlomotrice, hydrolienne, marémotrice, thermique des mers et osmotique (à la rencontre d'eau salée et d'eau douce dans les estuaires). Coordonné par l'Écosse, y participent aussi l'Espagne, le Pays basque, l'Irlande et la Suède.

Dans ce cadre, a été lancé en mars, un appel à projets sur les systèmes complets, composants, fondations, ancrages, systèmes électriques, installation et maintenance en mer.

www.oceancofund.eu



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 933 « Sols et fondations »
- TRAVAUX n° 934 « Spécial BIM 2 »
- TRAVAUX n° 935 « Ville et patrimoine »

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.

Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Bertrand COSSON

Tél. 01 42 21 89 04

b.cosson@rive-media.fr



Carine REININGER

Tél. 01 42 21 89 05

c.reininger@rive-media.fr

PELLES PLUS MANIABLES

Le QSC - Quick Hitch Standard Control - qui contrôle le verrouillage et le déverrouillage de godets et autres équipements de pelle, a obtenu la certification du SP Technical Research Institute (Suède). Il répond à la norme sécurité des machines EN Iso 13849-1 et à la certification CE.

Le système s'adapte à toutes les marques de pelles hydrauliques et tous les types d'attache rapide. Il est conçu par Microprop, filiale d'Engcon, groupe suédois. Engcon a annoncé sur le salon Conexpo de Las Vegas (7-11 mars), qu'il s'implantait dans la région de New-York afin de couvrir les États-Unis et le Canada, deux débouchés supplémentaires pour son produit-phare le tiltrotateur, « poignet de l'excavatrice qui autorise une inclinaison à 45° et une rotation à 360° des équipements d'une pelle », comme il le décrit.

MOUSSE ISOLANTE DANS PARPAINGS OU SUR CHAPE



La mousse Airium s'injecte en chape ou dans des parpaings.

Remplir des produits en béton de mousse est un moyen de rehausser l'isolation thermique d'éléments de construction. La mousse Airium de Lafarge Holcim peut remplir les cavités d'un parpaing ou venir en doublage d'une dalle de béton. Cette mousse est entièrement minérale, résiste au feu (logement), a une durée de vie de cent ans et est recyclable.

Ses premières applications ont eu lieu dans des blocs en béton en France, Autriche et au Maroc (toitures terrasses). Alkern, fabricant de produits préfabriqués, injecte l'Airium dans les 6 alvéoles de ses parpaings Kosmo City, en béton à granulats légers. Coefficient de résistance thermique : 1,7 m².Kelvin/watt. Le bloc de 18 kg et 20 cm d'épaisseur contribue également à l'isolation acoustique, selon Alkern. Les déchets de chantier peuvent être déposés sans tri dans les bennes. L'Airbloc de Ciments Calcia est un parpaing contenant une mousse pré-formée.

Il a été conçu avec Périn & Cie, industriel de la préfabrication.

→ Médaille d'or

Ce parpaing a gagné une médaille d'or des chantiers de l'innovation 2017, décernée par les Constructeurs et Aménageurs, nouvelle union de la Fédération française du bâtiment⁽¹⁾. Il se caractérise par de bonnes performances en thermique - coefficient de résistance : 1,04 m².Kelvin/watt - en acoustique et de protection au feu. ■

⁽¹⁾ Regroupe l'UFM et l'UCI-FFB depuis le 1^{er} janvier 2016.



Blocs en béton léger en cours de remplissage par de la mousse.

REPLACEMENT D'UN CONDUIT DE VENTILATION EN TUNNEL



Le désenfumage de la ligne 1 de métro (Paris) est accroché au plafond du tunnel de l'A14 à Puteaux (Hauts-de-Seine).

La gaine de désenfumage de la ligne 1 du métro parisien emprunte le tunnel de l'autoroute A14 à hauteur de Puteaux (Hauts-de-Seine). Sa protection contre l'incendie a été refaite dans le cadre des travaux de mise en conformité du tunnel (2015-2016).

Les parois du conduit doivent résister au feu, à l'extérieur, au niveau N3 (HCM 120°C/CN 240) et, à l'intérieur, aux fumées chaudes, de niveau N1 (CN 120). À cet endroit, deux des trente ventilateurs de la ventilation de la ligne extraient les fumées ou soufflent de l'air

frais, volumes qui transitent par des gaines de 2,9 m de haut par 3,5 m de large et 20 m de long.

Le chantier a eu lieu en deux phases, une par gaine à changer, de nuit, avec interruption du trafic sur l'autoroute.

La gaine a fait l'objet d'un prototype à échelle réduite - 1,2 m de haut par 2,4 m de large sur 7 m de long - mis au point par l'entreprise Yvroud et testé par le laboratoire Efectis sur des courbes de températures HCM jusqu'à 1 300 °C. Promat a fourni les plaques anti-feu, portées par une ossature métallique dimensionnée et fabriquée par l'entreprise.

→ 5 m découpés par nuit

Yvroud a déposé l'ancienne gaine en quatre nuits à l'aide d'un chariot élévateur, au rythme de 5 m découpés par nuit.

Avant de reposer la nouvelle, un ferro-scannage du plafond a permis de repérer les parties métalliques dans le béton. ■

ÉCLOSION DE NACELLES

D'ici à fin 2017, JCB va ajouter 27 modèles dans ses gammes de nacelles élévatrices - en forme de ciseaux électriques à batteries, à flèche articulée ou télescopiques. Certaines fonctionnent au diesel.

Les nacelles ciseaux travaillent sur 6,4 à 15,6 m de haut, selon les modèles, les flèches articulées, sur 16,7 à 26,45 m, et les télescopiques, sur 22,4 à 43,4 m.



Un des 12 modèles de nacelles ciseaux.



Membre du Réseau Compétit Intempéries 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 **7 300 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **260 000 salariés connus**.

Nos coordonnées :

- **Par courrier :**
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** www.cnetp.fr
- **Par mail :** sur www.cnetp.fr, lien [nous contacter](#)

- **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



RÉFLÉCHIR AU FUTUR DE LA VILLE

Le futur de la ville s'élabore en partie sur son passé. L'essai d'Alain Cornet-Vernet revient sur l'histoire de la formation des villes, celle des cités disparues, pour mieux imaginer ce que pourra être la ville de demain et les conditions de son harmonie avec un environnement qui a évolué et continuera de le faire.

Selon l'ONU, les trois quarts des 9 milliards de Terriens vivront en ville. La question de l'énergie, déjà très importante aujourd'hui, sera encore plus cruciale. L'ouvrage de 165 pages illustrées, édité par Eyrolles, fournit des données dans le monde et développe aussi le cas français.

L'auteur, à la fois ingénieur civil des Ponts et Chaussées et architecte-urbaniste, propose ses réflexions après une carrière consacrée à la conception de villes, de bâtiments et d'équipements urbains.

www.presses-des-ponts.fr ■



LE CENTRE BOURG PAR L'EXEMPLE

Les photos d'aménagements abondent dans l'ouvrage *Espaces publics des centres bourgs, repères pour de belles réalisations* du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. L'ouvrage de 120 pages, au format A4, est destiné aux petites villes et villages

qui souhaitent améliorer leur cadre de vie tout en ménageant des espaces pour tous.

Il est réalisé en partenariat avec l'Association des maires de France. Les élus cherchent des moyens de revitaliser les centres au moment où leurs communes s'étalent en périphérie.

Ce guide montre une grande variété de réalisations qui ont fait leur preuve sans coûter les yeux de la tête. Il apporte aussi la méthode pour concevoir un projet adapté au contexte, avec une vision globale de l'espace public.

www.certu-catalogue.fr ■



CHAMBRES DE TIRAGE PRÉFABRIQUÉES

Le *Guide de mise en œuvre des chambres de tirage et de raccords* est conçu pour le personnel de chantier. Le document de 22 pages, illustré de dessins, est publié par la Fédération de l'industrie du béton, le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton, avec la Fédération Forge fon-

derie et le Syndicat national des mortiers industriels.

Ces chambres de tirage et de raccords de télécommunications sont préfabriquées en béton. Le guide décrit ces produits. Il précise l'exécution de la fouille, leur manutention et mise en œuvre, le remblaiement et le compac-

tage, le scellement des cadres et tampons, sans oublier la réception des travaux. Il rappelle les normes et certifications. Il fournit la fiche de déclaration environnementale et sanitaire propre à ces chambres.

Téléchargeable sur www.fib.org ■



LUTTER CONTRE LES POUSSIÈRES

Le guide *Poussières, prévention du risque poussières pour les travaux publics* a vocation à évoluer.

Actuellement, il conseille comment limiter voire supprimer la mise en suspension de poussières liée à cinq tâches sur la chaussée : fraisage-rabotage, sciage, burinage, décroûtage et carottage. Chaque fiche aborde les mesures

de protection générale dont l'humidification et la limitation à la source, celles selon la machine en fonctionnement, les protections individuelles pour les poussières résiduelles, le nettoyage des machines et, également, la protection des riverains.

L'amiante fait l'objet d'un guide à part. Sont prises ici en considération les

poussières inhalables, celles de silice cristalline et les particules minérales allongées.

Ces dernières, issues de granulats, font l'objet d'une étude de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Les résultats, attendus cette année, ainsi que des dispositions européennes sur

des produits dangereux pour la santé, pourraient modifier le guide.

Le document de 12 pages a été élaboré par l'OPPBTP avec la direction générale du travail, la FNTP, l'Usirf, le Serce et les Canalisateurs de France.

<http://www.usirf.com/guide-poussieres-2840/> ■

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 8 AU 10 JUIN

Intermat Asean

Lieu : Bangkok (Thaïlande)

<http://asean.intermatconstruction.com>

• 9 AU 16 JUIN

World Tunnel Congress

Lieu : Bergen (Norvège)

www.ita-aites.org

• 20 JUIN

Forum management énergie et efficacité énergétique

Lieu : Paris

<http://greth.fr>

• 20 AU 22 JUIN

Salon ville sans tranchée

Lieu : Chatou (Yvelines)

www.fstt.org

• 21 AU 23 JUIN

1^{re} conférence internationale sur la valorisation écologique des matériaux granulaires et fibreux

Lieu : Clermont-Ferrand

(Puy-de-Dôme)

www.cfg.asso.fr/evenements/

icbbmecografi-2017

• 26 AU 30 JUIN

Aquaconsoil (recyclage terres, sédiments, contrôle pollution)

Lieu : Lyon

www.aquaconsoil.org

• 12 AU 14 JUILLET

Ecocity World Summit 2017

Lieu : Melbourne (Australie)

<http://vivapolis-ivd.com>

• 6 AU 8 SEPTEMBRE

Passerelles

Lieu : Berlin (Allemagne)

www.footbridge2017.com

• 19 AU 23 SEPTEMBRE

Symposium Engineering the future

Lieu : Vancouver (Canada)

www.iabse.org

FORMATIONS

• 7 AU 9 JUIN

Inspection des ouvrages métalliques et ponts à câbles

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 19 AU 22 SEPTEMBRE

Méthodologie de montage de parcs éoliens en France

Lieu : Bonneval (Eure-et-Loir)

www.metrol.fr

NOMINATIONS

ARCHITECTURE BÉTON :

Étienne Tricaud prend la suite de Paul Chemetov à la présidence de Bétocib, association de promotion de l'architecture en béton.

CRE :

Jean-François Carenco a été nommé président de la Commission de régulation de l'énergie. Il succède à Philippe de Ladoucette.

RATP :

Alain Batier prend la relève de Marie-Claude Dupuis à la direction du département du matériel roulant bus. M^{me} Dupuis devient directrice de la stratégie, de l'innovation et du développement et intègre le comité exécutif. Michel Cordival est nommé directeur du département des systèmes d'information et de télécommunications.

SNCF RÉSEAU :

La direction de la communication, des relations extérieures et de la concertation est confiée à Marc Berthot.

SNBPE :

Claude Labansat remplace Olivier Apruzzese en tant que membre du comité directeur du Syndicat national du béton prêt à l'emploi. Yann Ouzilleau remplace Alan Etrillard à la présidence du collège béton prêt à l'emploi dans la région Centre.

Enka[®]solutions

Géosynthétiques hautes performances pour le génie civil et les travaux publics

Légers, souples et faciles à installer, les produits Enka Solutions accompagnent les projets les plus exigeants partout dans le monde.



Géogrids de renforcement EnkaGrid

 Progress through performance
A Low & Bonar solution

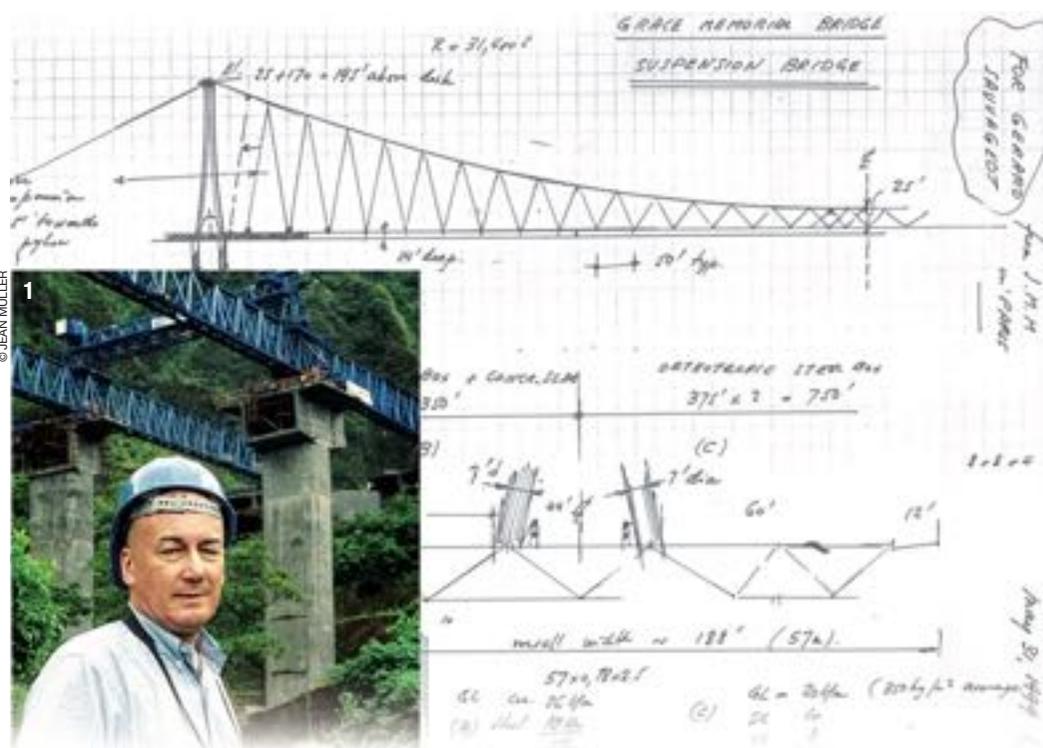
Low & Bonar

12 rue de la Renaissance / 92184 Antony Cedex / T +33 157636740
info@enkasolutions.com / www.enkasolutions.com

HOMMAGE À JEAN MULLER

AUTEUR : ANTONIO DINIS, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART RETRAITÉ, PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION JEAN M. MULLER

ON NE NAÎT PAS GÉNIE, ON LE DEVIENT. JEAN MULLER ÉTAIT UN ESPRIT BRILLANT ET NOUS ALLONS TENTER DE DÉCRIRE LE PROCESSUS DE SON ACCOMPLISSEMENT TECHNIQUE. UNE ASSOCIATION VIENT D'ÊTRE CRÉÉE PAR D'ANCIENS COLLABORATEURS DE JEAN MULLER POUR FAIRE CONNAÎTRE SON ŒUVRE AUPRÈS DU PUBLIC ET DES JEUNES INGÉNIEURS. CETTE ASSOCIATION AURA NOTAMMENT À CŒUR DE FAIRE PUBLIER LES CARNETS DE CONCEPTION DE CET INGÉNIEUR D'EXCEPTION, ILLUSTRATIONS DE SON AUDACE ET DE SES SOURCES D'INSPIRATION.



Le projet phare est le Pontchartrain Causeway, la traversée du lac de 38,35 km, en Louisiane, alors le pont le plus long du monde.

Toute la puissance industrielle d'une Amérique conquérante est mobilisée pour appliquer à ce projet les méthodes industrielles développées pendant l'effort de guerre. La préfabrication totalement industrialisée de l'ouvrage a permis sa réalisation en 17 mois, soit plus de 2 km/mois.

Ces années américaines ont bouleversé la vie de Muller qui, accidentellement, a inventé sur le chantier d'un passage supérieur à New York le concept des joints secs conjugués, invention passée inaperçue.

RETOUR À CAMPENON BERNARD

En 1955, Muller réintègre l'entreprise pionnière du béton précontraint. C'est un atout qui va la positionner dans le marché de la construction de l'après-guerre, comme une des entreprises les plus innovantes du monde.

En 1962, soudain tout s'accélère. À Choisy-le-Roi, dans la banlieue Est de Paris, un petit pont sur la Seine va attirer l'attention de tous les ingénieurs. C'est le premier pont à voussoirs préfabriqués du monde. Muller l'a conçu en se rappelant des acquis de son expérience américaine : industrialisation des ponts en béton et joints conjugués. Industrialisation implique équipement

LA TOILE DE FOND

Jean Muller est né en 1925, période d'entre-deux-guerres qui a fortement marqué sa jeunesse, au Lycée Condorcet, à Paris.

Très tôt il sort du lot par la qualité de ses résultats et le sérieux de son travail. Il saute une année, rentre à l'École Centrale, devient le leader de son équipe, qui comprend Francis Bouygues, et termine un des plus jeunes de sa promotion. Il a déjà le profil d'un génie en devenir.

En France, tout était alors à faire. Muller, au bon moment et à la bonne place, est vite entraîné dans la dynamique de la reconstruction.

Une opportunité unique se présente qui va conditionner sa vie. La STUP, créée par les entreprises Campenon Bernard en 1943 pour exploiter les brevets d'Eugène Freyssinet, engage le jeune Muller pour travailler avec lui. Freyssinet est au sommet de sa carrière et Muller devient le disciple préféré d'un des plus grands ingénieurs du XX^e siècle.

1- Jean Muller.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE AMÉRICAINE

En 1952, une autre opportunité extraordinaire se présente à Muller - une mission de trois ans aux États-Unis, qui découvraient la précontrainte. Le choc culturel est immense mais Muller a la formation pour faire face.



2- Système Muller pour la pose des voussoirs préfabriqués.

3- Pont de Brotonne (1975) et Sunshine Skyway (1986).

4- Linn Cove Viaduct.

5- Étude d'un arc de 1000 m - Notes manuscrites de Jean Muller.

LE TEMPS DU BILAN ET DE LA VISION

Dans sa retraite, seul, Muller réfléchit à ses réalisations, produit des centaines de pages manuscrites, avec des dessins et schémas précis, comme il a toujours fait, sur des feuilles vert clair, quadrillées, pour des projets que ses disciples lui envoient. Des solutions nouvelles, ou imaginées auparavant, sont détaillées, justifiées et estimées. On pense aux croquis de Da Vinci (figure 5).

Entre temps, les concepts Muller sont adoptés partout. La préfabrication devient la technique dominante dans la construction de ponts dont l'industrialisation semble aujourd'hui évidente. Ses projets constituent des modèles insurpassables, souvent copiés, parfois déformés.

Son précieux héritage a été conservé comme on conserve le patrimoine des grands visionnaires dont on n'arrive pas déchiffrer tout le message. Pour le protéger et le faire connaître, tous ceux qui ont participé à son œuvre, se réunissent dans le cadre de l'Association Jean M. Muller. Le savoir ne devient sagesse que quand partagé, c'était sa devise et elle deviendra celle de l'Association. □

pour fabriquer, transporter et assembler, c'est le système Muller (figure 2). Campenon Bernard était alors à son zénith. Mais les résultats financiers ne suivent pas ses performances techniques. Elle n'avait pas de stratégie marketing pour commercialiser à l'échelle planétaire un « système ». Il leur a manqué un Steve Jobs.

La nouvelle équipe qui a pris les rennes du pouvoir a commis l'erreur de rendre l'innovation responsable des mauvais résultats de l'entreprise. Nous sommes en 1977 et Muller a 52 ans.

SECONDE EXPÉRIENCE AMÉRICAINE

Marqué par sa première expérience, Muller n'a jamais été très loin des États-Unis où le « lobby » de l'acier et celui des poutres préfabriquées AASHTO avait réussi à bloquer l'évolution de la technique des ponts et où l'administration était peu sensible à leur esthétique. Mais les américains sont pragmatiques et face aux avancées accomplies, en particulier en France, le marché était mûr pour le changement. Il fallait juste être à la bonne place et attendre l'étincelle. La bonne place, en 1977, c'était la Floride et l'étincelle s'appelait Eugene Figg, partenaire d'un bureau d'études à Tallahassee et un ancien de l'administration. Il a perçu la valeur de Muller.

Le premier projet de Figg & Muller, Florida Keys, a été gagné comme variante à l'étude officielle à poutres AASHTO. Pour arriver à cet incroyable résultat, Muller a dû innover et optimiser à l'extrême l'étude du pont à voussoirs : précontrainte externe, construction travée par travée, piles en V, suppression de la couche de roulement... L'impact de cet ouvrage aux États-Unis,

comparable à un tsunami technique, a eu des conséquences irréversibles. Dans la foulée, les succès se suivent en Floride d'abord, avec le Seven Mile Bridge (10,8 Km) et le Sunshine Skyway, la réplique à l'échelle américaine du Pont de Brotonne (figure 3) et, un autre joyau, Linn Cove Viaduct qui traverse une forêt protégée sans presque toucher les arbres et le sol (figure 4).

En moins de 10 ans, la vague d'innovation initiée avec Florida Keys s'étend sur la moitié Est des États-Unis. Muller s'inquiète des conséquences de cette croissance explosive, difficilement maîtrisable.

Les premiers désaccords sur l'orientation de la société mettent en évidence deux visions divergentes, celle d'un redoutable homme d'affaires et celle d'un artisan attaché à son métier. La rupture devient inévitable. Nous sommes en 1988, Jean Muller a 63 ans et termine sans regrets, sur une féerie de réussites, sa seconde expérience américaine.

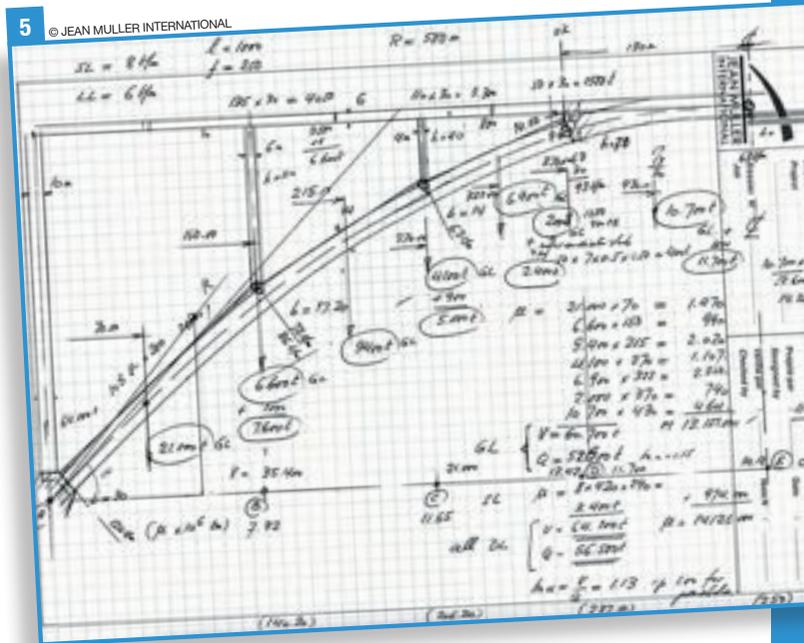
LA PERSPECTIVE DEVIENT GLOBALE

La séparation entre Figg et Muller, ressentie comme un drame dans le milieu, pose le problème du devenir de l'équipe française qui avait suivi Muller aux États-Unis. Dès 1987 il crée la société Jean Muller International (JMI) intégrant l'équipe de Figg & Muller basée à Paris, qui est vite acquise par Scetauroute. C'est donc à Paris et à San Diego, Californie, que les deux bureaux JMI démarrent les activités, sous la direction technique de Muller.

Les actions combinées des deux bureaux, associés avec trois autres bureaux ouverts successivement aux

États-Unis et à Bangkok, permettent la réalisation de projets de très haute technicité en France, comme le Pont de Chavanon, le Viaduc de Tulle ou le pont sur Bras de la Plaine à La Réunion, au Mexique avec le Metro de Monterrey, à Hawaï avec le H3 viaduct, à Bangkok avec le Metro en élévation. Ils pilotent également trois projets majeurs, celui du Bangkok Second Expressway et du Bang Na Expressway à Bangkok et celui du Confederation bridge au Canada. Les éléments préfabriqués des tabliers du Confederation bridge atteignent des longueurs de 192 m et des poids de 8200 t. On est loin des voussoirs de 22 t de Choisy le Roi, quelque 30 ans auparavant.

Alors que se construisaient à Bangkok et sur le Détroit de Northumberland les plus grands ponts préfabriqués étudiés sous son nom, Muller prend sa retraite en 1994, il a alors 69 ans.



5 © JEAN MULLER INTERNATIONAL

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS CONSTRUIRE POUR LA DURÉE SUR LES CINQ CONTINENTS

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS EST UNE FILIALE DE VINCI, ACTEUR MONDIAL DES MÉTIERS DES CONCESSIONS ET DE LA CONSTRUCTION. ELLE EST L'HÉRITIÈRE D'ENTREPRISES CENTENAIRES, QUI ONT ASSOCIÉ LEUR NOM À DES RÉFÉRENCES MAJEURES EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL. ELLE CONÇOIT ET RÉALISE PARTOUT DANS LE MONDE DE GRANDS OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL ET DE BÂTIMENT DANS LES DOMAINES DES TRANSPORTS, DES MINES, DE L'ÉNERGIE, DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES ET DE L'ENVIRONNEMENT. **ENTRETIEN AVEC GILLES CAUSSE, RESPONSABLE DES ÉQUIPEMENTS ET SYSTÈMES DES OUVRAGES COMPLEXES À LA DIRECTION DE L'INGÉNIEURIE ET DES MOYENS TECHNIQUES DE VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON
1

GILLES CAUSSE, RESPONSABLE DES ÉQUIPEMENTS ET SYSTÈMES DES OUVRAGES COMPLEXES À LA DIRECTION DE L'INGÉNIEURIE ET DES MOYENS TECHNIQUES DE VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS, ILLUSTRE LA DIVERSITÉ DE CES ACTIVITÉS AU TRAVERS DE QUELQUES-UNES DES RÉALISATIONS RÉCENTES OU EN COURS LES PLUS INNOVANTES OU LES PLUS ORIGINALES DE CETTE DIVISION, UN PEU PARTOUT DANS LE MONDE ET DANS LES DOMAINES LES PLUS DIVERS, EN METTANT PLUS SPÉCIALEMENT EN ÉVIDENCE CELLES LIÉES AUX OUVRAGES D'ART, AU SENS LARGE DU TERME.

Parmi la multitude des chantiers en cours, quels sont ceux qui, à l'export, vous semblent les plus représentatifs, en commençant, par exemple, par le continent américain ?

En Amérique du Nord, nous achevons notre participation au projet de l'East End Crossing dont l'objectif est de relier l'Indiana au Kentucky en contournant la ville de Louisville, soit 12,6 km d'autoroute à 2x2 voies. Pour y parvenir,



© PHOTOTHÈQUE VINCI
2



© PHOTOTHÈQUE VINCI
3

nous avons conçu et construit un pont haubané de 762 m de longueur pour franchir la capricieuse rivière Ohio, un tunnel bitube de 512 m et 19 ouvrages d'art courants ainsi que des travaux d'amélioration du réseau routier et des infrastructures associées. Le nouveau pont baptisé Lewis and Clark Bridge, situé à 13 km du centre de Louisville, reliera l'autoroute « Gene Snyder Freeway » et la voie « Lee Hamilton Highway ».

En Amérique Centrale ?

Au Panama, Vinci Construction Grands Projets réalise la construction du pont de l'Atlantique, d'une longueur de 3 500 m avec ses viaducs d'accès, qui offrira 2x2 voies aux véhicules pour traverser le canal indépendamment du fonctionnement des écluses situées trois kilomètres plus au sud. L'ouvrage est situé près de la ville de Colón.

Le contrat porte sur la construction d'un pont à haubans en béton de 2x2 voies, d'une longueur de 1 050 m, avec une portée centrale de 530 m, des pylônes d'une hauteur de 212,5 m et un tirant d'air de 75 m.

Le pont de l'Atlantique sera le plus long pont haubané en béton du monde avec une travée centrale de 530 m. Il permettra notamment le passage d'importants porte-conteneurs de type Post-Panamax dans le cadre de l'exploitation du canal élargi.

En descendant vers le sud, quelle est la présence de Vinci en Amérique du Sud ?

Nous avons trois projets en Colombie, au Chili et au Pérou.

Au Chili, il s'agit de l'extension et de la rénovation de l'aéroport de Santiago. Pour porter sa capacité de 16 millions à 30 millions de passagers d'ici 2020,

GILLES CAUSSE : PARCOURS

Diplômé de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Gilles Causse a commencé sa carrière dans l'administration en intégrant le Setra en 1980, dans la division des ouvrages d'art. Cela correspond à l'époque où la Direction des Routes met en place une forte politique d'innovation dans le domaine des ouvrages d'art. Gilles Causse participe d'ailleurs à la conception de quelques réalisations de référence : le pont de l'île de Ré, le viaduc de Charolles, le viaduc de Sylans...

En 1988, il rejoint le groupe Egis (à l'époque Scétauroute) au sein duquel il devient rapidement responsable de la filiale Jean Muller International.

En 1997, il entre chez Bouygues Travaux Publics en tant que directeur du bureau d'études « structures » avant de rejoindre, en 2004, Vinci Construction Grands Projets du groupe Vinci, au sein de laquelle il est responsable, à la direction technique de l'entreprise, des équipements et systèmes des ouvrages complexes.

1- Gilles Causse, responsable des équipements et systèmes des ouvrages complexes à la direction de l'ingénierie et des moyens technique de Vinci Construction Grands Projets.

2- Le pont haubané de 762 m sur l'Ohio du projet East End Crossing reliant l'Indiana au Kentucky.

3- Le pont de l'Atlantique au Panama, d'une longueur de 3 500 m.

4- Le projet d'extension de l'aéroport de Santiago au Chili.

5- Pour l'aéroport de Santiago, le BIM sera également utilisé en phase d'exploitation.

la société concessionnaire (comprenant Aéroports de Paris, Vinci Airports et Astaldi) nous a confié la conception-construction d'un nouveau terminal, soit 340 000 m² de planchers mais aussi 550 000 m² de tarmac et de voies de circulation neufs, et 185 000 m² de parkings automobiles ainsi que la rénovation de l'ancien terminal.

La planification des travaux est cruciale pour ce chantier qui se déroule dans l'enceinte de l'aéroport existant sans en affecter son activité. L'utilisation du BIM (Building Information Modeling) est cette fois portée un peu plus loin puisque le modèle numérique servira également en phase d'exploitation et de maintenance une fois les travaux terminés.

En Colombie, Vinci Highways et Conconcreto sont les futurs concessionnaires de l'autoroute reliant Bogotá à Girardot. Le contrat porte sur la conception, le financement, la construction, l'exploitation et l'entretien de 141 km d'autoroute et sur la

construction d'une troisième voie de 65 km. Quatre tunnels bidirectionnels de 2 km seront également construits. En l'état actuel, le projet comporte 2 échangeurs, un tunnel de 4,2 km, 17 ponts, 34 passerelles, 4 viaducs et 2 centres d'exploitation. Le contrat est un PPP.

Les travaux, prévus pour une durée de 5 ans, seront réalisés par un groupement constitué de Vinci Construction Grands Projets/Vinci Construction Terrassement (50%) et Conconcreto (50%).

L'infrastructure sera intégralement exploitée et entretenue par la société concessionnaire.

Au Pérou, Vinci Highways a fait l'acquisition en août 2016 de Lamsac, concessionnaire de la voie express Línea Amarilla située à Lima.

La concession porte sur la construction, l'exploitation et la maintenance d'une voie express à péage de 25 km dans le centre de Lima. Les travaux sont confiés à Graña y Montero.

Vinci Construction Grands Projets est associé à Vinci Highways dans la cellule de maîtrise d'œuvre du projet.

Si l'on traverse le Pacifique, quelques mots peut-être sur la présence de Vinci à Hong Kong ?

À Hong Kong, MTR, en charge notamment de la réalisation de la ligne Shatin to Central nous a confié un nouveau lot : 700 m de tunnel à l'explosif en plein centre-ville de Hong Kong, à creuser en 45 mois.

Une confiance renouvelée grâce aux bonnes performances enregistrées sur notre précédent lot 1103 : le 11 septembre 2015, nous avons célébré le percement de l'une des sections de tunnel réalisée à l'explosif sur le site de Hin Keng. ▶

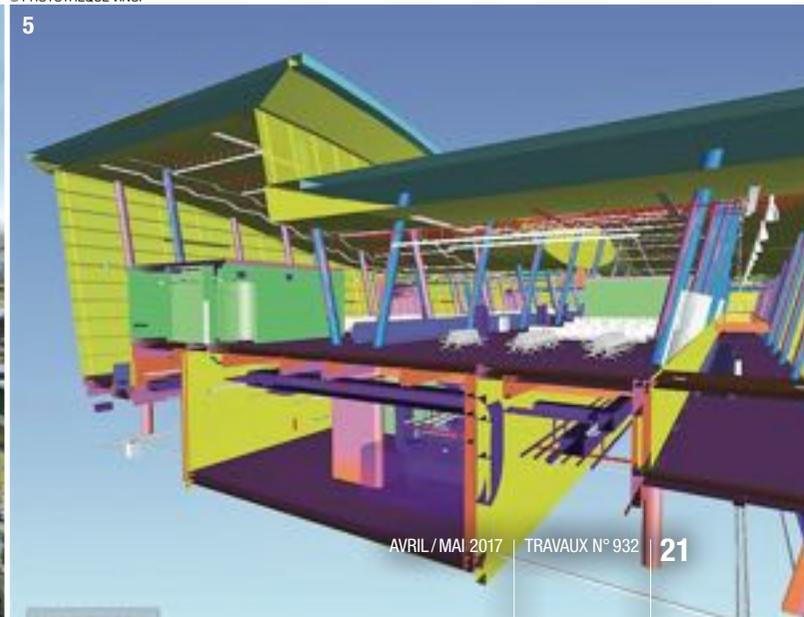
© PHOTOTHÈQUE VINCI

4



© PHOTOTHÈQUE VINCI

5





6

© PHOTOTHÈQUE VINCI

Les pays du Golfe sont parmi les États qui continuent encore à engager d'importants travaux d'infrastructures.

Vinci Construction Grands Projets y est certainement présent.

Nous sommes effectivement présents de façon très significative au Qatar au travers de trois grands projets : le métro léger de Lusail, la ligne rouge du métro et le périphérique autoroutier de Doha, la capitale.

Après avoir construit de 2007 à 2014 les premières phases de génie civil du métro léger de Lusail (LRT) au Qatar, Qdvc, filiale à 51% de Qatari Diar et à 49% de Vinci Construction Grands Projets, s'est allié avec Alstom, pour réaliser la dernière phase du projet de métro léger (light rail transit system-LRT) de la ville nouvelle de Lusail, à 15 km au nord de Doha, au Qatar. Ce contrat en conception-construction comprend les études et la construction de 25 stations et d'un dépôt, les lots architecturaux et électromécaniques, le management intégré du projet, ainsi que la livraison par Alstom de 35 rames équipées d'une technologie sans caténaire, la pose des voies, la fourniture d'énergie et les moyens de télécommunication et de contrôle. La mise en service de ce métro léger est prévue en 2018 (ligne jaune) et en 2020 (lignes verte, rouge et violette). La ville nouvelle de Lusail s'étend sur 37 km² en front de mer. Organisée en 19 quartiers aux fonctionnalités mixtes,

elle accueillera à terme 200 000 habitants et autant de travailleurs et de visiteurs quotidiens.

Le tramway desservira l'ensemble de la ville nouvelle de Lusail et permettra l'interconnexion avec le réseau régional de transport.

À Doha, un groupement piloté par Qdvc et comprenant l'entreprise qatarie Al-Darwish Engineering et le coréen GS Engineering and Contracting, est attributaire du lot sud de la ligne rouge du métro de Doha (Red Line South) par Qatar Rail.

Le contrat couvre la conception-construction d'une ligne bitube longue de 13,8 kilomètres entre l'aéroport de Doha et le quartier Musheireb, coeur historique de la capitale qatarie.

La future ligne rouge longera la côte et les eaux du Golfe, l'un des enjeux du projet réside donc dans la maîtrise des venues d'eau pendant le creusement. Cinq tunneliers à pression de terre, d'un diamètre extérieur de plus de 7 m, ont fonctionné simultanément. Le contrat comprend également la conception et la construction de 6 stations souterraines, ainsi que 51 connections inter-tubes de sécurité et 3 puits d'évacuation d'urgence. Les travaux, d'une durée de 5 ans, mobilisent jusqu'à 3 000 personnes. La ligne rouge sera la première des quatre futures lignes du métro de Doha, l'un des projets majeurs du Qatar Rail Development Program qui vise à développer les infrastructures de

transport du Qatar, notamment dans le cadre de la Coupe du monde de football de 2022.

À Doha encore, le groupement piloté par Qdvc est attributaire du lot n°2 d'une nouvelle autoroute en périphérie de Doha (New Orbital Highway).

Le contrat comprend la conception-construction de 47 km d'autoroute, 6 viaducs, 17 ouvrages d'art et un tunnel de 320 m de long construit en tranchée couverte. Cette section

autoroutière comptera 2x5 voies de circulation pour les véhicules légers, auxquelles s'ajoutent de chaque côté deux voies réservées aux poids lourds. Les travaux ont débuté en mai 2014. Ce nouvel axe majeur de circulation de près de 200 km en périphérie de Doha reliera le nouveau port de la capitale qatarie à la ville gazière du nord du pays, Ras Laffan, en contournant Doha et permettra de fluidifier la circulation actuelle tout en anticipant les prévisions de hausse de trafic routier. À noter que la construction de cette autoroute, bien qu'elle soit située dans un désert de pierre, nécessite des interventions d'une importance inattendue au niveau des franchissements et des déviations de réseaux qui vont représenter, en raison de leur densité, jusqu'à 20% du coût total du projet.

6- Vue en coupe de la future gare d'Éole sous le CNIT à La Défense.

7- Au Pérou, le chantier de la voie express Linea Amarilla à Lima.

8- À Hong Kong, Vinci est présent sur le chantier de la ligne Shatin to Central.

9- L'arche de confinement du réacteur n°4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

10- Au Qatar, l'un des tubes de la ligne rouge du métro de Doha.

11- Le chantier en cours d'achèvement de la LGV Sud Europe Atlantique (SEA).

Toujours au Proche Orient, la présence de Vinci en Égypte se perpétue-t-elle avec le même succès que par le passé ?

En Égypte, après avoir livré la phase 2 de la ligne 3 en mai 2014, notre groupement a repris du service pour prolonger plus à l'ouest cette ligne 3 du métro du Caire en direction de l'aéroport, en passant par le quartier d'Héliopolis. Le groupement piloté par Vinci Construction Grands Projets, avec Bouygues Travaux Publics, filiale de Bouygues Construction, et leurs partenaires égyptiens Orascom Construction et Arabco Contractors, a remporté le

© PHOTOTHÈQUE VINCI

7



© PHOTOTHÈQUE VINCI

8



contrat de la phase 3 de la ligne 3. La National Authority for Tunnels, renouvelle ainsi sa confiance au groupement qui construit le métro de la plus grande mégapole d'Afrique du Nord depuis 1981.

Forts de notre expérience de plus de 35 ans dans la capitale égyptienne, nous avons relevé le défi de délais contraints : ce nouveau contrat porte sur le génie civil et comprend 17,7 km de ligne nouvelle et 15 stations dont 8 souterraines, 5 aériennes et 2 au sol. Les travaux nécessiteront une nouvelle traversée sous le Nil.

Une fois achevée, la ligne 3 transportera 5 millions de passagers par jour et portera la longueur totale du réseau de métro cairote à 100 km.

Les travaux démarreront dans les quartiers résidentiels et administratifs de la capitale, dont l'île de Zamalek, et s'achèveront dans les secteurs populaires et très urbanisés du nord et du sud de la ville.

Ce projet offrira également de nombreuses opportunités pour les PME françaises. En effet, sur la phase précédente de travaux livrée en mai 2014, le groupement avait fait appel à plus de 600 PME françaises en tant que fournisseurs et sous-traitants. Une innovation technique nous a notamment permis de remporter ce nouveau contrat : le changement de mode du tunnelier précédent, Imhotep, qui passe de pression de terre à pression de boue.

Par ailleurs, le groupement est également mobilisé sur la phase 4a de la ligne 3 pour étendre le service de métro vers l'est de la capitale.

Revenons maintenant en France, en commençant par la LGV Sud Europe Atlantique, chantier de référence s'il en est pour Vinci.

© FRANCIS VIGOUROUX



9

TCHERNOBYL : UNE PROUESSE TECHNIQUE UNIQUE

En 1986, un accident survenu au cœur de la centrale nucléaire de Tchernobyl provoquait un rejet de poussière radioactive contaminant la zone au nord de Kiev (Ukraine) et se propageant en Europe. En novembre 2016, une nouvelle arche de confinement, destinée à recouvrir le réacteur n°4 et à accueillir les travaux de démantèlement du site, est poussée jusqu'à sa position définitive.

L'arche de Tchernobyl est la plus grande structure terrestre mobile jamais construite avec une portée de 257 m, une largeur de 162 m, une hauteur de 108 m et un poids total de 36 000 t équipée.

Elle garantira la sûreté du site de l'accident pendant une durée de 100 ans et permettra l'éventuel démantèlement de la structure vieillissante et le traitement des déchets radioactifs.

La structure a été construite par Novarka, un consortium rassemblant les entreprises françaises Vinci Construction Grands Projets (mandataire) et Bouygues Travaux Publics.

Le 29 novembre 2016, s'est achevée avec succès l'opération du poussage de l'arche, une étape clé avant l'aboutissement du programme international pour transformer Tchernobyl en un site sûr et sans danger pour l'environnement d'ici novembre 2017.

Le chantier de la LGV SEA, dont le groupe Cosea, piloté par Vinci Construction, achève actuellement la construction, est l'un des plus importants projets ferroviaires à l'échelle européenne. L'ensemble du chantier a été réalisé en 73 mois, dont seulement

38 pour les terrassements et le génie civil, en vue de la mise en service de la ligne le 2 juillet 2017.

Tout au long des 340 km de la ligne qui comprennent 24 viaducs dont 7 en voussoirs préfabriqués et 500 ouvrages d'art courants, les chantiers sont mon-

tés en puissance avec, pour certains, des dimensions et des techniques spectaculaires.

Parmi eux, il faut citer le viaduc de la Dordogne, avec des travées de 100 m de longueur, l'estacade de la Folie, au nord de Poitiers, qui a nécessité des travaux importants d'intégration dans le site.

Ouvrage emblématique de la LGV, le viaduc de la Dordogne se distingue par son envergure et ses techniques de construction. D'une longueur de 1 319 m, l'ouvrage est en fait une succession de plusieurs viaducs : deux viaducs d'accès en ossature mixte acier-béton encadrent le viaduc principal en béton précontraint. Contrairement aux autres viaducs de la ligne qui sont construits avec des voussoirs préfabriqués, celui de la Dordogne est réalisé avec des voussoirs coulés en place, en encorbellement.

En ce qui concerne l'estacade de la Folie, d'abord à double voie, l'ouvrage se scinde ensuite en deux voies de raccordement enjambant deux axes très fréquentés (RD 910 et RN 147), leurs bretelles d'accès et la voie ferrée actuelle.

L'ensemble vient se glisser dans le paysage périurbain, serpente entre routes et bâti. Les chiffres sont impressionnants pour une estacade : 940 et 918 m de long, 65 000 t de béton, 74 piles, dont certaines de 17 m de hauteur.

Sur le chantier de la ligne SEA, Vinci a remis au goût du ferroviaire, pour les 7 ouvrages préfabriqués, une technologie développée par Campenon Bernard dans les années 1980 : celle des ponts à voussoirs préfabriqués à joints conjugués. La dernière fois que cette technique avait été mise en œuvre, par Campenon Bernard, en France, ▷

© CYRIL DUPONT

10



© PASCAL LE DOARÉ

11



remonte à 1997 pour le viaduc des Barrails sur l'autoroute A89 près de Libourne. Elle fut remise à l'honneur par Dodin, avec succès, en 2007 pour le viaduc de Compiègne, d'une longueur de 2 000 m.

Pour conclure ce panorama synthétique de la présence de Vinci sur des chantiers de référence, il était évidemment impossible de passer sous silence deux d'entre eux : le viaduc en mer de la Nouvelle Route du Littoral à La Réunion et la gare CNIT-La Défense d'Éole, à Paris.

À La Réunion, 5 400 m de viaduc de près de 30 m de large, avec des travées de 100 m de longueur, en mer ouverte, vont relier Saint-Denis à La-Grande-Chaloupe, un record en France. Ce nouvel axe à 2x3 voies permettra aux plus de 50 000 automobilistes qui empruntent l'actuelle route côtière de circuler en toute sécurité, malgré les houles cycloniques qui balayent l'île régulièrement.

95 % des ouvrages seront préfabriqués à terre, avant d'être posés majoritairement par voie maritime, une solution de construction qui permet de réduire l'impact des aléas climatiques sur le planning des travaux ainsi que les nuisances pour la faune.

Zourite, la mégabarge autopropulsée qui va transporter et poser les piles a rejoint La Réunion en mai 2016. Avec 107 m de longueur et 44 m de largeur, 8 jambes de 55 m qui lui permettent de se stabiliser au-dessus des vagues et deux ponts roulants jumelés pouvant hisser jusqu'à 4 800 t - la plus haute capacité de levage jamais installée sur une plateforme auto-élevatrice - à 33 m de hauteur, l'engin prototype cumule les superlatifs.



© PHOTOTHÈQUE VINCI

12

DÉSENGORGER LA VILLE DE NEWPORT

Le gouvernement gallois a confié à Vinci Construction Grands Projets la première phase d'études préliminaires pour la création d'une autoroute de 23 km qui va permettre, dès l'ouverture, à 60 000 automobilistes chaque jour de contourner la ville de Newport. L'un des défis de ce projet consiste à franchir la rivière Usk, grâce à un pont haubané de 752 m de long avec une portée centrale de 440 m. Les deux viaducs d'approche sont tout aussi importants, longs de 888 m et 512 m. Après une phase d'enquête publique, d'obtention de permis et d'acquisition de terrains, les travaux pourront débuter en 2018.

Ce contrat en ECI (Early Contractor Involvement) permet à Vinci d'accompagner le client très tôt dans sa conception de projet.

Le viaduc comptera 48 piles préfabriquées composées chacune d'une embase de 4 500 t et 23 m de diamètre, d'une tête de pile de 2 300 t et d'une section de tablier de 2 400 t, soit 144 éléments à installer sur une période de 24 mois.

Avec Zourite, le groupement d'entreprises⁽¹⁾ chargé du projet s'est doté d'un matériel flottant capable de manoeuvrer même par forte mer grâce à un système de positionnement dynamique et des hélices orientables pour

12- Le pont haubané de 752 m de longueur sur la rivière Usk à Newport.

13- Les premiers mètres du viaduc de la Route du Littoral à La Réunion.

14- La mégabarge « Zourite » du chantier de la Route du Littoral.

embarquer ces très lourdes charges et les déposer avec une très grande précision à l'aide de ses ponts roulants. La première pile du viaduc a été posée en septembre 2016, la troisième en janvier 2017.

Quelques mots sur la future gare CNIT - La Défense

La SNCF a confié ce chantier souterrain de haute technicité à un groupement dont Vinci est mandataire⁽²⁾. L'opération porte sur la réalisation de la nouvelle gare de La Défense sous le dôme du CNIT, dans le cadre du prolongement du RER E vers l'Ouest de Paris (Éole). Le projet consiste en la construction d'une « cathédrale souterraine » tout en soutenant les structures existantes et en maintenant le site en exploitation. Outre la reprise en sous-œuvre du parking du CNIT, seront également réalisés : un kilomètre de tunnels, un puits de 40 m de profondeur et de 15 m de diamètre ainsi que de nombreux couloirs piétons souterrains permettant notamment la connexion du RER E avec le RER A, les lignes L et U du Transilien et le Tramway T2.

Le défi majeur du chantier est d'intervenir dans l'environnement urbain dense et complexe de La Défense, les travaux nécessitant l'excavation de 350 000 m³ de déblais.

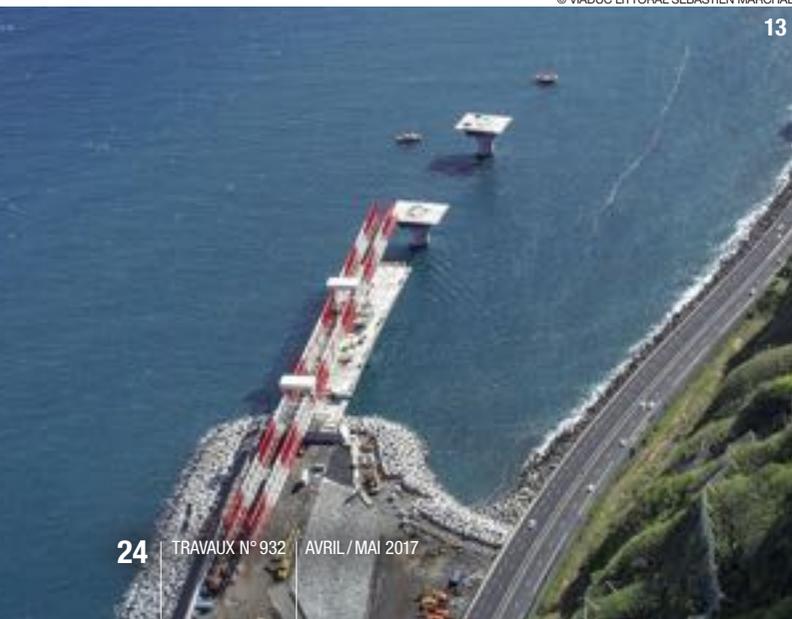
Cette nouvelle réalisation s'inscrit dans la continuité des nombreuses opérations déjà menées par Vinci au sein du premier quartier d'affaires européen. □

1- Vinci Construction Grands Projets, mandataire, Dodin Campenon Bernard (filiale de Vinci Construction), Bouygues Travaux Publics et Demathieu Bard Construction.

2- VINCI Construction au travers de ses filiales Vinci Construction France (mandataire), Vinci Construction Grands Projets, Dodin Campenon Bernard, Soletanche Bachy France et Botte Fondations - en groupement avec Spie batignolles Tpci et Spie Fondations.

© VIADUC LITTORAL SÉBASTIEN MARCHAL

13



© PHOTOTHÈQUE VINCI

14



BON DE COMMANDE

WWW.REVUE-TRAVAUX.FR

1917 | 2017
LA REVUE
TRAVAUX
A 100 ANS

OFFRE 100 ANS* :
PAR NUMÉRO
10€
AU LIEU DE 25€

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnement 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

OUI, je souhaite commander des numéros séparés de la Revue **TRAVAUX**

Numéro de la revue	Date de parution	Quantité
Nombre total d'exemplaires >		

Au tarif de :

- 10 € l'exemplaire (moins de 20 exemplaires), soit : _____ numéros x 10 € = _____ €
- 9 € l'exemplaire (du 21^e au 100^e exemplaire), soit : _____ numéros x 9 € = _____ €
- 8 € l'exemplaire (du 101^e au 500^e exemplaire), soit : _____ numéros x 8 € = _____ €

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 COM*1 ÉVIDENCE

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



ETIC DES ÉQUIPEMENTS DE L'OMBRE MAIS INDISPENSABLES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

ETIC EST SPÉCIALISÉE DANS LA CONCEPTION, LA FABRICATION ET L'INSTALLATION D'ÉQUIPEMENTS DANS LES DOMAINES DE LA PRÉCONTRAINTE, DES APPUIS ET DES JOINTS DE CHAUSSÉE, DES RENFORCEMENTS D'INFRASTRUCTURES ET DES DISPOSITIFS PARASISMQUES. AUTANT DIRE QU'ELLE TRAVAILLE DANS L'OMBRE DES ARCHITECTES ET DES ENTREPRISES TOUT AUTANT QUE DU GRAND PUBLIC, BIEN QUE SES INTERVENTIONS SOIENT INDISPENSABLES TANT EN CE QUI CONCERNE LA SÉCURITÉ ET LA DURABILITÉ DES OUVRAGES, QU'IL S'AGISSE DE GÉNIE CIVIL OU DE BÂTIMENT, QUE DE CONFORT DES USAGERS DANS LE DOMAINE ROUTIER. IL N'ÉTAIT PAS INUTILE DE LA METTRE EN LUMIÈRE. CE QUE NOUS AVONS FAIT AVEC LA COMPLICITÉ DE SON DIRECTEUR CLAUDE NÉANT ET DE SES COLLABORATEURS.

Depuis 1989, ETIC met au point et commercialise de nombreux procédés techniques qui lui ont permis de travailler en France et à l'étranger sur une multitude de chantiers dans des domaines très divers : ouvrages d'art bien sûr, mais aussi installations sportives, monuments historiques, routes et autoroutes, lignes ferroviaires...

L'entreprise ETIC a été créée en 1989 par trois anciens ingénieurs de CIPEC, une entreprise qui était à cette époque licenciée pour la France des systèmes de précontrainte BBR.

Lors du changement d'actionariat de CIPEC à la fin des années 80, Jean-Paul Arnous (directeur), Jean-Marc Verplaetse (directeur export) et Claude Néant (directeur France) quit-

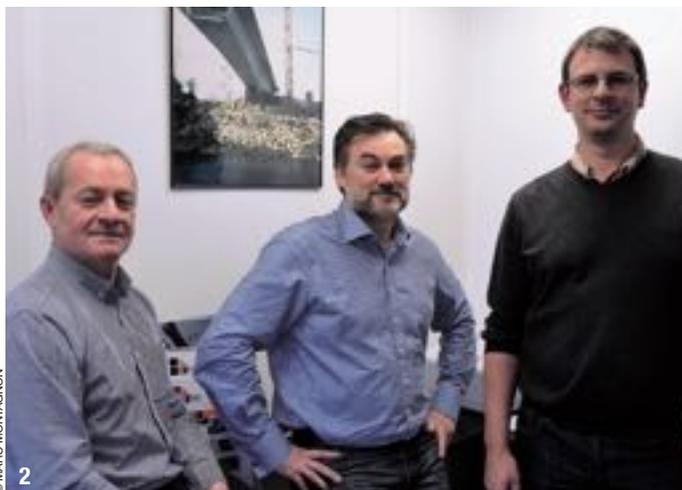
1- ETIC a réalisé la précontrainte et les appareils d'appui du viaduc de la ligne b du métro de Rennes.

tent alors l'entreprise et créent ETIC avec la volonté de poursuivre l'activité dans laquelle ils étaient spécialisés : la commercialisation d'équipements d'ouvrages d'art et la mise en œuvre d'outils de post-contrainte. Ils signent un accord de licence avec BBR qui était à la recherche d'un nouveau partenaire et reçoivent très rapidement l'agrément de la CIP (Commission Interministérielle

2- De gauche à droite, Claude Néant, directeur d'ETIC et responsable négoce international, Guillaume Wastiaux, responsable équipement France et Jérémie Baumgartner, responsable précontrainte.

3- Sur le chantier du premier viaduc de la Route du Littoral à la Réunion, ETIC livre 112 appareils d'appui injectables de 4 000 à 10 000 tonnes.

4- Un appareil d'appui du viaduc de la Route du Littoral.



© MARC MONTAGNON

ETIC EN BREF

Membre de BBR-Network, ETIC est le distributeur exclusif pour la France et le Luxembourg des procédés de précontrainte BBR. En plus de ses produits propres en joints de chaussée et appareils d'appui, il distribue également d'autres marques pour compléter sa gamme, en particulier grâce à son partenariat exclusif de longue date avec la société MAGEBA.

Ses principales activités sont :

- La précontrainte par câbles en ouvrages neufs et en réparation.
- La précontrainte par barres.
- Le haubanage.
- Les joints de dilatation routiers ou ferroviaires, en ouvrages neufs et en réparation.
- Les appareils d'appui à pot ou sphériques, ou en néoprène fretté.
- Les amortisseurs et bloqueurs, principalement utilisé en protection parasismique.
- La protection acoustique des bâtiments.

au bon moment avec les bons produits, dans un créneau qui connaissait un très fort développement, précise Claude Néant, directeur d'ETIC.

Les activités post-contrainte et appareils d'appui sont alors menées parallèlement tandis que les trois respon-

sables développent par ailleurs leur propre gamme complète de joints de chaussée mécaniques, avec des souffles de 50 mm à 800 mm.

L'export n'est pas négligé et les trois associés constituent un réseau d'agents et de licenciés dans plusieurs

pays, en particulier en Asie (notamment Taiwan et Hong Kong), en Australie et en Afrique du Nord. Depuis, ce réseau s'est élargi à l'Europe de l'Est, à l'ensemble du Proche-Orient et du Moyen-Orient ainsi que, plus près de la France, aux pays scandinaves.

« À la fin des années 2000, poursuit Claude Néant, suite au départ à la retraite de plusieurs de ses actionnaires principaux, la nécessité est apparue de rechercher un partenaire pour assurer la pérennité de l'entreprise et son développement. La recherche a abouti au rachat de l'ensemble de l'actionnariat par le groupe Demathieu Bard dont ETIC fait partie depuis mai 2011 ».

Demathieu Bard est l'un des premiers acteurs indépendants de la construction de l'Hexagone (plus d'un milliard d'euros de chiffre d'affaires). Avec 43 implantations en France et à l'étranger (Luxembourg, Allemagne, Canada, États-Unis), il intervient sur les secteurs du bâtiment, des Infrastructures/Génie-Civil, du développement immobilier et de la préfabrication.

ETIC est une entreprise de 24 personnes avec un chiffre d'affaires de 10 millions d'euros réalisés à 35% à l'export.

En France, son chantier le plus important est actuellement celui du métro de Rennes tandis que, dans les DOM-TOM, elle intervient de façon très significative sur celui de la Nouvelle Route du Littoral, à La Réunion.

LE MÉTRO DE RENNES

La ligne b du métro de Rennes - Cityval - est une ligne de métro automatique léger, sans assistant de conduite à bord, d'environ 13 km, avec 12 stations en tunnel ou tranchée couverte, et 3 stations aériennes. ▷



3

© ETIC



4

© ETIC

Outre deux tranchées couvertes au nord et au sud et un tunnel de 8100 m, elle comporte également un viaduc de 2400 m dont le tracé est très sinueux. Jérémie Baumgartner, en charge de la précontrainte, précise qu'il s'agit d'un pont construit en encorbellement, constitué de 900 voussoirs préfabriqués en béton précontraint, mis en place à l'aide d'un lanceur. La précontrainte est réalisée par 600 t de câbles BBR CONA-CMI 15 & 22 T15 fournis par ETIC qui assure également la réalisation de la totalité des appareils d'appui des piles.

LA NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL À LA RÉUNION

L'actuelle Route du Littoral est l'un des axes majeurs de l'île de La Réunion, au pied d'une falaise qui connaît fréquemment des éboulements. L'idée est de construire une route parallèle à la route actuelle, avec des digues en enrochements et des viaducs, d'une longueur totale d'une dizaine de kilomètres, mais à 200 m en mer, c'est-à-dire jusqu'à la limite des hauts fonds, afin de ne plus être exposée aux éboulements. Les contraintes techniques de cet ouvrage qui remplacera l'actuelle route de la corniche entre Saint-Denis et La-Possession, également exposée aux risques de submersion par la houle ou lors d'épisodes cycloniques sont importantes : elles prennent en compte les cyclones, ainsi que l'éventuelle rehausse du niveau d'eau et les risques sismiques.

La construction du premier viaduc de 5400 m, le plus long de France, qui reliera Saint-Denis (chef-lieu de La Réunion) à La-Grande-Chaloupe est confiée au groupement Vinci/Bouygues/Demathieu Bard. Le projet a été conçu par l'agence AOA (Lavigne Chéron



architectes) en collaboration avec Egis JMI ainsi qu'avec l'agence de paysage Signes.

« Cet ouvrage pharaonique fait appel à des techniques d'exception, indique Claude Néant, y compris au niveau des appuis, dont il constitue l'un des plus gros chantiers de fourniture traité par ETIC ».

Sur ce chantier, ETIC livre 112 appareils d'appui injectables de 4000 à 10000 t de capacité portante unitaire pour les sept viaducs successifs qui constituent le projet.

Jérémie Baumgartner précise également qu'à l'origine de ces viaducs se situe un ouvrage de dimensions et de caractéristiques identiques qui prend son origine en bord de mer à

5- L'arc du viaduc de La-Ravine-Fontaine à La Réunion est équipé de barres de clouage et de joints mis en œuvre par ETIC.

6- Sur l'estacade de La Folie à Poitiers sur la ligne à grande vitesse SEA, 500 appareils d'appui à pot ETIC.

7- L'un des appareils d'appui de l'estacade de La Folie sur la SEA.

La-Grande-Chaloupe et constitue un élément majeur de la nouvelle route, où ETIC est intervenu également. D'autres ouvrages et chantiers emblématiques ont jalonné l'existence d'ETIC sur la dernière décennie, que nous présentons dans les paragraphes qui suivent.

VIADUC DE LA-RAVINE-FONTAINE À LA RÉUNION

En 2007-2008, ETIC avait déjà participé avec succès à l'un des grands chantiers de l'époque sur l'île de La Réunion, celui du viaduc de La-Ravine-Fontaine, avec la fourniture et la mise en œuvre pour le compte du groupement Demathieu Bard/GTOI de barres de clouage de l'arc et de joints :





8

© ETIC

- 49 barres M76 de 4,20 m à 6,20 m de longueur (force de 2 912 kN) ;
- 57 barres M56 de 3,90 m à 6,00 m de longueur (force de 1 520 kN) ;
- 35 m de joints EJ 85.

Ces barres fournies et mises en œuvre par ETIC ont été choisies pour leur très forte ductilité par rapport aux systèmes traditionnels.

Le tablier de l'ouvrage est une structure en arc constituée par un treillis métallique dont les éléments préfabriqués sont posés par encorbellements suc-

8- Viaduc Altiani en Corse : appuis et câbles de précontrainte sont d'origine BBR.

9- Viaduc du Vecchio en Corse : les câbles de précontrainte ont été mis en œuvre suivant le procédé BBR VT CONA CME.

cessifs. Un hourdis béton était coulé après la pose de l'ossature métallique. Les barres ont été tendues et injectées au coulis de ciment avant le lancement.

L'ESTACADE DE LA FOLIE À POITIERS

Dans le secteur ferroviaire, l'estacade de La Folie sur la ligne à grande vitesse SEA Tours-Bordeaux est un autre chantier de travaux neufs sur lequel ETIC a dimensionné et fourni à Vinci Construction 500 appareils d'appui à pot avec

jeux d'assemblage contrôlés, fixes, guidés ou multidirectionnels, équipés de platines hautes et basses.

Les appuis sont d'une conception particulière dans le but de limiter les jeux d'assemblage et permettre ainsi une meilleure répartition des efforts horizontaux engendrés par les sollicitations sismiques de cet ouvrage ferroviaire.

LE VIADUC ALTIANI EN CORSE

Un autre exemple de participation significative à un chantier d'ouvrage d'art est fourni par le viaduc Altiani, en Corse, dont le design remarquable et la conception sont dus à Michel Virlogeux, en collaboration avec SECOA, et dont la construction a été assurée le groupement Cari/Terraco (mandataire) dont ETIC était un des sous-traitants. Cet ouvrage est une dalle mince de 115 m de longueur encastrée sur un arc de 40 m d'ouverture et de 80 cm d'épaisseur à la liaison arc-dalle. La dalle et l'arc sont précontraints sur une largeur de 12 m. Il a été construit en phases successives sur échafaudages traditionnels. La travée principale, encastrée au milieu sur l'arc a été précontrainte après un transfert de charges réalisé à l'aide de cinq vérins de 150 t de poussée positionnés dans des niches qui ont été bétonnées après mise en tension des câbles longitudinaux de première phase et couplés en deuxième phase pour assurer la précontrainte des travées de rive. 12 câbles sur les 20 ont été enfilés-tendus et injectés en dernière phase. ▽



© ETIC

9



10

© FRANCK DELETANG

Sur ce chantier, ETIC a fourni les appuis du tablier, la précontrainte du tablier et de l'arc soit, respectivement, 33000 kg et 6300 kg de câbles :

- 20 câbles 12T15 de 115 m de longueur avec 8 câbles couplés de part et d'autre de la travée centrale (BBR VT CONA CMI) ;
- 2x18 câbles 4T15 gainés graissés non adhérents (BBR VT CONA CMM).

LE PONT DU VECCHIO EN CORSE

ETIC intervient également de plus en plus, compte tenu de l'évolution de la réglementation et du vieillissement des ouvrages sur des chantiers de réparation. C'est le cas, par exemple, du pont du Vecchio, en Corse, sur la RN 113. Le pont du Vecchio, conçu par Michel Placidi pour enjamber la rivière du même nom, fut construit entre 1995 et 1997.

C'est un ouvrage à trois travées avec une travée centrale de 137,5 m et deux travées de rive de 42,25 m. Le tablier est un caisson en béton précontraint avec, en travée centrale, des âmes ajourées. Le fluage plus important que prévu du béton a imposé le renforcement de l'ouvrage au moyen de deux câbles 19T15 dans des réservations existantes dans les entretoises et déviateurs.

10- Stade Jean Bouin à Paris :
précontrainte par post-tension de 11 poutres.

11-Stade Allianz Riviera de Nice :
200 barres de précontrainte F36 pour ancrage de la charpente.

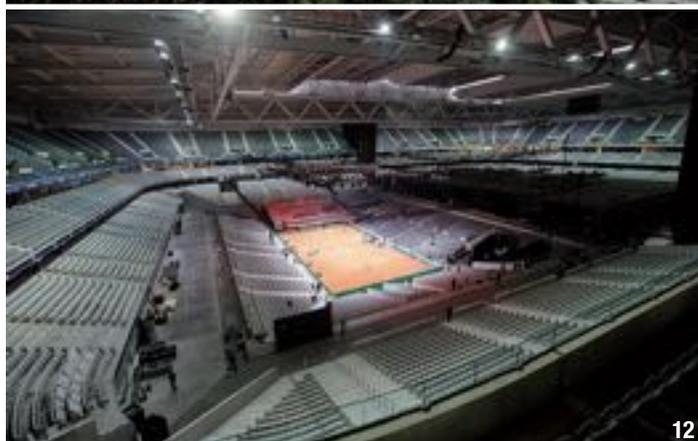
12- Stade Pierre Mauroy à Lille :
4 appuis sphériques 31500 kN sous les mégapoutres du toit coulissant.

13- Stade des Lumières à Lyon :
16 appuis sphériques de 7000 à 18000 kN avec dispositifs anti-soulèvement.



11

© DR



12

© DR



13

© PHOTEC

« Ces deux câbles 19T15S ont été mis en œuvre par ETIC suivant le procédé BBR VT CONA CME (précontrainte extérieure injectée à la cire pétrolière), poursuit Claude Néant, avec adaptation des ancrages à l'existant et maîtrise de l'étanchéité du dispositif ».

SUR L'A40 : VIADUCS DE NANTUA-NEYROLLES ET DE BELLEGARDE

Toujours dans le domaine des réparations, sur le viaduc de Nantua-Neyrolles sur l'autoroute A40 (réseau APRR), dans le sens Genève-Paris, le remplacement des joints de chaussée existants par des joints à lamelles illustre

14- Le Panthéon à Paris : cinq cerces de précontrainte assurent la pérennité du bâtiment.

15- La "Seine musicale" à Boulogne-Billancourt : ETIC a fourni la totalité des appuis en néoprène fretté ainsi que 190 m de joints de chaussée EJ50S.



© ETIC 14



© MARC MONTAGNON 15

le caractère novateur des produits distribués par ETIC.

Ces joints sont équipés de dispositifs "silencieux" de type plaque SINUS à dentures en surface fixées sur des lamelles en acier.

Les travaux de remplacement des six lignes de joints ont été réalisés sous basculement de circulation en un mois et demi.

Les joints étaient mis en place après dépose des lignes existantes et création dans les abouts de dalle des réservations nécessaires par hydro-démolition. Le ferrailage adapté à ces joints de chaussée a été reconditionné par scellement de nombreux aciers permettant la reprise des efforts de service. La présence d'ancrages de précontrainte a conduit à équiper les poutres supports de joints de chaussée à lamelles.

Sur la même autoroute A40, ETIC a assuré en 2012 et 2013, en groupe avec Demathieu Bard, le renforcement par précontrainte additionnelle des viaducs Nord et Sud de Bellegarde. L'ouvrage avait été renforcé suite à la réfection du système d'étanchéité et la mise en place d'une nouvelle couche de roulement conduisant à une surcharge de 150 kg/m² reprise par une précontrainte additionnelle.

Constituée de trois viaducs élémentaires d'une longueur totale de 1100 m, la structure a été renforcée par 62 câbles BBR VT CONA CME 12T15 et 4 câbles BBR VR CONA CME 7T15 gainés en PEHD (5000 m) et injectés avec de la cire pétrolière.

Les joints de chaussée ont été également remplacés par des joints ETIC EJ 160 et EJ 300.

LE FOOTBALL ET LE RUGBY EN PREMIÈRE LIGNE

Dans le domaine des installations sportives, qu'il s'agisse de les renouveler ou de participer à leur construction, ETIC fait état de multiples références, notamment dans le domaine des stades de football et de rugby.

Quatre d'entre elles ont été particulièrement d'actualité lors de la coupe d'Europe de football qui s'est déroulée l'année dernière car elles ont contribué à son bon déroulement tandis que la cinquième, un stade de rugby, est déjà devenue une référence tant architecturale que technique, tout aussi emblématique que l'ouvrage dont elle a pris la relève :

→ Lille, stade Pierre Mauroy de 50300 places du LOSC : 4 appuis sphériques de 31500 kN sous les mégapoutres du toit coulissant ; ▷



16

© DENISE HASFERT

- Bordeaux, stade Matmut Atlantique de 42 000 places des Girondins de Bordeaux : appareils d'appui ETIBLOC en néoprène fretté complétés de 8 amortisseurs pour la protection au vent ;
- Nice, stade Allianz Riviera de 35 000 places de l'OGC Nice : 200 barres de précontraintes F36 de la charpente, ainsi que des systèmes articulés faisant office d'anti-soulèvement ;
- Lyon, stade des Lumières de 58 000 places de l'Olympique Lyonnais : 16 appuis sphériques de 7 000 à 18 000 kN avec dispositifs anti-soulèvement ;
- Paris, stade Jean Bouin de 20 000 places du Stade Français : précontrainte par post-tension de 11 poutres de la superstructure avec le système BBR VT CONA CMI.

« Une particularité est à signaler à propos du stade des Lumières, indique Claude Néant : les appareils d'appui sphériques disposés entre l'infrastructure béton et la superstructure métallique ont été choisis pour leur compacité. Pour éviter de transmettre des moments de flexion importants dans les poteaux métalliques supérieurs, ces appuis ont été posés tête en bas, avec la plaque de glissement en partie inférieure. Ils étaient en outre équipés d'un système anti-soulèvement ».

HORIZON SUD À EVRY

ETIC exerce également une grande partie de son activité dans le bâtiment, qu'il soit neuf ou ancien. C'est ainsi qu'à côté du renforcement du Panthéon à Paris, ou de la protection parasismique de l'état-major de la base militaire de Fort-de-France en Martinique, cette entreprise a contrôlé par dévérinage hydraulique la prise de flèche des parties en console de deux bâtiments de l'ensemble immobilier Horizon Sud à Évry. Ces parties étaient bloquées à la construction par quatre poteaux provisoires en béton. En fin de construction,

ETIC a installé deux vérins hydrauliques 50 t en tête de chaque poteau, effectué le transfert de charges poteau/vérin avant démolition de la tête de poteau et procédé à la prise de flèche de la partie en console par dévérinage, poteau par poteau, par pas de 1 mm. Lors de ces opérations, les charges dans les vérins étaient suivies au moyen de manomètres et les déplacements au moyen de comparateurs. Les flèches constatées en fin d'opération étaient de l'ordre de 3 mm.

16- Le pont Adolphe à Luxembourg : renforcement par 1 000 barres de précontrainte.

17- Le Fly Over au Luxembourg : 10 haubans de 7 à 15 torons injectés à la cire (système BBR HIAM CONA).



© BBR

17

À PROPOS DE BBR

Le développement des systèmes de post-tension BBR a débuté en 1944 lorsque trois jeunes ingénieurs civils diplômés de l'Institut fédéral de technologie de Zurich se sont réunis : Antonio Brandestini, Max Birkenmaier et Mirko Robin Ros. La première lettre de leur nom, Birkenmaier, Brandestini et Ros, a été combinée pour former le nom de la compagnie de BBR.

Au cours des années 50 et 60, BBR a développé une gamme complète de systèmes de précontrainte et de post-tension, d'ancrages au sol et d'ancrages pour câbles. Leurs développements ont entraîné l'évolution des techniques de post-tension dans le monde entier.

Le réseau BBR, présent dans plus de 50 pays dans le monde, est reconnu comme un groupe leader des entreprises spécialisées dans les domaines de la post-tension, des tirants et de l'ingénierie structurale.

LA « SEINE MUSICALE » SUR L'ÎLE SEGUIN

Posée sur la pointe aval de l'Île Seguin à Boulogne-Billancourt dans les Hauts-de-Seine, la "Seine Musicale" est un ensemble de bâtiments en forme de vaisseau, consacré à toute la musique, totalement inédit en France et en Europe, pouvant accueillir des manifestations variées : artistiques, politiques, festives, commerciales...

La Grande Seine peut accueillir jusqu'à 6 000 spectateurs tandis que l'auditorium d'une capacité de 1 150 places, est formé d'une coque en bois tressé où les panneaux photovoltaïques en forme de voile, se déplacent autour de lui selon la position du soleil.

Sur ce chantier de la Seine musicale, ETIC a fourni 190 m de joints de chaussée pour les voies permettant d'y accéder mais surtout l'ensemble des appareils d'appui sur lesquels est posé le bâtiment afin d'isoler le sous-sol des vibrations engendrées par les représentations musicales. L'entreprise a assuré la conception, le dimensionnement et la fourniture de 3 m³ d'appuis en néoprène fretté.

LA LGV HARAMAIN HIGH SPEED RAIL PROJECT EN ARABIE SAOUDITE

L'entreprise réalise plus du tiers de son activité à l'export sur des chantiers tout aussi diversifiés qu'en France. Quelques-uns d'entre eux mettent en évidence la polyvalence de son savoir-faire.

Le projet LGV Haramain en Arabie Saoudite ou HHR (Haramain High Speed Rail Project) est la concrétisation du projet MMRL (Makkah-Madinah Rail Link) qui est destinée à relier La Mecque à Médine via Djeddah, sur une ligne électrifiée à 2x2 voies.

Cette réalisation vise à faciliter les transports pour les pèlerins du Hajj et de l'Umrah en reliant La Mecque à l'aéroport international de Djeddah mais également à Médine (2^e ville sainte de l'Islam) et, par là même, à diminuer le

trafic autoroutier entre La Mecque et Djeddah tout en réduisant les accidents dans la région de La Mecque (35% des accidents routiers sur l'ensemble du Royaume).

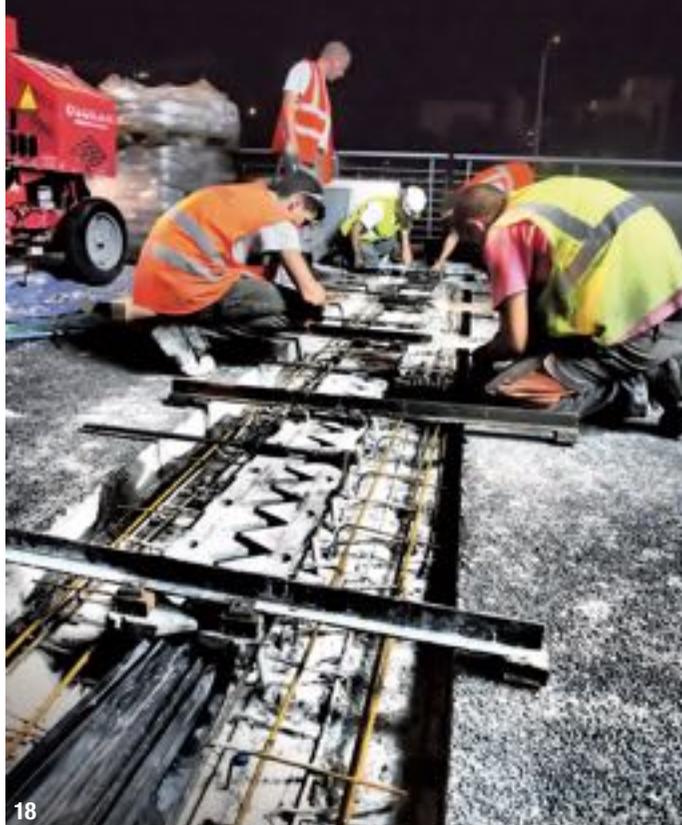
Sur ce chantier, ETIC a livré plus de 3000 appuis à pot, joints sous ballast et butées parasismiques.

LE PONT ADOLPHE À LUXEMBOURG

ETIC est également intervenue sur le pont Adolphe à Luxembourg. Calculé par Paul Séjourné, ingénieur civil des Ponts auquel on doit également le pont de la Concorde à Paris, et réalisation majeure de sa carrière, il était, lors de son inauguration le 24 juillet 1903, le plus grand pont en voûtes maçonnées. Figure emblématique de la ville de Luxembourg, l'ouvrage est constitué de trois arches chacune jumelées dont deux de 21,60 m d'ouverture et d'une arche centrale de 84,65 m d'ouverture et 31 m de flèche pour une longueur totale de 153 m.

Le tablier a la particularité d'être en béton armé, technique utilisée depuis seulement une dizaine d'années à l'époque, depuis que le français Joseph Monier avait déposé des brevets sur ce matériau prometteur.

En 1996, des analyses ont permis de découvrir des fissures dans les trois rouleaux de pierres soutenant le pont, c'est-à-dire les trois couches de pierres imbriquées qui forment l'arc principal et qui soutiennent majoritairement la charge. Au fil du temps, le gel, le dégel et l'infiltration de sel ont fragilisé la structure de façon irrémédiable. Si les



18
© ETIC

18 & 19- Pose et coulage des joints sur l'échangeur du quai d'Ivry du périphérique parisien.

travaux de stabilisation entrepris en 2003 ont pu remédier à cette situation, leur nature provisoire et inesthétique nécessitait une réhabilitation intégrale à laquelle a participé ETIC.

« L'ouvrage a été renforcé par près de 1 000 barres de précontrainte de 2 à 5 m de longueur, indique Jérémie Baumgartner, reprenant les charges de compression verticales et horizontales afin de renforcer les arches et le tablier. Ces barres ont fait l'objet d'un traitement d'isolation électrique afin de

les protéger de la corrosion : en effet, l'ouvrage est construit en gypse, matériau qui présente la particularité, lors de la percolation des eaux, de créer des piles électriques ».

De plus, ces barres ont la particularité d'être à très haute ductilité, permettant un allongement important avant rupture alors que leur limite élastique atteint 1 200 MPa.

LE FLY-OVER À LUXEMBOURG

Toujours au Luxembourg, le fameux Fly-Over bleu qui enjambe la route nationale N6 entre Bertrange et Mamer sur une longueur de 132 m est un pont courbe à deux travées avec une voie à sens unique qui permet aux automobilistes, comme aux bus, mais aussi aux piétons et cyclistes (une piste leur est dédiée), qui viennent de Luxembourg par la N6, d'accéder directement au

rond-point de l'École européenne Luxembourg II. L'une des particularités de cet ouvrage haubané est d'être conçu avec un tubage des haubans en tubes inox minces.

« Leur mise en œuvre a été conduite par ETIC, indique Claude Néant, à l'aide d'un système de câble, treuil et poulies depuis les ancrages hauts du pylône et mise en tension depuis les ancrages bas. Les dix haubans sont constitués par un faisceau de 7 à 15 torons T15S galvanisés puis injectés à la cire (système BBR HIAM CONA) qui ont été testés puis validés suivant la procédure interne à BBR ».

UNE PREMIÈRE SUR LE PÉRIPHÉRIQUE PARISIEN

La présentation d'ETIC n'aurait pas été complète sans l'évocation de ce qui constitue une première pour cette entreprise qui compte bien en faire une référence renouvelable en matière de travaux de rénovation : la pose en un temps record de joints de chaussée sur le boulevard périphérique parisien au niveau du nouvel échangeur du Quai d'Ivry.

Pour la réalisation de cet échangeur, l'entreprise adjudicatrice - Eiffage Génie Civil - est sortie du contexte classique mais peu novateur du remplacement de joints usagés par de nouveaux joints strictement identiques et donc adaptables à ceux existants. Elle a décidé d'innover en retenant - et c'est une première - des produits concurrents de ceux habituellement mis en place, année après année.

C'est ainsi que, grâce à son vaste catalogue de joints de chaussée conçus et développés en propre depuis plus de 10 ans, ETIC a posé ses premiers joints de chaussée sur le périphérique parisien. Le premier ouvrage équipé est l'OA3, qui supporte le "périph intérieur".

« Le phasage de construction, précise Guillaume Wastiaux, nous a contraints à réaliser la pose finale des joints en travaux de nuit entre 22 heures 30 et 5 heures du matin avec remise en circulation impérative à 5 heures. Une opération minutée durant laquelle chacun sait ce qu'il doit faire à chaque instant et où les tâches s'enchaînent avec précision. Nos équipes ont défini un phasage de pose spécifique et original qui a permis la réalisation finale de deux lignes de 14,50 m de joints EJ85 en seulement quatre nuits, avec mortier à prise rapide ».

Il était 5 heures, Paris s'éveillait, il était 5 heures, le joint ETIC était opérationnel ! □



© ETIC
19



1
© RAZEL-BEC

LE VIADUC DU MÉTRO DE RENNES MÉTROPOLE : APPUIS ET PRÉFABRI- CATION DES VOUSOIRS

AUTEURS : MICHEL BOUSQUET, DIRECTEUR DE PROJET, RAZEL-BEC - LUC DEFAUCHEUX, INGÉNIEUR MÉTHODES, EIFFAGE

SUR SON EXTRÉMITÉ NORD-EST, LA LIGNE B DU MÉTRO DE L'AGGLOMÉRATION RENNAISE FAIT SURFACE ET SE POURSUIT EN UN VIADUC REMARQUABLE DE 2,4 KM. CET OUVRAGE MAJEUR DANS LE FUTUR PAYSAGE URBAIN ASSOCIE UNE FORTE IDENTITÉ ARCHITECTURALE, CARACTÉRISÉE PAR LES FORMES ARRONDIES DES PILES EN X ET EN Y ET LA NERVURE DES VOUSOIRS, AINSI QU'À LA TECHNICITÉ DES TABLIERS TRÈS COURBES RÉALISÉS EN VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS PRÉCONTRAINS. CET ARTICLE DÉCRIT LA RÉALISATION DES PILES ET LA FABRICATION DES VOUSOIRS ; CES CHANTIERS PRÉPARENT LE PASSAGE DU LANCEUR ET LA POSE DES TABLIERS.

PRÉPARER LE PASSAGE DU LANCEUR ET LA POSE DES TABLIERS

En terminaison Est, à cheval sur les communes de Rennes et Cesson Sévigné, la ligne b du Métro de Rennes Métropole prend la forme d'un viaduc urbain à une altitude moyenne de 7 m et de longueur 2 395 m. Cette section aérienne traverse trois stations et rejoint une arrière-gare

provisoire, dans l'attente d'un futur prolongement de la ligne. En courbe sur la moitié de sa longueur totale, il est l'ouvrage emblématique de cette deuxième ligne du métro de Rennes Métropole. Raccordé à la tranchée couverte par un ouvrage de transition de 40 m, le viaduc se décompose en 36 tabliers indépendants : 34 tabliers bi-travées et 2 tabliers mono-travées (figure 2).

**1 - Viaduc du
métro de Rennes.**

**1 - Rennes
metro viaduct.**

La construction de l'ouvrage s'organise autour de quatre chantiers :
→ La réalisation des 70 appuis voit la succession de plusieurs ateliers

mobiles (terrassements, fondations profondes et superficielles, élévations, finitions et remblais) opérant avec des contraintes inhérentes au milieu urbain.

→ La préfabrication des 973 voussoirs s'inscrit dans une logique de production industrielle sur le site même du chantier, dont les cadences sont dictées par le planning de pose des voussoirs et dont

PLAN DE REPÉRAGE DE L'OUVRAGE



2

© RAZEL-BEC

les exigences de qualité sont liées aux tolérances géométriques de l'ouvrage assemblé.

→ La pose des tabliers suit un enchaînement très précis de tâches unitaires aux durées optimisées, entre avancement de la poutre, pose et réglage du Voussoir Sur Pile, suspension/encollage/brélage des voussoirs et mise en tension des câbles de précontrainte.

2- Plan de repérage de l'ouvrage.

3- Blindage semelle sur pieux.

2- Location drawing of the structure.

3- Shielding for construction of a foundation slab on piles.

→ Les opérations de pose des superstructures et les finitions suivent de près l'avancement du lanceur et doivent composer avec la circulation du fardier d'approvisionnement des voussoirs sur les tabliers déjà posés. Les deux premiers chantiers sont menés de front et précèdent nécessairement sur le linéaire la pose des tabliers, qui constitue le chemin critique du projet.

LA RÉALISATION DES APPUIS EN SITE URBAIN

Les travaux des appuis ont fait face à toutes les spécificités inhérentes à un chantier en environnement urbain. Une campagne de reconnaissance de réseaux a été réalisée sous chaque semelle de piles en complément des déviations de réseaux dirigées par le maître d'ouvrage. Les emprises réduites le long des boulevards à fort trafic ont imposé la mise en œuvre d'un blindage sur la majorité des piles (figure 3). Les traversées des voies circulées ont nécessité des aménagements de circulation des véhicules, des deux roues et des piétons. Les piles reposent sur deux types de fondation choisis suite à la campagne géotechnique de la mission G3 : certains appuis sont fondés sur quatre pieux de diamètre 1 000 mm, les autres sur semelle superficielle de 40 m² maximum.

LES COFFRAGES DE PILES X ET Y

Les appuis, baptisés X ou Y selon leur forme architecturale (figures 4 et 5), couvrent une gamme de hauteurs comprises entre 4,30 m et 9,35 m. Les niveaux d'arasés supérieures des chevêtres ont été fixés pour libérer une hauteur minimale de 30 cm sous l'intrados du tablier au droit des appareils d'appui. Les plus hauts niveaux d'assise envisageables ont été précisés par la campagne géotechnique et ▷

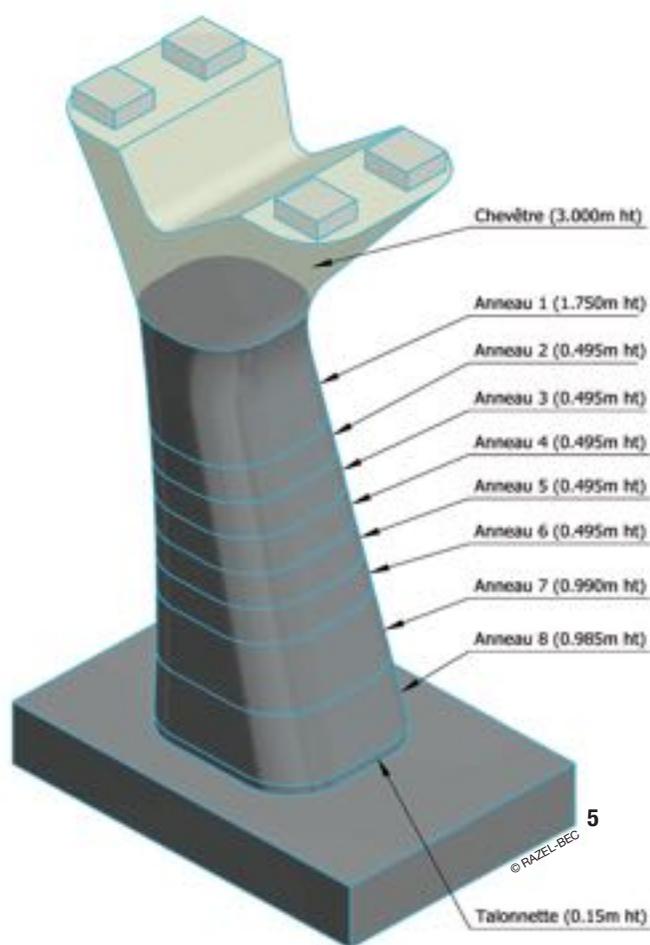


3

© NICOLAS VERCELLINO



4 © YVES CHANDOT



les épaisseurs minimales de couverture des fondations imposées par le projet d'aménagement définitif. Ces données ont permis d'établir un calepinage de hauteurs qui définissent huit familles de piles de type Y et quatre familles de piles de type X. Un coffrage métallique de chaque type a été fabriqué pour le chantier (figures 6 et 7).

Les calepinages en hauteur ont donné lieu à l'utilisation d'outils coffrants déclinés en plusieurs familles à l'aide de sous-hausses. Les coffrages ont été conçus sans tiges traversant le béton ; ils reposent sur l'accouplement d'anneaux découpés en deux éléments pour le fût et de quatre panneaux constitutifs du chevêtre. L'exigence de la qualité de restitution des courbures projetées par l'architecte, a conduit le fabricant à concevoir une face coffrante en résine permettant de gommer les facettes de la tôle métallique du coffrage.

LES ARMATURES DES PILES COURBES

Les piles se caractérisent par une forte densité d'armatures sur les appuis les plus sollicités. Les courbures des piles ont imposé une mise au point minutieuse du façonnage des armatures et une pose précise pour respecter les enrobages.

Le ferrailage des appuis a été conçu en deux éléments :

→ Le fût est assemblé en place, directement sur l'appui concerné autour des attentes émergeant de la semelle.

→ Les chevêtres sont assemblés sur l'aire de préfabrication dans trois gabarits spécialement conçus pour garantir le respect géométrique des courbes des deux types de chevêtres ; ils sont ensuite approvisionnés à l'aide d'un châssis de transport et assemblés en tête du fût (figure 8).

En complément des armatures, des dispositifs relatifs aux phases de pose du tablier ont été intégrés en têtes de pile. En effet, les piles accueilleront les voussoirs sur pile, éléments de départ de l'assemblage des tabliers bi-travées et les piles-culées, le Pied Avant de la poutre de lancement puis les voussoirs d'about.

Les appuis et la stabilisation provisoire de ces éléments nécessitent la mise en place d'un clouage actif temporaire. Pour ce faire, des tubes cintrés servant de gaine de précontrainte sont disposés dans les chevêtres.

Pour une prise en compte au plus juste de toutes ces contraintes et pour assurer la continuité des cheminées de

4- Pile en X.
5- Géométrie
pile Y.

4- X-shaped
pier.
5- Y-shaped
pier.

bétonnage et des conduits de vibration, le ferrailage a été étudié en 3D par les bureaux d'études du groupement d'entreprises (figure 9).

Les ferrillages des deux éléments sont réalisés autour de châssis métalliques, une chaise mâle dans le fût et une chaise femelle dans le chevêtre.

Ces structures métalliques, noyées finalement dans le béton, remplissent un rôle triple, à savoir : patron d'assemblage des armatures, accouplement des deux éléments préfabriqués et assise de l'ensemble ferrillé dans l'attente du coffrage.

De cette manière, le ferrailage des appuis peut être réalisé à l'avance, réglé sur la semelle de l'appui concerné et il est auto-stable.

La dissociation des tâches de ferrailage et de coffrage a permis une meilleure gestion des équipes.

LE BÉTONNAGE DES PILES TOUTE HAUTEUR

Les appuis, y compris talonnette et bossages, sont réalisés en un seul bétonnage pour des volumes compris entre 23,4 m³ et 49,4 m³.

L'absence de reprise de bétonnage améliore l'esthétique des parements. En outre, le bétonnage en une seule fois offre des rendements supérieurs à ceux d'une méthode traditionnelle de levées successives. Mais la mise au point du mode opératoire a nécessité des essais grandeur nature pour assurer la reproductivité de la qualité requise du parement.

L'opération de bétonnage est donc menée avec la totalité de la pile coffrée et ferrillée. Elle s'effectue de fait à l'aveugle, sur une géométrie complexe ne favorisant pas l'acheminement du béton.

Le béton est mis en œuvre avec une grue mobile équipée d'une benne de 1 000 litres raccordée à une manche prédéposée dans le ferrailage et remontée au fur et à mesure du remplissage du coffrage.

Les aiguilles vibrantes sont positionnées au préalable dans la pile le long de chaînages implantés lors du ferrailage. Elles sont remontées au fur et à mesure du bétonnage.

Un programme précis des durées de vibration sur des zones optimisées a été élaboré en phase de mise au point pour assurer un traitement homogène des tranches de bétonnage. Il permet de se prémunir au mieux des phénomènes de ségrégation et de bullage sur les faces inclinées.

LA PRÉFABRICATION DES VOUSSOIRS

PARTICULARITÉS DU TABLIER

Le tablier est constitué de voussoirs préfabriqués en forme de caisson nervuré de petite hauteur (figure 10). La précontrainte longitudinale est intérieure. L'ouvrage se décompose en une succession de 36 tabliers indépendants (34 bi-travées et 2 mono travées). Les travées sont décomposées en 11 à 14 voussoirs d'une longueur moyenne de 2,5 m à l'axe.

La préfabrication des voussoirs doit s'adapter à une géométrie très variée : des longueurs de travées variant de 30 m à 37 m, des courbes allant jusqu'à 125 m de rayon associées à des dévers jusqu'à 10% et des pentes longitudinales oscillant entre -3,8% et +4,4%. Les voussoirs, tous différents, sont de trois types : les voussoirs sur

pires (65 t), les voussoirs courants (25 t) et les voussoirs sur pile culée (25 t). De hauteur constante 1,70 m, les voussoirs ont une épaisseur d'âmes variable (300 mm et 500 mm).

Le découpage en voussoirs et la conception des coffrages de la nervure ont été menés en association étroite avec l'architecte. Le service Méthodes du chantier et le fabricant du coffrage ont dû concevoir un outil intégrant la rigidité apportée par la nervure et la souplesse nécessaire au vrillage du coffrage pour les fortes variations de géométrie du tablier.

ORGANISATION DE L'AIRE DE PRÉFABRICATION DES VOUSSOIRS

L'aire de préfabrication est divisée en trois parties (figure 11) :

- 6- Coffrage pile Y.
- 7- Coffrage pile X.

- 6- Y-shaped pier formwork.
- 7- X-shaped pier formwork.

- La zone de préfabrication des cages d'armatures équipée de cinq gabarits pour les voussoirs courants, un gabarit pour les voussoirs sur pile et un gabarit pour les voussoirs sur pile-culée. Les gabarits réglables s'adaptent aux longueurs des voussoirs et à la position des gaines de précontrainte. L'aire est desservie par une grue à tour exclusivement réservée au ferrailage. Les cadences impliquent de décharger un camion d'approvisionnement d'armatures tous les deux jours et de fabriquer quatre cages par jour.
- La zone de coffrage et de bétonnage des voussoirs est constituée de quatre cellules de voussoirs permettant de bétonner 4 travées en simultané, une cellule de voussoirs sur pile et une cellule de voussoirs sur piles-culées. Les composants principaux des coffrages sont le masque, les panneaux d'encorbellement et le noyau. Ils sont complétés d'une panoplie d'accessoires permettant de suivre les spécificités géométriques et fonctionnelles de chaque voussoir (épaisseur des âmes, gaines, bréclages...). Une grue à tour est néces-

saire pour la manutention de ces nombreuses pièces d'adaptation. La distribution du béton est assurée par une pompe à béton fixe et un mât de bétonnage sur rails.

- La zone de stockage d'une superficie de 5000 m² est balayée par un portique sur rails de 29 m de portée et de capacité 70 t. Les voussoirs y sont stockés sur deux niveaux. Cette aire est aussi utilisée pour l'équipement complet des voussoirs en vue de leur approvisionnement sur le chantier de pose par le fardier de transport.

Le cycle de production d'un tablier est figé : le voussoir central sur pile (VSP) est bétonné en premier dans la cellule dédiée. Le VSP est ensuite positionné en contre-moule sur la première ligne de production pour lancer la fabrication des voussoirs de la travée amont. Il est ensuite pivoté et positionné sur une seconde ligne de production pour lancer la fabrication de la travée aval. Les deux travées sont ainsi fabriquées en parallèle sur deux cellules. Les derniers voussoirs courants de la série sont mis en contre-moule successivement dans la cellule des Voussoirs sur Pile Culée (VSPC) pour terminer l'ouvrage. ▷

COFFRAGE PILE Y



6

© COFFRAGE & EQUIPAGE



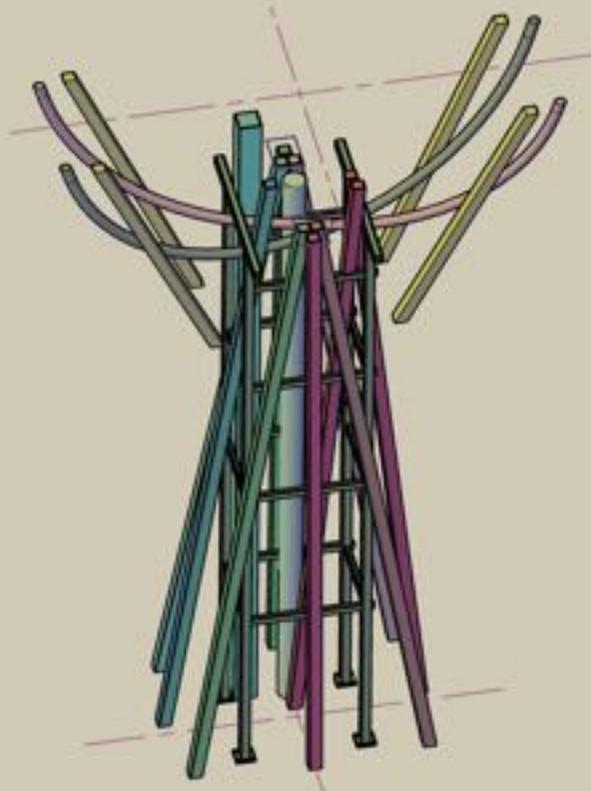
7

© RAZEL-BEC



8

SYNTHÈSE 3D AVANT ARMATURES DES PILES



9

© RAZEL-BEC

L'enjeu de l'organisation de la préfabrication réside dans la coordination des cadences des différents postes de travail.

LE BÉTON : DES EXIGENCES DE TEINTE, DE PERFORMANCE ET DE RÉGULARITÉ

L'aspect architectural des bétons étant prépondérant, notamment sur l'homogénéité de la teinte et la qualité des parements, une centrale à béton dédiée a été installée sur le chantier pour les 23 000 m³ de béton du projet.

Pour garantir une homogénéité de teinte sur l'ouvrage, les formulations de béton pour les appuis et les voussoirs sont très proches. Elles ont été établies pour répondre aux exigences suivantes : une teinte claire, une rhéologie permettant le bétonnage des voussoirs caissonnés fortement armés et une montée en résistance rapide pour un décoffrage des voussoirs à jeune âge. Le béton des voussoirs est un C55/67 à base de ciment CEM I 52,5. Le diamètre maximal des granulats a été réduit à 16 mm pour améliorer la mise en œuvre dans les zones fortement armées. Des ajouts de métakaolin blanc et de laitier Ecocem ont permis d'éclaircir la teinte.

Une valeur cible de la consistance du béton frais a été définie pour permettre un bétonnage uniforme des voussoirs. En effet, comme le hourdis inférieur du caisson n'est pas coffré en partie supérieure, une fluidité légèrement plus forte compromettrait la tenue du béton dans les âmes et, à l'inverse, une fluidité plus faible conduirait à des difficultés de remplissage.

La forme du voussoir impose une résistance minimale élevée au moment du

8- Assemblage armatures du chevêtre.

9- Synthèse 3D avant armatures des piles.

10- Cellule de voussoir sur pile culée.

8- Pier-cap reinforcement assembly.

9- Synthetic 3D view before pier reinforcement.

10- Segment unit on abutment pier.

décoffrage. Pour atteindre cette valeur élevée le lendemain en début de poste, des mesures ont été mises en œuvre pour optimiser le cycle : utilisation de la maturométrie, mise en place d'un hangar rétractable. En hiver, ces mesures ont été complétées par la confection d'un béton chaud (supérieur à 25°C) et par le chauffage et l'isolation des cellules, la très faible épaisseur des encorbellements (20 cm) étant très sensible à la température ambiante.



10

© YVES CHANOT

QUANTITÉS PRINCIPALES

PIEUX DIAMÈTRE 1000 :
1 200 m

**SOUTÈNEMENTS
ET BLINDAGES :** 5 100 m²

BÉTON : 23 000 m³

ARMATURES PASSIVES :
4 300 t

**PRÉCONTRAINTÉ
INTÉRIEURE :** 618 t

COFFRAGES FINS : 500 m²

BANDEAUX BFUP : 10 000 m²

MURS EN GABIONS : 1 700 m³



11

© YVES CHANOIT

LE RÉGLAGE GÉOMÉTRIQUE DU TABLIER

Les voussoirs sont fabriqués selon la méthode des joints conjugués (figure 12). Cette technique consiste à fabriquer le voussoir N directement contre le voussoir N-1. Elle permet d'assurer le respect de la géométrie du tablier (sans défaut dû à l'irrégularité des surfaces en contact lors du collage ultérieur). De plus, le logiciel utilisé

11- Aire de préfabrication des voussoirs.
12- Principe fabrication conjuguée.

11- Segment prefabrication area.
12- Match casting technique.

pour le réglage des cellules corrige en permanence la géométrie du voussoir en cours de fabrication en fonction des relevés des voussoirs précédents afin de ne pas ajouter les tolérances

intrinsèques à tous les voussoirs qui composent la travée. Ainsi, la géométrie du tablier ne dépendra que du réglage lors de la mise en place du voussoir sur pile. □



12

© RAZEL-BEC

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Rennes Métropole
MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Semtcar
MAÎTRE D'ŒUVRE DE LA LIGNE B : Egis Rail, Egis Bâtiments, Arcadis, L'Heudé & L'Heudé
CONCEPTION ARCHITECTURALE DU VIADUC : Lavigne Chéron
MAÎTRISE D'ŒUVRE DU VIADUC : Egis Jmi
CONSTRUCTION : Razel-Bec (mandataire), Eiffage
BUREAUX D'ÉTUDE D'EXÉCUTION ET MÉTHODES : Eiffage (BIEP), Razel-Bec (D2i)
CONTRÔLE EXTERNE ÉTUDES : Secoa
PRINCIPAUX PRESTATAIRES :
COFFRAGES : Coffrage&Quipage
BÉTON : Pigeon Béton
ARMATURES : Lambda
PRÉCONTRAINTE ET APPAREILS D'APPUIS : Etic
LOGICIEL RÉGLAGE GÉOMÉTRIQUE : Formule Informatique
LANCEUR : Deal
BANDEAUX ARCHITECTURAUX : Via Pontis

ABSTRACT

THE RENNES METROPOLIS METRO VIADUCT: SUPPORTS AND SEGMENT PREFABRICATION

MICHEL BOUSQUET, RAZEL-BEC - LUC DEFAUCHEUX, EIFFAGE

The viaduct of Rennes Metropolis metro line B is formed of prefabricated, prestressed ribbed segments placed in position with a launcher. It is 2,395 metres long, formed of separate two-span and single-span decks and rests on 70 X- or Y-shaped piers spaced 30 to 37 metres apart. The pier and segment curvatures had a major impact on the quality of formwork production, reinforcing-bar shaping and concreting methods. The piers are concreted over their full height. The 973 segments are prefabricated on the construction site in four standard units and two special units. They are cast by the match casting technique to ensure high geometrical precision. □

EL VIADUCO DEL METRO DE RENNES MÉTROPOLE: APOYOS Y PREFABRICACIÓN DE LAS DOVELAS

MICHEL BOUSQUET, RAZEL-BEC - LUC DEFAUCHEUX, EIFFAGE

El viaducto de la línea b del metro de Rennes Métropole está formado por dovelas nervadas prefabricadas pretensadas, instaladas con un lanzador. Con una longitud de 2.395 m, consta de tableros independientes de una y dos luces, y se sustenta sobre 70 pilas en forma de X o de Y, instaladas a una distancia de 30 a 37 m. Las curvaturas de las pilas y las dovelas han tenido un fuerte impacto en la calidad de fabricación de los encofrados, el moldeado de las armaduras y los métodos de hormigonado. Las pilas están hormigonadas en toda su altura. Las 973 dovelas han sido prefabricadas in-situ en dos células especiales, y han sido coladas utilizando la técnica de las juntas conjugadas para garantizar una alta precisión geométrica. □



1

© PHOTOTHÈQUE OC'VIA



2

© PHOTOTHÈQUE OC'VIA

LGV CNM : DEUX VIADUCS (RN113 ET A54) TRÈS BIAIS

AUTEURS : YI ZHANG, CHEF DE PROJET, SPIE BATIGNOLLES TPCI - SYLVAIN BOIREAU, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SECOA - DOMINIQUE REGALLET, DIRECTEUR TECHNIQUE, OC'VIA CONSTRUCTION - VINCENT BEAUDOU, RESPONSABLE TRAVAUX, OC'VIA CONSTRUCTION

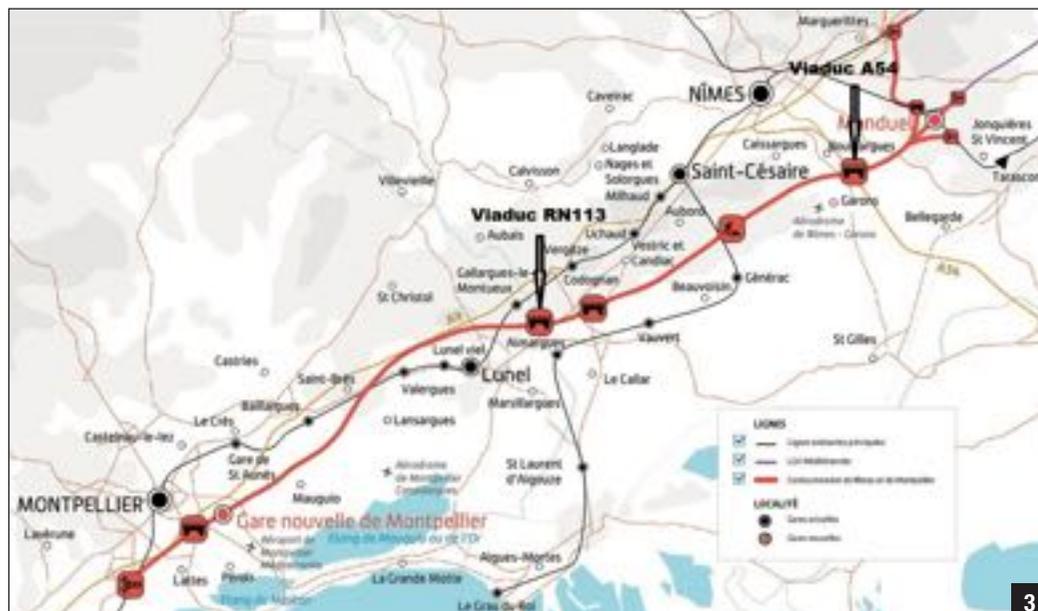
LES OUVRAGES D'ART DE LA NOUVELLE LIGNE À GRANDE VITESSE (LGV) DU CONTOURNEMENT DE NÎMES ET MONTPELLIER (CNM) FRANCHISSANT LA ROUTE NATIONALE 113 ET L'AUTOROUTE 54 SONT DES VIADUCS MIXTES ACIER-BÉTON, RESPECTIVEMENT QUADRIPOUTRE À DEUX TRAVÉES ET RAPL (PONT RAIL À POUTRES LATÉRALES) À PORTÉE UNIQUE. UNE DE LEUR PARTICULARITÉ GÉOMÉTRIQUE EST DE PRÉSENTER UN BIAIS TRÈS PRONONCÉ : 46 GRADES POUR LE VIADUC DE LA RN113 ET 56,95 GRADES POUR LE VIADUC SUR L'A54.

PRÉSENTATION DES OUVRAGES

La LGV CNM est la première ligne à grande vitesse mixte en France. Elle permet d'accueillir aussi bien des trains de voyageurs que du trafic fret. La vitesse de conception est de 350 km/h pour les trains de voyageurs et de 120 km/h pour les trains de marchandises.

- 1- Viaduc RN113.
- 2- Viaduc A54.
- 3- Localisation des viaducs.

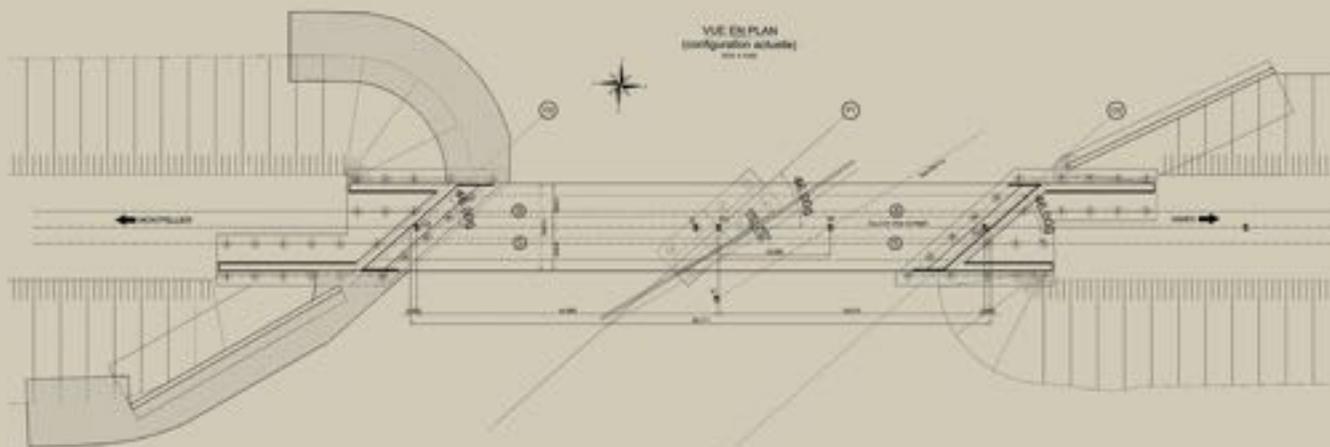
- 1- RN113 viaduct.
- 2- A54 viaduct.
- 3- Viaduct location.



3

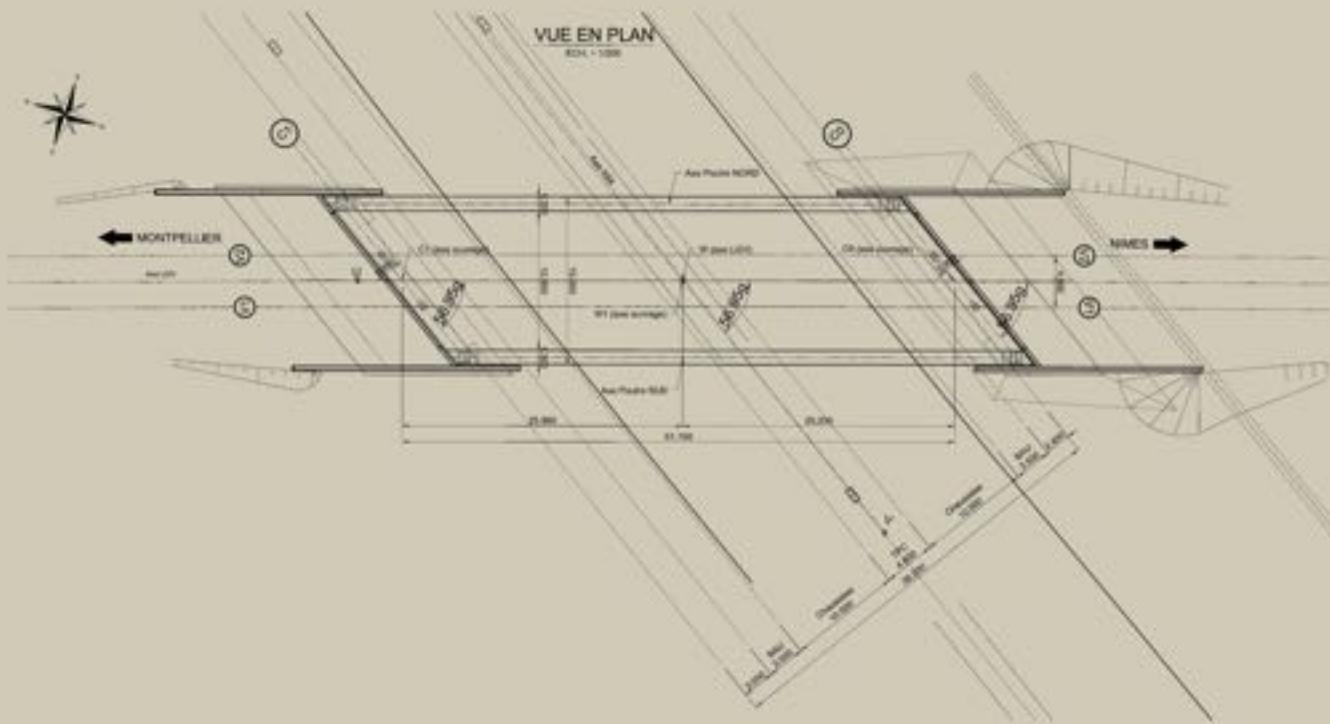
© PHOTOTHÈQUE SPIE BATIGNOLLES TPCI

VUE EN PLAN (VIADUC RN113)



4a

VUE EN PLAN (VIADUC A54)



4b

Le viaduc RN113 permet à la LGV CNM de franchir la route nationale RN113 et son futur doublement, ainsi que le ruisseau de la Sériguette sur la commune d'Aimargues (figure 3).

Le viaduc A54 permet le franchissement de l'autoroute A54 du réseau ASF et son futur élargissement à 2x3 voies sur la commune de Caissargues (figure 3).

TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG

Le viaduc RN113 comporte deux travées de 39,5 m et 44,9 m. Le tracé en

4- Vue en plan (viaducs RN113 et A54).

4- Plan view (RN113 and A54 viaducts).

plan de la LGV dans la zone du viaduc est en alignement droit (figure 4).

Le profil en long de Nîmes vers Montpellier est une pente ascendante à 0,68% suivie d'un cercle de rayon de 21 438 m (figure 5).

Le viaduc A54 présente une travée unique de 51,2 m. Le tracé de la LGV dans la zone du viaduc s'inscrit dans un rayon de 7 692 m (figure 4).

Son profil en long suit une pente descendante à 1% de Nîmes vers Montpellier (figure 5).

LARGEUR UTILE ET PROFIL EN TRAVERS

La largeur du tablier du viaduc RN113 est de 13 m. La corniche caniveau se trouve à l'extérieur de la charpente métallique afin d'optimiser la largeur du tablier (figure 6).

Pour le viaduc A54, l'axe du viaduc est conçu en alignement droit.

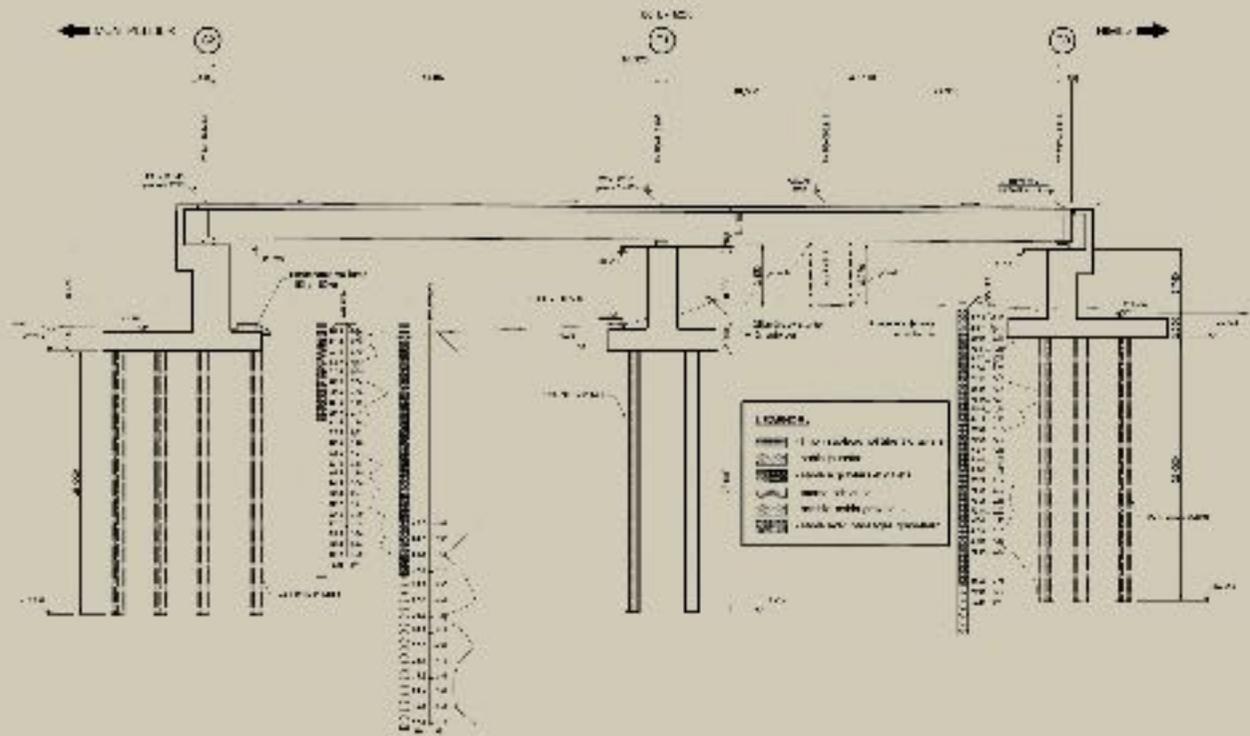
La largeur du tablier est de 14,1 m (figure 6), permettant d'intégrer les poutres latérales et le tracé circulaire de la LGV.

Les deux viaducs supportent les deux voies de la LGV, l'entraxe des voies est de 4,8 m. Le dévers du tablier est défini par un profil en toit de 2,5% (figure 6).

MATÉRIAUX

Les aciers de l'ossature métallique sont de nuance S355 K2+N, N ou NL suivant l'épaisseur.

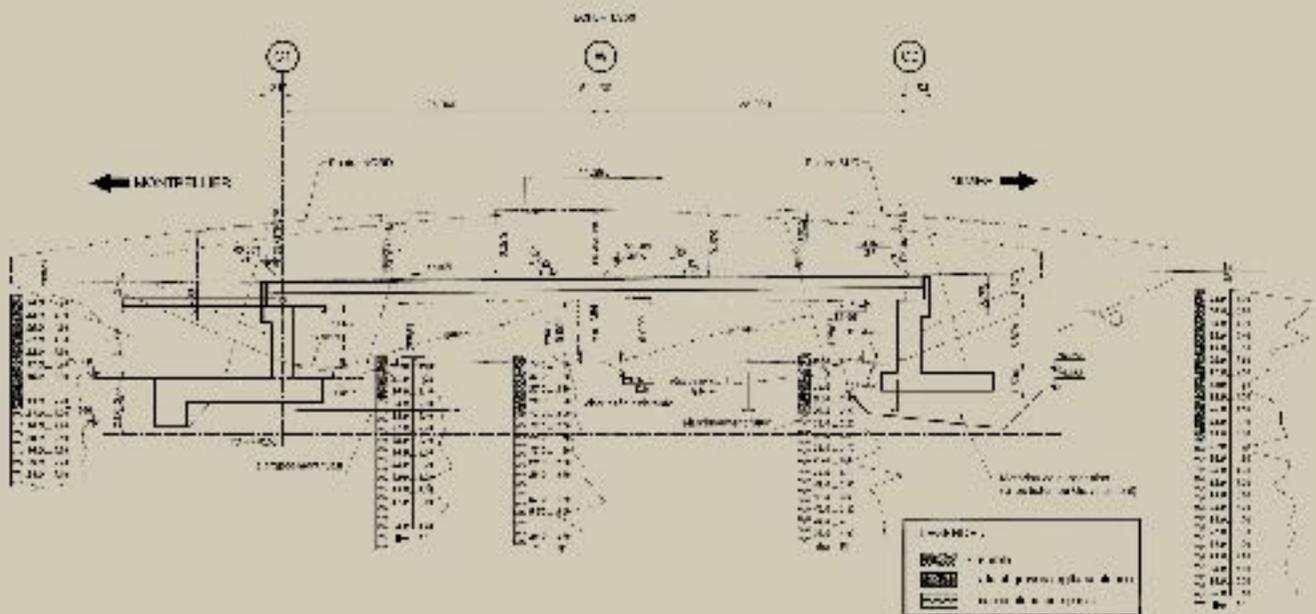
COUPE LONGITUDINALE DANS L'AXE DE L'OUVRAGE (VIADUC RN113)



5a

© PHOTOOTHÈQUE SPIE BATHIGNOLLES TPCI

COUPE LONGITUDINALE DANS L'AXE DE L'OUVRAGE (VIADUC A54)



5b

© PHOTOOTHÈQUE SPIE BATHIGNOLLES TPCI

La charpente est protégée par un système anticorrosion ACQPA C4ANV pour les parties inférieures des poutres et entretoises qui ont reçu une couche de métallisation. Les goujons, de nuance S235 J2G3 + C450, assurent la liaison entre l'ossature métallique et le béton.

Le béton des hourdis est de type C35/45 avec les classes d'exposition XC4/XF1, celui du fût de la pile est C30/37 XC4/XF1.

Le béton des semelles, des culées et des fondations profondes est de C30/37 XC4/XA1.

5- Coupe longitudinale dans l'axe de l'ouvrage (viaducs RN113 et A54).

5- Longitudinal section of the structure (RN113 and A54 viaducts).

DONNÉES ET CONCEPTION DES OUVRAGES

GÉOLOGIE

La géologie dans la zone du viaduc RN113 est constituée des couches successives de : limon, grave sableuse, sables et marne bleue grise.

Dans la zone du viaduc A54, les formations géologiques identifiées sont des silts, des graves argilo-sableuses et de la marnes bleue compacte.

SISMICITÉ

Les deux viaducs sont situés en zone de sismicité faible (département Gard). Les ouvrages de la ligne LGV sont en catégorie d'importance III.

Pour le viaduc RN113, la classe du sol est C pour les fondations profondes (dépôts profonds de sable ou de gravier moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines de mètres).

Pour le viaduc A54, la classe du sol est C.

SCHÉMA FONCTIONNEL ET CONCEPTION PARASISMIQUE

Pour le viaduc RN113, chaque ligne d'appui est équipée de 4 appareils d'appui à pot, un sous chaque poutre. Sur la culée C2, les 4 appareils sont fixés longitudinalement et 1 appui intermédiaire est fixé transversalement.

Sur la pile P1 et la culée C0, tous les appareils sont libres sauf 1 appui intermédiaire bloqué transversalement (figure 7). La longueur dilatable est égale à 86 m, inférieure à 90 m, le joint de l'appui libre sur C0 est du type joint couteau.

Pour le viaduc A54, chaque ligne d'appui est également équipée de 4 appareils d'appui à pot, un sous chaque poutre latérale et un sous chaque voie avec pour but de réduire les effets vibratoires sous passage des trains. Sur la culée C1, les 2 appareils sous poutres latérales sont fixés longitudinalement et 1 appui est fixé transversalement, les 2 appareils sous voies sont libres. Sur la culée C0, tous les

appareils sont libres sauf 1 appui sous poutres latérales bloqué transversalement (figure 7). La longueur dilatable est égale à 54 m, inférieure à 90 m, le joint de l'appui libre sur C0 est du type joint couteau.

Pour les deux viaducs, la conception parasismique consiste à reprendre les efforts sismiques à l'aide des appareils d'appui à pot. Les appareils d'appui fixes reprennent les efforts horizontaux en service y compris les efforts sismiques à l'ELS et à l'ELU.

6- Coupe transversale (viaducs RN113 et A54).

6- Cross section (RN113 and A54 viaducts).

PILES ET CULÉES

L'ensemble des appuis est réalisé en béton armé pour les deux viaducs.

Pour le viaduc RN113, les appuis (piles et culées) sont fondés sur les fondations profondes avec des pieux forés de 26 m de long et 1,4 m de diamètre, ancrés dans la couche portante de la marnes bleue grise. La pile P1 a une section pleine oblongue avec les abouts en ogive. Ses dimensions (17,5 m de long et 2,0 m d'épaisseur) sont limitées par la largeur du futur terre-plein central et par le biais de l'ouvrage. En plus de la pile, les culées présentent également un biais de 46 grades. Compte tenu de sa hauteur importante (12,5 m pour la culée C2 et 11 m pour la culée C0), le mur de front est raidi par les deux murs en retour. Ils forment une géométrie en forme de U, permettant de mieux résister à la torsion (figure 8).

Pour le viaduc A54, les culées sont fondées superficiellement et présentent un biais de 56,95 grades. Une épaisseur moyenne de 2,5 m de la couche des silts a été purgée sous la semelle de la culée C0. La semelle de la culée C1 est équipée d'une bêche profonde vis-à-vis de la stabilité au glissement (figure 9).

TABLIER MÉTALLIQUE ET HOURDIS

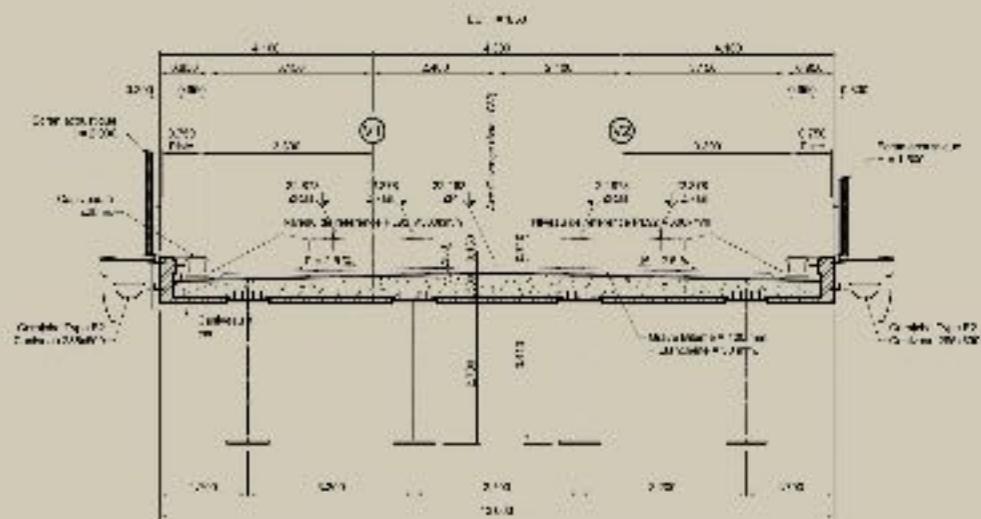
Pour le viaduc RN113, le tablier métallique est de type quadripoutre, il comprend :

- Quatre poutres métalliques PRS espacées de 3,2 m avec une hauteur constante de 2,75 m correspondant à un élanement de 1/16 ;
- Des diaphragmes transversaux PRS avec une hauteur constante de 2,75 m, qui sont régulièrement espacés et suivent le biais de l'ouvrage.

Le hourdis du viaduc RN113 est une dalle en béton armé d'épaisseur variable de 0,45 m à l'axe de l'ouvrage, coulée sur des prédalles non collaborantes. Ces prédalles sont posées sur les poutres et diaphragmes métalliques. ▷

COUPE TRANSVERSALE (VIADUC RN113)

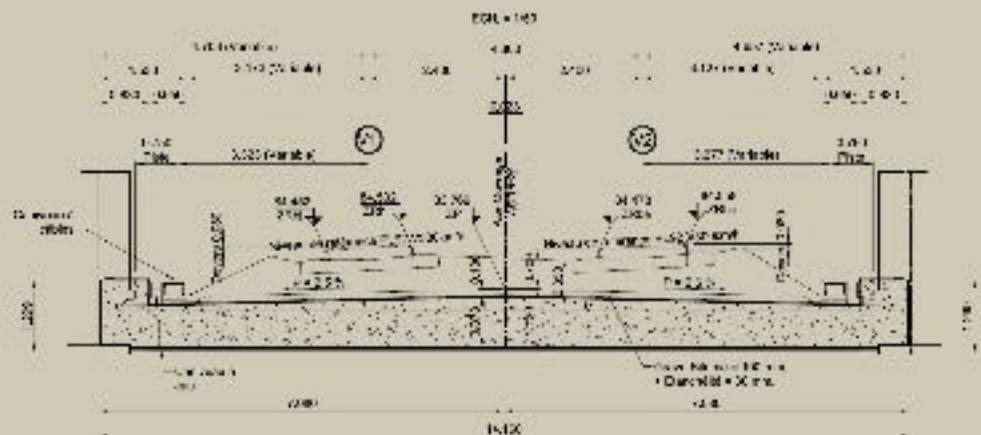
Perpendiculaire Axe Ouvrage - Zone courante (PK 56+120)



6a

COUPE TRANSVERSALE (VIADUC A54)

Perpendiculaire Axe Ouvrage - Zone courante (PK 36+250)



6b

© PHOTO THÉQUE SPIE BARTIGNOLLES TPOI

© PHOTO THÉQUE SPIE BARTIGNOLLES TPOI

Pour le viaduc A54, la hauteur des poutres métalliques latérales varie de 5,2 m à 6,7 m correspondant à un élanement de 1/8. Les poutres latérales sont raidies verticalement tous les 2,208 m sur la face intérieure.

Pour le viaduc A54, le hourdis est constitué de poutrelles enrobées dans le béton, portant de poutre latérale à poutre latérale (figure 10). On distingue :

- Les entretoises principales, constituées de HEB 700 espacés de 2,208 m, assemblées sur les raidisseurs verticaux et sur la semelle inférieure des poutres latérales ;
- Les entretoises secondaires, constituées de HEA 700 espacé de 0,736 m, assemblées sur l'âme des poutres latérales ainsi que sur le dessus de leurs semelles ;
- Les pièces de pont sur culées, constituées de HLB 1000.

L'épaisseur du hourdis est variable de 0,88 m à l'axe de l'ouvrage.

CONSIDÉRATIONS LIÉES AU BIAIS

Dans les années 90, des études ont été menées sur le décollement des appareils d'appui en caoutchouc fretté des viaducs bipoutres mixtes biais par le Cete et le Setra (devenus le Cerema aujourd'hui).

Pour le viaduc RN113, le biais très important induit des soulèvements d'appui dans les angles aigus sous l'effet combiné des charges verticales, notamment certaines positions des convois ferroviaires, et des effets thermiques, notamment le retrait transversal (la longueur biaise d'une ligne d'appui est de 19,7 m). C'est pourquoi des appareils d'appui anti-soulèvement ont été mis en place sur les culées C0 et C2.

Pour le viaduc A54, les zones d'about en forme de triangle sont constituées des longerons longitudinaux liaisonnés à la première entretoise parallèle et à la pièce de pont sur la culée afin de

faciliter le soudage, les prédalles non collaborantes posées entre les longerons sont utilisées pour le bétonnage du tablier (figure 11).

VÉRIFICATIONS DES OUVRAGES

PRISE EN COMPTE DU BIAIS DANS LES CALCULS

Pour les deux viaducs, les modèles 3D ont été réalisés à l'aide du logiciel ST1 développé par le Cerema pour dimensionner la charpente métallique et calculer les descentes de charges, permettant de prendre en compte le biais des viaducs.

Pour le viaduc RN113, les modèles 3D ont également été réalisés pour analyser et dimensionner les appuis. De plus, un modèle 3D complet du hourdis est effectué en éléments finis coques spatiales avec le logiciel SYSTUS (Esi Group). Cet ensemble est en appui sur les composants métalliques du tablier

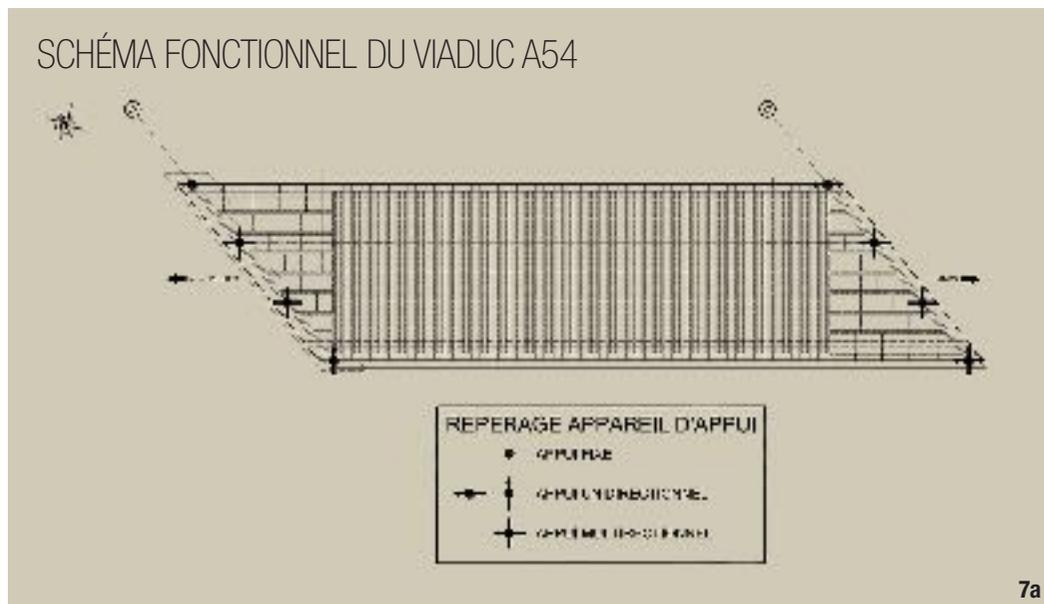
(poutres principales et diaphragmes), modélisés sous forme d'éléments filaires avec les caractéristiques du métal seul. Ces éléments métalliques sont en appui sur les appareils d'appui modélisés par des ressorts de raideur importante suivant le schéma statique de l'ouvrage (figure 7). Cette modélisation tient compte, uniquement dans le sens longitudinal, de la section fissurée et permet d'obtenir directement les sollicitations dans le hourdis béton en s'affranchissant de distinguer et cumuler les effets globaux et les effets locaux (figure 12).

Selon les résultats des calculs, les aciers transversaux dans le hourdis sont orientés perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage sans suivre le biais de l'ouvrage, un calepinage entre les aciers et les goujons a été nécessaire afin d'assurer la mise en place des armatures (figure 13).

CALCULS STATIQUES

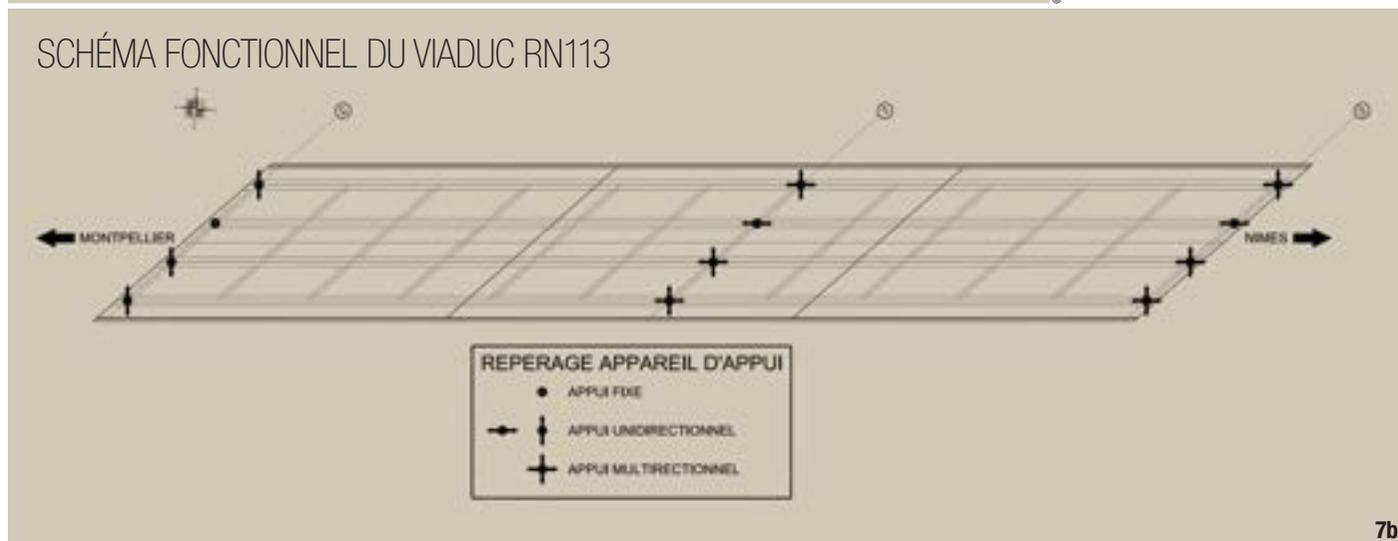
Le dimensionnement et la stabilité des viaducs sont vérifiées par les calculs statiques, effectués à l'aide du logiciel ST1.

Pour les études génie civil de lignes mixtes, les applications des Eurocodes font l'objet des spécifications suivantes :



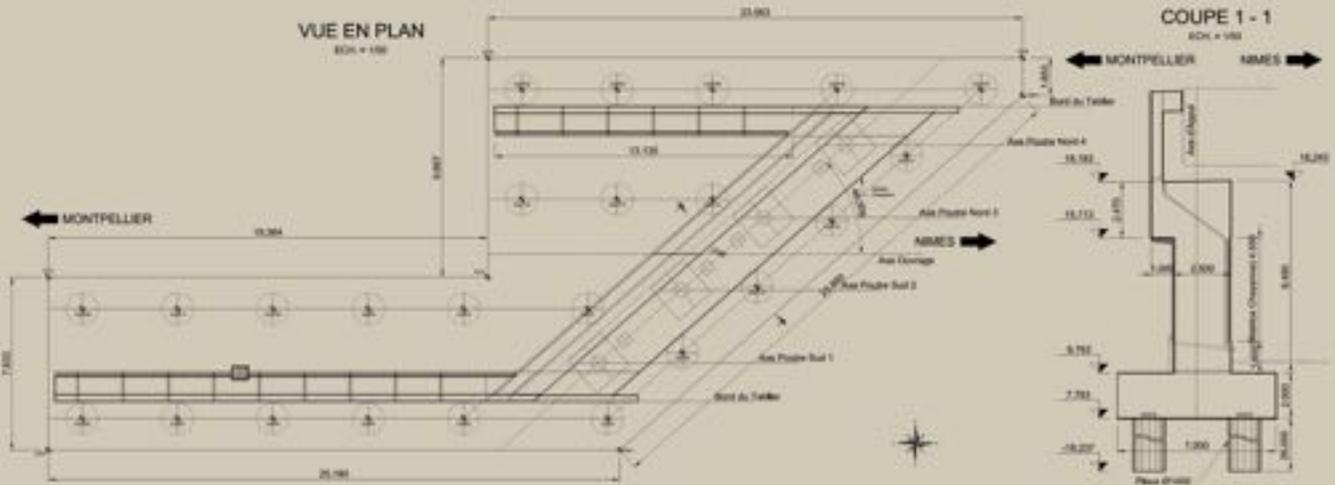
7- Schéma fonctionnel des viaducs RN113 et A54.

7- Block diagram of RN113 and A54 viaducts.



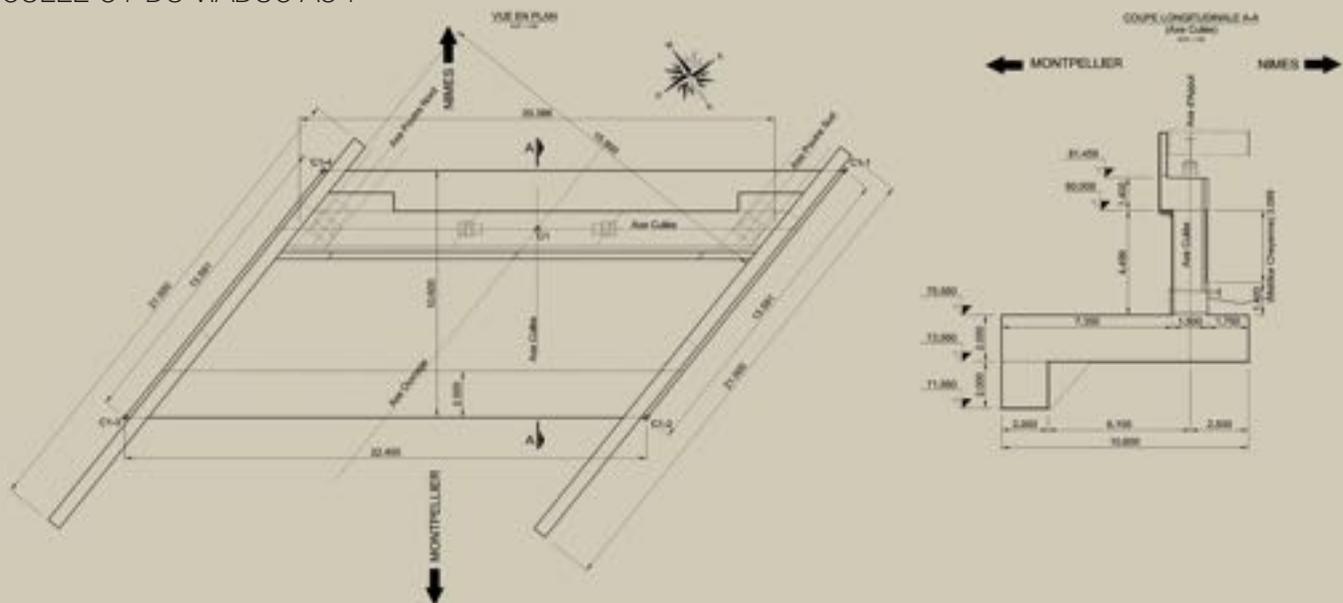
7b

CULÉE C2 DU VIADUC RN113



8

CULÉE C1 DU VIADUC A54



9

- Le coefficient $\alpha = 1,33$ est appliqué aux modèles de charge LM71 et SW/O ;
- Le coefficient $f = 1$ est appliqué aux trains de fret circulant à la vitesse de 140 km/h.

Les contreflèches des poutres sont calculées sous charges permanentes nominales à long terme. Situé au-dessus de l'autoroute avec un gabarit inférieur à 6 m, le tablier mixte de viaduc A54 a été dimensionné pour résister aux chocs accidentels de véhicules. De plus, aucun appareil de dilatation de voie des longs rails soudés n'est utilisé aux extrémités des tabliers, du fait que

8- Culée C2 du viaduc RN113.

9- Culée C1 du viaduc A54.

8- Abutment C2 of the RN113 viaduct.

9- Abutment C1 of the A54 viaduct.

la longueur dilatable de chaque ouvrage est inférieure à 90 m (la longueur dilatable admissible sans appareil de dilatation pour un tablier mixte).

Les efforts d'interaction rails-structure sont évalués selon la méthode simplifiée décrite dans Eurocode1-2.

CALCULS DYNAMIQUES

Les calculs dynamiques sont réalisés en tenant compte d'une fourchette des masses.

Le modèle HSLM-A est retenu pour le modèle des trains dynamiques. Il est conduit pour une vitesse nominale de 350 km/h et une vitesse maximale potentielle de 420 km/h après majoration par le coefficient 1,2 mais également pour une série de vitesses. Au total, dix trains types avec les

vitesse appropriées sont considérés. Les calculs dynamiques sont effectués à l'aide du logiciel PCP développé par le Cerema. Les calculs dynamiques sont conduits au moyen d'une analyse temporelle.

L'accélération et les déformations des voies, ainsi que la fatigue sous le passage des trains, sont vérifiées par ces calculs dynamiques.

Pour le viaduc RN113, l'accélération verticale maximale des voies de 2,7 m/s² est obtenue sous le convoi HSLM-A4 à vitesse critique de 277 km/h en fourchette basse des masses (figure 14).



10

© PHOTO THÉOQUE SPIE BATIGNOLLES TPCI

10- Hourdis du viaduc A54.

11- Adaptation dans les zones d'about (viaduc A54).

10- Deck section of the A54 viaduct.

11- Adaptation in the end regions (A54 viaduct).

Pour le viaduc A54, l'accélération verticale maximale des voies de 3,5 m/s² soit la valeur limite admissible est obtenue sous le convoi HSLM-A3 à vitesse critique de 410 km/h en fourchette haute des masses.

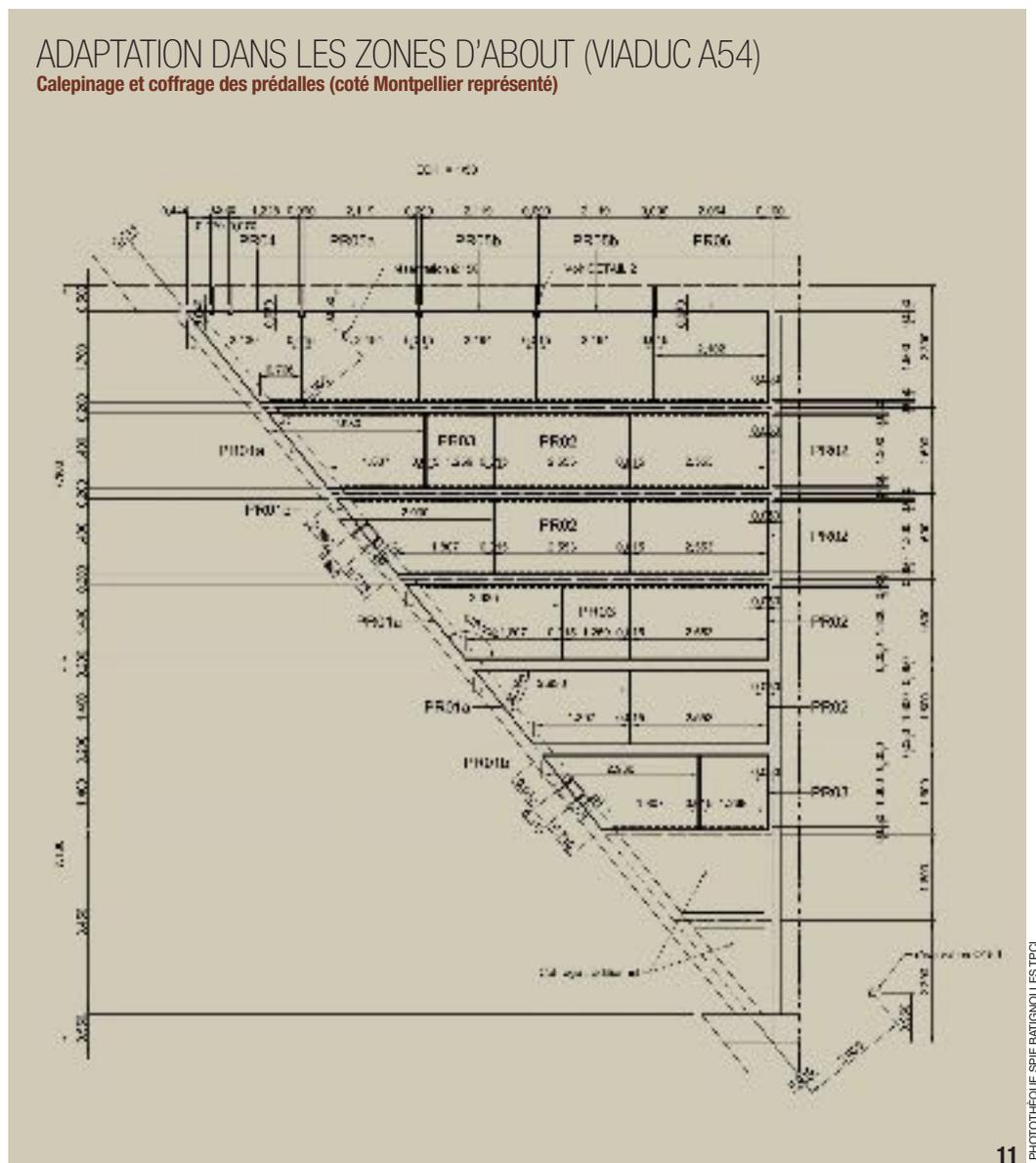
CALCULS SISMIQUES

Le viaduc est situé en zone de sismicité faible ($a_{gr} = 0,7 \text{ m/s}^2$). Sous les actions sismiques de calcul, le comportement du viaduc doit être élastique. Le coefficient de comportement est pris égal à 1.

Deux séismes sont pris en compte :

- Action sismique à l'état limite ultime (coefficient d'importance $\gamma_1 = 1,2$)
- Action sismique à l'état limite de service (coefficient d'importance $\gamma_1 = 0,585$)

Les viaducs sont modélisés avec le logiciel ST1. Les calculs sismiques sont conduits au moyen d'une analyse spectrale multimodale, les réponses modales sont combinées par combinaisons quadratiques complètes.



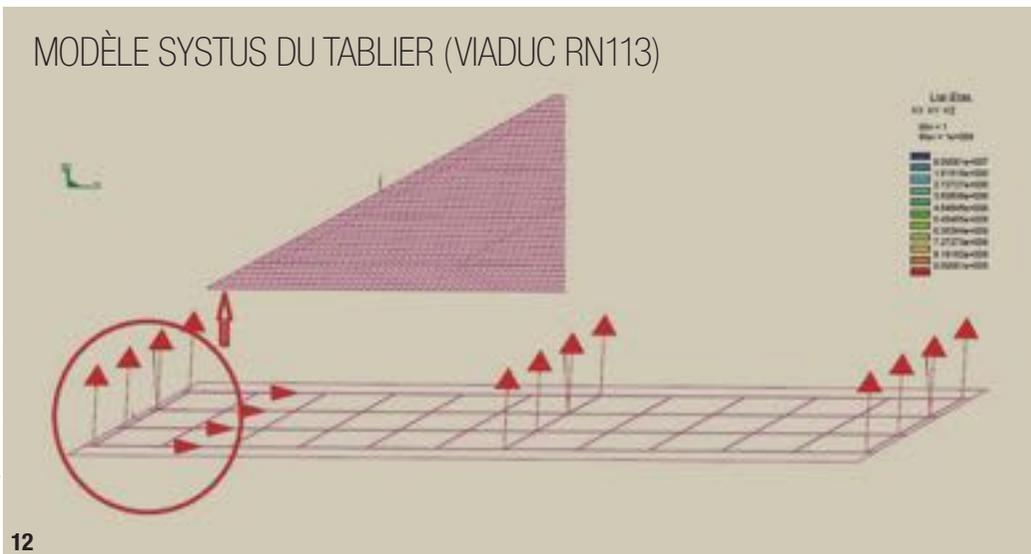
11

© PHOTO THÉOQUE SPIE BATIGNOLLES TPCI

MODÈLE SYSTUS DU TABLIER (VIADUC RN113)

© PHOTOOTHÈQUE SPIE BATIGNOLLES TPCI

12



Le nombre de mode obtenu pour l'analyse sismique couvre au moins 90 % des masses dans chacune des directions étudiées.

À l'ELU sismique, la valeur maximale de l'effort sismique longitudinal calculée est de 12 000 kN pour le viaduc RN113, et de 11 200 kN pour le viaduc A54. La valeur maximale de l'effort sismique transversal calculée est de 9 900 kN pour le viaduc RN113, et de 5 700 kN pour le viaduc A54.

De plus, ces calculs sismiques permettent de vérifier l'accélération et les déformations du tablier à l'ELS sismique.

RÉALISATION DES OUVRAGES

Les travaux du viaduc RN113 ont débuté en février 2014, et s'achèvent en octobre 2015, soit une durée totale de 20 mois. Les travaux du viaduc A54 ont débuté en avril 2014, et s'achèvent en septembre 2015, soit une durée totale de 18 mois.

12- Modèle SYSTUS du tablier (viaduc RN113).

13a- Mise en place des armatures du hourdis - vue aérienne (viaduc RN113).

13b- Mise en place des armatures du hourdis - détails (viaduc RN113).

12- SYSTUS model of the deck (RN113 viaduct).

13a- Placing deck-section reinforcing bars - aerial view (RN113 viaduct).

13b- Placing deck-section reinforcing bars - details (RN113 viaduct).

EXÉCUTION DES APPUIS

En raison de la proximité des routes, la construction des appuis de deux viaducs a été réalisée à l'abri des blindages provisoires en palplanches sous surveillance topographique (figure 15). Pour le viaduc RN113, les tassements du remblai des culées C0 et C2 sont importants (estimation de l'ordre de 30 cm pour la culée C0 et de 60 cm pour la culée C2). Des pré-chargements avec anticipation de la surcharge ferroviaire ont été réalisés sur la totalité de l'emprise des culées pendant une période de 2 mois. Les remblais avec une hauteur respective de 12,5 m et 13,5 m pour les culées C0 et C2 ont été utilisés pour accélérer la consolidation des terrains avant la construction de l'ouvrage (figure 16). Sur la culée C0 une purge des remblais anthropiques a été préalablement réalisée sur 2,5 m de profondeur.

Les pieux sont réalisés en foré tubé, ils sont fichés dans la couche portante de la marne bleue grise.

Les semelles des appuis et élévations des culées ont été réalisées classiquement à l'aide de banches de coffrage métalliques transportables par colis. Le fût de la pile a été coulé à l'aide d'un coffrage outil spécifique en bois associé à un train de banches de coffrage métalliques.

LANÇAGE DES CHARPENTES MÉTALLIQUES

Concernant le viaduc RN113, la plateforme de montage, d'une largeur de 24 m et d'une longueur de 150 m, a été placée derrière la culée C0. Elle suit la pente ascendante à 0,68 % de Nîmes vers Montpellier. Le franchissement de la route nationale a nécessité l'utilisation d'un avant-bec de 22,8 m de long et de 13 m de large et d'un arrière-bec de 5 m de long et de 13 m de large. La tête de l'avant-bec suit le biais du viaduc.

Les pièces de la charpente métallique ont été fabriquées dans l'usine de Baudin-Chateaufort et transportées sur place en convois routiers. La charpente métallique a été assemblée sur la plateforme de montage et mise en place suivant les principales phases suivantes :

- Les tronçons de la charpente sont assemblés et soudés sur les appuis de lancement installés sur la plateforme ;
- Le tablier est mis en place par le lançage de la culée C0 vers la culée C2 à l'aide d'un système treuil-moufle avec les prédalles centrales ;
- Les prédalles de rive sont posées à l'aide d'une grue ;
- Les appareils d'appui à pot sont mis en place ;
- La charpente est descendue sur les appareils d'appui définitifs par vérinage.



13a

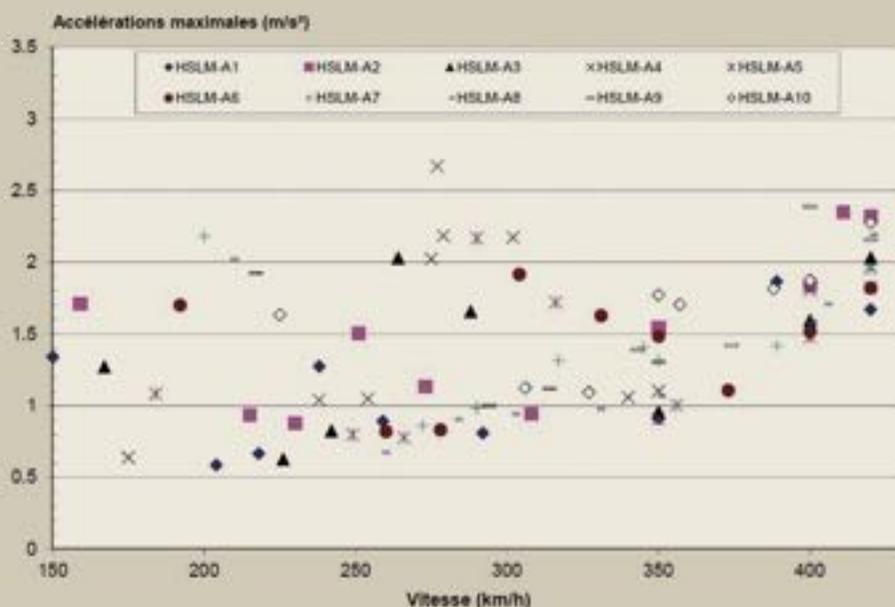
© PHOTOOTHÈQUE OC'VIA



13b

© PHOTOOTHÈQUE SPIE BATIGNOLLES TPCI

ACCÉLÉRATIONS VERTICALES DES VOIES SOUS LES CONVOIS DYNAMIQUES AVEC MASSE FOURCHETTE BASSE (VIADUC RN113)



14

© PHOTO THÉQUE SECOA

14- Accéléra-
tions verticales
des voies sous
les convois
dynamiques
avec masse
fourchette basse
(viaduc RN113).

15- Construc-
tion des culées
(viaduc A54).

16- Précharge-
ment des culées
(viaduc RN113).

14- Vertical
acceleration of
the tracks under
dynamic convoys
with bottom-
of-range mass
(RN113 viaduct).

15- Construc-
tion of abutments
(A54 viaduct).

16- Preload-
ing of the abutments
(RN113 viaduct).



15



16

© PHOTO THÉQUE OC'VIA

Dans la nuit du 17 au 18 mars 2015, les équipes d'Oc'via Construction et de Baudin-Chateaufort ont lancé la charpente du viaduc qui franchit la RN113 à Aimargues (figure 17).

Concernant le viaduc A54, la plateforme de montage, d'une largeur de 25 m et d'une longueur de 110 m, a été placée derrière la culée C0. Elle suit la pente descendante à 1 % de Nîmes vers Montpellier.

Le franchissement de l'autoroute a nécessité l'utilisation d'un avant- bec de 50 m de long et de 14,2 m de large, la tête de l'avant-bec suit le biais du viaduc.

Les pièces de la charpente métallique ont été fabriquées dans l'usine de Matière et transportées sur place en convois routiers. La charpente métallique a été assemblée sur la

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR : 86 m (viaduc RN113) et 54 m (viaduc A54)

TERRASSEMENTS :

• Blocs techniques : 21 820 m³ (viaduc RN113) et 8030 m³ (viaduc A54)

PIEUX (VIADUC RN113) :

• Forage : 1 400 m de Ø 1,4 m

• Béton : 2 160 m³

• Aciers : 365 t (169 kg/m³)

APPUIS (PILES ET CULÉES) :

• Béton : 3 950 m³ (viaduc RN113) et 1 630 m³ (viaduc A54)

• Aciers : 669 t (169 kg/m³ viaduc RN113) et 290 t (178 kg/m³ viaduc A54)

TABLIER (HOURDIS) :

• Béton : 430 m³ (viaduc RN113) et 628 m³ (viaduc A54)

• Aciers : 120 t (280 kg/m³ viaduc RN113) et 89 t (142 kg/m³ viaduc A54)

CHARPENTE MÉTALLIQUE :

• Aciers : 448 t (viaduc RN113) et 716 t (viaduc A54)

plate-forme de montage et mise en place suivant les principales phases suivantes :

→ Les tronçons de la charpente sont assemblés sur les appuis de lancement installés sur la plate-forme ;

→ Les entretoises transversales et les longerons longitudinaux sont assemblés par soudage ;

→ Le tablier est mis en place par le lançage avec le coffrage Viroc, les prédalles dans les zones d'about et une partie des armatures du hourdis en suivant le profil en long de la culée C0 vers la culée C1 à l'aide d'un système treuil-moufle ;

→ Les appareils d'appui (de type à grain sphérique de Mageba sous les poutres latérales et les appareils d'appui à pot de Etic sous les voies) sont mis en place ;



17a



17b



17c

→ La charpente est descendue sur les appareils d'appui définitifs par vérinage.

Dans la nuit du 13 au 14 avril 2015, les équipes d'Oc'via Construction et de Matière ont lancé la charpente du viaduc qui franchit l'autoroute A54 à Caissargues.

EXÉCUTION DU HOURDIS

Concernant le viaduc RN113, le bétonnage du hourdis s'est fait en suivant la technique de pianotage.

Le hourdis est divisé en 3 plots d'une longueur de 28,5 m.

Les 2 plots près des culées ont été coulés en 1^{re} phase, le plot sur la pile centrale a été coulé en 2^e phase.

À l'aide des prédalles, le coulage du béton a été réalisé sans coupure de la circulation sur la RN113.

Pour le viaduc A54, le bétonnage du hourdis s'est fait classiquement en deux phases avec une 1^{re} phase de 25 cm d'épaisseur vis-à-vis de la stabilité de la charpente métallique en phase provisoire.

Le reste du tablier a été bétonné par la suite.

Le coulage du béton de la 1^{re} phase a été réalisé sous coupure de la circulation sur l'autoroute A54. □

17a- Lançage de la charpente métallique du viaduc RN113 - Franchissement de la route nationale RN113.

17b- Lançage de la charpente métallique du viaduc RN113 - Franchissement du ruisseau de la Sériguette.

17c- Lançage de la charpente métallique du viaduc RN113 - Mise en place de la charpente métallique.

17a- Launching the steel frame of the RN113 viaduct - Crossing national highway RN113.

17b- Launching the steel frame of the RN113 viaduct - Crossing Sériguette stream.

17c- Launching the steel frame of the RN113 viaduct - Putting in place the steel frame.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Oc'via

MAÎTRE D'ŒUVRE INTÉGRÉ : Cnm Ingénierie (Setec tpi pour ces 2 viaducs)

ARCHITECTE : Alain Spielmann

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR

TERRASSEMENT ET GÉNIE CIVIL : Oc'via Construction

CHARPENTE MÉTALLIQUE : Baudin-Chateaufeuf (viaduc RN113) et Matière (viaduc A54)

APPAREILS D'APPUI : Freyssinet (viaduc RN113) et Mageba et Etic (viaduc A54)

ÉTUDES D'EXÉCUTION

BUREAU D'ÉTUDES GÉNIE CIVIL : Spie Batignolles Tpci

BUREAU D'ÉTUDES CHARPENTE MÉTALLIQUE : Secoa

ABSTRACT

CNM HSL: TWO HIGHLY SKEWED VIADUCTS (RN113 AND A54)

YI ZHANG, SPIE BATIGNOLLES TPCI - SYLVAIN BOIREAU, SECOA - DOMINIQUE REGALLET, OC'VIA CONSTRUCTION - VINCENT BEAUDOU, OC'VIA CONSTRUCTION

The RN113 and A54 viaducts are two non-standard structures on the CNM ('Contournement Nîmes Montpellier') high-speed rail line. Their respective lengths are 86 m (2 spans) and 54 m (1 span) with composite decks of the four-girder and side girder rail bridge type. Due to the closeness of the roads, the two viaducts are highly skewed (46 gons for the RN113 viaduct and 56.95 gons for the A54 viaduct). The design of the two viaducts is adapted to this special geometric feature, and the viaducts are designed to resist passenger and freight train traffic. The steel frames were manufactured in factory and assembled on site. They were moved into position by launching with a winch and pulley system. □

LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD CNM: DOS VIADUCTOS (RN113 Y A54) MUY ESVIADOS

YI ZHANG, SPIE BATIGNOLLES TPCI - SYLVAIN BOIREAU, SECOA - DOMINIQUE REGALLET, OC'VIA CONSTRUCTION - VINCENT BEAUDOU, OC'VIA CONSTRUCTION

Los viaductos RN113 y A54 son dos obras de fábrica poco habituales en la línea de alta velocidad CNM (Circunvalación Nîmes Montpellier). Tienen una longitud respectiva de 86 m (2 luces) y 54 m (1 luz), con tableros mixtos de tipo cuatriviga y puente ferroviario con vigas laterales. Debido a la proximidad de las carreteras, los dos viaductos son muy esviados (46 grados para el viaducto RN113 y 56,95 grados para el A54). El diseño de los dos viaductos está adaptado a esta particularidad geométrica, y los viaductos se han dimensionado para soportar la circulación de trenes de viajeros y de carga. Las estructuras metálicas, construidas de fábrica, se han ensamblado in-situ. Se han instalado mediante lanzamiento por un sistema de cabestrante-polea. □

LE VIADUC DE HOCHMOSEL EN ALLEMAGNE

AUTEURS : UWE HEILAND, DIRECTEUR, EIFFEL DEUTSCHLAND - JEAN-PIERRE GERNER, DIRECTEUR DIVISION OUVRAGES D'ART, EIFFAGE MÉTAL
ARTICLE TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR HÉLÈNE ABEL

LA CONSTRUCTION DU VIADUC DE HOCHMOSEL SUR LA MOSELLE EN ALLEMAGNE A DÉMARRÉ EN 2011. LES 25 000 T D'ACIER DE CHARPENTE ONT ÉTÉ MISES EN PLACE PAR LANÇAGE À PLUS DE 150 M DE HAUTEUR. COMPTE TENU DE LA LONGUEUR EXCEPTIONNELLE DE LA TRAVÉE DE 210 M AU-DESSUS DE LA MOSELLE, UN MÂT DE HAUBANAGE PROVISOIRE A PERMIS D'ÉVITER L'UTILISATION DE PALÉES INTERMÉDIAIRES PROVISOIRES POUR LE LANÇAGE. CETTE TECHNIQUE EST LE FRUIT DE L'EXPÉRIENCE D'EIFFAGE ACQUISE NOTAMMENT LORS DE LA CONSTRUCTION DU VIADUC DE MILLAU.



© EIFFEL DEUTSCHLAND

Le viaduc de Hochmosel surprend par ses dimensions : tablier de 1 702 m de long, de 29 m de large et piles de plus de 150 m de haut. Il franchit la vallée de la Moselle entre Ürzig et Zeltingen, à mi-chemin entre Trèves et Aix la Chapelle.

Cet ouvrage s'intègre dans le cadre d'un projet stratégique pour la Rhénanie et le Palatinat. Cette liaison internationale concerne la Belgique, le Luxem-

bourg et l'Allemagne (figure 2). Après une première tentative de montage en Partenariat-Public-Privé en 2000, la consultation a été finalement relancée selon une procédure classique avec appel d'offres travaux.

Un consortium piloté par Eiffel Deutschland Stahltechnologie (Hanovre), et dans lequel on retrouve Eiffage Construction Métallique (Lauterbourg), a été adjudicataire, le génie civil étant réa-

1- Le viaduc de Hochmosel dans son environnement.

1- The Hochmosel viaduct in its environment.

lisé par la société autrichienne Porr. Le viaduc de Hochmosel a été conçu en partie sur le modèle de l'ouvrage sur la Sauertal datant de 1987.

Le recours à des tôles d'épaisseur variable n'a pas été retenu. Cette disposition n'est pas répandue en Allemagne.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage franchit la Moselle qui fait à cet endroit un grand méandre.

La vallée est donc largement dissymétrique. À l'est, du côté intérieur au méandre, le fond de vallée suit une longue pente douce. À l'ouest, le relief est plus abrupt. C'est le flanc du massif de l'Eifel. L'ouvrage surplombe le paysage de la vallée à plus de 155 m de hauteur selon un tracé rectiligne.

Long de 1700 m, l'ouvrage se compose de 11 travées de portées variables entre 104 m et 210 m (figures 3 et 4). Le profil en long suit une pente constante de 0,53%.

La structure de la charpente est constituée d'un caisson métallique. Le platelage supérieur et le fond du caisson sont en dalle orthotrope. Le tablier est de hauteur variable. Selon la longueur des travées, la hauteur du caisson varie de 5,27 m à 7,78 m. La hauteur du caisson est maximale au niveau de l'axe de pile P4 et décroît linéairement jusqu'aux culées. La coupe transversale est donnée en figure 5.

L'ouvrage repose sur des fondations profondes. Les piles en béton armé (figure 6) sont de hauteur variable, avec une hauteur maximum atteignant environ 150 m. Elles présentent un fruit constant dans le sens longitudinal. Dans le sens transversal, la largeur



2- Plan de situation.



3- Vue 3D de l'ouvrage.

4- Coupe longitudinale.

2- Location drawing.
3- 3D view of the structure.
4- Longitudinal section.

s'épanouit en tête de pile pour supporter les appareils d'appui et les dés de vérinage. L'épaisseur des fûts de pile varie de 30 à 60 cm.

L'ouvrage est très large : les 29 m de largeur totale sont constitués par un caisson de 11 m de largeur encadré par deux parties en encorbellement de 9 m chacune. Ces encorbellements s'appuient par l'intermédiaire de bracons sur les âmes du caisson. L'inclinaison de ces bracons extérieurs est constante.

Le raidissage intérieur est assuré par des bracons plus légers que des diaphragmes pleins. L'espacement entre deux plans de raidissage intérieur est de 4,365 m. Les bracons extérieurs qui supportent le platelage en encorbellement sont espacés de 13,095 m, soit au droit d'un plan de raidissage sur 3. Le raidissage intérieur est doublé au droit des piles, chaque plan de raidissage est alors écarté de 0,75 m de l'axe de la ligne d'appui.

Le profil en travers en toit inversé, et en double pente à 2,5%, légèrement dissymétrique. Les eaux de ruissellement sont recueillies dans un caniveau décalé de 60 cm par rapport à l'axe longitudinal de l'ouvrage.

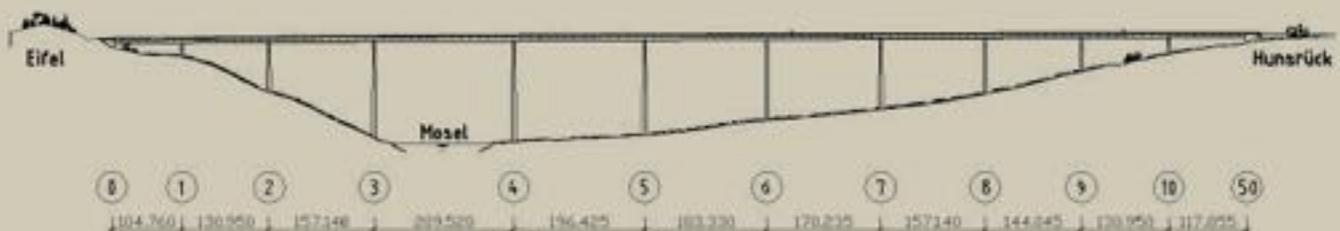
Les longueurs précises des travées correspondent chacune à un multiple de 4,365 m qui correspond à l'intervalle entre deux plans de raidissage de la section transversale.

SCHEMA STATIQUE DE L'OUVRAGE, ET DISPOSITIFS LIMITANT LES DEPLACEMENTS SUR CULÉES

Les appareils d'appui sont disposés suivant le schéma de la figure 7.

On remarque que sur culées, les appuis sont bien plus espacés (19 m) qu'en tête de piles (9,70 m) afin de contribuer à la stabilité générale à l'ouvrage. ▶

COUPE LONGITUDINALE



4

5- Coupe trans-
versale.
6- Coffrage des
piles.
7- Synoptique des
appareils d'appui.

5- Cross section.
6- Pier formwork.
7- Block diagram of support sys-
tems.

Un lest de béton a été mis en œuvre pour contrer les soulèvements sur les lignes d'appui 1 et 9.

Tous les appareils d'appuis sphériques permettent la libre rotation du tablier. Les translations du tablier sont bloquées en tête des piles les plus hautes (piles 3 à 6). En effet, la souplesse des piles est suffisante pour accompagner les mouvements de l'ouvrage.

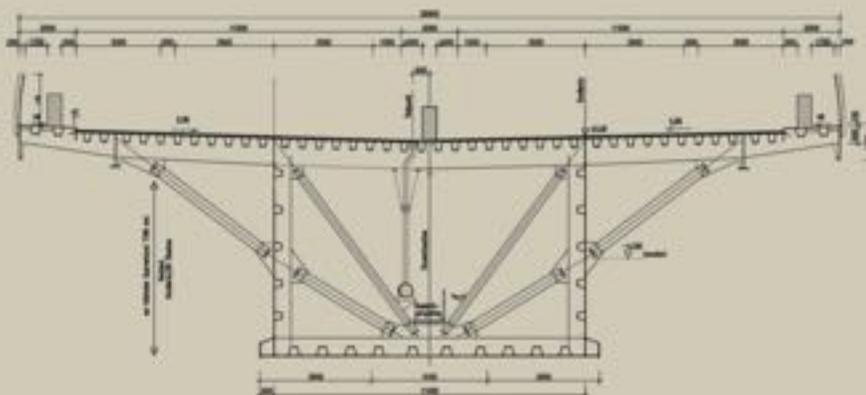
Les déplacements de l'ouvrage sont par ailleurs contrôlés au niveau des culées. Sur les culées, sont placés des dispositifs pour limiter les mouvements du tablier. Ces équipements laissent le tablier libre de se dilater sous les effets de la température et ne bloquent pas non plus les rotations d'about sur culée. Par contre, au-delà d'un certain seuil, ils bloquent les déplacements longitudinaux. Ils sont notamment mobilisés en cas de secousse sismique.

Le tablier est muni à ses extrémités d'entretoises en béton connectées à la charpente. Il repose sur des appareils d'appui sphériques sur le sommet de la culée. Le dispositif spécial qui sert à limiter les déplacements du tablier se situe entre le mur garde-grève de la culée et l'about du tablier. Le mur garde-grève est muni à mi-hauteur d'une console qui porte un appareil d'appui installé verticalement.

Cet appareil d'appui reprend en butée les déplacements longitudinaux de l'ouvrage. Un système de tiges filetées permet de limiter les déplacements dans le sens du raccourcissement du tableau. Une attention particulière a été portée sur les détails d'ancrage de ces tiges de façon à laisser libres les rotations du tablier au droit de la culée et sur le réglage du dispositif en fonction des écarts de température attendus.

Le joint de chaussée a été choisi en fonction de la géométrie retenue et des déplacements prévus. Le maximum de déplacement sur culée est ainsi limité à 1,10 m.

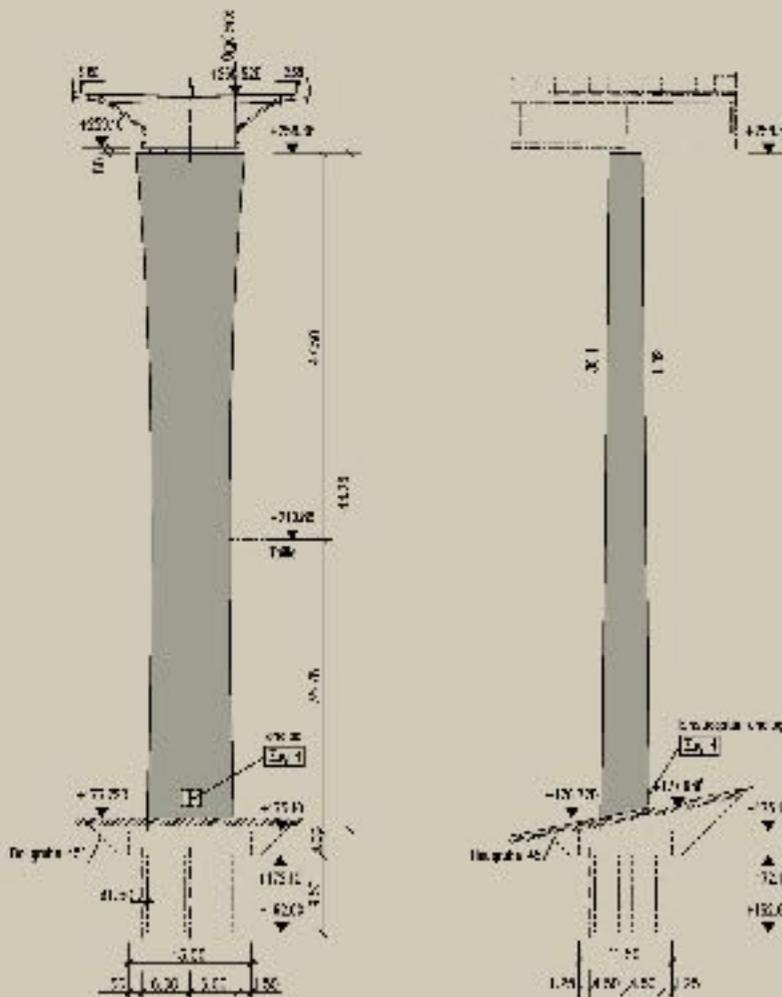
COUPE TRANSVERSALE



5

© EIFFEL DEUTSCHLAND

COFFRAGE DES PILES



6

© EIFFEL DEUTSCHLAND

SYNOPTIQUE DES APPAREILS D'APPUI

	Acher	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Appareil d'appui												
1												
2												

↓ Appareil d'appui, fixe ← Appareil d'appui, fixe fixe → Appareil d'appui, à butée fixe + Appareil d'appui à butée fixe en direction de la ligne médiane (trajectoire de la pile) $V_{2,3} = +16,5 \text{ MN}$

7

© EIFFEL DEUTSCHLAND



8

© EIFFEL DEUTSCHLAND



9

8- Plateforme de lancement.
9- Assemblage du caisson central.
10- Pylône de haubanage.

8- Launching platform.
9- Central caisson assembly.
10- Cable staying tower.

SYSTÈME ANTICORROSION

Le système anticorrosion répond aux prescriptions de la norme ZTV-Ing. Partie 4, Paragraphe 3. Les surfaces métalliques sont traitées à l'air comprimé pour obtenir un degré de propreté SA3 en atelier et SA2.5 sur chantier. Les surfaces extérieures reçoivent 4 couches de peinture et celles intérieures au caisson 3 couches. La peinture répond aux prescriptions du Bl.87.

ÉQUIPEMENTS

L'ouvrage est muni d'écrans de protection au vent sur les deux rives du tablier ainsi que de deux portiques de signalisation.

Les socles des portiques ainsi que ceux des dispositifs de retenue sont soudés à la tôle de platelage et sont munis d'un micro-revêtement de protection.

Les eaux de ruissellement sur le tablier sont recueillies dans un tuyau situé à l'intérieur du caisson et dirigées vers un point unique de traitement.

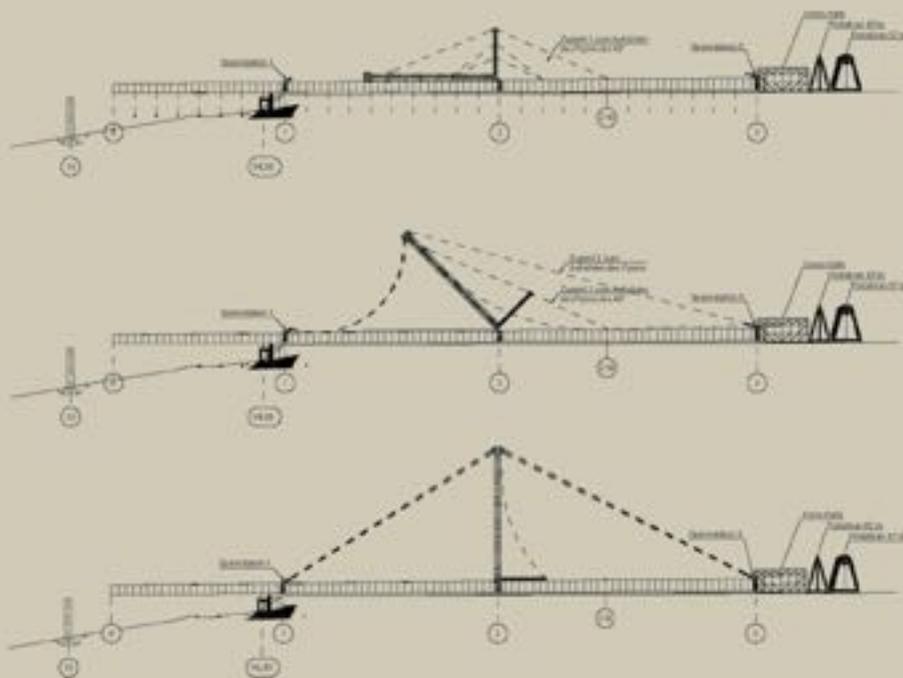
Le caisson est visitable : il est éclairé, muni d'un chemin de marche sur le fond de caisson et d'un système de transport de charge accroché au platelage supérieur.

Le système d'étanchéité à base de résine est conforme à la norme ZTV-BEL-ST. Il comprend une chape d'étanchéité de 4 cm d'épaisseur protégée par un revêtement de 3,5 cm d'asphalte. Les dispositifs de sécurité sur les rives et au milieu du tablier sont protégés par une couche mince de 5 mm.

MISE EN ŒUVRE DE LA CHARPENTE DU TABLIER

La charpente est mise en place par lancement d'est en ouest. L'aire de montage mesure 300 m de long.

PYLÔNE DE HAUBANAGE



10

© EIFFEL DEUTSCHLAND

© EIFFEL DEUTSCHLAND

Elle comprend aussi l'atelier de mise en peinture pour la réalisation de dernière couche.

Le tablier est équipé à l'avant d'un pylône haubané provisoire de 80 m de hauteur. La tension des haubans est réglée de façon à limiter les déformations au niveau de l'avant du pont quand il est en porte-à-faux. Et, pour cette même raison, la charpente est lancée sans les parties en encorbellement du caisson sur les premiers 90 m. C'est le caisson lui-même qui sert d'avant-bec.

En fin de lançage, la charpente est mise à sa position définitive. Les parties en encorbellement sont complétées, les entretoises sur appui bétonnées et les appareils d'appui définitifs installés. La couche de roulement peut enfin être achevée.

PARTICULARITÉS DE LA CONCEPTION

Les particularités de la conception de cet ouvrage résident dans les effets du vent en service et en cours de montage, l'impact de la mise en œuvre de l'asphalte coulé à chaud ainsi que dans les instabilités aéro-élastiques à maîtriser au niveau des piles et du tablier.

La conception du viaduc de Hochmosel a aussi fait l'objet de réflexions approfondies pour caractériser et combiner entre eux les cas de charge correspondants en liaison avec les méthodes de construction choisies.

Les caractéristiques du vent turbulent ont été affinées pour tenir compte des effets locaux du vent dans la vallée. Le champ de température induit par la cinématique de coulage de l'asphalte a été défini. Les caractéristiques aéro-élastiques de la charpente et de l'ouvrage fini ont été étudiées en soufflerie. Compte tenu de ses grandes dimensions, l'ouvrage fait l'objet d'une vérification au second ordre géométrique. Les effets de vent et séisme ont été étudiés pour l'ouvrage en construction et l'ouvrage en service.

La durée des travaux était fixée à 1350 jours.

Enfin, le système de lançage a fait l'objet d'une demande de brevet par l'entreprise.

PRINCIPES DE MONTAGE

La figure 8 présente l'aire de montage avec ses deux portiques mobiles de 120 t. À l'avant on distingue l'atelier fermé de mise en peinture. La figure 9 présente le découpage de la section en sous-éléments pour faciliter le montage. Les colis ont un poids variable

entre 20 et 100 t. Ils ont été acheminés par la route depuis les ateliers de fabrication de la charpente.

La figure 10 présente la méthode de mise en œuvre du pylône de haubanage. Le pylône est au départ couché sur le tablier. Il est relevé au droit de la ligne d'appui 2 avant d'atteindre les plus grandes travées. Le levage se fait en tirant sur des haubans fixés en tête de pylône à partir de la pile précédente. Cette manœuvre se fait en fait en deux phases. Une première manœuvre permet de relever le pylône à 45° grâce à un mât secondaire en équerre. La

manœuvre s'achève avec des haubans accrochés au point le plus haut.

Le réglage du haubanage est dicté par la flèche maximale admise à l'extrémité de l'avant- bec qui est de 2 m.

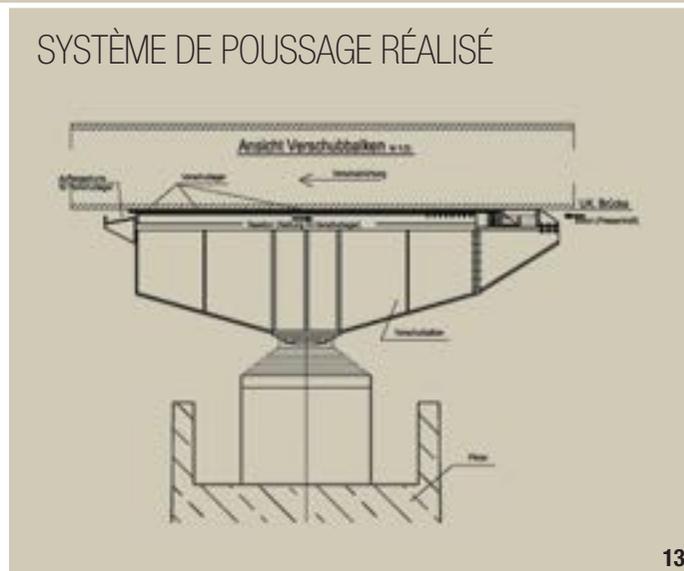
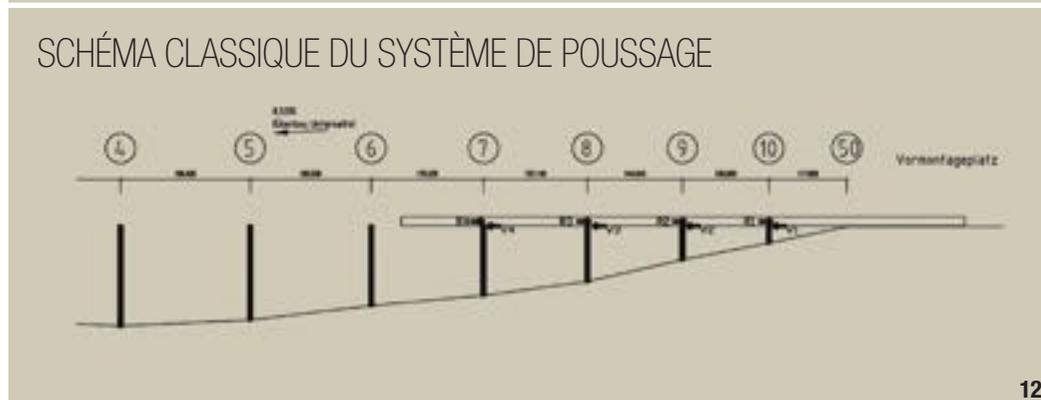
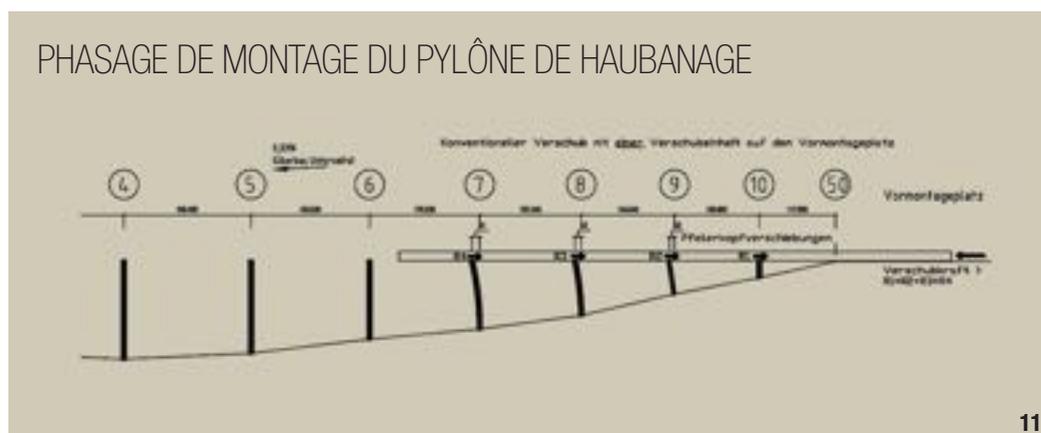
Cette méthode permet de réduire les déformations et les moments de flexion dans la charpente. Les efforts restent tout de même importants et, pour ne pas se pénaliser en poids d'acier de charpente, il a été décidé de passer en nuance d'acier 460S (S460 NL/ML) et de garder une épaisseur de tôle raisonnable de 95 mm dans la zone du pylône.

TECHNOLOGIE DE POUSSAGE

La figure 11 présente un schéma classique du système de lançage : le dispositif de poussage est centralisé sur une rive.

La puissance de vérin développée localement doit être supérieure au cumul de toutes les forces de frottement mobilisées lors de la mise en mouvement de la structure.

Les grandes dimensions de l'ouvrage, notamment la grande hauteur des piles, et les contraintes du site ont conduit l'équipe de conception à rechercher un système de poussage différent,



11- Phasage de montage du pylône de haubanage.

12- Schéma classique du système de poussage.

13- Système de poussage réalisé.

11- Cable staying tower assembly sequencing.

12- Conventional layout of the pushing system.

13- Completed pushing system.



14a



14b

comme celui qui fut utilisé sur le viaduc de Millau. L'ouvrage est poussé par un système de vérins répartis en tête de chaque pile comme illustré sur la figure 12.

La technologie du dispositif de lancement en tête de pile est conçue de façon à limiter les efforts transmis à la pile :

→ Le coefficient de frottement est adapté à l'effort maximal compatible ;

→ Un système de bascule évite la transmission de moment à la pile.

Ce système de lancement n'est pas courant.

La figure 13 montre l'aménagement de la tête de pile qui permet la mise en œuvre de ce dispositif. On y voit aussi le système de bascule.

**14a & 14b-
Dispositions
de stabilisation
au vent - ailettes
triangulaires.**

**15- Déformation
du tablier
en phase de
lancement.**

**14a & 14b-
Wind stability
measures -
triangular fins.**

**15- Deck strain
in the launching
phase.**

Cette technique de lancement fait l'objet d'un dépôt de brevet 102011054720.7 par l'entreprise.

EFFETS DU VENT

Des études spécifiques ont été menées pour caractériser les effets du vent sur le site. Il s'est avéré, au cours des études de conception, que, pour certaines phases, quelques piles en fin d'élévation pouvaient poser des problèmes d'instabilité aéro-élastique. L'ouvrage a fait l'objet d'essais en soufflerie qui ont confirmé le risque lié au détachement tourbillonnaire.

Les figures 14a et 14b montrent la forme en triangle des tôles provisoires qui ont été rajoutées de chaque côté du caisson sur les premiers 90 m.

La section présente ainsi un profil aéro-élastique moins abrupt et mieux adapté vis-à-vis du vent latéral.

CONCEPTION DU TABLIER VIS-À-VIS DES CHARGES D'EXPLOITATION

Le tablier est fixé aux piles les plus hautes dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, de la ligne d'appui 3 à la ligne d'appui 6. L'ouvrage mobilise donc la souplesse élastique de ces piles et fonctionne en portique pour les travées principales.

Les déformations longitudinales sont par ailleurs limitées par les dispositifs prévus à cet effet sur les culées.

Ce schéma statique impose de bien définir la position de référence de l'ouvrage sous charges permanentes et de régler en conséquence la position des butées sur les culées.

Néanmoins le tablier peut être soumis à des moments de flexion importants d'où la nécessité de mettre en œuvre un système important de raidissage.

RAIDISSAGE TRANSVERSAL

Le système de raidissage transversal du caisson est différent sur piles et en section courante. Il associe des plats et des bracons.

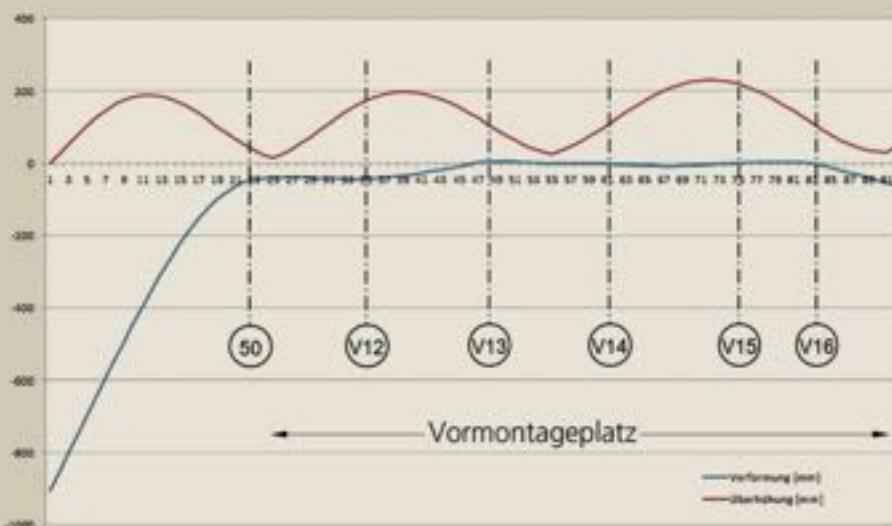
Tous les 4,365 m, le caisson est raidi transversalement avec des plats.

Ce cadre de plats est complété par des bracons en V tous les 13,095 m. Ce raidissage confère au caisson un fonctionnement longitudinal en poutre et il permet de limiter les déformations du platelage orthotrope.

Au droit des piles, les efforts sont plus importants et le diaphragme est donc dédoublé.

Les plats sont renforcés au droit des platines prévues pour le vérinage de l'ouvrage en phase de service.

DÉFORMATION DU TABLIER EN PHASE DE LANCÉAGE



PLATELAGE ORTHOTROPE

La tôle de platelage fait 40 mm d'épaisseur en zone courante et 60 mm au droit du pylône. Les augets sont en tôle de 16 mm d'épaisseur.

L'ouvrage est vérifié sous le cas de charge LM1 des Eurocodes à l'exception des charges les plus lourdes qui ont été prises égales à 1 500 kN pour l'effort de freinage des camions. Il est également justifié pour les actions extrêmes de vent, de température et de séisme ainsi que pour celles de construction, et notamment les effets de température dus à la mise en œuvre de l'enrobé.

Le vent donne des effets dans les deux directions longitudinale et transversale et des effets de torsion. La pression moyenne varie le long de l'ouvrage avec un effet maximum au droit de la Moselle.

Les effets thermiques liés à la mise en œuvre de la couche d'enrobé ont été considérés.

L'enrobé étant réalisé par bandes longitudinales de 6 m de large.

Le cas de charge thermique correspondant, est appliqué sur une longueur de 465 m.

Il s'ensuit une variation affine jusqu'au point de chaleur maximale à 15 m de l'extrémité de la bande. 100 K de différence ont été pris pour les bracons et les tôles de raidissage.

MODÈLES DE CALCUL

L'ouvrage a fait l'objet d'un premier calcul à l'aide d'un modèle général à barres en trois dimensions où les fondations sont modélisées par des matrices de rigidité.

Les effets du second ordre sur les piles se traduisent par une perte équivalente de 10% sur la rigidité du 1^{er} ordre des piles dans le sens longitudinal et de 5 à 25% dans le sens transversal.



16- Tablier en cours de lancement.

16- Deck undergoing launching.

Le cumul du vent et des effets thermiques est déterminant pour le dimensionnement des fondations.

Ce modèle ne peut pas délivrer d'informations sur les déformations transver-

sales. Elles ont fait l'objet d'une étude spécifique. Pour prendre en compte l'effet de ces déformations transversales sur la répartition des contraintes dans le sens longitudinal, un supplément de 5 N/mm² a été pris sur les contraintes issues des résultats du modèle général de calcul.

Des calculs ont été menés sans prendre en compte l'action du dispositif de butée sur les culées, l'ouvrage étant libre de se déformer longitudina-

lement sans valeur limite. Les résultats de ce calcul combinés aux déplacements obtenus pour les divers cas de charge (freinage, effets thermiques, vent, déformations des piles 3 à 6), ont permis de dimensionner les dispositifs de butée sur culées.

Des calculs ont ensuite été menés avec les dispositifs de butée activés sur culées.

Le seuil de déplacement sur chaque culée est fixé à 550 mm. Ce calcul a permis de dimensionner les appareils d'appui et les piles sous l'effet des efforts en jeu. Les effets du second ordre sur les piles ont été pris en compte avec les déplacements obtenus avec ce calcul.

L'ouvrage a aussi fait l'objet d'un calcul à l'aide d'un modèle complet aux éléments finis avec le logiciel de calcul SOFISTIK.

C'est sur ce modèle que toutes les phases de lancement ont été étudiées, le tablier étant libre de se déplacer longitudinalement.

La figure 15 présente la déformation du tablier après 397 m de lancement. La courbe bleue présente la déformation de l'ouvrage à cette étape (90 mm de valeur maximale). On y reconnaît la longueur en porte à faux. La courbe rouge représente la géométrie de la charpente avec les contre-flèches prévues à l'atelier. La contre-flèche maximale est de 200 mm.

Des calculs itératifs des phases de lancement ont conduit à choisir un acier de nuance S460 pour le tablier situé entre les piles 3 et 6.

CALCULS À LA FATIGUE

L'étude à la fatigue a été menée selon les Eurocodes et les DIN 101 et 103, avec le cas de charge LM3. Les parties d'ouvrage les plus impactées sont les raidisseurs transversaux. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Landesbetrieb Mobilität Trier

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :
Eiffel Deutschland Stahntechnologie (SEH) ; Porr ; Eiffage métal

CHIFFRES CLÉS

MONTANT DES TRAVAUX : 108,1 millions d'euros

FIN DES TRAVAUX : 2018

LONGUEUR : 1 702,35 m

PORTÉES : de 105 à 210 m

HAUTEUR AU-DESSUS DE LA VALLÉE : 158 m

ABSTRACT

THE HOCHMOSEL VIADUCT IN GERMANY

UWE HEILAND, EIFFEL DEUTSCHLAND - JEAN-PIERRE GERNER, EIFFAGE MÉTAL
TRANSLATED FROM GERMAN BY HÉLÈNE ABEL

This engineering structure by which the B50n motorway crosses the Moselle River is one of the largest steel viaducts built in Germany since its reunification in 1989. The viaduct, 1700 m long and peaking at about 158 m above the river, has 11 spans ranging from 104 to 210 metres in length, and the supports rest on foundations 50 metres deep. The motorway's cross section is of the two-lane dual-carriageway type, with each carriageway surrounded by a hard shoulder, a service road and a hard strip on the left. The deck, of total width 29 metres, consists of an orthotropic steel caisson, moved into position by launching with a temporary cable staying tower. □

EL VIADUCTO DE HOCHMOSEL EN ALEMANIA

UWE HEILAND, EIFFEL DEUTSCHLAND - JEAN-PIERRE GERNER, EIFFAGE MÉTAL
TRADUCCIÓN DEL ALEMÁN POR HÉLÈNE ABEL

Esta obra de fábrica que permite a la autopista B50n cruzar el río Mosela es uno de los mayores viaductos de acero realizados en Alemania desde su reunificación en 1989. Con una longitud de 1.700 m y una altura máxima de 158 m sobre el río, este viaducto posee 11 luces, cuya longitud varía de 104 a 210 m, y los apoyos se basan en cimientos de 50 m de profundidad. El perfil transversal de la autopista es de tipo 2x2 carriles de circulación, delimitados cada uno por un arcén, una vía de servicio y una franja nivelada a la izquierda. El tablero, de una longitud total de 29 m, está formado por una carcasa metálica ortótropa, instalada por lanzamiento, con un mástil de atirantado provisional. □



1

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

CONSTRUCTION DU PONT DE LA KAMORO SUR LA RN4 À MADAGASCAR

AUTEURS : SYLVAIN DECULTIEUX, CONDUCTEUR DE TRAVAUX PRINCIPAL, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - FRÉDÉRIC PASTOR, RESPONSABLE D'AFFAIRE, EIFFAGE INFRASTRUCTURES BIEP

LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION/RÉHABILITATION DU PONT ASSURANT LE FRANCHISSEMENT DE LA RIVIÈRE KAMORO PAR LA ROUTE NATIONALE 4 À MADAGASCAR, VISAIENT À PRÉSERVER LE PONT EXISTANT ET À CONSTRUIRE UN NOUVEAU PONT ÉGALEMENT SUSPENDU DE 265,5 M, OFFRANT CONFORT ET SÉCURITÉ. CES TRAVAUX ONT ÉTÉ MENÉS DANS LE CADRE D'UN PROGRAMME FINANCÉ PAR LA BANQUE MONDIALE, SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE DE L'AUTORITÉ ROUTIÈRE DE MADAGASCAR ET SOUS MAÎTRISE D'ŒUVRE DU GROUPEMENT SPEA INGENIERA EUROPA S.P.A. - LUXCONSULT. À L'ISSUE D'UN APPEL D'OFFRE INTERNATIONAL, LE CHANTIER A ÉTÉ CONFIE EN AVRIL 2015 À EIFFAGE GÉNIE CIVIL. IL A DÉBUTÉ EN JUIN 2015 ET A ÉTÉ LIVRÉ EN AVRIL 2017.

CONTEXTE DU PROJET

La route nationale 4 (RN4) à Madagascar relie la capitale Antananarivo (au centre du pays) à la ville de Mahajanga (Nord-Ouest), deuxième port de l'île et lieu de villégiature.

Elle se ramifie également pour relier Antananarivo à Diego Suarez au nord,

1- Pont de la Kamoro.

1- Kamoro Bridge.

si bien qu'il s'agit d'un des axes les plus fréquentés du pays.

Elle franchit au PK 406 la Kamoro, un affluent de la Betsiboka.

Le pont existant à cet endroit est un pont suspendu métallique, conçu par l'ingénieur Eugène Leinekugel-Lecocq, et érigé de 1929 à 1932, en même

temps que deux autres ponts suspendus de la même conception à Madagascar. La portée principale entre les 2 pylônes atteint 206,50 m, en plus d'une travée d'approche, suspendue elle aussi, de 56 m de portée côté Mahajanga. La structure générale de l'ouvrage est demeurée en bon état, ▷

néanmoins les platelages métalliques utilisés, de type Arnodin, n'étaient plus adaptés au trafic lourd actuel. La fatigue de l'acier avait créé des fissures dans les éléments de platelage de 30 cm de large, et fini par engendrer des trous dangereux pour la circulation. Le pont ne comportant qu'une voie de circulation de 4 m de largeur, de nombreux incidents se sont produits qui ont paralysé la circulation sur la RN4 pendant plusieurs jours (figure 2).

Dans le cadre du Projet d'Urgence pour la Préservation des Infrastructures et la Réduction de la Vulnérabilité financé par la Banque Mondiale de 2014 à 2017, l'État malgache a donc fait de la construction d'un nouveau pont une de ses priorités.

Le cabinet Spea/LuxConsult chargé de la maîtrise d'œuvre du projet a proposé la construction d'un pont suspendu moderne, parallèle à l'ancien. L'entraxe entre les deux tabliers n'est que de 14 m, la portée principale (206,50 m) est exactement la même, si bien que les pylônes des deux ouvrages sont côte à côte (figure 3).

CONCEPTION DU PROJET

L'ouvrage neuf est un pont suspendu de portée principale 206,50 m, placé parallèlement à l'ouvrage existant, à une distance de 14 m entre axes (figure 4).

Il a été justifié selon les prescriptions des fascicules du CCTG.

Tablier

Le tablier mixte à pièces de pont est composé d'une dalle de 22 cm d'épaisseur portée par deux poutres métalliques en treillis (figure 5).

Le concepteur a retenu un acier Corten pour la charpente, pour sa facilité d'entretien. Tout l'enjeu des études d'exécution de cette charpente a résidé dans son calepinage régulier en



© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

éléments d'encombrement compatible avec l'optimisation de leur transport. Les entraxes des pièces de pont, des suspentes et même des appuis des travées d'accès découlent de cette sujétion. Tout l'ouvrage est finalement tramé selon une contrainte d'ordre logistique. L'assemblage des différents tronçons a été réalisé sur chantier au moyen de boulons HR. Les nœuds d'assemblage sont ainsi souvent complexes, et ne sont pas sans rappeler ceux du pont existant voisin.

L'entreprise a ensuite préféré préfabriquer les dalles du tablier. Ce choix a eu une incidence très favorable sur le planning serré des travaux, puisque la préfabrication peut se faire en temps masqué. La pose des dalles au moyen de convoyeurs a été rapide et le clavage de ces dalles sur les pièces de pont et sur les semelles supérieures des poutres maîtresses n'a représenté que de faibles volumes de béton à couler en place. Cette décision a aussi été bénéfique pour l'historique des contraintes du tablier de la travée suspendue. La charpente a d'abord été chargée

quasi-uniformément par le poids de la dalle, sans que cette dernière ne contribue à la résistance mécanique de la section, puis la section mixte a été constituée par le clavage des dalles à la charpente. Si la dalle avait été coulée en place, on aurait eu des discontinuités d'inertie du tablier à l'avancement pendant des phases de chargement et de grande déformation des câbles porteurs et donc de la travée suspendue. La section mixte du tablier aurait alors enregistré et conservé des contraintes provenant des phases provisoires.

2- Pont existant.
3- Comparatif des principales caractéristiques des deux ponts.

2- Existing bridge.
3- Comparison of the main characteristics of the two bridges.

Suspension

Un choix fort du concepteur a été de constituer la suspension de l'ouvrage à partir de câbles de précontrainte, pour des questions de coût.

La gaine de protection des câbles de précontrainte ne résiste pas à une contrainte normale élevée.

L'effort qu'il est possible de transmettre par frottement des câbles aux colliers de suspente est donc plus faible qu'avec des câbles de conception usuelle pour un pont suspendu.

Malgré toutes les sujétions de mise en œuvre que cela a entraîné, incliner les suspentes de manière à les rendre rayonnantes par rapport aux câbles porteurs a permis de réduire drastiquement l'effort à reprendre par les colliers et, par conséquent, d'éviter le problème. En théorie, si l'ouvrage est parfaitement réglé, les colliers n'équilibrent pas de différence d'effort normal des câbles sous charges permanentes nominales.

L'entreprise a choisi de ramener les câbles à quatre paquets de 29 torons T15S. Cette disposition, plus compacte que celle du marché qui comptait six paquets de câbles, a ouvert à une simplification des déviations des câbles aux abouts et des systèmes d'ancrage. La disposition de ces paquets de 29 torons en 5 lits constitue une configuration géométrique ramassée adaptée au serrage par les colliers et laisse la place pour deux torons « blancs » dans les selles, ce qui limite l'écrasement des torons actifs.

Appuis

Les appuis sont en béton et de géométrie simple.

La principale difficulté de conception et de réalisation a concerné leurs fondations.

La conception initiale du projet prévoyait de réaliser l'ensemble des fondations

COMPARATIF DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES DEUX PONTS

	Ancien pont	Nouveau pont
Nombre d'appuis	3	5
Portées	Travée principale suspendue : 206,50 m Travée d'approche suspendue : 56,00 m	Travée principale suspendue : 206,50 m Travée d'approche sur appuis : 20,65 + 20,65 + 17,00 = 59 m
Pylônes :		
- Hauteur	22,70 m	27,00 m
- Mode constructif	Acier riveté	Béton armé, entretoises métalliques
Tablier :		
- Conception	Métallique à poutres latérales	Mixte charpente Corten + dalle béton armé
- Largeur totale	5,25 m	9,40 m
- Voie de roulement / caractéristiques	1 voie de 4 m / platelages Arnodin	2 voies de 3 m + accotements 0,50 m ; étanchéité + enrobés
Système de suspension	2 x 12 câbles de 127 fils Ø 3,8 mm 2 suspentes verticales de 37 fils Ø 4,1 mm tous les 1,30 m	2 x 4 câbles de 29 torons T15 2 x 2 suspentes orthogonales au câble, Pfeiffer PG55 tous les 6 m environ

par micropieux armés de tubes métalliques, car cette technique nécessite des matériels moins lourds et permet d'ajuster plus facilement le projet en cas d'imprévus.

Toutefois, des fondations sur pieux de diamètre 1 000 mm ont été préférées pour les piles et pylônes. Les craintes quant à la fiabilité du matériel de forage disponible à Madagascar ont conduit à projeter un pieu redondant par fût de pylône sur quatre théoriquement nécessaires. Bien que cette précaution se soit avérée superflue après les essais réalisés sur les pieux, elle souligne bien l'incidence des conditions d'approvisionnement en matériel sur l'économie du chantier (figure 6).

Massifs d'ancrage

Compte tenu de la proximité du nouveau pont avec l'existant et de l'absence de documents d'époque disponibles détaillant du pont existant, le risque

que les massifs d'ancrage de l'ouvrage neuf déstabilisent ceux de l'ouvrage existant était non négligeable. Le massif de sol mobilisé en butée par un massif d'ancrage existant pouvait très bien ne pas avoir la capacité d'équilibrer les efforts en provenance des nouveaux massifs d'ancrage, par exemple.

4- Coupe longitudinale de l'ouvrage neuf.

5- Coupe du tablier DAO / exécution.

4- Longitudinal section of the new structure.

5- CADD / construction drawing of deck section.

Le dimensionnement des massifs d'ancrage de l'ouvrage neuf s'est donc fait de manière sécuritaire, en négligeant les effets favorables qui pouvaient interférer avec l'existant, comme la butée du massif de sol, son frottement latéral, etc.

Le massif d'ancrage neuf côté Mahajanga a été fondé sur micropieux afin d'éviter toute interaction.

En effet, le massif existant voisin a été fondé à proximité immédiate du lit majeur de la Kamoro (figure 7).

Dispositifs de retenue

Une des préoccupations immédiates de l'entreprise aura été de déporter les suspentes et leur système d'attache inférieur à l'extérieur du gabarit de déformation des barrières de niveau H3 inscrites au marché.

Le respect des prescriptions du fournisseur a également nécessité un léger élargissement des longrines de support

qui accueillent les poteaux des dispositifs de retenue, et donc du tablier.

L'ouvrage neuf répond donc à des standards de sécurité élevés.

CONSTRUCTION DU NOUVEAU PONT

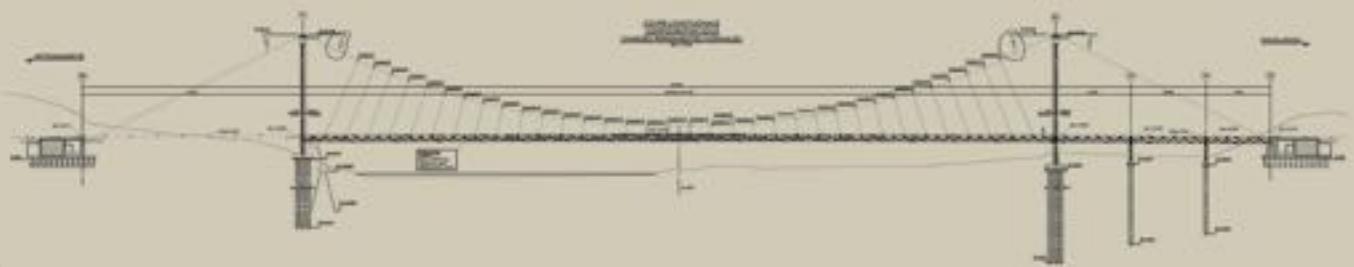
FONDATIONS PAR PIEUX

Pour les 28 pieux Ø 1 000 mm et de longueur variant entre 19 et 25 m assurant les fondations des piles et pylônes, une foreuse Soilmec R208 a été mobilisée, équipée d'un bucket et d'une tarière roche (pour les couches de grès et d'argiles compactes).

Les pieux ont été forés à la boue, les 3 premiers mètres étant tubés provisoirement.

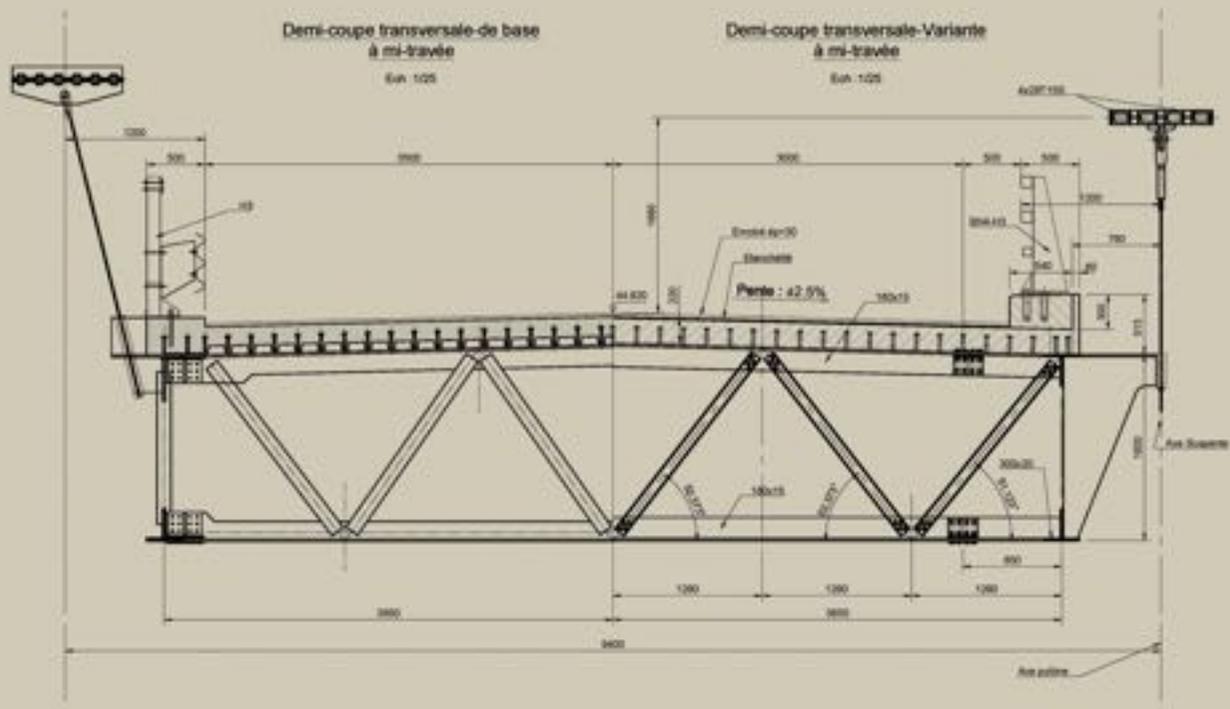
Des essais d'impédance suivant la norme NF P94-160-4 ont été menés sur chaque pieu, avec l'aide du laboratoire Rincent BTP présent à Madagascar. ▶

COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE NEUF



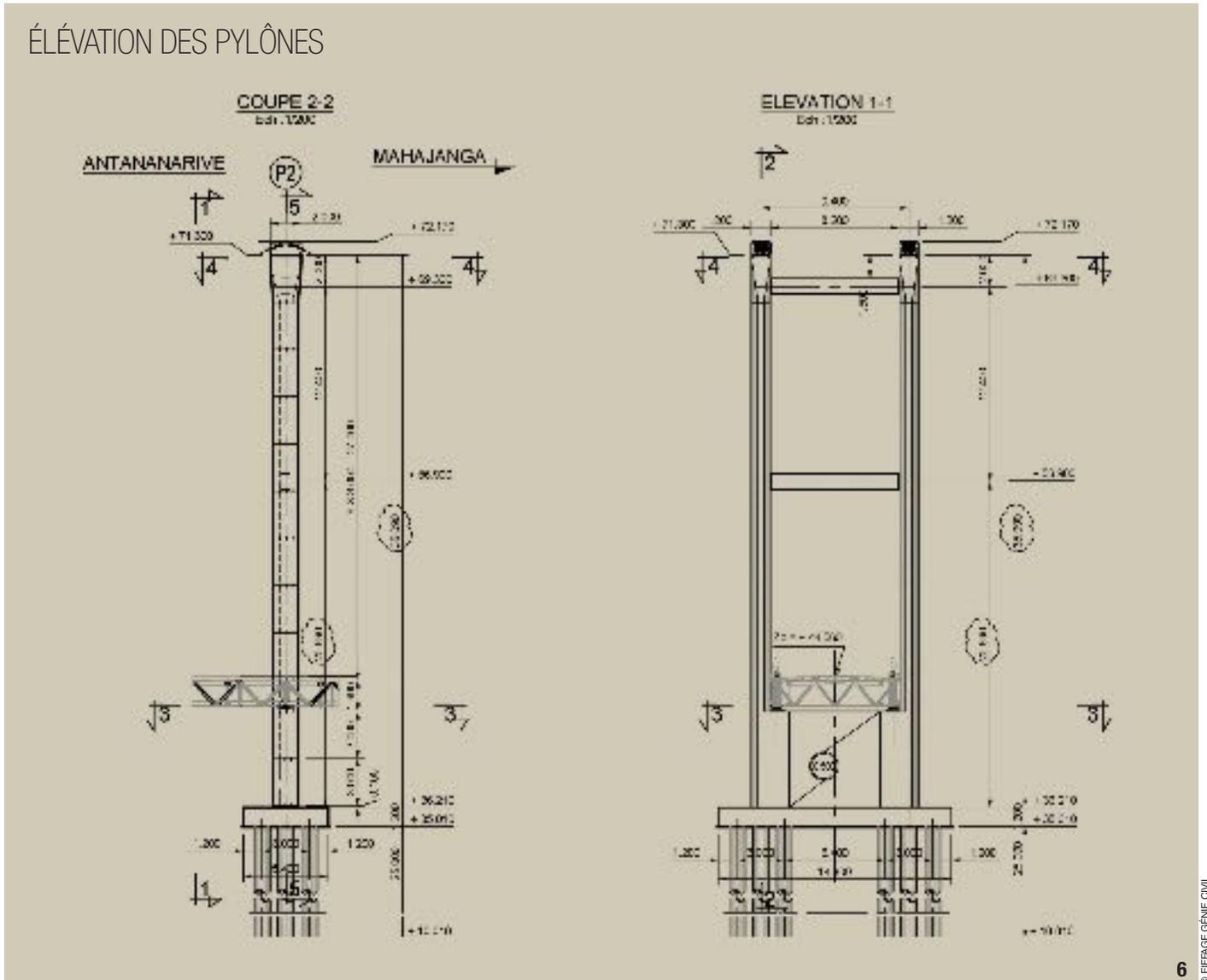
4

COUPE DU TABLIER DAO / EXÉCUTION



5

ÉLÉVATION DES PYLÔNES



6

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

6- Élévation des pylônes.

7- Plan du massif Mahajanga.

6- Elevation view of towers.

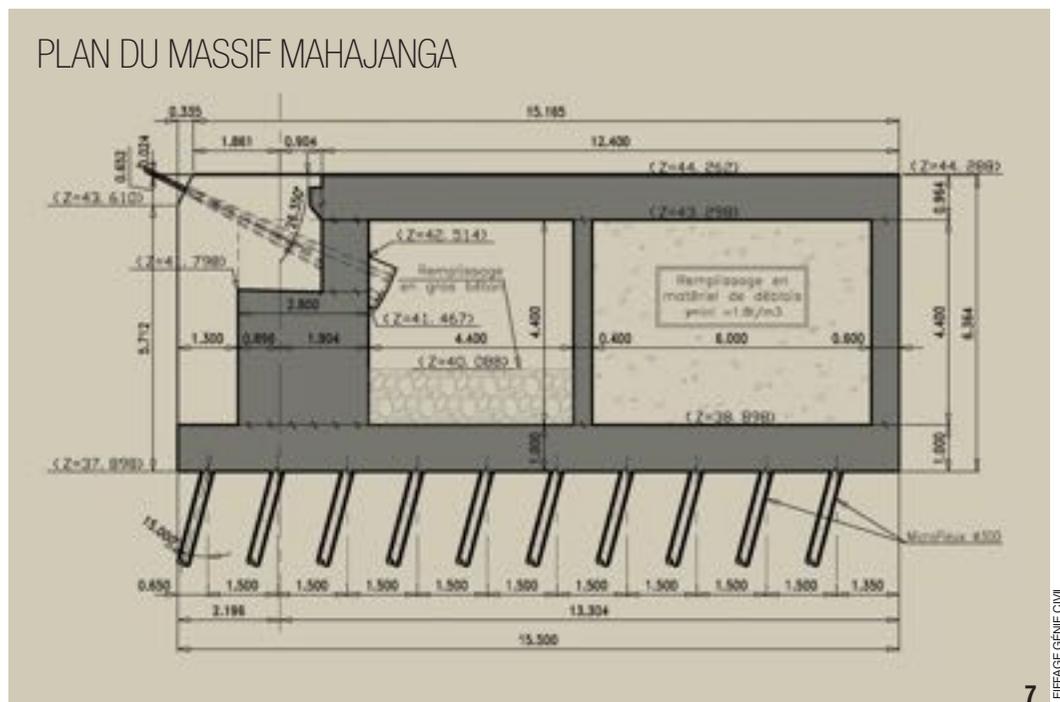
7- Drawing of Mahajanga rock mass.

FONDATEMENTS PAR MICROPIEUX

Les fouilles des massifs d'ancrage ont été terrassées à la pelle et au brise roche.

Pour réaliser les 143 micropieux inclinés, de longueur 17 m, du massif d'ancrage côté Mahajanga, l'entreprise a investi dans une foreuse Beretta T46, équipée de tricônes. L'avantage de cette machine, outre son couple de forage, est que son mât peut être orienté suivant les deux axes horizon-

PLAN DU MASSIF MAHAJANGA



7

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL



8

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

taux, ce qui la rend indispensable pour réaliser des forages inclinés (horizontaux ou verticaux) dans des endroits exigus. On lui a adjoint une pompe à boue Clivio T202 pour injecter la boue bentonitique en circuit fermé et, en fin de forage, le coulis de ciment (figure 8).

RÉALISATION DES PYLÔNES

Les deux pylônes sont constitués chacun de deux fûts de section constante jusqu'à 3 m sous le sommet. La section s'épanouit alors en largeur pour soutenir la selle d'infléchissement des câbles et sa plaque de glissement. L'implantation à chaque levée a été contrôlée par une équipe topographique présente sur le chantier en permanence.

Pour des contraintes de poids, de moyens d'accès et de fabrication des coffrages, la hauteur des levées a été arrêtée à 3 m. On a dû ainsi réaliser 34 levées en tout sur les deux pylônes. La géométrie de la section et la présence de charpentiers et coffreurs qualifiés à Madagascar a orienté le choix vers l'utilisation de coffrages en bois, le contreplaqué bakélinisé étant doublé d'une couche de résine armée par une toile fibrée, pour permettre de lisser les raccords entre les surfaces droites et les surfaces courbes, notamment pour le coffrage de la tête, formé de quarts de cône (figure 9).

MISE EN PLACE DU SYSTÈME DE SUSPENSION

Les torons T15 ont été fabriqués au Japon par Sumitomo et livrés sur chantier en bobines. Les 7 fils d'acier sont enrobés dans une couche de résine époxy pour prévenir la corrosion. L'ensemble est gainé en PEHD pour la protection mécanique.

8- Forage des micropieux de fondation du massif côté Mahajanga.

9- Bétonnage des pylônes.

10- Mise en place des colliers.

8- Drilling of foundation micropiles in the rock mass, Mahajanga side.

9- Tower concreting.

10- Placing collars.

En phase de construction, les selles d'infléchissement peuvent glisser longitudinalement sur la tête des pylônes, pour reprendre les déplacements dus à la mise en tension des câbles et à leur géométrie à vide.

Les torons, une fois coupés à longueur, ont été bloqués dans les chambres d'ancrage et hissés sur les selles à la grue. Une fois la géométrie des câbles réceptionnée, on a procédé à la fixation des 34 colliers, sur lesquels s'accrochent les suspentes (figure 10).

La construction d'un pont suspendu sur cette portée présente l'avantage de nécessiter peu de moyens matériels et pas de gros équipements (grues de capacité importantes par exemple).

En effet, les torons sont nombreux (232 torons de 350 m), mais relativement légers (de l'ordre de 1,5 kg/m).

FABRICATION ET MONTAGE DU TABLIER

La branche Métal d'Eiffage a été chargée, avec le bureau d'études Biep, de la conception de la charpente et d'en superviser la fabrication.

L'acier Corten a été choisi par le maître d'ouvrage pour sa propriété auto-protéger : il ne nécessite aucun revêtement anticorrosion et, par conséquent, aucun entretien ultérieur. Il est mis en œuvre pour la première fois sur un pont à Madagascar.

La charpente du tablier a été conçue en tronçons de longueur maximale 11,80 m, de manière à permettre son transport en conteneurs de 40 pieds depuis l'Europe.

Tous les assemblages sur site ont été boulonnés, pour éviter les assemblages soudés, qui nécessitent une main d'œuvre qualifiée, difficilement disponible dans le pays, et un contrôle méticuleux. Les boulons HR 10.9 Corten choisis sont équipés d'un embout cannelé qui permet de faire le serrage avec une boulonneuse spéciale : lorsque le couple de serrage est atteint, l'embout cannelé se rompt, stoppant le serrage. Il n'y a aucun réglage à faire et le contrôle du serrage pour chaque boulon est instantané (figure 11).

FORMULATION ET FABRICATION DES BÉTONS

Pour simplifier au maximum, seulement trois formules de béton ont été utilisées : un béton de classe C25/30 pour les pieux, un béton C30/37 pour les fondations et les superstructures, ▷

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL



9



10



11



12



13



14

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

et un coulis dosé à 1200 kg/m³ pour les micropieux. L'eau et le sable des berges de la Kamoro disponible en grande quantité ont été validés pour la fabrication du béton.

L'essentiel de la fabrication s'est fait à l'aide d'une centrale ORU 2250. Deux centralistes ont été formés directement sur le chantier, tandis qu'une équipe du Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB à Madagascar) était présente en permanence pour surveiller et contrôler la fabrication (figure 12).

RÉHABILITATION DU PONT EXISTANT

Les travaux de réhabilitation du pont existant ont compris (figure 13) :

- Le remplacement définitif des platelages Arnodin abîmés. Avec le temps et l'usure, l'estimation de 15% de la surface faite au moment de l'avant-projet a dû être révisée à 60%. Les travaux ont été réalisés peu avant la fin du chantier, sous interruption ponctuelle de circulation.
- Le renforcement de la protection anticorrosion du système de suspension (câbles + suspentes), par une peinture bitumineuse.

→ Le sablage/peinture de l'intrados du tablier, à l'aide d'une nacelle suspendue.

→ Le réglage de la tension des suspentes.

LES CONTRAINTES D'EXECUTION DES TRAVAUX MOBILISATION RAPIDE

L'ordre de service donné le 8 juin 2015 nécessitait une mobilisation rapide, afin de permettre de terminer les fondations profondes avant la prochaine saison des pluies, soit la fin de l'année 2015. De plus l'état de délabrement des platelages du pont existant a nécessité, à peine un mois après l'ordre de service, de réaliser des travaux d'urgence pour permettre le maintien de la circulation sur la RN4.

LOGISTIQUE ET INSTALLATIONS

Les contraintes logistiques sont importantes à Madagascar dès que l'on s'éloigne de la capitale ou du port principal (Tamatave). Les livraisons de matériaux et outillages ont donc été planifiées longtemps à l'avance et des aires importantes ont été aménagées pour pouvoir stocker assez de ciment, d'aciers d'armatures, de bentonite, de bois, de carburant, etc. Ces stocks

11- Assemblage de la charpente.

12- Centrale à béton et installation.

13- Réhabilitation du tablier existant.

14- Formation des cordistes.

11- Frame assembly.

12- Concrete mixing plant and setup.

13- Renovation of the existing deck.

14- Rope-harnessed personnel training.

- Une station de carburant équipée d'une cuve de 20 000 l, le gasoil étant le premier poste de dépenses en consommables ;
- Les magasins, aires de stockage ;
- Le laboratoire de chantier (bétons et terrassements) ;
- L'atelier d'armatures, l'atelier bois ;
- L'atelier mécanique, crucial dans l'organisation du chantier, car le matériel est rarement neuf et souffre beaucoup dans les conditions de chaleur et de poussière du chantier.

MAINTIEN DE LA CIRCULATION

Pour permettre le maintien de la circulation malgré l'état du platelage existant, les équipes de soudeurs et monteuses sont intervenues en moyenne une fois par semaine pour réparer les platelages, en urgence ou en prévention, en attendant la décision de mettre en place des platelages neufs.

Le nouveau pont constitue une avancée pour les transporteurs du pays, puisqu'actuellement la circulation sur le pont Kamoro est limitée à 5 km/h et un poids total de 25 t, un seul camion à la fois. Sur le nouveau pont, les véhicules peuvent rouler à 20 km/h (vitesse maximale autorisée), dans les deux sens, sans restriction de poids.

importants ont eu un impact sur la trésorerie, mais aussi la sécurité du chantier, car ils ont attisé la convoitise. La base vie principale dont l'installation a duré 2 mois, comprenait :

- Les chambres et dortoirs pour l'ensemble du personnel, avec sanitaires et douches ;
- Une cantine pour la restauration ;



ACCÈS EN HAUTEUR

Pour le travail sur les câbles et les suspentes une équipe de 6 techniciens cordistes a été formée sur le chantier pendant plus d'un mois, avant les travaux, et a été qualifiée pour tous types de travaux acrobatiques.

Cela a permis de remettre en peinture le système de suspension de l'ancien pont sans interruption de la circulation (figure 14).

PLUIES ET CRUES

En dehors des cyclones, les pluies sont généralement de courte durée dans la région, mais torrentielles. La montée des eaux qui s'ensuit est également très rapide, même si elle ne dure que quelques jours.

Depuis un cyclone en 1903, la Kamoro capte une partie des eaux de la Mahajamba, qui passe à environ 50 km à l'est du chantier.

C'est ainsi que le 16 janvier 2016, à la suite de la rupture d'une digue retenant les eaux de la Mahajamba, le niveau de la Kamoro sur le chantier est monté de 4 m en une demi-journée, atteignant les semelles inférieures du pont existant, sur une largeur de 250 m, soit presque la portée totale du pont (figure 15).

15- Crue extraordinaire due à une rupture de digue de périmètre irrigué.

16- Rassemblement de la communauté pour la pose de la première pierre.

15- Extraordinary flood due to breakage of an irrigation-scheme dyke.

16- Community gathering for laying the first stone.

IMPLICATION DANS LA COMMUNAUTÉ

Les gros travaux n'ont pas commencé avant l'organisation d'une cérémonie de bénédiction, appelée « joro », présidée par les chefs de villages et à laquelle tous les habitants participent.

Outre le contact permanent avec les autorités administratives et coutumières

locales, l'impact le plus important est celui du recrutement de la main d'œuvre locale. Une soixantaine d'ouvriers auront été recrutés dans le village à 1 km du chantier. Au bout de deux

ans de travaux, environ la moitié ont été définitivement embauchés, formés, et seront amenés à travailler sur les autres chantiers de l'entreprise dans l'île (figure 16). □

CHIFFRES CLÉS DU CHANTIER

TERRASSEMENT : 25 000 m³

PIEUX Ø 1 000 MM : 580 m

MICROPIEUX Ø 300 MM : 4 230 m

BÉTON DE FONDATION : 500 m³

BÉTON DE SUPERSTRUCTURE : 4 300 m³

ARMATURES : 565 t

CÂBLES ET SUSPENTES : 105 t

CHARPENTE MÉTALLIQUE EN ACIER CORTEN : 350 t

ENROBÉS : 230 t

RÉHABILITATION DE PLATELAGE MÉTALLIQUE : 75 t

PROTECTION ANTI-CORROSION (PONT EXISTANT) : 2 400 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Autorité Routière de Madagascar

MAÎTRISE D'ŒUVRE Conception, visa et contrôle des travaux : Groupement Spea Ingeniería Europa S.P.A. - Luxconsult

ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil

CONTRÔLE TECHNIQUE : Apave

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF KAMORO BRIDGE ON HIGHWAY RN4 IN MADAGASCAR

SYLVAIN DECULTIEUX, EIFFAGE - FRÉDÉRIC PASTOR, EIFFAGE

Construction/renovation work was completed recently on the bridge carrying national highway 4 across the Kamoro River in Madagascar. The aim was to maintain the existing bridge and build a new bridge, likewise suspended, 265.5 metres long, to provide comfort and safety. The works were carried out as part of a programme funded by the World Bank, for the highway contracting authority Autorité Routière de Madagascar. Project management was performed by the Spea Ingeniería Europa S.P.A. - Luxconsult consortium. Following an international invitation to tender, in April 2015 the contract was awarded to Eiffage Génie Civil. The project began in June 2015 and was delivered in April 2017. □

CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DEL KAMORO SOBRE LA RN4 EN MADAGASCAR

SYLVAIN DECULTIEUX, EIFFAGE - FRÉDÉRIC PASTOR, EIFFAGE

Las obras de construcción/rehabilitación del puente sobre el cual la carretera nacional 4 cruza el río Kamoro en Madagascar tenían como objetivo mantener el puente existente y construir un nuevo puente, también suspendido, de 265,5 m, que ofreciera comodidad y seguridad. Estas obras se han llevado a cabo en el marco de un programa financiado por el Banco Mundial, impulsadas por las autoridades viarias de Madagascar y dirigidas por el consorcio Spea Ingeniería Europa S.P.A. - Luxconsult. Tras una licitación internacional, en abril de 2015 la obra fue encargada a Eiffage Génie Civil. Comenzó en junio de 2015 y se ha entregado en abril de 2017. □

RÉHABILITATION DES VIADUCS D'ACCÈS AU PONT EIFFEL SUR LA DORDOGNE À CUBZAC-LES-PONTS

AUTEURS : JEAN-PIERRE LEVILLAIN INGÉNIEUR CONSEIL SOCIÉTÉ JPLCONSEIL - HUY-SAN TANG INGÉNIEUR, CHEF DE PROJET INGEROP - DAMIEN VEDRENNE INGÉNIEUR, DIRECTEUR TRAVAUX NGE GÉNIE CIVIL

LES DEUX VIADUCS EN MAÇONNERIE DE 252 M DE LONGUEUR AVEC 29 VOÛTES CHACUN SONT FONDÉS SUR RADIER GÉNÉRAL REPOSANT SUR UNE ÉPAISSEUR DE 15 À 25 M D'ARGILE COMPRESSIBLE. ILS PRÉSENTENT DES TASSEMENTS ABSOLUS DE 1,10 M À 1,60 M. POUR ÉVITER LE DÉVERSEMENT DE LA PILE-CULÉE RIVE DROITE LES FONDATIONS SONT RENFORCÉES PAR 20 MICROPIEUX DE 44 M DE LONGUEUR. LES 58 VOÛTES DES VIADUCS SONT RESTAURÉES. LES TYMPANS FRACTURÉS SONT RECONSTRUITS À L'IDENTIQUE DE L'ORIGINE.



© JPLCONSEIL

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE ET DU PROJET DE RESTAURATION

L'ouvrage qui assure à la RD 1010 le franchissement de la Dordogne sur la commune de Cubzac-les-Ponts est constitué de deux viaducs d'accès en maçonnerie d'une longueur de 252 m chacun et d'un tablier métallique Eiffel de 552 m. Construits entre 1832 et 1836, les deux viaducs présentent de nombreuses pathologies provenant de la nature et du comportement des sols de fondation, de leur type de fondation, de la nature des pierres et des mortiers utilisés en rejointoiement.

En 1880, l'ouvrage Eiffel remplace le pont suspendu construit à l'origine. Son tablier métallique comporte huit travées. Il prend appui sur sept piles établies dans la Dordogne et sur deux piles-culées reconstruites aux extrémités des viaducs d'accès.

Chaque viaduc d'accès est construit en maçonnerie avec vingt-huit voûtes en plein cintre de 5,80 m à 6,20 m d'ouverture et une pile-culée comportant une voûte en plein cintre de 8 m d'ouverture (figure 1). Le raccordement aux remblais d'accès est assuré par une culée creuse en maçonnerie de 28 m de longueur. Avec une largeur entre tympans de 8,85 m et des parapets en léger encorbellement, la chaussée a une largeur de 6 m encadrée par deux trottoirs de 1,20 m de largeur. Les piles des viaducs sont constituées de deux piliers à section carrée réunis en tête par une voûte en arc brisé de 3 m d'ouverture. Entre la culée creuse et la pile-culée une voûte ogivale continue forme un élégissement. Les piles courantes des deux viaducs sont fondées superficiellement sur radier général. Près de la Dordogne, les fondations sont établies sur un sol renforcé par des pieux

1- Viaduc d'accès rive gauche au pont Eiffel vue de l'amont.

1- Left-bank access viaduct to Eiffel Bridge, upstream view.

en bois battus dans une couche de 25 m d'argile. Les tassements des appuis des viaducs atteignent 1,60 m en rive gauche et 1,10 m à 1,60 m en rive droite.

Les voûtes situées en jonction des piles fondées sur radier général et des piles fondées sur pieux sont soumises à des tassements différentiels. Elles ont été reconstruites à plusieurs reprises, en 1880, en 1901 puis en 1932. Cinq de ces voûtes ont été mises sur étais

en 2001 à la suite des inspections détaillées faisant apparaître des fissurations en zone de clé, des fractures biaises derrière les bandeaux et sur les tympans.

Du fait du fort tassement continu des appuis, l'ouvrage a eu une vie mouvementée avec de nombreux désordres ayant nécessité des interruptions ou des restrictions de service. Néanmoins, depuis près de 200 ans, le pont assure la traversée de la Dordogne par la RN 10, voie de liaison de Paris à l'Espagne, soit un axe de grande importance pour le département de la Gironde.

PROJET DE CONCEPTION

Le marché de conception-réalisation porte sur la réhabilitation-restauration des deux viaducs d'accès. Il demande la stabilisation de la pile-culée rive droite et la réalisation d'une piste cyclable

PROJET DE PASSERELLE EN ENCORBELLEMENT SUR UN VIADUC D'ACCÈS



© LAVIGNE CHERON ARCHITECTES

2

venant en encorbellement des viaducs d'accès et du pont. Le projet doit respecter le caractère architectural de l'ouvrage existant et garantir sa pérennité sur une durée de cinquante ans.

Les fondations des différents appuis se sont adaptées aux forts tassements des sols compressibles. Les mouvements relevés et les mouvements extrapolés permettent de s'engager sur des tassements absolus des appuis à venir sur 50 ans inférieurs à 50 mm. Sur la pile-culée rive droite, les évolutions futures des tassements sur la Dordogne et son déversement doivent être évités. Pour ce double appui, il a été retenu de procéder à un renforcement par un complément de fondation profonde par micropieux scellés vers 40 m de profondeur dans les marnes du substratum. Sur un total de 58 voûtes en maçonnerie, 60 % d'entre elles restent d'origine de la construction et 30 % des voûtes datent de 1879-1882. Cinq voûtes ont été reconstruites ou renforcées sur la période des 150 dernières années du fait de leur position sur des appuis aux tassements différentiels importants. Les voûtes ont montré leur capacité d'adaptation aux tassements différentiels. Pour les conserver, il a été convenu de restaurer les maçonneries altérées et de remplacer les voussoirs dégradés ou fracturés des voûtes et des tympans par des pierres ayant les mêmes propriétés, hourdées au mortier de chaux hydraulique. Tous les mortiers à base de ciment sont à remplacer par des mortiers à faible module à base de

2- Projet de passerelle en encorbellement sur un viaduc d'accès.

3- Fracture et rejet en clé de voûte de 8 m d'ouverture de la pile-culée rive droite.

2- Planned cantilever foot bridge on an access viaduct.

3- Keystone fracture and 8-metre-wide net slip of the right-bank abutment pier.

© JPLCONSEIL



3

chaux hydraulique. L'objectif recherché est de retrouver la grande ductilité des maçonneries et leur adaptabilité aux mouvements différentiels des appuis. Pour concevoir la passerelle dédiée aux circulations douces, l'architecte Thomas Lavigne a fait le choix d'une intervention minimaliste qui préserve l'image de l'existant. La passerelle métallique située côté amont du linéaire est conçue comme une lame d'acier disposée en console. Ce projet (figure 2), est entièrement intégré aux viaducs d'accès en maçonnerie et au pont Eiffel. Pour éviter la reprise des tassements des appuis, l'intégration de la piste cyclable ne doit pas augmenter les charges permanentes. Pour ce faire il a été décidé d'abaisser le profil en long de la chaussée sur les viaducs

d'accès. Les dispositifs d'ancrage de la passerelle ne doivent pas apporter de raideur supplémentaire à l'existant ce qui a conduit à prévoir des éléments avec des joints de dilatation espacés régulièrement et formant le contrepois de l'encorbellement qui est assuré par une dalle mince recouvrant les voûtes et servant de support à l'étanchéité générale des deux viaducs.

RENFORCEMENT DES FONDATIONS DE LA PILE-CULÉE RIVE DROITE. DESCRIPTION DES FONDATIONS DE LA PILE-CULÉE

Les piles-culées qui soutiennent le tablier Eiffel comportent quatre piliers qui sont réunis longitudinalement par une voûte en plein cintre de 8 m d'ouverture et transversalement par une voûte d'élégissement en arc brisé de 3,50 m d'ouverture.

Construites en 1832 les fondations sont constituées de deux massifs en maçonnerie. Le massif avant sur la Dordogne a la géométrie d'un tronç de pyramide de 7 m de hauteur construit sur un platelage en bois posé sur 220 pieux de 16 m de longueur battus dans les alluvions argileuses. Le massif d'ancrage arrière est établi sur un platelage posé sur 200 pieux en bois disposés selon un entraxe de 0,85 m.

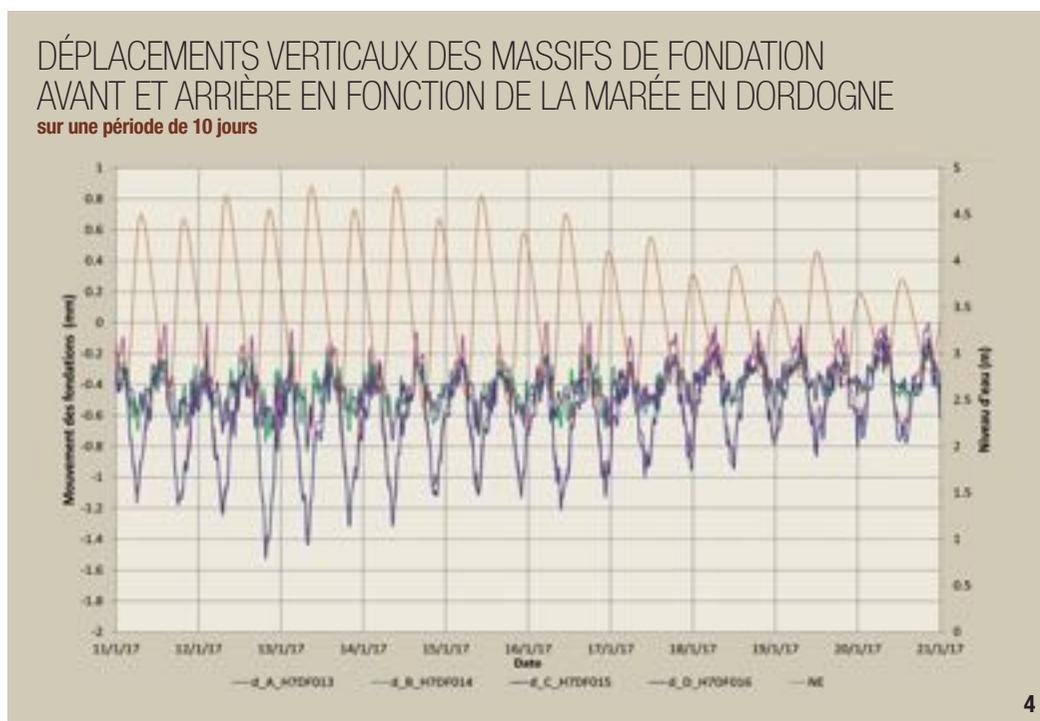
En 1875, pour reprendre le déversement du massif avant, ce dernier a été élargi par deux quais latéraux en amont et en aval construits sur un platelage en bois et 18 pieux battus dans les argiles. ▷

4- Déplacements verticaux des massifs de fondation avant et arrière en fonction de la marée en Dordogne sur une période de 10 jours.

5- Vue 3D de la fondation renforcée par micropieux et corsets de transfert de la pile-culée.

4- Vertical displacements of the front and rear foundation blocks depending on the Dordogne tide over a period of 10 days.

5- 3D view of the foundation strengthened by micropiles and abutment-pier load transfer restraints.



Le terrain compris entre le massif avant et le massif arrière a reçu un pilotis de 193 pieux présentant un entraxe régulier de 0,85 m.

RENFORCEMENT DES FONDATIONS DE LA PILE-CULÉE RIVE DROITE PAR MICROPIEUX

Avec une emprise de 26 m de longueur par 17 m de largeur et un encastre-

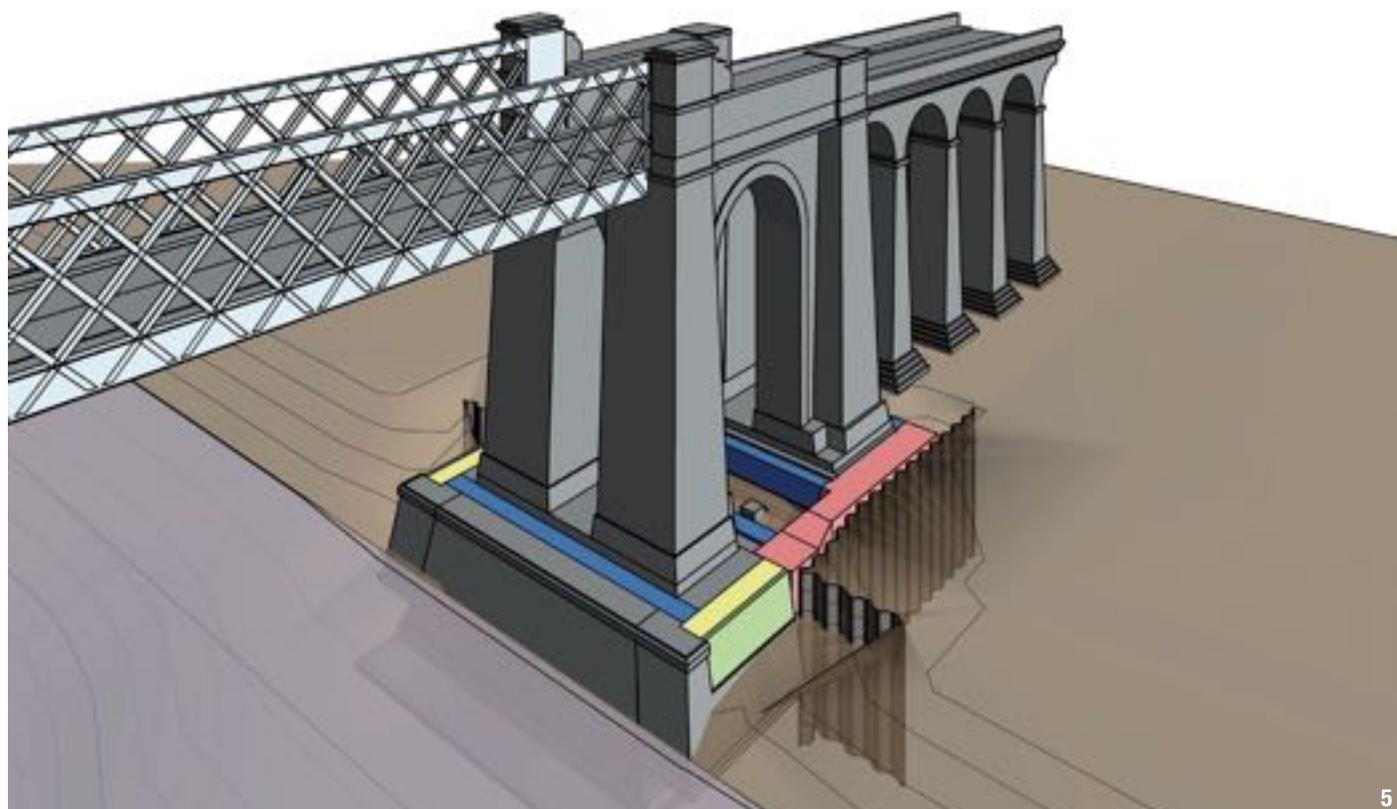
ment de 16 m dans les alluvions, la fondation est considérée comme un grand massif de sol fretté par des inclusions. Les charges sont transmises aux couches d'argiles sous-jacentes par les 649 pieux.

Les charges permanentes sont évaluées à 108,3 MN et de l'ordre de 113 MN après travaux en tenant compte de l'ajout des corsets en béton

et de la passerelle. Sous les charges permanentes, la sécurité vis-à-vis de la portance aux ELS est évaluée à 2,6 pour une sécurité de l'ordre de 2,2 à la construction.

Le léger déversement de la pile avant entraîne l'ouverture d'une fracture ouverte de 10 mm en clé de la voûte avec un rejet de 10 mm (figure 3). Cette fracture est un témoin de la poursuite

des tassements différentiels entre les deux appuis. Les tassements de consolidation des sols sont terminés depuis un siècle. Les tassements actuels proviennent du fluage et de la fatigue des matériaux sollicités. La pile-culée est légèrement surchargée par les travaux de restauration et l'aménagement de la passerelle. Elle présente le risque de reprise des tassements absolus.





© J.P. L'CONSEIL
6

L'objectif du renforcement est de supprimer l'évolution des tassements à venir.

La part de charge à reprendre par les nouvelles fondations n'est pas évaluée par l'application d'un pourcentage de transfert de charge mais en recherchant la charge que doit reprendre le système de renforcement pour limiter les tassements à venir à des valeurs admissibles par l'ouvrage. Cette pile-culée est l'appui du tablier Eiffel et ne doit pas présenter de tassement. On intègre également l'objectif de conserver une certaine souplesse aux fondations.

Les travaux de renforcement consistent en l'exécution de 20 micropieux de 1 600 kN de charge nominale. Ces micropieux présentent une hauteur libre de 25 m dans les argiles et sont ancrés dans les marnes du Sannoisien sur une profondeur de 14,50 m.

Ils présentent les caractéristiques mécaniques suivantes :

- Micropieu de type IV au nombre de 20 unités, en tubes acier de 517 MPa de limite élastique ;
- Armature principale Ø 177,8-154 mm d'épaisseur 12 mm et armature intérieure additionnelle Ø 1276-114 mm de 12 mm d'épaisseur.

Sous l'application de la charge nominale, le raccourcissement élastique des micropieux est évalué à 18 mm.

Au fur et à mesure du tassement d'ensemble de la pile-culée, il se produit un transfert progressif des charges, reprise d'efforts dans les micropieux et déchargement corrélatif de la fondation sur pieux bois jusqu'à ce que les déplacements se traduisent par un nouvel état d'équilibre. Des petites oscillations verticales provoquées par les variations du déjaugage des mas-

sifs et les mouvements propres aux alluvions modernes sont permises par la souplesse des micropieux. L'enregistrement des déplacements de cet appui en fonction du niveau d'eau en Dordogne (figure 4) montre que les piliers de l'avant présentent un déplacement cyclique réversible de 0,6 à 1,2 mm et ceux de l'arrière un déplacement cyclique réversible de 0,2 à 0,4 mm, les variations respectives de charge dans les micropieux sont de 50 à 100 kN et de 20 à 40 kN.

Depuis l'exécution des micropieux et après six mois de suivi, le déplacement vertical du massif de fondation est évalué à 2 mm. Il correspond à une mise en charge de 200 kN pour chaque micropieu. En évaluant la vitesse moyenne d'évolution des tassements à 0,7 mm/an, un tassement de 5 à 6 mm serait atteint en 10 ans environ. Chaque micropieu reprendrait une charge évaluée à 500 kN, représen-

6- Terrassement du massif de maçonnerie arrière avec fruit négatif et blindage de la fouille.

7- Foreuse en station pour exécution d'un micropieu.

6- Rear masonry foundation earthworks with negative batter and excavation sheeting.

7- Driller at workstation for execution of a micropile.



© J.P. L'CONSEIL
7

tant 30 % de leur capacité nominale. Les 10 MN transférés aux fondations additionnelles représenteraient environ 10 % de la charge totale exercée par cette pile-culée.

Au terme de plusieurs dizaines d'années, la reprise des charges pourrait atteindre 12 % à 15 % environ de la charge totale de la pile-culée sans pour autant atteindre la charge nominale des micropieux ni les surcharger. Le tassement de transfert des charges devrait atteindre 8 mm environ, amplitude retenue comme acceptable par cet appui et sa voûte.

CORSETS DE TRANSFERT DES CHARGES AUX MICROPIEUX

À la base de chacune des piles de l'avant et des piles de l'arrière il a été réalisé un corset périphérique ceinturant le massif de maçonnerie (figure 5). Les poutres latérales de chaque corset présentent un plan incliné à 2/10 dressé vers l'intérieur des massifs.

Les poutres transversales reprennent les tractions mobilisées par l'action horizontale des charges sur les poutres latérales (figure 6).

Le transfert des charges sur chacun des corsets se produit par le blocage des massifs de maçonnerie sous la charge verticale.

EXÉCUTION DES MICROPIEUX ET DES CORSETS

Les micropieux sont implantés en amont et en aval latéralement aux massifs de fondation. Sur le massif avant, les micropieux sont implantés entre deux lignes de pieux en bois après le carottage des maçonneries au diamètre de 322 mm (figure 7). Il y a 10 micropieux scellés dans les poutres latérales du corset de l'avant et 8 dans les poutres latérales du corset de l'arrière. Ces deux corsets sont réunis par deux poutres longitudinales reposant chacune sur un micropieu (figure 5).

Pour éviter tout remaniement des argiles à proximité des pieux en bois de fondation, tous les forages sont tubés au diamètre de 244 mm puis poursuivis au diamètre de 216 mm dans le substratum. La cadence permet de réaliser à deux postes un micropieu par jour. Chaque micropieu est muni d'une platine de 400x400 mm noyée dans les poutres en béton armé.

RESTAURATION DES VOÛTES DÉSORDRES DANS LES VOÛTES

Les inspections réalisées depuis trente ans ont mis en évidence des fissurations d'amplitude faible, inférieures ou égale au millimètre et situées en zone de clé des voûtes. ▷



8

© JPLCONSEIL

Sur les voûtes d'élégissement en arc brisé, il est relevé une fissuration longitudinale quasi continue traversant les voûtes en plein cintre. Ces fissurations anciennes présentaient peu ou pas d'évolution. En 2002, la voûte n°2 de la rive gauche (figure 8) et les voûtes n°4, 5, 6 et 7 de la rive droite ont été mises sur étais, l'inspection détaillée ayant conclu à une évolution des fissures et à l'apparition d'une fracturation biaise dans la douelle derrière les tympans (figure 9).

Toutes les voûtes en plein cintre mais également les voûtes en arc brisé se comportent comme deux grands blocs de voussoirs indéformables articulés en zone de clé par la création d'une seule rotule plastique en extrados. Cette décomposition des voûtes plein cintre ou en arc brisé en deux grands voussoirs solidaires des piliers tient aux structures en arc qui présentent une faible ouverture et à la raideur apportée par la voûte transversale d'élégissement (figure 10). Toutes les voûtes présentent une légère décompression en zone de clé et une décomposition

en deux grands voussoirs. Ce n'est pas le schéma de ruine d'une voûte.

La ductilité de la maçonnerie donne la souplesse nécessaire vis-à-vis des petits déplacements permanents.

Lors des grands déplacements des appuis la liaison de la voûte et du tympan se traduit par une fracture biaise comme celle observée sur la voûte n°2 de la rive gauche (figure 9).

RESTAURATION DES MAÇONNERIES DES VOÛTES

La durabilité des viaducs est fonction de la tenue des pierres dans le temps et de l'adaptation des appareillages aux mouvements locaux. La multiplicité des joints permet à la maçonnerie d'avoir un comportement très tolérant vis-à-vis des petites déformations.

Sur les deux viaducs, les sels retrouvés dans les pierres sont à l'origine des destructions de celles-ci. Ils viennent des ciments utilisés en rejointoiement et en injection dans les années 1950 et suivantes. L'apport de sels par les vents marins intervient également mais dans une moindre mesure.

8- Étaielement de la voûte n°2 rive gauche, vue de l'amont.

9- Voûte n°2 rive gauche et fracture biaise en amont.

10- Extrados de la voûte n°2 rive gauche.

8- Left-bank arch No. 2 strutting, upstream view.

9- Left-bank arch No. 2 and skewed fracture upstream.

10- Upper surface of left-bank arch No. 2.

sur les matériaux de remplissage. Toutes les voûtes des deux viaducs sont conservées en procédant à la suppression des joints au mortier de ciment, à la reconstitution des jointoiements au mortier de chaux naturelle et au remplacement des pierres dégradées par des pierres neuves (figure 11). Selon leur position dans la douelle les nouveaux voussoirs sont maintenus ou non par des goujons en acier inoxydable puis ils sont scellés au coulis de chaux hydraulique naturelle NHL 3,5.

RESTAURATION DES CINQ VOÛTES ÉTAYÉES SUR LES DEUX VIADUCS

L'analyse du comportement des voûtes étayées et de leur état de fissuration a conduit à retirer les étais sous circulation. Elles ont été mises sur cintre pour retirer les remblais, observer leurs extrados et reconstruire les tympans les plus fracturés.

Les déplacements différentiels à venir sur 50 ans au niveau des naissances des voûtes sont évalués entre 30 à 40 mm. Ce tassement différentiel

Les sels dissous se recristallisent dans les pierres et les détruisent. Les douelles les plus dégradées sont celles qui sont les plus humides. Il est prévu une étanchéité générale mise en œuvre sur une dalle mince de béton reposant



9



10

© JPLCONSEIL



© JPLCONSEIL
11



12



13

d'appui est jugé très acceptable pour ces deux voûtes restaurées.

Comme toutes les voûtes courantes, les voûtes précédemment étayées ont été conservées en l'état en remplaçant les voussoirs trop dégradés par des pierres neuves. Sur les tympans, les pierres des bandeaux et des murs de tête dégradées par une altération prononcée sont remplacées également par des pierres neuves. Sur les voûtes n°2 en rive gauche et n°5 en rive droite, les tympans sont démontés et reconstruits totalement avec des pierres neuves (figure 12).

Pour la reconstruction des tympans il a été adopté la pose selon le plan d'origine de 1836 avec harpage des voussoirs montés en tas de charge (figure 13).

Le chantier de restauration des maçonneries des voûtes des deux viaducs est conduit en parallèle sur les deux rives. Courant mars 2017, la restauration de la moitié des voûtes de chacun des deux viaducs est terminée. La pose de la passerelle sur les deux viaducs interviendra dans cinq mois environ. □

11- Remplacement de voussoirs par refouillement et pose de nouvelles pierres.

12- Remplacement des voussoirs du bandeau amont de la voûte n°2 rive gauche.

13- Tympan amont reconstruit de la voûte n°2 rive gauche.

11- Replacement of segments by removal and placing of new stones.

12- Replacement of the segments of the upstream string course of left-bank arch No. 2.

13- Reconstructed upstream spandrel of left-bank arch No. 2.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Conseil départemental de la Gironde

ASSISTANCE AU MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Infra ingénierie

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingerop agences de Rennes et de Bordeaux

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Lavigne Chéron Architectes

ENTREPRISES DU GROUPEMENT : Nge Génie Civil Direction Grands

Travaux (mandataire), Etpo agence de Nantes, Baudin-Chateauneuf

SOUS TRAITANT MAÇONNERIES : Les Compagnons de Saint-Jacques agence de Tresse

ABSTRACT

RENOVATION OF ACCESS VIADUCTS TO THE EIFFEL BRIDGE OVER THE DORDOGNE AT CUBZAC-LES-PONTS

JEAN-PIERRE LEVILLAIN, JPLCONSEIL - HUY-SAN TANG, INGEROP - DAMIEN VEDRENNE, NGE

The two access viaducts to the Eiffel Bridge over the Dordogne move in line with soil subsidence, the soil being compressible under applied loads. The coming subsidence during the next fifty years will remain less than or equal to 50 mm. The foundation of the right-bank abutment pier has been reinforced by twenty micropiles and two load transfer restraints around the two foundation blocks. To restore the arches, those segments excessively damaged were replaced with new stones and all the joints were reworked with natural lime mortar. Fractured spandrels were restored to their original form. Given the attached cantilever foot bridge upstream of the works, the longitudinal profile of the carriageway was lowered to offset the increased loads. □

REHABILITACIÓN DE LOS VIADUCTOS DE ACCESO AL PUENTE EIFFEL SOBRE EL DORDOÑA, EN CUBZAC-LES-PONTS

JEAN-PIERRE LEVILLAIN, JPLCONSEIL - HUY-SAN TANG, INGEROP - DAMIEN VEDRENNE, NGE

Los dos viaductos de acceso al puente Eiffel sobre el Dordoña siguen los asentamientos de terrenos compresibles bajo las cargas aplicadas. Los futuros asentamientos durante los próximos cincuenta años serán inferiores o iguales a 50 mm. La cimentación de la pila-estribo en la orilla derecha ha sido reforzada con veinte micropilotes y dos corsés de transmisión de cargas alrededor de los dos bloques. La restauración de las bóvedas consiste en sustituir por piedras nuevas las dovelas demasiado deterioradas y en reconstruir todas las juntas con mortero de cal natural. Los tímpanos fracturados se han reconstruido de forma idéntica a los originales. La pasarela unida en ménsula previamente a las obras ha permitido rebajar el perfil longitudinal de la calzada para compensar el aumento de las cargas. □

LE PONT DE BUTHAUMONT SUR L'ORNE À BONCOURT

AUTEURS : PATRICK DIEU AIDE, DIRECTEUR, EIFFAGE GÉNIE CIVIL EST - REMI PASSERAT, CHARGÉ D'AFFAIRES, EIFFAGE INFRASTRUCTURES DMI - FRÉDÉRIC PASTOR, RESPONSABLE D'AFFAIRE, EIFFAGE INFRASTRUCTURES DMI - FREDDY CUZZI, RESPONSABLE DU SERVICE PONTS, STRUCTURES ET OUVRAGES, CONSEIL DÉPARTEMENTAL 54 - LAURENT LOUTTE, CHARGÉ D'ÉTUDES OUVRAGES D'ART, CEREMA EST

LE NOUVEAU PONT DE BUTHAUMONT À BONCOURT, EST UN OUVRAGE EN BFUP (BÉTON FIBRÉ À ULTRA-HAUTES PERFORMANCES), DE CONCEPTION ORIGINALE, RÉALISÉ PAR EIFFAGE GÉNIE CIVIL SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE DU CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE MEURTHE-ET-MOSELLE. L'OUVRAGE, DE TYPE PONT INTÉGRAL, EST CONSTITUÉ D'UN PORTIQUE D'ENVIRON 32 M DE PORTÉE ET DONT LA TRAVERSE ASSOCIE DES POUTRES PRÉFABRIQUÉES JOINTIVES EN BSI® À UN HOURDIS EN BÉTON CLASSIQUE COULÉ EN PLACE.



INTRODUCTION

La pont de Buthaumont à Boncourt en Meurthe-et-Moselle est un ouvrage de longueur modeste permettant à la RD 603 de franchir l'Orne (figure 1). Le pont existant est un ouvrage en maçonnerie à trois arches dont la construction remonte au milieu du 19^e siècle. L'appel d'offre lancé par le maître d'ouvrage (Conseil départemental 54) prévoyait la construction d'un nouvel ouvrage comportant en solution de base un tablier mixte de type bipoutre à travée unique et laissait la possibilité aux entreprises de proposer des

variantes de tablier en BFUP (Béton Fibré à Ultra-hautes Performances). C'est dans ce contexte que Eiffage Génie Civil a proposé une solution alternative originale de type pont intégral constitué d'un portique d'environ 32 m de portée et dont la traverse associe des poutres jointives en BSI® à un hourdis en béton classique.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE - LA SOLUTION DE BASE

L'ancien pont de Boncourt est un ouvrage en maçonnerie très ancien (mi-19^e siècle) constitué de trois

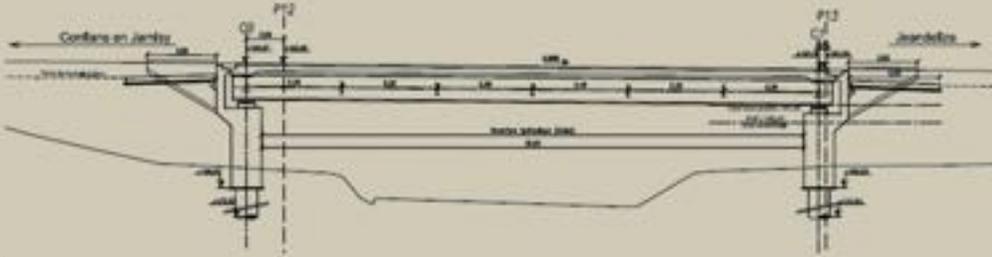
1- Vue d'ensemble de l'ouvrage (ancien et nouveau pont).

1- Overall view of the structure (old and new bridge).

arches de 8,10 m, 9,90 m et 12,30 m d'ouverture, dont deux seulement sont utilisées par l'Orne en période d'étiage. Une des trois arches détruites en 1940

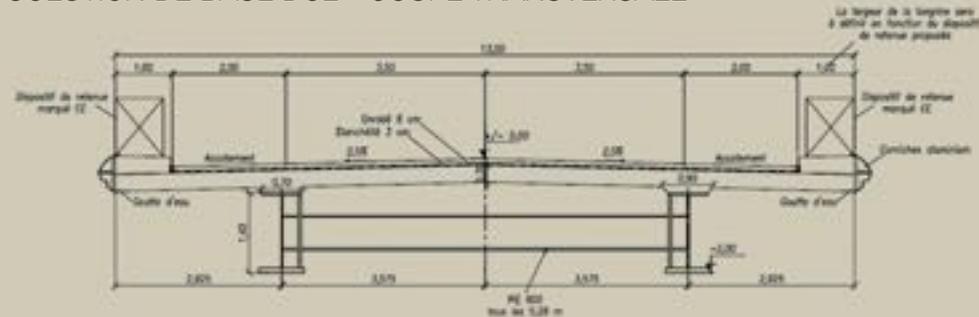
a été sommairement réparée en 1943. Le projet de reconstruction de l'ouvrage, situé à environ 10 m en aval de l'existant, devait répondre aux contraintes hydrauliques imposant, d'une part, de ne pas disposer d'appui dans le lit mineur de l'Orne et, d'autre part, que l'arase inférieure du tablier soit au minimum à environ 1 m au dessus du niveau de la crue centennale. Le nouveau pont de Boncourt est un ouvrage de 31,69 m de portée, à travée unique, qui franchit l'Orne selon un biais de 70 grades (figure 2). D'une largeur de 13 m, avec un profil en travers en toit penté

SOLUTION DE BASE DCE - COUPE LONGITUDINALE



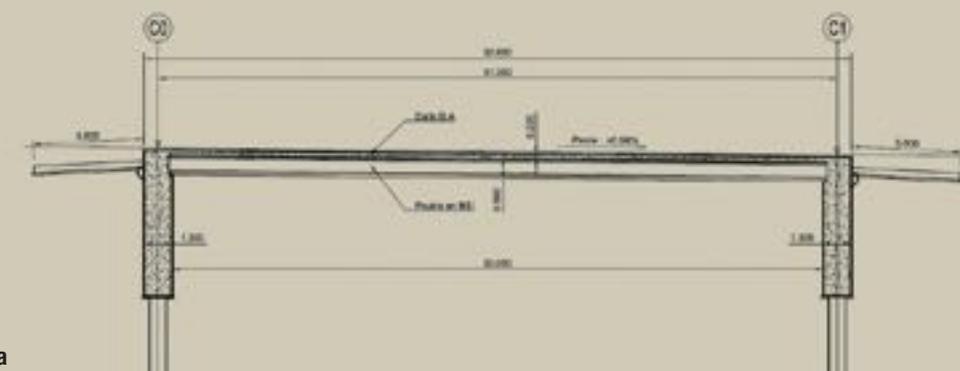
2a

SOLUTION DE BASE DCE - COUPE TRANSVERSALE



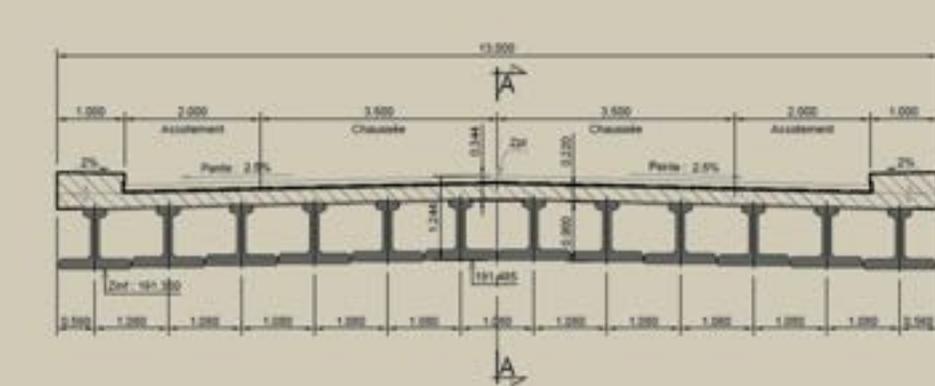
2b

VARIANTE BFUP - COUPE LONGITUDINALE



3a

VARIANTE BFUP - COUPE TRANSVERSALE



3b

2- Solution de base DCE - Coupes longitudinale et transversale.

3- Variante BFUP - Coupes longitudinale et transversale.

2- Standard solution of tender documents - Longitudinal and cross sections.

3- UHPFRC variant - Longitudinal and cross sections.

LA VARIANTE RÉALISÉE : UN PONT INTÉGRAL EN POUTRES ITE®

PRINCIPE GÉNÉRAL

La hauteur structurelle du tablier bi-poutre mixte de la base avoisinait les 1,90 m.

L'un des enjeux d'une variante possible était de réduire significativement la hauteur de remblai à l'arrière des culées de la solution de base, et donc l'épaisseur du tablier.

Eiffage propose pour cela de recourir à un tablier de type PRAD à poutres en I à talon élargi (ITE®) en BSI®, dans le but d'optimiser l'élancement du tablier et de réduire sa hauteur structurelle à 1,25 m.

La forme des poutres ITE® et la grande résistance du BSI® permettent de tirer le meilleur parti de la précontrainte et d'atteindre des élancements compétitifs.

La réduction de la hauteur de remblai à l'arrière des culées ouvre ainsi sur une optimisation de leurs fondations. Compte-tenu de la mauvaise qualité du sol à proximité du lit de l'Orne, il est jugé préférable d'encaster le tablier sur les culées afin de bénéficier de la capacité de ce dernier à équilibrer une partie des efforts horizontaux.

Une optimisation du diamètre des pieux est alors recherchée, afin d'assouplir au mieux les fondations et de profiter d'une redistribution plus favorable des moments dans le portique ainsi créé.

Au-delà des économies de quantités, cette variante hérite de tous les avantages des ponts intégraux en termes de gain sur les coûts de maintenance des appareils d'appui et des joints. Elle jouit de la grande durabilité du BSI®.

à 2,5%, il supporte une chaussée de 11 m de large comportant deux voies de circulation de 3,50 m, encadrées par des bandes dérasées de 2 m de large. Le tablier de la solution de base est

un bi-poutre mixte isostatique dont les poutres métalliques ont une hauteur de 1,40 m et un entraxe de 7,00 m. Les poutres principales sont surmontées d'une dalle en béton armé de

13 m de largeur et de 30 cm d'épaisseur moyenne. Les culées sont de type culées-murs-de-front fondées sur une file de 4 pieux de type forés tubés et de 1 200 mm de diamètre.

Elle permet également de sécuriser et d'accélérer la mise en œuvre de la traverse, puisqu'une fois les poutres posées, celles-ci étant jointives, toutes les opérations de mise en œuvre de la dalle coulée en place (pose des prédalles, ferrailage et bétonnage du hourdis) se déroulent avec rapidité et en toute sécurité.

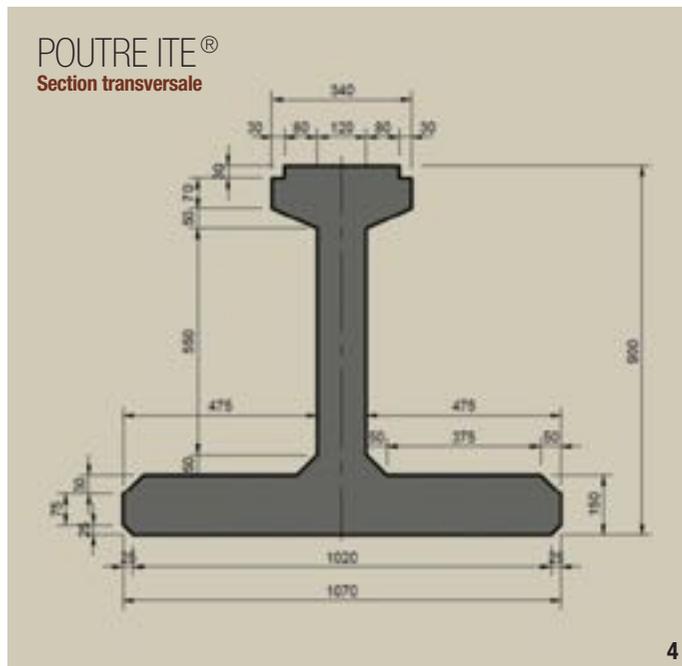
La traverse est constituée de 12 poutres ITE® préfabriquées en BSI® d'une longueur de 30,60 m et de 90 cm de hauteur, et d'un hourdis coulé en place en béton classique C35/45 de 22 cm d'épaisseur. Les poutres sont jointives, elles comportent :

- Un large talon inférieur de 1,07 m et une épaisseur de 15 cm, où sont logés les 30 torons T15s de classe 1860, s'ancrant progressivement grâce à un gainage d'une partie des torons en extrémité. Quatre longueurs de gainage ont été retenues, contribuant à limiter les effets d'éclatement et de diffusion dans les zones d'introduction de la précontrainte ;
- Une âme d'épaisseur constante de 12 cm ;
- Un talon supérieur de 34 cm, où sont placés des connecteurs en aciers HA assurant la liaison entre les poutres préfabriquées et le hourdis coulé en place.

LE MATÉRIAU BSI®

Le BSI®, béton fibré à ultra hautes performances (BFUP), est un matériau développé et breveté par le groupe Eiffage. Parmi les références d'ouvrages réalisés avec ce matériau, on notera les trois précédentes réalisations d'ouvrages à poutres ITE® : le pont routier de Pinel (Rouen), le pont de Sarcelles, et plus récemment le pont de la République à Montpellier. Pour la réalisation des poutres ITE®, la formule du BSI® retenue présente les caractéristiques suivantes :

- **Résistance caractéristique à la compression à 28 jours :**
 $f_{ck} = 160 \text{ MPa}$;
- **Résistance caractéristique à la traction à 28 jours de la matrice :**
 $f_{ctk,el} = -8,0 \text{ MPa}$;
- **Plateau de première fissuration :**
 $f_{ctk} = \sigma(w = 0,4 \text{ mm}) = -8,5 \text{ MPa}$;
- **Limite d'élasticité moyenne en traction :**
 $f_{ctm,el} = -10,5 \text{ MPa}$;
- **Valeur moyenne du module d'Young à 28 jours :**
 $E_{cm} = 58 \text{ GPa}$;



4 © EIFFAGE GC

4- Poutre ITE® - Section transversale.

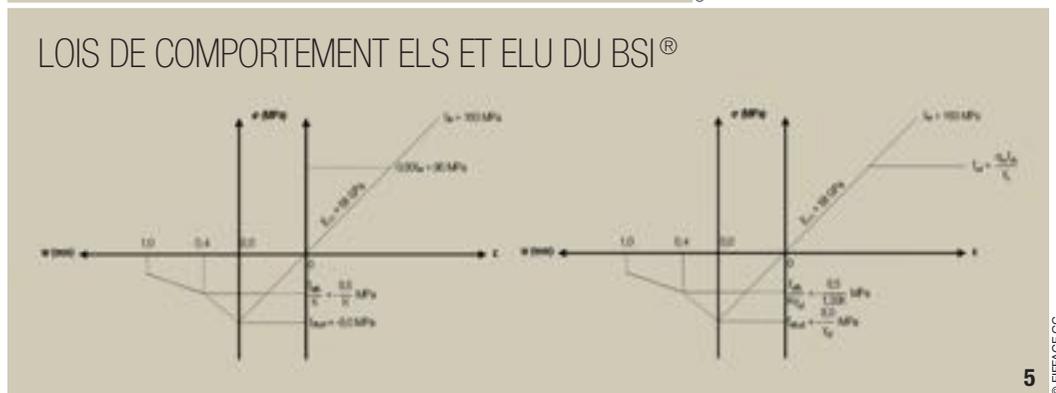
5- Lois de comportement ELS et ELU du BSI®.

6- Contraintes normales dans les poutres ITE®.

4- ITE® girder - Cross section.

5- SLS and ULS behaviour patterns of BSI®.

6- Normal stresses in ITE® girders.



5 © EIFFAGE GC

→ **Fluage propre et de dessiccation (chargement à t0 = 7 j) :**

$\phi(\infty, t0) = 1,0$;

→ **Retrait endogène à l'infini :**

$\epsilon_{ce,\infty} = 600 \mu\text{m.m}^{-1}$;

→ **Retrait de dessiccation à l'infini :**

$\epsilon_{cd,\infty} = 240 \mu\text{m.m}^{-1}$;

→ **Poids volumique :**

$\rho = 27,5 \text{ kN.m}^{-3}$.

BFUP NF P 18-470 et NF P 18-710, alors en cours d'élaboration, a été le plus souvent mené à titre de comparaison, mais n'a jamais remis en cause les résultats. Il a permis de compléter les recommandations du guide et en particulier en ce qui concerne la condition de non-fragilité.

Les études d'exécution se sont concentrées dans un premier temps sur l'étude des poutres, l'évolution de leur état de contraintes et de déformation dans le temps, que ce soit au jeune âge ou à long terme, grâce à un modèle prenant en compte le phasage de construction. Il a ainsi notamment pu être démontré

que la résistance en traction du BSI® (figure 5) était suffisante pour qu'il n'y ait pas besoin d'armatures passives dans les poutres.

Un modèle 3D de la traverse a complété le modèle phasé pour l'étude de la flexion transversale et de la torsion du tablier.

Peu après le démarrage des études d'exécution, s'est révélé un phénomène significatif de fluage horizontal des couches compressibles du sol situées directement sous le remblai d'apport à l'arrière des piédroits.

Il en résulte des déplacements imposés par la déformation du sol sur les

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les recommandations BFUP 2013 de l'Afgc ont été appliquées pour les justifications des éléments en BSI®. Un calcul contradictoire avec les normes

CONTRAINTES NORMALES DANS LES POUTRES ITE®

	Traction maximale en fibre supérieure	Compression maximale en fibre inférieure	Traction en fibre inférieure (zone d'enrobage)
Mise en précontrainte	-2,5 MPa	36 MPa	Aucune
ELS quasi-permanents	-	33 MPa	Aucune
ELS caractéristiques	-	36 MPa	Aucune

6 © EIFFAGE GC



7a



7b



8

pieux, incompatibles avec leur dimensionnement. La solution consistant à augmenter le diamètre des pieux n'est pas satisfaisante car elle reviendrait à raidir les fondations et par conséquent à augmenter les moments dans la structure.

Eiffage a proposé une solution technique consistant à réaliser un double-tubage définitif autour de ces pieux. Le vide annulaire entre les deux tubes est suffisant pour absorber la somme

7- Bétonnage des poutres.
8- Transfert et stockage des poutres.

7- Girder concreting.
8- Girder transfer and storage.

du déplacement horizontal du sol et du pieu, qui ne se trouve donc pas entraîné. Cette solution simple et moins coûteuse qu'une amélioration de sol a permis de rester proche du dimensionnement initial. Si l'effet du fluage horizontal sur les pieux était neutralisé, l'apport bénéfique de la réaction frontale du sol était perdue sur la longueur de pieu tubée. Le diamètre des pieux a donc dû être malgré tout augmenté de \varnothing 800 mm à \varnothing 1 000 mm.

CONTRAINTES NORMALES ET TANGENTES DANS LES POUTRES

La précontrainte est d'abord dimensionnée pour compenser la flèche finale des poutres sous charges quasi-permanentes. Ce parti permet de s'affranchir des complications qu'occasionnerait une réalisation des poutres avec une contreflèche à la fabrication sur banc. Il en résulte une marge de sécurité importante vis-à-vis des critères de contraintes normales admissibles dans le béton (figure 6).

La traverse serait ainsi vérifiée en schéma isostatique, ce qui ajoute à la robustesse de l'ouvrage.

La contrainte maximale de cisaillement à l'ELU dans l'âme aux abouts des poutres est de l'ordre de 8,0 MPa, décomposée en 6,7 MPa dû à l'effort tranchant et 1,3 MPa de cisaillement de diffusion pure de la précontrainte. On rappelle à ce sujet que la précontrainte est étagée. Ce niveau de contrainte ne requiert pas de renfort par des armatures passives ; à titre de comparaison, la contribution des fibres seules à la résistance du BSI® au cisaillement est de 7,2 MPa.

JUSTIFICATION DES NŒUDS D'ENCASTREMENT

Un point clef de la vérification du tablier est la justification du nœud d'encastrement piedroit/poutres traverse. Contrairement aux ouvrages plus modestes en béton armé de type PIP0 ou PICF dont les portées n'excèdent pas 20 m, cet encastrement voit ici des efforts élevés alors que la section est en béton armé non précontrainte. La justification de ce nœud a été réalisée à l'aide d'un modèle bielle/tirant et le tablier a été vérifié en flexion à mi-travée en isostatique c'est à dire en négligeant l'effet des encastresments en le supposant simplement appuyé sur les piedroits. Cette dernière vérification apporte une grande robustesse à l'ouvrage même en cas de défaillance de l'encastrement piedroit/traverse.

DÉFORMATIONS DES POUTRES

L'effort de précontrainte a été calculé de manière à ce que les poutres présentent à la mise en service une cambrure d'environ 30 mm. Cette marge permet d'absorber quelques impondérables de mise en œuvre et des conditions hygrométriques différentes des hypothèses de calcul, ou bien un relâchement des torons de précontrainte plus tardif que prévu, sans risquer d'aboutir à une flèche des poutres orientée vers le bas à la mise en service.

Les flèches nominales théoriques des poutres à différentes dates sont données ci-après :

- **Au relâchement du toron de précontrainte** : +55 mm ;
- **À 28 jours** : +80 mm ;
- **Après coulage de la dalle** : +35 mm ;
- **En service à court terme** : +30 mm ;
- **En service à long terme** : +20 mm.

Les flèches relevées sur les poutres réelles correspondent en moyenne au théorique, et traduisent une déformation par fluage vers le haut comparable.

LA PRÉFABRICATION DES POUTRES ITE®

Les poutres ITE® ont été préfabriquées à l'usine Matière de Brive-la-Gaillarde, disposant d'un banc de précontrainte adapté à la réalisation de poutres de grande longueur, et agréé par Eiffage pour la mise en œuvre du BSI®.

Après montage du moule et installation des torons de précontrainte, le bétonnage de la poutre ($\pm 9 \text{ m}^3$) peut s'effectuer. Il nécessite la confection de plusieurs gâchées de BSI® à partir d'un premix livré en Big-bag, et des autres composants : adjuvants, eau et fibres métalliques (195 kg/m^3).

À chaque gâchée, une série de contrôles est systématiquement réalisée afin de vérifier les propriétés à l'état frais et garantir une bonne mise en œuvre.

Le BSI® est acheminé du malaxeur vers le lieu de bétonnage à l'aide d'une benne de 2 m^3 à l'étanchéité parfaite.

Les gâchées d'environ $1,6 \text{ m}^3$ sont enchaînées jusqu'au remplissage complet du moule.

Compte tenu de la grande différence de largeur entre le talon inférieur et l'âme, le bétonnage (figure 7) est réalisé en 2 phases :

- La première phase concerne le talon inférieur, seule la partie basse du coffrage étant en place. Le bétonnage est effectué à l'avancement sur l'épaisseur du talon, de manière à assurer un bon enrobage des lits de précontrainte.
- La deuxième phase de bétonnage concerne l'âme et le talon supérieur. Elle intervient après mise en place de la partie supérieure du moule. Un système mécanique type "griffes" est mis en œuvre afin d'assurer un parfait mélange des couches et garantir une bonne liaison à la jonction talon/âme.

À la fin du bétonnage de la poutre, un produit anti-évaporant est appliqué par pulvérisation sur la surface arasée, avec passage simultané de la taloche.

Le contrôle de la résistance au jeune âge a fait l'objet d'un suivi maturométrique à partir de sondes de température placées dans le talon inférieur et en partie haute de l'âme. L'ouverture du moule a lieu, une fois que le pic exothermique est atteint sur les différentes sondes. La détension des câbles se fait après avoir obtenu une valeur de résistance moyenne à la compression du béton d'au moins 100 MPa.

Après relâchement des torons, les poutres sont transférées en zone de stockage (figure 8), elles sont posées sur des cales positionnées à l'emplacement des appuis définitifs. Un contrôle géométrique systématique des poutres ainsi que des mesures périodiques des flèches sont effectués sur le lieu de stockage, à l'usine de préfabrication.

LA POSE DES POUTRES ET RÉALISATION DU TABLIER

Les poutres ont été transportées par train depuis Brive puis acheminées par convois exceptionnels jusqu'à Boncourt.

Le tablier est constitué de 12 poutres BFUP de 30,60 ml qui sont posées puis encastrées dans deux piédroits constituant les appuis de l'ouvrage.

La pose des douze poutres d'un poids d'environ 23 t s'est faite sur deux jours à l'aide d'une grue mobile de 300 t selon le planning suivant :

- **Jour 1 matin** : installation de la grue et de ses contrepoids ;

9- Pose des poutres.

9- Placing girders.

- **Jour 1 après-midi** : pose de 6 poutres ;
- **Jour 2 matin** : pose de 6 poutres ;
- **Jour 2 après-midi** : démontage de la grue.

Les deux poutres de rives sont préalablement équipées au sol de caissons en bois permettant le coffrage des rives du hourdis de 22 cm.

Une fois les poutres posées, le fond de moule du hourdis est réalisé à l'aide de plaques de coffrage perdu type Duripanel posées dans des engravures des poutres prévues à cet effet.

Le ferrailage du hourdis et des longrines est constitué de 44 t d'armatures (ratio de 308 kg/m^3).

Après finalisation, des coffrages latéraux de l'ensemble du hourdis, le bétonnage a pu être effectué à l'aide d'une pompe en prenant soin de phaser l'ensemble afin d'équilibrer les charges sur les poutres.



9a



9b



10a



10b

CONCLUSION

La solution technique de pont intégral à poutres ITE® en BSI®, mise en œuvre dans le cadre de la reconstruction du pont de Buthaumont sur l'Orne à Boncourt, confirme tout l'intérêt de cette solution alternative aux tabliers mixtes (bipoutre ou à pou-

10a- Pose des prédalles.

10b- Sous-face du tablier.

10a- Placing precast formwork units.

10b- Underside of the deck.

trelles enrobées) pour les ouvrages à travée unique dans une gamme de portée comprise entre 25 et 35 m. En tirant profit des performances mécaniques exceptionnelles des BFUP, elle permet la construction de tabliers de pont ultra-minces, s'adaptant à des fortes contraintes géométriques et de réalisation (gabarit réduit, franchissement de cours d'eau ou de voies en circulation). S'ajoute une mise en œuvre rapide et sécurisée du tablier.

Cette solution de type pont intégral associé à l'emploi du BSI® permet, en outre, une optimisation du coût global de l'ouvrage par un gain sur les coûts d'entretien et de maintenance (absence d'appareils d'appui et de joints de chaussées). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BSI® : 110 m³

HOUDIS - C35/45 : 128 m³

ARMATURES DES HOUDIS : 308 kg/m³

PIEUX : 2 x 4 Ø 1 000 / longueur 15 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Conseil départemental de Meurthe-et-Moselle (CD 54)

MAÎTRE D'ŒUVRE CHANTIER : Service OA du CD 54 - Xavier Perroche

CONTRÔLE EXTÉRIEUR ÉTUDES : Cerema Est

ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil Est

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Eiffage Génie Civil DMI/BIEP

ABSTRACT

BUTHAUMONT BRIDGE ON THE RIVER ORNE AT BONCOURT

PATRICK DIEU AIDE, EIFFAGE - REMI PASSERAT, EIFFAGE - FRÉDÉRIC PASTOR, EIFFAGE - FREDDY CUZZI, DEPARTMENTAL COUNCIL 54 - LAURENT LOUTTE, CEREMA

The new Buthaumont bridge on the river Orne at Boncourt is an original alternative to composite steel-concrete decks for single-span bridges of average span length. Its 32-metre span length is crossed by a deck of the prefabricated bonded pre-tensioned girder bridge type formed of ITE® girders (I-girders with large heel) in BSI® (UHPFRC concrete), connected to a conventional cast-in-situ concrete slab. The broad heel of the girders allows a large quantity of prestressing to be concentrated under their centre of gravity. The camber due to the prestressing force is sufficient to offset the sag under permanent loads in service. These girders of durable material are borne by integral abutments having low maintenance costs. The small diameter of the piles makes it possible to reduce the stiffness of deck embedment in the columns. This special design also has a positive impact on the duration of the site works, because the prefabricated girders are used as formwork for installing the deck slab. □

EL PUENTE DE BUTHAUMONT SOBRE EL ORNE EN BONCOURT

PATRICK DIEU AIDE, EIFFAGE - REMI PASSERAT, EIFFAGE - FRÉDÉRIC PASTOR, EIFFAGE - FREDDY CUZZI, CONSEJO DEPARTAMENTAL 54 - LAURENT LOUTTE, CEREMA

El nuevo puente de Buthaumont sobre el río Orne, en Boncourt (54), constituye una alternativa original a los tableros mixtos para las construcciones mono-luz de mediana longitud. A lo largo de sus 32 m de longitud se ha instalado un tablero de tipo PRAD (puente de vigas prefabricadas pretensadas por adherencia), formado por vigas ITE® (vigas en I con larguero ampliado) en BSI®, conectadas a una losa de hormigón convencional colada in-situ. El ancho larguero de las vigas permite concentrar una importante cantidad de pretensado bajo su centro de gravedad. La contra-flecha debida al esfuerzo de pretensado basta para compensar la flecha bajo las cargas permanentes en servicio. Estas vigas en material duradero están soportadas por estribos integrales de muy bajo coste de mantenimiento. El reducido diámetro de los pilotes permite reducir la rigidez de empotramiento del tablero en los hastiales. Este diseño particular también ha tenido una incidencia positiva en la duración de las obras, ya que las vigas prefabricadas sirven de encofrado para la instalación de la losa del tablero. □



© VINCENT GARNIER, EGIS

VIADUC DE KINTÉLÉ AU CONGO BRAZZAVILLE - CONSTRUCTION D'UN VIADUC DE PRÈS DE 7 KILOMÈTRES EN UN AN ET DEMI

AUTEURS : VINCENT GARNIER, CHEF DE MISSION, DIRECTION AFRIQUE, EGIS - BENJAMIN AUDINOS, DIRECTION AFRIQUE, EGIS - GUILLAUME BENAYOUN, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, ARCHITECTE DPLG, EGIS

C'EST AU CONGO BRAZZAVILLE, POUR LES 11^{ES} JEUX AFRICAINS, QUE LE PROJET DE CONSTRUCTION D'UN VIADUC DE 6 882 M DANS LE LIT MAJEUR DU FLEUVE CONGO A VU LE JOUR. CONÇU PAR LES ÉQUIPES D'EGIS, LES TRAVAUX ONT ÉTÉ EXÉCUTÉS PAR LA SOCIÉTÉ CHINOISE CRBC. L'INDUSTRIALISATION D'UN TEL PROJET A NÉCESSITÉ DES MOYENS COLOSSAUX DE LA PART DE L'ENTREPRISE. LES CADENCES 7/7 JOURS ET 24/24 HEURES ONT IMPOSÉ À EGIS UNE ORGANISATION TOUTE PARTICULIÈRE POUR MENER À BIEN SA MISSION DE SUIVI ET CONTRÔLE DES TRAVAUX.

UN OBJECTIF : ÊTRE PRÊT POUR LES 11^{ES} JEUX AFRICAINS

En septembre 2011, le Conseil Supérieur en Afrique désigne le Congo comme pays organisateur des 11^{es} jeux africains, une compétition multisports disputée tous les quatre ans à l'échelle du continent africain. Les jeux se déroulent à Brazzaville du 4 au 19 septembre 2015.

Le Congo a donc 4 ans pour se préparer et construire les nouvelles infrastructures sportives nécessaires au succès de cet événement international.

La bonne intégration de ces nouvelles infrastructures dans le tissu urbain de Brazzaville est une priorité.

Les premières études sont lancées et voient naître un ambitieux projet de construction d'un complexe sportif en périphérie de Brazzaville dans la ville de Kintélé. Ce complexe comprend notamment un grand stade de 60 000 places, un palais des sports de 10 000 places et un complexe nautique de 4 000 places.

Une problématique se pose alors : comment permettre aux 65 000 personnes d'accéder à ce nouveau site pendant la

**1- Vue aérienne
du viaduc depuis
Kintélé.**

**1- Aerial view of
the viaduct from
Kintélé.**

durée des jeux alors que les infrastructures routières existantes ne peuvent offrir un niveau de services suffisant ? Les études préliminaires menées en 2012 ont permis de définir plusieurs

options d'accès au site des jeux et notamment la création d'un tracé en rive droite du fleuve Congo. Ce tracé a l'avantage d'être situé en site non urbanisé, en dehors de tout trafic, permettant ainsi un accès fluide et rapide au site du complexe sportif (figure 2). Deux solutions se dégagent rapidement : en remblai ou en viaduc.

La solution « remblai » est écartée en raison du délai de réalisation non compatible avec la date d'ouverture des jeux. Les sols compressibles situés sur les berges du fleuve Congo nécessitent de longues périodes de pré-

PLANIMÉTRIE GÉNÉRALE



© EGIS
2

chargement pour la consolidation du sol support.

Très vite, la solution « viaduc fondé sur pieux » apparaît comme la seule capable de livrer l'ouvrage en respectant un planning ambitieux.

UN PLANNING AMBITIEUX ET RESPECTÉ

À l'été 2013, Egis - très présent au Congo depuis de nombreuses années et sur de nombreux projets - s'est vu

2- Planimétrie générale.
3- Planning de l'opération.

2- General planimetry.
3- Project schedule.

confier par la Direction Générale aux Grands Travaux l'ensemble des études routières liées à l'accès au site des jeux, et notamment l'accès en rive droite du fleuve Congo, comprenant la construction d'un viaduc de 7 km. Dès lors, un immense défi est à relever : réaliser les études détaillées et les travaux en 2 ans.

Avec l'appui de ses bureaux d'études en France, l'agence d'Egis basée à Brazzaville pilote l'étude et coordonne

les différents intervenants. Les études géotechniques et les levés topographiques s'avèrent complexes, les accès au site étant rares et compliqués.

Fin décembre 2013, le dossier d'appel d'offres pour les travaux est bouclé. Début 2014, une consultation restreinte est lancée auprès des entreprises basées au Congo. Deux sociétés françaises, une société brésilienne et deux sociétés chinoises sont consultées. Le défi lié au délai est énorme et seules les deux sociétés chinoises répondent à l'appel d'offre.

Fin février 2014, le marché est attribué à l'entreprise chinoise Crbc (China Road and Bridge Corporation) pour un montant de 102 milliards de Francs CFA hors taxes (155 millions d'euros). Fin mars 2014, le contrat de la mission de contrôle est attribué à Egis International. En août 2014, le coulage du premier béton sur site est réalisé. En août 2015, les travaux sont achevés. Le défi est relevé : 7 km de viaduc construits en 13 mois. Le planning détaillé par grandes phases est présenté sur la figure 3.

LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

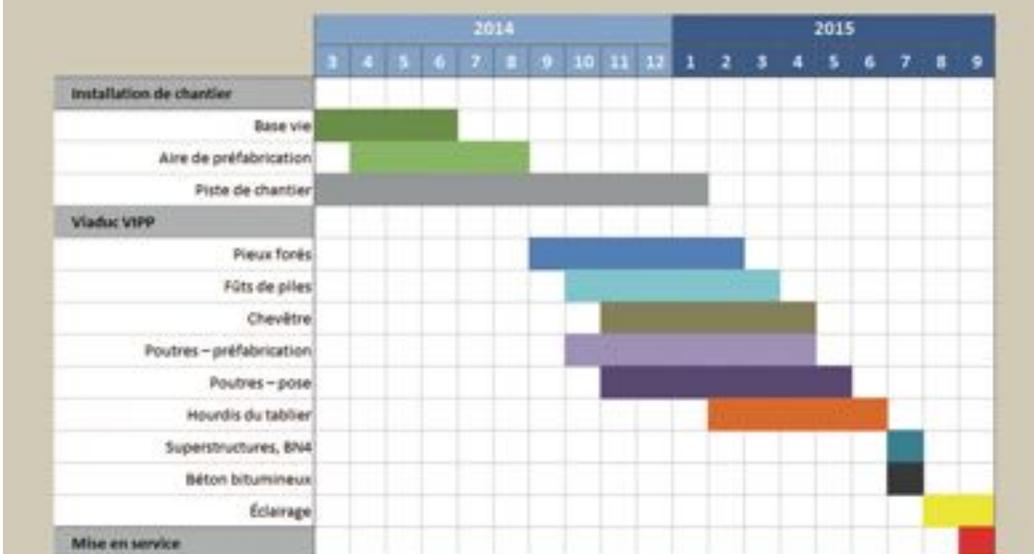
LES DONNÉES TECHNIQUES DE L'OUVRAGE

Lors de la phase de conception, les ingénieurs d'Egis avaient une équation simple à résoudre : vitesse de construction de l'ouvrage = 7 km/2 ans. Ils ont donc volontairement choisi une structure simple et répétitive, permettant une industrialisation de l'ouvrage, seule possibilité permettant de respecter le défi du délai.

Le choix d'un VIPP, Viaduc à travées Indépendantes en Poutres Précontraintes, s'est très vite imposé. Contrairement à un ouvrage en encorbellement, les poutres du VIPP peuvent être préfabriquées sur site et mises en place avec des rendements importants. Les caractéristiques principales de l'ouvrage retenues sont :

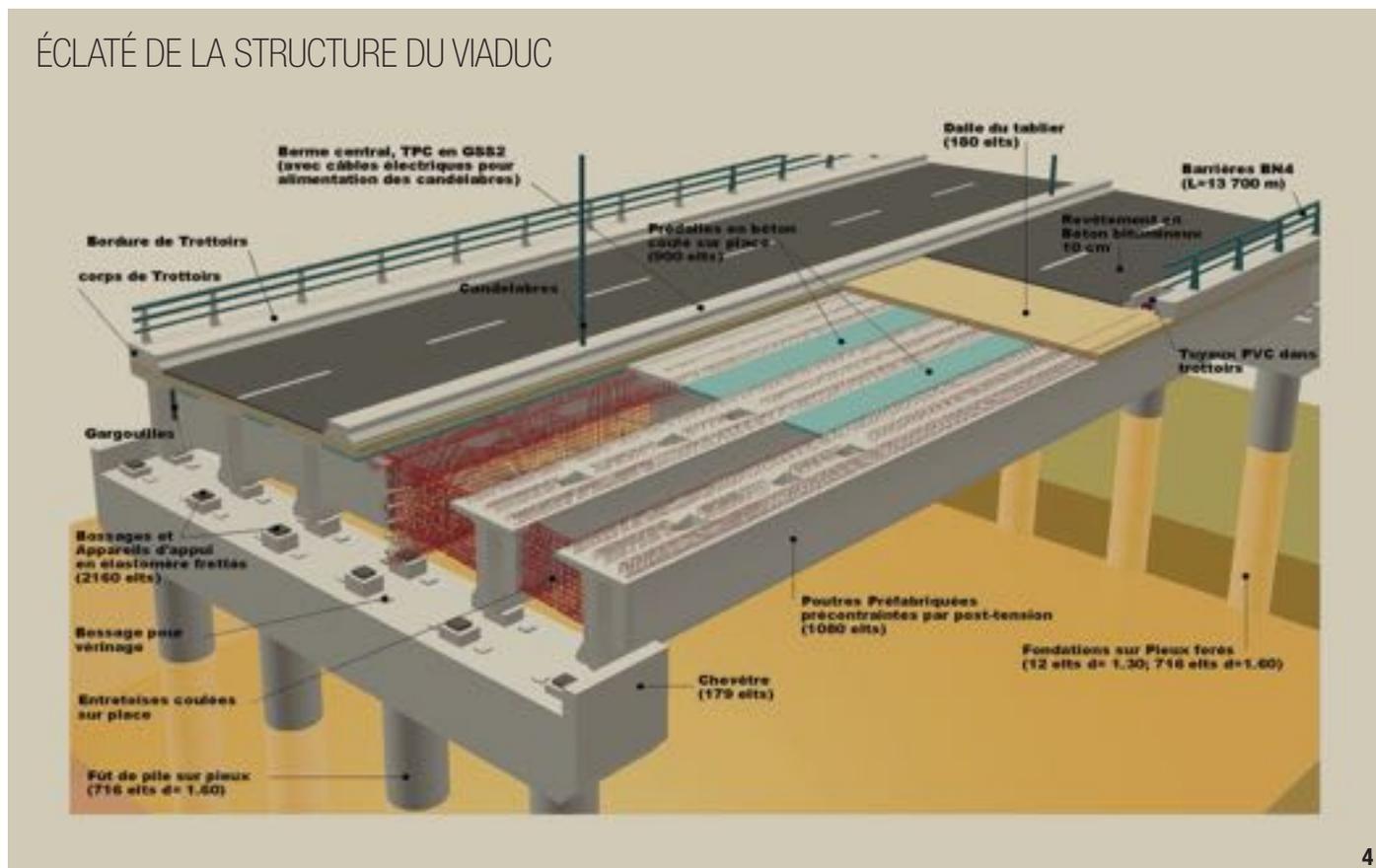
- Longueur du viaduc : 688,84 m ;
- Largeur du viaduc : 19,60 m (offrant 2x2 voies de 3,50 m) ;
- Ouvrage du type VIPP, ancré sur pieux de 60 m de diamètre dans le substratum sur une longueur de 12 à 15 m dans les matériaux gréseux ;
- Les piles sont constituées de fûts cylindriques de 1,60 m de diamètre dans le prolongement des pieux ;
- Le hourdis est supporté par 6 poutres précontraintes d'une portée de 38,50 m ;

PLANNING DE L'OPÉRATION



© EGIS
3

ÉCLATÉ DE LA STRUCTURE DU VIADUC



4

© EGIS

- La précontrainte est réalisée en deux phases : une phase sur l'aire de préfabrication pour les câbles d'about, une seconde phase après bétonnage du hourdis pour les câbles relevés ;
- Le hourdis en BA est équipé de barrière BN4 en rive, d'un TPC de 1,10 m et de trottoirs de 1,10 m ;
- Le hourdis est protégé par une couche d'étanchéité et une couche de roulement en béton bitumineux de 7 cm ;
- L'éclairage est assuré par des mâts double crosse positionnés dans le TPC, tous les 30 m ;
- Les travées sont liaisonnées par des dalles de continuité et un joint de chaussée tous les 4 travées.

La conception architecturale de l'ouvrage a été confiée à Jean-Bernard Nappi, Architecte DPLG chez Egis (figure 8). La complexité de l'intervention architecturale résidait essentiellement dans l'élaboration d'un principe simple à réaliser et qui valorise néanmoins une structure fortement contrainte par la préfabrication et les réponses techniques proposées.

Les points sensibles se concentraient au niveau des appuis à la jonction des poutres préfabriquées. Le concept proposé intervient à deux échelles :

- Proche, les extrémités du chevêtre sont venues habiller les points de jonction des poutres ;
- Lointaine, ces mêmes chevêtres viennent marquer une ponctuation et intégrer visuellement les appuis au tablier.

LES MOYENS MIS EN ŒUVRE

Par l'entreprise

Dès l'attribution du marché en février 2014, l'entreprise chinoise Crbc lance



5

© VINCENT GARNIER, EGIS

4- Éclaté de la structure du viaduc.

5- Mise en place d'une poutre sur appui.

4- Exploded view of the viaduct structure.

5- Placing a girder on its support.

ses premières commandes et la fabrication des matériels nécessaires à la construction de l'ouvrage.

L'ensemble du matériel et des fournitures, à l'exception du ciment et des agrégats, provient de Chine. Les moyens mobilisés sont exceptionnels :

- Une aire de préfabrication de 62 000 m² située à 1,5 km de l'extrémité de l'ouvrage ;
- 4 centrales à béton de 90 m³/heure ;
- 1 centrale d'enrobé de 240 t/heure ;
- 6 portiques de 80 t pour manipulation des poutres sur l'aire de préfabrication (figure 5) ;
- 6 portiques de 10 t pour manipulation du matériel sur l'aire de préfabrication ;
- 6 portiques posés sur rails de 80 t pour mise en place des poutres sur appuis ;
- 20 camions-toupies à béton ;
- 30 machines pour forage des pieux ;
- 10 tracteurs pour transport des poutres de l'aire de préfabrication au site de l'ouvrage ;
- 24 jeux de coffrage de pile ;
- 18 jeux de coffrage de poutres ;
- 72 socles pour préfabrication des poutres.

Les moyens humains mobilisés sont tout aussi exceptionnels : entre 1 000 et 1 500 ouvriers sont sur site au plus fort de la construction.

Par la mission de contrôle (MDC)

L'organisation de la mission de contrôle repose sur 3 axes - le *front office*, le *back office* et les missions ponctuelles d'experts :

- L'équipe de la mission de contrôle en *front office* compte 15 permanents autour du chef de mission avec les spécialités suivantes représentées : ouvrage d'art, route, géotechnique, topographique et QHSE (qualité, santé-sécurité, environnement).
- Les équipes Egis en *back office*, sur l'ensemble des spécialités nécessaires, sont en appui à la demande.
- Des missions d'expertise sur place en fonction de l'avancement des travaux : ouvrages d'art, géotechnique et route.

LES QUANTITÉS ET LES CADENCES

Les principales quantités présentées ci-après illustrent le caractère exceptionnel de cet ouvrage (figure 6).

Les cadences et rendements, notamment les rendements maximums illustrés par la figure 7, sont impressionnants.

Les cinq premiers mois sont consacrés à la réalisation de l'aire de préfabri-

tion et de l'ensemble des installations. Tout le matériel est acheminé par voie maritime depuis la Chine jusqu'au port de Pointe Noire à 500 km de Brazzaville, puis par voie terrestre en empruntant la Route Nationale 1.

En 2014, la nouvelle route reliant Pointe Noire à Brazzaville n'est pas encore opérationnelle. C'est donc par l'ancienne Route Nationale 1, comprenant de grandes sections en pistes en terre, que les convois acheminent le matériel. En saison sèche, deux à quatre jours sont nécessaires pour réaliser le trajet, et une dizaine de jours en période pluvieuse.

Seuls les agrégats et le ciment proviennent de sites locaux : les granulats du site de concassage sur les berges du fleuve Congo au sud de Brazzaville, le sable d'une carrière à proximité de l'ouvrage et le ciment de la cimenterie de Dolisie « Fospak ».

Le premier pieu en béton est coulé début septembre 2014.

Dès lors les équipes travaux sont mobilisées 24/24 heures et 7/7 jours.

Une base vie permettant de recevoir tout le personnel chinois est installée à proximité du site de l'aire de préfabri- cation. Dortoirs, cantine, espace vie et même potager font vivre pendant un an et demi toutes les équipes du chantier. Si tous les cadres sont chinois, le personnel d'exécution est à 50 % chinois et 50 % congolais.

Une montée en puissance est atteinte au bout de quelques mois.

Les équipes se multiplient et l'effectif de pointe se situe autour de 1 500 personnes. D'un commun accord avec la mission de contrôle, les travaux critiques ne se font qu'en journée. La nuit est consacrée à des tâches nécessitant une présence limitée de la mission de contrôle (ferraillage, coffrage, approvisionnement, etc.).

Entre janvier et mars 2015, les travaux atteignent leur pic de production. Tous les ateliers sont menés de front : pieux, appuis, poutres et hourdis.

Les 30 foreuses de pieux travaillent simultanément et produisent jusqu'à 12 pieux par jour.

Parallèlement, les poutres sont fabriquées et stockées sur l'aire de préfabri- cation. Cette aire est vite saturée. Il faut transporter puis déposer les poutres sur leurs appuis définitifs afin de libérer de l'espace. 12 poutres par jour soit 2 travées sont posées en rendement maximum. Dès la pose des poutres, de nouvelles équipes sont mises en place afin de réaliser les hourdis. L'espace entre les poutres n'est pas comblé par la mise en place de prédalles mais se fait par un coffrage traditionnel puis bétonnage.

Les équipes de mise en précontrainte et d'injection sont elles aussi doublées. Certaines s'occupent de la première phase de mise en tension sur l'aire de

préfabrication pendant que d'autres s'occupent de la deuxième phase de précontrainte sur les câbles relevés. Après mars 2015, dès l'achèvement des appuis, le personnel décroît et bientôt les travaux de superstructure apparaissent (figure 1).

Étanchéité, trottoirs, bordures, BN4 sont menés de front.

Seul l'éclairage et la pose des mâts sont légèrement retardés du fait de nouvelles difficultés d'approvisionnement et sont sur le chemin critique pour tenir les délais.

La réception provisoire, en présence des autorités compétentes, a lieu le 26 août 2015.

L'inauguration et l'ouverture officielle à la circulation par le Président de la République, Monsieur Denis Sassou Nguesso, ont lieu le 30 août 2015, soit moins d'une semaine avant la date d'ouverture des jeux africains.

LES ÉLÉMENTS REMARQUABLES DE CE CHANTIER POUR LA MISSION DE CONTRÔLE EGIS

LES ÉQUIPES D'EGIS S'ADAPTENT AUX CADENCES IMPOSÉES PAR L'ENTREPRISE

Au-delà de la technicité et de la compétence en matière de contrôle de travaux, le défi pour Egis réside dans la disponibilité et la réactivité de ses équipes vis-à-vis de l'entreprise. ▷

Partie d'ouvrage	Nombre	Qté du béton (m ³)	Qté des aciers (T)	Qté des câbles précontraints (T)	Qté des enrobés (m ³)
Pieux forés	735	27 860	2 616		
Fûts de piles	716	6 510	760		
Chevêtres	179	18 785	2 756		
Culées	2	426	53		
Poutres précontraintes en T	1 080	44 064	7 523	1 823	
Entretoises	180 travées	2 750	667		
Prédalles coulées sur place	180 travées	5 760	1 102		
Hourdis	180 travées	29 675	6 154	619	
Enrobés BBSG	6 867 m				10 438
Barrière BN 4	13 764 ml				
Total Général		135 830 m³	21 631 T	2 442 T	10 438 m³

6

6- Principales quantités.
7- Cadences.

6- Main quantities.
7- Work pace.

Tâche	Quantités à réaliser	Rendement moyen	Rendement maximum
Pieux diam 160	723 unités	3.5 / jour	12 / jour
Futs de piles	716 unités	3.7 / jour	12 / jour
Chevêtre de pile	179 unités	0.95 / jour	3 / jour
Poutres précontraintes	1080 unités	3.4 / jour	12 / jour
Hourdis	180 travées	0.75 travées / jour	2 travées / jour

7



© JEAN-BERNARD NAPPI, ARCHITECTE, EGIS

Dès la phase préparatoire, la MDC a défini les tâches sur lesquelles sa présence est nécessaire (réceptions des coffrages et ferrillages, bétonnage, mise en tension, injection, etc.) et celles pouvant se dérouler sans une présence renforcée (décoffrage, montage du ferrillage, approvisionnement, etc.). Les surveillants et les techniciens se relaient pour assurer ce suivi au quotidien.

Des lieux de repos sont aménagés dans la base vie de l'entreprise afin de permettre au personnel de la mission de contrôle de se reposer mais néanmoins d'être « sollicitable » en permanence sur le site, constituant donc une forme d'astreinte pour le personnel de la MDC.

UNE COMMUNICATION COMPLEXE ENTRE PERSONNELS CHINOIS ET FRANÇAIS

Les dialogues et les réunions se font en présence d'interprètes.

De jeunes personnes ayant appris le français à l'école occupent ces postes. Malheureusement, leurs connaissances techniques sont souvent limitées.

Au fil des mois, des réflexes s'acquièrent et les termes techniques finissent par devenir familiers.

Les réunions de chantier restent un exercice périlleux.

La lenteur des échanges est rythmée par les continues traductions. Leur manque de clarté amène à des incompréhensions, parfois des blocages. Conscientes de ces difficultés de communication, la mission de contrôle et l'entreprise ont tenté de résoudre partiellement ces obstacles par la mise en place de personnel bilingue.

Le chef de lot Egis, adjoint au chef de mission de contrôle, est un salarié d'Egis de nationalité chinoise.

Côté entreprise, le responsable des études d'exécution a fait ses études en France (diplômé de l'École centrale de Paris).

Ces hommes - acteurs majeurs dans la vie du projet - sont d'une grande aide et participent au bon déroulement et à la bonne coordination aussi bien en phase études qu'en phase travaux.

LES DIVERGENCES SUR LES MÉTHODES DE TRAVAIL

Élaborées suivant les eurocodes et basées sur les normes européennes, les clauses contractuelles du contrat de travaux sont pour les équipes de la mission de contrôle habituelles et familières.

8- Conception architecturale et photomontage.

8- Architectural design and photomontage.

L'entreprise chinoise les découvre et doit s'adapter.

Les normes, les procédures, les agréments, les démarches qualité, environnementales et sécurité sont autant de thèmes sur lesquels l'entreprise et la mission de contrôle débudent le chantier avec des vues différentes.

Conscientes que la réussite d'un tel projet passe par une bonne maîtrise de ces sujets, les deux parties travaillent conjointement pour obtenir le niveau de qualité souhaité.

Le sujet des agréments, complexe tout au long du chantier, devient crucial au moment des superstructures.

La sécurité du personnel est également un sujet majeur pour la mission de contrôle.

Focalisé sur le respect des délais, l'entreprise en oublie parfois les mesures élémentaires de sécurité.

Le rôle d'Egis est aussi de démontrer qu'au travers de la mise en place de certaines actions, il est possible d'augmenter les rendements et l'efficacité. Des accès plus aisés à l'ouvrage, des pistes de chantier régulièrement entretenues sont des exemples. L'entreprise chinoise a su tirer un bénéfice des conseils apportés par la mission de contrôle.

Consciente des difficultés à venir, la mission de contrôle a anticipé et intégré dans son équipe dès le début des travaux un ingénieur QHSE. Il participe ainsi fortement à l'amélioration des conditions de sécurité et de travail sur le site.

ACHÈVEMENT DES TRAVAUX

Réceptionné fin août 2015, l'ouvrage est aussitôt mis en service.

L'ensemble des athlètes, des spectateurs et des officiels a pu se rendre sans difficulté sur le site de la Concorde où se sont déroulés les 11^{es} jeux africains.

Les principaux acteurs d'Egis ont été félicités et décorés par le Président de la République, Monsieur Denis Sassou Nguesso, le 31 août 2015 pour cette belle réussite. □

ABSTRACT

KINTELE VIADUCT IN CONGO-BRAZZAVILLE - CONSTRUCTION OF A VIADUCT ALMOST 7 KILOMETRES LONG IN ONE-AND-A-HALF YEARS

V. GARNIER, EGIS - B. AUDINOS, EGIS - G. BENAYOUN, EGIS - J.-B. NAPPI, EGIS

To enable Congo-Brazzaville to host the 11th African Games, a viaduct more than 6,800 metres long had to be built in the flood plain of the Congo River within a period of one-and-a-half years. This viaduct, designed by Egis, is of the independent prestressed girder viaduct type to allow maximum standardisation. The production engineering for such a project required colossal resources of the Chinese construction contractor CRBC, and an impressive work pace. But this tight deadline was not to be achieved at the expense of safety rules and quality of the finished structure. Accordingly, the project manager Egis made the QHSE (Quality Health Safety Environment) approach a central part of its control system, together with intercultural dialogue conducive to the establishment of socially responsible practices. □

VIADUCTO DE KINTELE EN CONGO BRAZZAVILLE - CONSTRUCCIÓN DE UN VIADUCTO DE UNOS 7 KILÓMETROS EN UN AÑO Y MEDIO

V. GARNIER, EGIS - B. AUDINOS, EGIS - G. BENAYOUN, EGIS - J.-B. NAPPI, EGIS

Para permitir a Congo Brazzaville acoger los XI Juegos Africanos, ha sido preciso construir un viaducto de más de 6.800 m en el lecho mayor del río Congo, en un plazo de un año y medio. Este viaducto, diseñado por Egis, es de tipo independiente con vigas pretensadas para permitir la máxima estandarización. La industrialización de un proyecto como este ha requerido medios colosales por parte de la empresa china de construcción Crbc y unas cadencias impresionantes. Pero este objetivo de brevedad de plazos no debía ir en detrimento de las normas de seguridad ni de la calidad de la obra acabada. Por este motivo, en tanto que director de obra Egis ha basado su dispositivo de control en el procedimiento QHSE (Calidad - Higiene y Seguridad - Medio ambiente), al tiempo que ha instaurado un diálogo intercultural que ha fomentado una práctica responsable. □

Assurer ses risques professionnels, c'est bien.
Être conseillé et accompagné, c'est mieux !

Avec SMABTP, à chaque métier son contrat sur mesure et son conseiller spécialisé.

Votre conseiller expert vous recommande **ATOUTP** qui couvre tous les risques des **entreprises de TP** en un seul contrat : pour la protection de toutes vos activités et de vos engins en circulation ou au travail. L'offre s'adapte et se module à chaque type de chantier et en fonction du profil de votre entreprise. Vous obtenez aussi un soutien et des aides dans vos démarches de prévention des accidents.

Et parce que chaque profession est unique, nous déclinons nos solutions d'assurance par métier depuis près de 160 ans.

Notre métier : assurer le vôtre



Découvrez toutes nos solutions d'assurance de personnes (dirigeants et salariés), de biens professionnels et d'activités.

www.groupe-sma.fr




SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

SMABTP, société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics, société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances
RCS PARIS 775 684 764 - 114 avenue Émile Zola - 75739 PARIS Cedex 15



1

© CORSE TRAVAUX

OUVRAGES EN SOL RENFORCÉ TERRAMESH® SYSTEM SUR L'ÉCHANGEUR E1 DE LA LIAISON BASTIA - FURIANI - (2B)

AUTEUR : ALEXANDRE PLASTRE, DIRECTEUR TECHNIQUE, FRANCE MACCAFERRI

LA VOIE DE LIAISON ENTRE LA RN193 AU SUD, AU NIVEAU DE LA COMMUNE DE FURIANI ET LA RD264 SUR LA COMMUNE DE BASTIA AU NORD, S'INSCRIT DANS LA CONTINUITÉ DE L'AMÉNAGEMENT DE LA MISE À 2X2 VOIES DE LA RN193 À L'ENTRÉE SUD DE BASTIA. DANS UN CONTEXTE SEMI-URBAIN, LE TRACÉ PRÉVOIT LA RÉALISATION DE PLUSIEURS AMÉNAGEMENTS DONT L'ÉCHANGEUR E1 SITUÉ À FURIANI. LES RAMPES D'ACCÈS, LES CULÉES MIXTES ET PORTEUSES DES PONTS AINSI QUE LE SOUTÈNEMENT DU TERRE-PLEIN CENTRAL ONT ÉTÉ RÉALISÉS PAR UNE TECHNIQUE DE SOL RENFORCÉ À PAREMENT MINÉRAL, LE TERRAMESH® SYSTEM POUR UNE SURFACE TOTALE DE PAREMENT DE 2 000 M².

PRINCIPE

Le procédé Terramesh® System (figure 3) a été développé dans les années 1980 par le groupe Maccaferri pour allier un élément de renforcement en grillage à un parement en gabion à maille hexagonale double torsion. L'ensemble des structures sont assemblées et remplies in situ afin de former un ouvrage monolithique capable d'absorber de grandes déformations sans mettre en péril sa résistance.

La stabilité du massif est assurée par l'interaction entre les nappes de renfort et le remblai structural mis en place à l'arrière du parement gabion (figure 4). Dans certains cas, lorsque la résistance du grillage n'est pas suffisante pour reprendre les sollicitations agissantes, des nappes de renforts en géogrilles sont également insérées dans le massif. La particularité technique de ce système réside dans le fait que le parement en gabions et la nappe de grillage

1- Vue d'ensemble.

1- General view.

longueur de renfort variant entre 3 et 10 m (distance du parement à l'extrémité du renfort).

PRÉSENTATION DES OUVRAGES

sont continus et qu'ainsi aucune pièce de liaison n'est nécessaire entre le renforcement et le parement. Les modules Terramesh® System présentent une hauteur de 50 cm ou 1 m, une longueur au parement de 2 ou 3 m et une

L'échangeur E1 est caractérisé par le franchissement de la future 2x2 voies au-dessus d'un giratoire, ce qui nécessite la réalisation de deux rampes d'accès (Nord et Sud) à deux ouvrages d'art (OA1 au sud et OA1bis au nord).



2a



2b



2c



2d

FIGURES 2a & 2d © FRANCE MACCAFERRI - FIGURES 2b & 2c © CORSE TRAVAUX

Le profil en long du tracé présente une surélévation maximale de 9 m en remblai par rapport au terrain naturel actuel, les ouvrages finis ayant une hauteur totale de 6,50 m au-dessus du giratoire. Dans sa partie Sud, la zone est caractérisée par des sols limoneux fortement compressibles nécessitant une amélioration de sol. Le choix technique et architectural s'est tourné vers une solution de remblai renforcé à parement minéral pour soutenir les rampes et les culées de tous les ouvrages, y compris le terre-plein central autour duquel le giratoire est implanté.

Pour casser la verticalité des ouvrages, les murs sont réalisés en terrasses de hauteur variant entre 1,50 m et 3 m. En partie supérieure des murs de soutènement, une barrière de sécurité sur dalle de frottement présentant une hauteur d'environ 1 m repose sur le remblai structurel armé. Le parement béton de ces barrières est habillé par des gabions de 50 cm d'épaisseur fixés au béton par un ancrage constitué d'une platine plaquant l'arrière de la cage au béton et d'un goujon d'ancrage ancré dans le béton. Au niveau du terre-plein central, les terrasses sont disposées en demi-cercles concentriques de rayon variable.

Les ouvrages d'art présentent des caractéristiques différentes entre le nord et le sud.

L'OA1 au sud est constitué d'un tablier reposant sur des culées porteuses, le sommier étant directement posé sur le remblai renforcé.

L'OA1 bis, au nord de l'échangeur, présente une dissymétrie entre les deux voies de circulation.

2a- Culées porteuses.

2b- Rampes d'accès.

2c- Terre-plein central.

2d- Culées mixtes.

3- Schéma d'un Terramesh® system.

2a- Loadbearing abutments.

2b- Access ramps.

2c- Median strip.

2d- Composite abutments.

3- Diagram of a Terramesh® system.

Le tablier Est repose sur deux culées porteuses. Le tablier Ouest comporte deux travées avec un appui central (figure 5). En plan, cette pile centrale est placée sur la même ligne d'appui que la culée du tablier Nord-Est. Le mur de soutènement de la culée Nord-Est est donc une culée porteuse. Au nord-ouest, la disposition en arc de cercle du mur conduit à implanter les piles centrales devant ou à l'intérieur du massif armé (figures 6a et 6b).

LES ÉTUDES

La configuration du site et des ouvrages a conduit à étudier trois familles d'ouvrages en sol renforcé avec des descentes de charge complètement différentes : des murs de soutènement

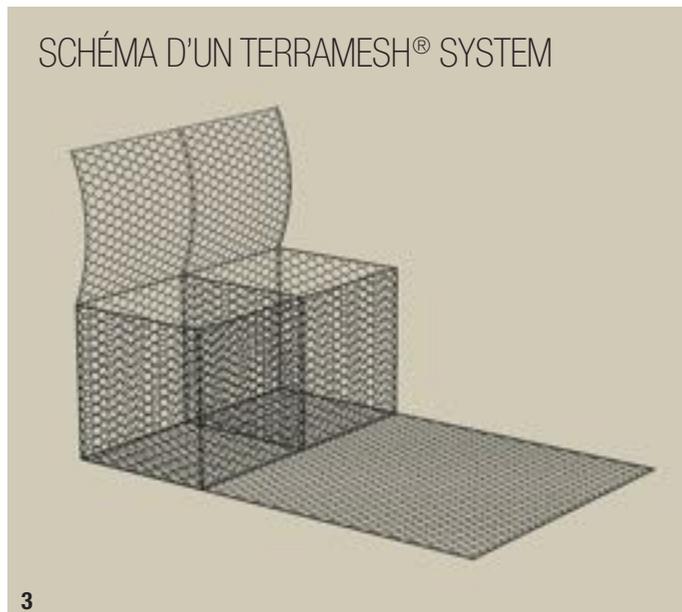
simple, des culées mixtes et des culées porteuses.

La partie Sud de l'échangeur étant sur sols compressibles, une amélioration de sol était impérative. Une interaction permanente a été nécessaire entre l'entreprise principale Corse Travaux et les divers intervenants :

- Le bureau d'études Soe dimensionnant les sommiers d'appui et le génie civil ;
- L'entreprise Matière en charge du dimensionnement et de la fourniture du tablier en béton ;
- L'entreprise Keller en charge du dimensionnement et de la réalisation des améliorations de sol ;
- L'entreprise France Maccaferri en charge du dimensionnement, de la fourniture et de la mise en œuvre des ouvrages en sol renforcés.

Les études de stabilité externe et interne des murs ont été menées par France Maccaferri selon la norme NFP 94-270 traitant du dimensionnement des ouvrages en sol renforcé pour une durée de service de 100 ans.

Pour le dimensionnement des ouvrages soutenant les culées porteuses, une interaction continue avec le bureau d'études Soe a été nécessaire pour vérifier que la géométrie du sommier et les descentes de charges apportées par le pont sur l'ouvrage en sol renforcé étaient compatibles avec la solution technique. Il a notamment été vérifié que la descente de charges des actions permanentes non pondérées était inférieure à 200 kPa, puis l'ouvrage a été dimensionné afin de pouvoir résister à la combinaison d'action apportant la descente de charge la plus importante. ▷



3

© FRANCE MACCAFERRI

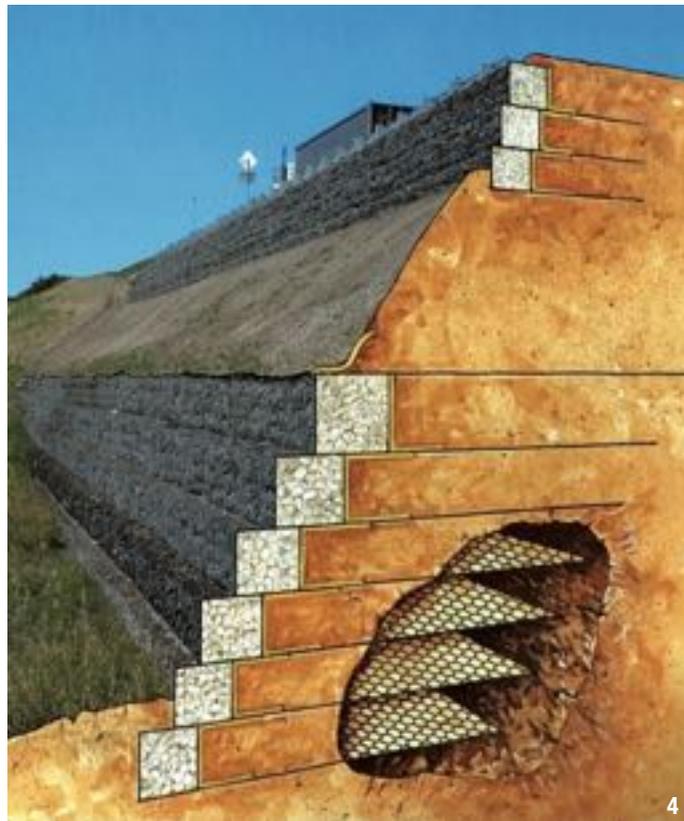
Par ailleurs des préconisations particulières à ce type d'ouvrage ont été imposées : l'utilisation d'un matériau de carrière 0/100 présentant moins de 12% de fines en remblai structural et l'assise du sommier en grave ciment sur une épaisseur de 50 cm. Ces deux mesures visent à éviter tout risque de tassement dans l'ouvrage en sol renforcé.

Pour les culées mixtes, la descente de charge du tablier est reprise par les piles en béton de l'ouvrage.

Concernant la reprise des efforts liés à la poussée des terres, il convient toutefois de considérer dans les calculs la perte de résistance des structures due au passage des piles à travers les renforts. Cela est déterminé en calculant le ratio entre la surface de renfort en contact avec le sol et la surface totale du renfort.

Pour l'ensemble des ouvrages, les calculs ont été menés avec le logiciel de stabilité de pente MACSTARS W (MACcafferri STAbility of Reinforced Slopes and Walls) développé par le groupe Maccaferri pour le dimensionnement de ses ouvrages en sol renforcé (figure 7).

Ces études ont permis de définir avec précision et pour chaque section caractéristique la résistance, la longueur et la densité de renforts nécessaires pour assurer la stabilité des ouvrages. Elles ont également permis de déterminer la contrainte de référence appliquée par les ouvrages en Terramesh® System sur le sol de fondation. Cette donnée était particulièrement importante pour l'entreprise Keller en charge du dimensionnement et de la réalisation des inclusions rigides et colonnes ballastées dans la zone Sud de l'échangeur,



4

© FRANCE MACCAFERRI

fondée sur des terrains compressibles. Pour l'ensemble des murs, l'assise de l'ouvrage est constituée d'une semelle en grave non traitée 0/31,5, parfaitement adaptée à la mise en place d'un parement gabion double torsion. En parallèle des calculs, les plans d'exécution des ouvrages ont été réalisés en tenant compte de la topographie ainsi que de l'implantation des ouvrages. Une attention particulière a été portée pour répondre aux contraintes structurelles, topographiques et architecturales.

4- Nappes de renforts.

5- Profil en long de la voie Ouest de l'ouvrage Nord.

4- Reinforcing layers.

5- Longitudinal profile of the West lane of the North structure.

LES STRUCTURES UTILISÉES

Les efforts appliqués sur le massif renforcé sont transmis aux renforts par frottement de ces derniers avec le remblai structural. Pour chaque niveau de renfort, il convient donc de vérifier que le renfort a la capacité structurelle de résister aux efforts appliqués (vérification de la résistance du renfort) mais également que l'effort transmis peut bien être mobilisé par frottement avec le remblai structural (vérification à l'adhérence).

TERRAMESH® SYSTEM

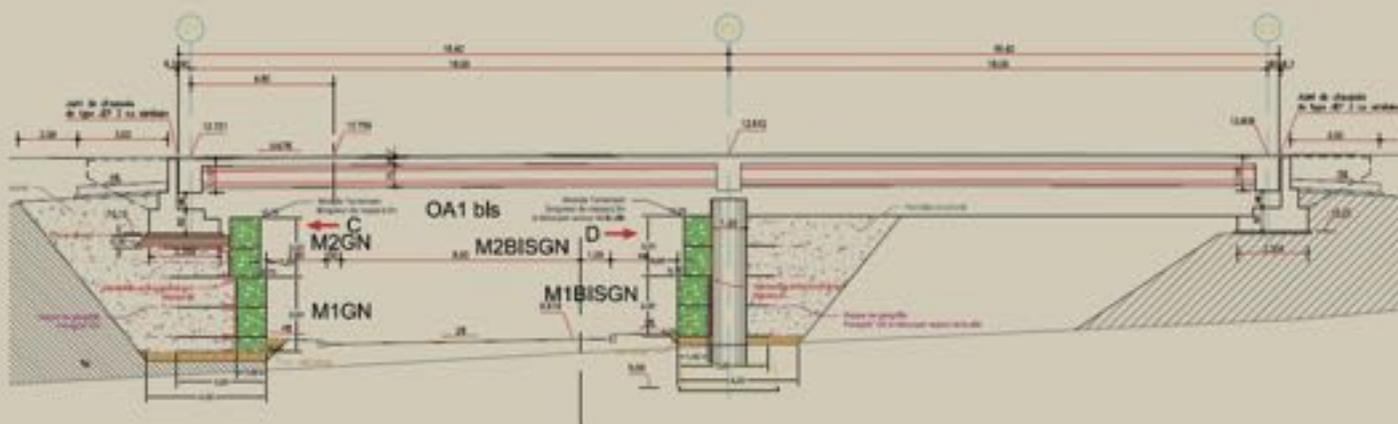
Les modules Terramesh® System sont fabriqués à partir de grillage métallique double torsion ayant une maille hexagonale de type 8x10 et un fil d'acier de diamètre 2,7/3,7 mm revêtu de Galfan (Alliage métallique Zinc 95%/ Aluminium 5% et métaux rares) et d'une gaine en PVC extrudé de 1 mm d'épaisseur sur le diamètre du fil.

Le grillage est fabriqué en conformité à la norme NF EN 10223-3 et présente une certification NF acier délivrée par l'AFNOR, qui assure à l'utilisateur le respect d'un référentiel strict incluant des essais réguliers sur la qualité des fils (qualité du revêtement, performances mécaniques) ainsi qu'un audit annuel au cours duquel des échantillons sont prélevés et analysés dans un laboratoire indépendant agréé COFRAC.

Le grillage 8x10/2,7 mm présente une résistance nominale à la traction de 50 kN/m. Les essais sont menés selon le protocole décrit dans la norme NF EN 10223-3.

En outre, les structures Terramesh® System présentent une durée de service de 120 ans, ce qui en fait une

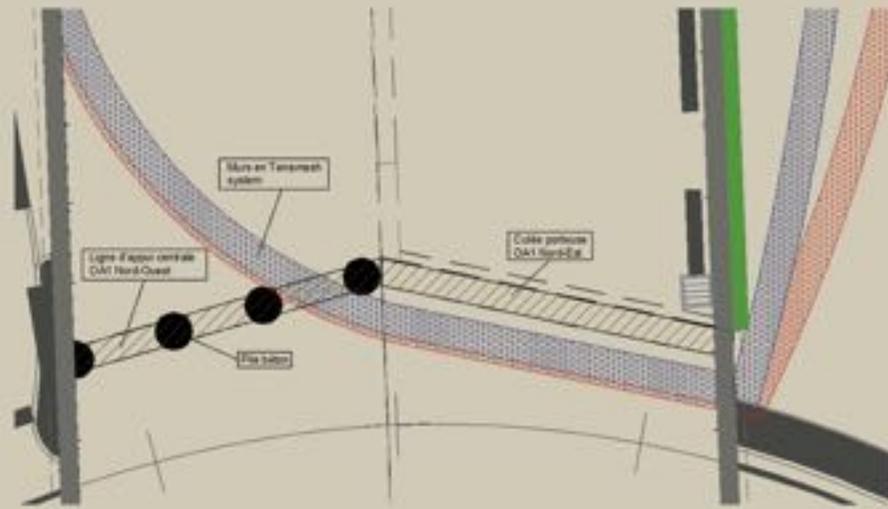
PROFIL EN LONG DE LA VOIE OUEST DE L'OUVRAGE NORD



5

© FRANCE MACCAFERRI

VUE EN PLAN DE LA CULÉE DE L'OA1 NORD



6a



6b

6a- Vue en plan de la culée de l'OA1 Nord.

6b- Implantation piles-Terramesh.

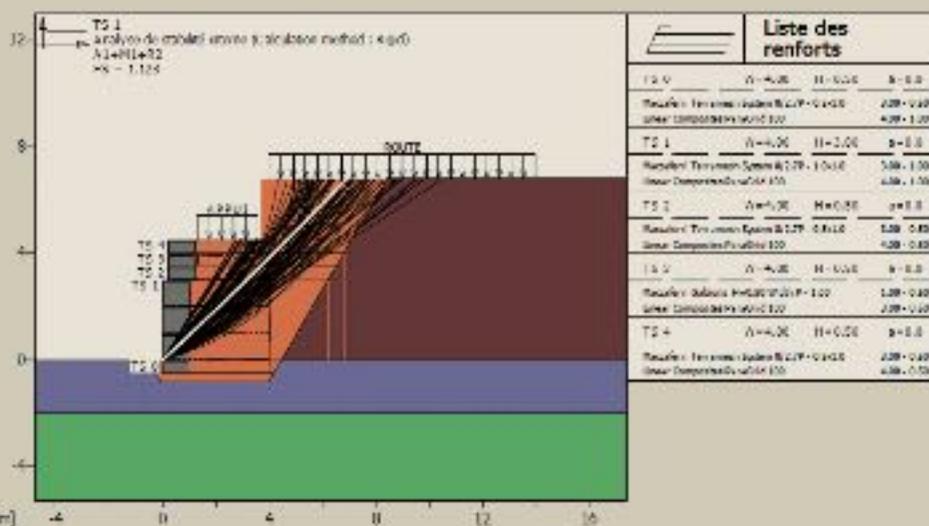
7- NDC logiciel Macstars.

6a- Plan view of the North OA1 abutment.

6b- Location of piers -Terramesh.

7- Macstars software NDC.

NDC LOGICIEL MACSTARS



7

solution durable, idéale pour la réalisation d'ouvrages d'art.

La résistance à long terme (résistance attendue pour la durée de service de l'ouvrage) est, quant à elle, déterminée de façon analogue aux protocoles définis pour les renforcements géosynthétiques, en définissant des coefficients de réduction liés à l'évolution du matériau dans son état de contrainte pour la durée de service (fluage), à sa dégradation chimique liée à l'agressivité du matériau de remblai ainsi qu'à l'endommagement durant la mise en œuvre. Le fluage de l'acier étant très faible, seule la dégradation chimique et l'endommagement lors de la mise en œuvre sont à étudier. De nombreux essais de laboratoire et d'essais in-situ ont été réalisés sur les grillages permettant de définir, en fonction de la nature du remblai et de la durée de service, la résistance à long terme du renfort.

Dans le cadre de ce chantier, les descentes de charge étant trop importantes pour la reprise des efforts par le grillage seul, il a été décidé d'utiliser des Terramesh® System de 1 m de hauteur ayant une longueur de renfort de 3 m depuis le parement associé à des géogrilles de renfort Paragrid® ayant une longueur de 4 m et une résistance variable suivant les profils.

LES GÉOGRILLES PARAGRIG®

Les géogrilles Paragrid® (figure 8) sont des structures planes composées de bandes Paraweb® thermocollées formant un maillage régulier. Les bandes sont constituées de fibres en polyester haute ténacité protégées par une gaine en polyéthylène. Le polyester apporte une très grande résistance à la traction et un faible coefficient de réduction au fluage alors que la gaine polyéthylène assure une protection optimale contre l'endommagement lors de la mise en œuvre et la dégradation chimique liée à l'agressivité des sols. Il en résulte un renforcement ayant le plus faible coefficient de réduction du marché. Cette gamme de géogrille fait l'objet d'une certification BBA (organisme de certification britannique indépendant) qui évalue le produit quant à son adaptation pour une application spécifique. Par ailleurs, les géogrilles sont certifiées ASQUAL pour la fonction renforcement, organisme de certification indépendant s'assurant, par des contrôles exigeants (audits d'usine, essais sur échantillons...) de la conformité et de la qualité de la production des produits certifiés.

Deux types de renforts ont été sélectionnés afin de répondre au mieux aux contraintes dans l'ouvrage et présentent les caractéristiques suivantes :

→ Paragrid® 50 : utilisé pour les ouvrages de soutènement « simples » (rampes d'accès) ;

→ Paragrid® 100 : utilisé pour les murs des culées porteuses et mixtes.

Les géogrilles sont espacées tous les 1 m de hauteur (elles sont disposées, depuis le parement gabion, à chaque niveau de Terramesh®) pour l'ensemble des ouvrages. Au niveau des culées porteuses, sur une profondeur de 1,50 m sous le sommier, les géogrilles sont espacées verticalement de 50 cm, ce qui impose de placer une géogrille à mi-hauteur d'un module Terramesh® System. Elle est installée à l'arrière du parement gabion en effectuant un retour en boudin (figure 9).

Les géogrilles sont fabriquées en rouleaux de 3,90 m de largeur pour 100 m de longueur.

L'INSTALLATION

L'ensemble des terrassements a été réalisé par l'entreprise Corse Travaux, qui a également préparé les assises des ouvrages en GNT 0/31,5. Compte tenu de la surface de parement à mettre en œuvre, de la complexité et de la sensibilité des ouvrages, la pose des structures Terramesh® System a été confiée à France Maccaferri.

La mise en œuvre débute par la mise en place des nappes de géogrilles, les lés devant être placés avec le sens de résistance principale perpendiculairement au parement. Lors de l'installation, il est primordial d'éviter la formation de plis et de tendre la géogrille. Cette opération peut être réalisée par la mise en place de piquets en bois aux extrémités ou par un lestage avec du remblai.

Vient ensuite la préparation des cages de Terramesh® System, qui arrivent sur chantier repliées sur elles-mêmes et colisées en fardeaux. Il s'agit d'ouvrir les structures, de les déplier, d'aplanir les faux plis apparus lors de la mise en fardeau puis de dresser les faces avant, arrière et latérales. Au niveau de chaque arête, les façades sont liées entre elles par des agrafes en acier inox ayant une haute limite élastique ($R_t = 1550 \text{ MPa}$), pour former une boîte ouverte en partie supérieure. Les agrafes sont installées à l'aide d'une agrafeuse pneumatique qui permet d'obtenir une résistance à l'ouverture d'une agrafe seule de 2 kN. Sur une même rangée, plusieurs cages



© FRANCE MACCAFERRI

sont positionnées à leur emplacement définitif et liaisonnées entre elles par agrafage. Pour éviter une déformation de la cage durant le remplissage, des gabarits de montage (coffrages conçus à partir de profilés métalliques) sont attachés en face avant des Terramesh® sur plusieurs structures adjacentes. Le remplissage du parement peut alors être opéré, comme dans le cadre d'un mur en gabions, en suivant les préconisations de la norme NFP 94-325-1 dédiée à la mise en œuvre des ouvrages en gabions. Le matériau de remplissage est un matériau concassé 90/180, dur (LA et MDE < 45) et non gélif au sens de la NF EN 13383 (FTA < 0.5%).

La mise en œuvre est partiellement mécanisée : la pelle mécanique remplit la cage sur 1/3 de sa hauteur, les ouvriers réarrangent ensuite les pierres

8- Géogrille Paragrid®.

9- Coupe type au droit de la culée porteuse.

8- Paragrid® geogrid.

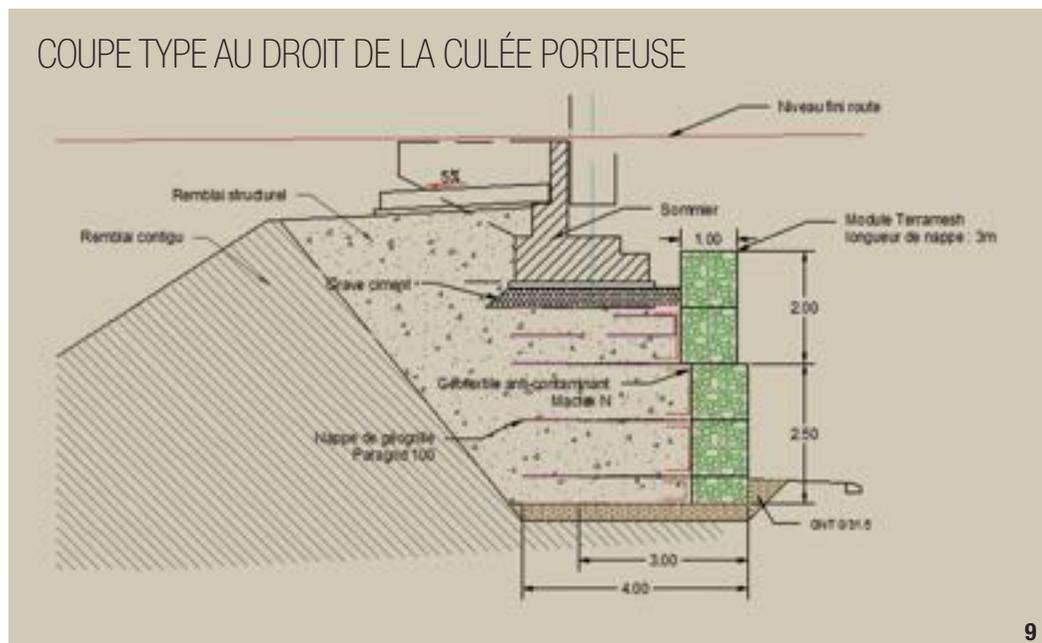
9- Typical cross section at the level of the loadbearing abutment.

dans les cages pour réduire au maximum l'indice de vide tout en prenant soin d'appareiller le parement avec des pierres soigneusement choisies et placées. Pour éviter un bombement du parement, des tirants, reliant la face avant à la face arrière ou aux côtés, sont disposés à raison de $4u/m^2$

de parement dans la cage en deux niveaux (1/3 et 2/3 de la hauteur de la cage). Le remplissage est ainsi opéré jusqu'à atteindre le haut de la cage, la fermeture du couvercle est à nouveau assurée par agrafage sur les arêtes communes.

Une fois le parement minéral réalisé, un géotextile de filtration est disposé contre l'arrière du gabion afin d'éviter une contamination du parement minéral par le remblai arrière. Ce géotextile non tissé aiguilleté permet le passage de l'eau tout en retenant les particules fines du remblai.

Pour assurer une continuité de la protection, il est disposé « en C » à l'arrière du gabion, effectuant un retour à plat en pied et en tête de module sur environ 25 cm de longueur. Le remblaiement s'effectue avec un remblai technique de type 0/100 mm



© FRANCE MACCAFERRI



10



11

provenant d'une carrière locale. Il est caractérisé par une faible fraction fine (passant à 80 microns inférieur à 12%), un coefficient d'uniformité $C_u = D_{60}/D_{10}$ supérieur à 2 et un angle de frottement de 34°. Le Terramesh® System présentant un espacement entre renforts de 1 m le remblaiement entre deux renforts s'effectue généralement en 3 passes de 30 à 35 cm d'épaisseur. Un compactage

10- Arrondis murs du terre-plein central.

11- Interaction pile-Terramesh.

10- Rounded walls of the median strip.

11- Pier-Terramesh interaction.

niveau est installé de façon analogue en prenant soin de bien liaisonner les structures des deux rangs entre elles.

LES CONTRAINTES DE CHANTIER

Plusieurs adaptations ont été nécessaires lors du montage de l'ouvrage. La forme géométrique en demi-cercles concentriques des murs soutenant le terre-plein central a pu être parfaitement respectée en cintrant les structures dans une forme arrondie (figure 10). Cela a été rendu possible par la souplesse des structures en grillage double torsion qui permet la réalisation de formes géométriques complexes sans compromettre la résistance de la structure grillagée.

En outre, au niveau de la culée mixte, une pile intersectant le parement du Terramesh® System a nécessité la découpe et le façonnage du gabion pour respecter la géométrie finale de l'ouvrage (figure 11). □

léger est réalisé aux abords du parement à l'aide d'une plaque vibrante type PQ4 (sur une bande d'environ 1,50 m adjacente au parement) afin de ne pas occasionner de déformation sur le parement en gabions. Au-delà un compactage plus lourd de type V3 est appliqué. Le remblaiement et le compactage ont été réalisés par Corse Travaux, ce qui a nécessité une parfaite interaction avec les équipes dédiées à la pose des structures pour assurer les rendements et éviter les arrêts de chantier. Une fois le montage du 1^{er} rang réalisé, le deuxième

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE : 2 000 m²

PARAGRID® 50 : 5 100 m²

PARAGRID® 100 : 3 200 m²

REMBLAI STRUCTUREL : 6 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Collectivité Territoriale de Corse - Direction générale des Services Techniques - Direction des routes de Haute Corse

MAÎTRE D'ŒUVRE : Collectivité Territoriale de Corse - Direction générale des Services Techniques - Direction des routes de Haute Corse

ENTREPRISE : Société Corse Travaux

FOURNISSEUR ET POSE DU TERRAMESH® SYSTEM : France Maccaferri

ABSTRACT

TERRAMESH® SYSTEM REINFORCED SOIL STRUCTURES ON THE E1 INTERCHANGE OF THE BASTIA-FURIANI LINK - (2B)

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

The Terramesh® System, a reinforced fill process with mineral cladding, was used successfully in the execution of several retaining structures on the E1 interchange of the connecting road between RN193 and RD264 in Bastia, including three loadbearing abutments, one composite abutment and six retaining walls. The solution chosen was a structural, sustainable and aesthetic technique meeting the numerous project constraints. The article describes in detail the technical solution, the products used and their implementation on this major project. □

TRABAJOS SOBRE SUELO REFORZADO TERRAMESH® SYSTEM EN EL NUDO E1 DEL ENLACE BASTIA - FURIANI - (2B)

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

El procedimiento Terramesh® System, terraplén reforzado con paramento mineral, ha sido utilizado con éxito en el marco de la realización de varias obras de contención en el nudo E1 de la vía de enlace entre la RN193 y la RD264 en Bastia: 3 estribos portantes, un estribo mixto y 6 muros de contención. Se ha optado por una solución estructural, duradera y estética que respondiera a las numerosas exigencias de la obra. El artículo presenta en detalle la solución técnica, los productos utilizados y su aplicación en esta importante obra. □



1

© EGIS

CHAO PHRAYA RIVER CROSSING BRIDGE À BANGKOK

AUTEURS : ZE YI WU, INGÉNIEUR, EGIS JMI - DAVID FERRAND, INGÉNIEUR, JMI PACIFIC - FRÉDÉRIC MENUEL ET CLAUDE LE QUERE, INGÉNIEURS, EGIS JMI

BANGKOK EST RÉSOŁUMENT UN DES HAUTS LIEUX DES OUVRAGES EN BÉTON PRÉCONTRAIT. POUR CONTINUER À ÉTENDRE LE RÉSEAU AUTOROUTIER DE LA MÉTROPOLÉ ET POUR FLUIDIFIER LE FRANCHISSEMENT DU FLEUVE QUI LA BAIGNE, LA CHAO PHRAYA, UN NOUVEAU DOUBLE VIADUC EN CAISSON BÉTON PRÉCONTRAIT CONSTRUIT PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS A ÉTÉ RÉALISÉ ENTRE 2013 ET 2016. FONDÉS SUR PIEUX ET APPUYÉS SUR DES PILES ASSEZ COURTES ET MASSIVES, CET OUVRAGE DÉVELOPPE TOUS LES CODES DU CAISSON PRÉCONTRAIT MODERNE. L'UTILISATION DE 4 PAIRES D'ÉQUIPAGE MOBILE A PERMIS UNE RÉALISATION RELATIVEMENT RAPIDE.

INTRODUCTION

Chao Phraya River Crossing Bridge est un pont qui enjambe le fleuve Chao Phraya à l'ouest de Bangkok, Thaïlande, dans le cadre de projet Si Rat Expressway - Bangkok Outer Ring Road dont la longueur totale est de 16,7 km. Ce pont a été ouvert à la circulation le 22 août 2016.

La Chao Phraya est le plus important fleuve de Thaïlande. Son réseau hydrographique s'étend dans presque toute la Thaïlande du Nord et centrale et il constitue encore aujourd'hui l'axe majeur de transport et de commerce. La population officielle de Bangkok est de 8,25 millions d'habitants pour la ville elle-même et de 14,6 millions

1- Construction des travées de rive sur cintre.

1- Construction of end spans on centring.

d'habitants pour la métropole, appelée "Grand Bangkok".

Le projet Si Rat expressway a pour but d'étendre vers l'ouest le réseau autoroutier de la métropole, de mieux desservir les banlieues Ouest et de réduire la circulation au sol, par une autoroute en élévation de 2x4 voies (figure 2).



CONCEPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE

Chao Phraya River Crossing Bridge est un pont en béton précontraint à 3 travées construit par encorbellements successifs, qui est composé des 2 ponts parallèles dont la travée principale est de 120,30 m avec une longueur totale de 286,40 m (83,05 m + 120,30 m + 83,05 m). Chaque tablier est de 17,4 m de large portant 4 voies de circulation de 3,5 m et une bande d'arrêt d'urgence de 2,0 m. Le pont Rama VI et le pont Rama VII

2- Ouvrage achevé.

3- Localisation de l'ouvrage.

2- Completed structure.

3- Location of the bridge.

se trouvent juste en l'amont de Chao Phraya River Bridge (figure 3). Le pont Rama VI est un pont ferroviaire en treillis métalliques à 4 travées dont la travée principale de 120 m.

Le pont Rama VII est un pont en béton précontraint avec une travée principale de 120 m. Chao Phraya est un fleuve navigable, le gabarit nécessaire lors des plus hautes eaux (PHE) au droit de pont est de 6,60 m x 60,00 m. Ces éléments et la morphologie de l'intrados d'un pont caisson BP conduisent à choisir une travée principale de 120,30 m

pour Chao Phraya River Bridge. Lors des plus hautes eaux, la profondeur de l'eau dans le fleuve est d'environ 15 m. Sous le fond de fleuve, la formation des couches de sol est la suivante : d'abord, argile molle (soft clay) sur une hauteur d'environ 6 m et puis argile dure sur une hauteur d'environ 5 m. Sous les argiles, se trouve le substratum en sable dense voire très dense. Sur les deux rives de fleuve, il y a une couche d'argile molle voire très molle sur une hauteur d'environ 15 m, qui se trouve au-dessus de la couche d'argile très rigide. Donc des fondations en pieux forés ont été retenues sous les piles P2 et P3 et sous les piles-culées P1 et P4 (figure 4).

La hauteur de caisson varie paraboliquement de 7,0 m sur les piles centrales P2 et P3 à 3,0 m au centre de la travée centrale et pour la partie de travée de rive construite sur cintre (figure 5). L'épaisseur des âmes est constante sur toute la longueur de l'ouvrage (sauf au droit des piles P2 et P3, cf. paragraphe ci-dessous), qui est de 55 cm. L'épaisseur de hourdis inférieur varie, paraboliquement, de 80 cm au niveau de piles centrales à 25 cm aux extrémités des fléaux. Le hourdis inférieur est épaissi à 120 cm au droit des piles centrales P2 et P3.

Les normes utilisées pour les études d'exécution sont les suivantes :

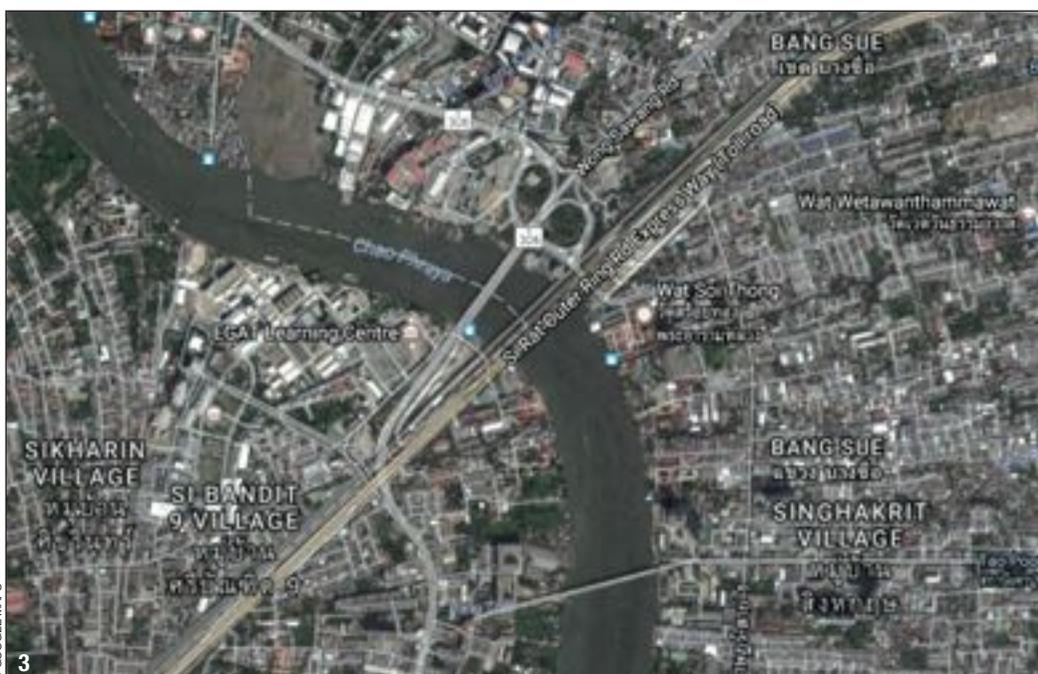
→ AASHTO 17 th Edition, 2002 ;

→ Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridge, Second Edition, 1999.

FONDATIONS

Les fondations de Chao Phraya Crossing Bridge sont des pieux forés tubés. Des estacades sont d'abord construites des 2 côtés du fleuve Chao Phraya (figures 6 et 7) qui permettent de construire les pieux des piles P1, P2 et P3, P4. Les semelles des 2 piles centrales (P2 et P3) sont fondées sur 8 pieux forés tubés d'un diamètre de 2 m (figure 8). Les dimensions des semelles sont de 16 m x 14,5 m avec une hauteur de 4 m. Pour limiter l'impact des semelles sur le courant du fleuve, ces semelles sont décomposées en 2 parties : un prisme rectangulaire de 3 m de haut plus une pyramide tronquée de 1 m de haut (figures 2 et 19). Le niveau à la tête de ces 8 pieux sous chaque pile centrale est défini pour permettre de construire les semelles et les piles au-dessus de niveau de l'eau de fleuve (figure 8).

Les piles-culées P1 et P4 sont fondées sur 4 pieux d'un diamètre de 1,5 m. ▷



PILES

Les piles centrales P2 et P3 sont encastrées avec le tablier. Ces 2 piles sont massives avec une épaisseur de 4 m et une hauteur de 1,665 m (figure 9).

Les piles-culées P1 et P4 sont en forme de marteau (figures 10 et 11). Elles reçoivent les travées de rive du pont principal et les travées d'accès. Ces dernières sont constituées de 2 poutres-caissons en béton précontraint construites par des voussoirs préfabriqués. Deux appareils d'appui à pot, dont un fixe dans la direction

transversale et un libre dans les deux directions horizontales, sont installés sur chaque pile-culée sous les travées de rive. La capacité de ces appareils d'appui à pot est de 8,83 MN dans la direction verticale et de 1,80 MN dans la direction transversale (réaction d'appui sous séisme transversal).

Des appareils d'appui en élastomère sont utilisés sous les caissons des travées d'accès.

Des butées sismiques sont réalisées sur les piles-culées pour empêcher le mouvement des travées d'accès sous séisme transversal.

4- Coupe longitudinale.

5- Coupes transversales sur piles centrales et à mi-travée.

4- Longitudinal section.

5- Cross sections on central piers and at mid-span.

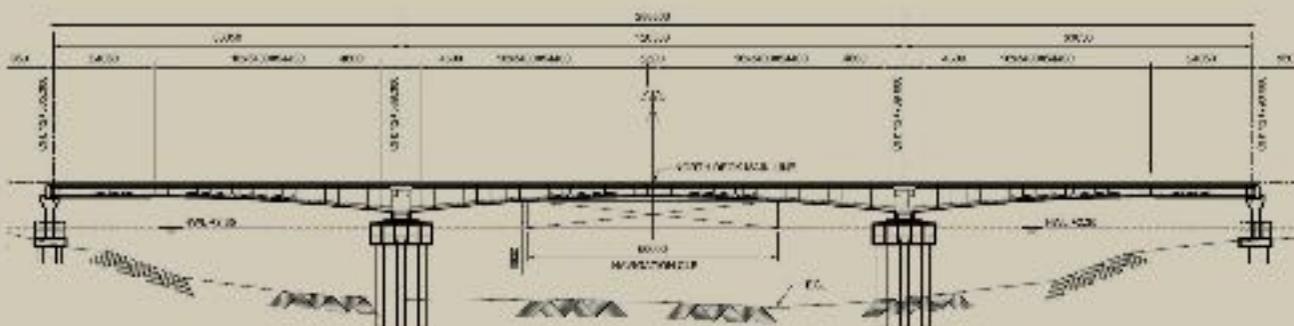
TABLIERS

DIMENSIONS ET CONSTRUCTION DES TABLIERS

Les tabliers de Chao Phraya crossing bridge sont en caisson en béton précontraint construits par encorbellements successifs (figures 15 à 19). Quatre paires d'équipages mobiles sont utilisés pour construire les deux fléaux de chaque tablier. Le poids propre de chaque équipement mobile est de 35 t (figure 12).

Chaque fléau est composé d'un voussoir sur pile (VSP) de 9,20 m de long et de 16 voussoirs de 3,4 m de long

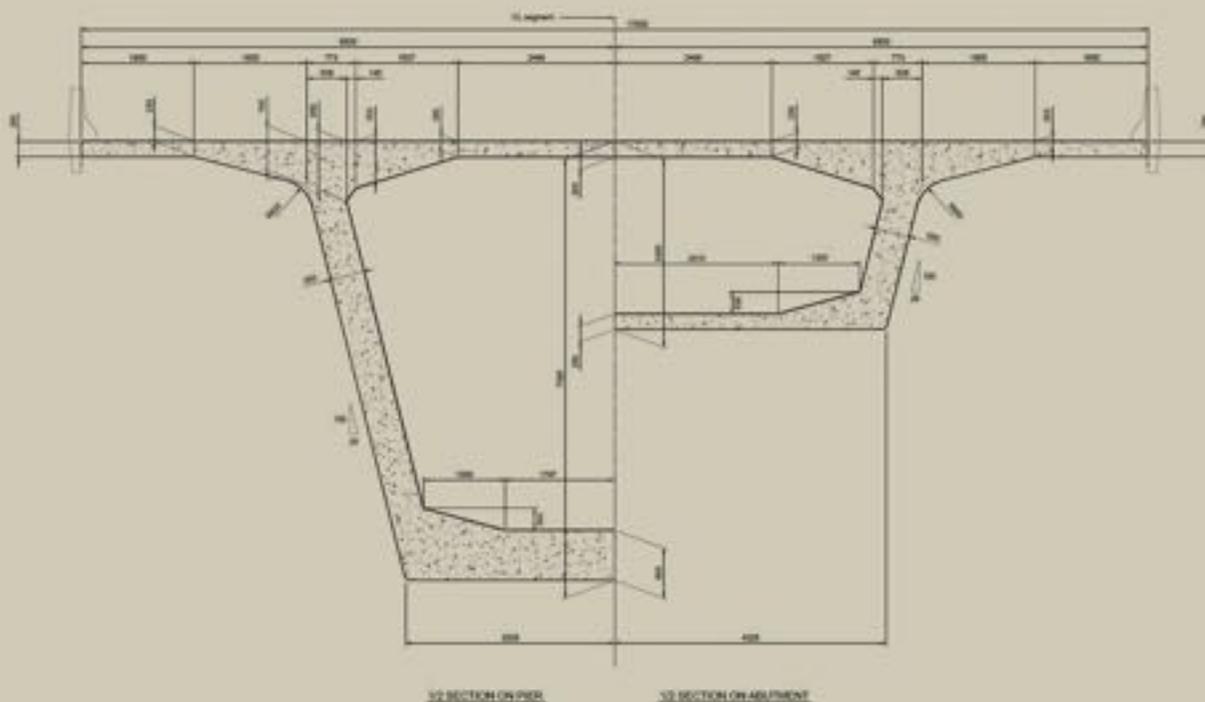
COUPE LONGITUDINALE



4

© EGIS

COUPES TRANSVERSALES SUR PILES CENTRALES ET À MI-TRAVÉE



5

© EGIS

6- Estacades pour réaliser les pieux forés et les piles.

7- Estacade pour réaliser les pieux forés sous les piles centrales.

8- Construction des pieux forés sous les piles centrales.

9- Construction des piles centrales.

10- Construction des fûts des piles-culées.

11- Piles-culées achevées.

6- Jetties to execute the bored piles and piers.

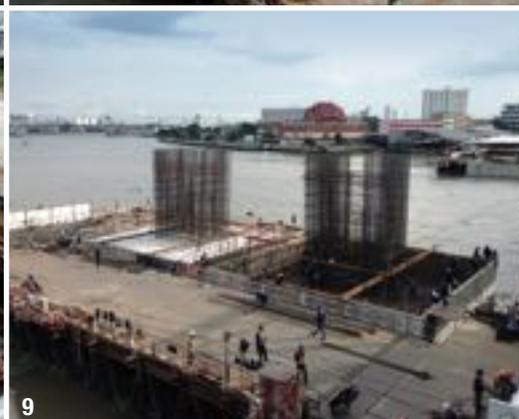
7- Jetty to execute bored piles under the central piers.

8- Construction of bored piles under the central piers.

9- Construction of central piers.

10- Construction of abutment pier shafts.

11- Completed abutment piers.



à chaque côté de la pile centrale. La longueur totale d'un fléau est donc de $16 \times 3,4 \text{ m} + 9,2 \text{ m} + 16 \times 3,4 \text{ m} = 118 \text{ m}$. La longueur des voussoirs de clavage central est de 2,30 m. Au total, il y a quatre fléaux pour les deux tabliers parallèles.

La partie des travées de rive construite sur cintres est de 22,7 m de long (figures 1 et 13). Les voussoirs de clavage entre les travées de rive coulés sur cintre et les fléaux sont également de 2,30 m de long.

Deux diaphragmes de 80 cm d'épaisseur dans chaque VSP se trouvent au droit de piles centrales, les âmes de caisson entre les 2 diaphragmes sont épaissies (en trapèze avec une épaisseur de 1,246 m au niveau du hourdis inférieur et de 2,321 m au niveau

du hourdis supérieur, figure 14) pour assurer l'encastrement entre les piles et le tablier.

Les diaphragmes des voussoirs sur culées, où viennent s'ancre les câbles éclisses des travées de rive et les câbles de continuité extérieurs ont une épaisseur de 2 m.

CÂBLES DE PRÉCONTRAINTÉ

Il existe trois familles de câbles de précontrainte : câbles des fléaux, câbles éclisses et câbles de continuité extérieurs. Tous les câbles de précontrainte sont composés de torons T15 de classe 1860 MPa.

Les câbles de fléaux sont composés de 19 torons de type T15. Pour les cinq premiers voussoirs coulés en place, deux paires de câbles de fléau

sont ancrées par voussoir (deux câbles ancrés de chaque côté du caisson), et puis une paire de câbles de fléau ancrée par voussoir (un câble ancré de chaque côté du caisson) pour les 11 voussoirs qui restent. Il y a donc au total 21 paires de câbles de précontrainte de 19T15 par fléau. Deux paires de gaines vides sont prévues pour chaque fléau.

Les câbles éclisses sont également composés des 19 torons de type T15. Il y a trois paires des câbles de 19T15 pour la travée centrale et de six paires des câbles de 19T15 pour les travées de rive. Une paire de gaines vides est prévue pour les câbles éclisses en travée centrale et en travées de rive.

Les câbles de continuité extérieurs sont composés de 27 torons T15.

Ces câbles extérieurs règnent tous sur deux travées, la longueur de chaque câble est de 207,10 m. Il y a deux paires de câbles de 27T15 dans chaque travée de rive et donc de quatre paires de câbles de 27T15 dans la travée centrale. Une paire de gaines vides est prévue dans les travées de rive et deux paires des gaines vides sont prévues dans la travée centrale.

Ces câbles extérieurs sont déviés deux fois en travée centrale et une fois en travée de rive.

PLANNING DES TRAVAUX

Les deux tabliers sont construits par encorbellements successifs.

Les voussoirs sur piles (VSP) sont réalisés en premier. La durée de construction de chaque VSP est de 63 jours. ▷



12



13

La construction du VSP est composée de trois phases : réalisation du hourdis inférieur, réalisation des âmes et des diaphragmes et réalisation du hourdis supérieur.

Ensuite le premier équipement mobile est monté sur le VSP pour couler le premier voussoir, la durée d'installation du pre-

mier équipement mobile est de 30 jours. La réalisation des premiers voussoirs est de 15 jours.

Le premier équipement mobile est lancé vers le premier voussoir coulé pour permettre d'installer le deuxième équipement mobile, cette phase dure 21 jours. La durée de réalisation du premier

voussoir du côté opposé est également de 15 jours.

Les 15 paires de voussoirs restants par fléau sont réalisées avec un cycle de 10 jours par paire de voussoirs, ce qui comprend le lancement des équipements mobiles, la mise en place des coffrages et de ferrailage, le bétonnage,

12- Équipage mobile pour construire les fléaux.

13- Construction du dernier voussoir du fléau et de la travée de rive sur cintre.

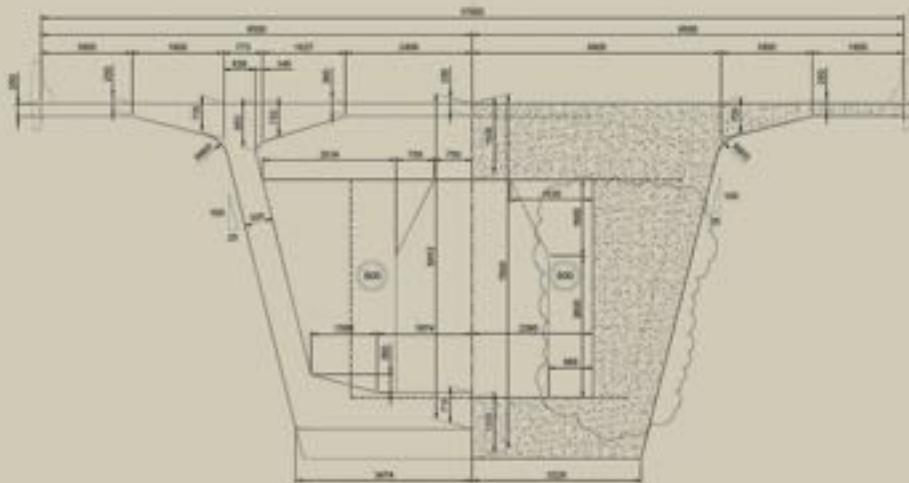
14- Coupe transversale du droit du VSP - diaphragmes et âmes épaisses.

15- Construction des voussoirs sur piles.

16- VSP achevé et construction des voussoirs du fléau.

COUPE TRANSVERSALE DU DROIT DU VSP

Diaphragmes et âmes épaisses



14

© EGIS



15



16

© EGIS



© EGIS 17

17- Construction des derniers voussoirs des fléaux - travée centrale.

18- Tablier clavé.
19- Construction des superstructures.

17- Construction of the last cantilever segments - centre span.

18- Keyed deck.
19- Superstructure construction.



© EGIS 18



19

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE UTILE DU TABLIER :
9514 m²

BÉTON DU TABLIER :
8408 m³

ACIERS PASSIFS :
1400 t

ACIERS DE PRÉCONTRAINTE :
370 t

la mise en tension de la précontrainte. La durée totale pour réaliser un fléau varie de 208 jours à 259 jours. La durée de la réalisation du voussoir de clavage central et de ceux en travées de rive est de 9 jours. Les travaux ont démarré le 15 mars 2013 et se sont terminés fin février

2016. La période pour réaliser les pieux forés s'est étendue du 15/05/2013 au 20/06/2014. La construction du pont Sud a duré 718 jours (du 15/05/2013 au 10/10/2015), y compris la réalisation des pieux forés, et celle du pont Nord a duré 421 jours (du 18/09/2014 au 29/02/2016). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Bangkok Expressway and Metro Public Limited Company

CONSTRUCTEUR : Ch. Karnchag, Public company limited

BUREAU D'ÉTUDE D'EXÉCUTION : JMI Pacific Limited et Egis JMI

ABSTRACT

CHAO PHRAYA RIVER CROSSING BRIDGE IN BANGKOK

ZE YI WU, EGIS JMI - DAVID FERRAND, JMI PACIFIC - FRÉDÉRIC MENUEL & CLAUDE LE QUERE, EGIS JMI

The Chao Phraya, the biggest river in Thailand, passes through Bangkok, which is now a metropolis of more than 14 million inhabitants. To relieve traffic congestion in certain areas of the city and allow a smoother crossing of the river, a new motorway bridge was built between 2013 and 2016. The Chao Phraya Crossing Bridge is a 3-span prestressed concrete bridge built by the balanced cantilever method as part of the Si Rat Expressway - Bangkok Outer Ring Road project. The deck is embedded on the central piers which are founded on piles in Bangkok's sandy substratum. The design of this bridge (formwork, type and layout of prestressing) and its construction method, using four pairs of mobile rigs, are described in this article. □

EL CHAO PHRAYA RIVER CROSSING BRIDGE EN BANGKOK

ZE YI WU, EGIS JMI - DAVID FERRAND, JMI PACIFIC - FRÉDÉRIC MENUEL & CLAUDE LE QUERE, EGIS JMI

El Chao Phraya, el río más grande de Tailandia, irriga la metrópolis de Bangkok, que actualmente cuenta con más de 14 millones de habitantes. Para descongestionar algunos barrios de la ciudad y hacer más fluido el cruce del río, entre 2013 y 2016 se construyó un nuevo puente de autopista, el Chao Phraya Crossing Bridge, un puente de hormigón pretensados de 3 luces construido mediante ménsulas sucesivas en el marco del proyecto Si Rat - Expressway - Bangkok Outer Ring Road. El tablero está empotrado en las pilas centrales, sustentadas sobre pilotes en el sustrato arenoso de Bangkok. El artículo presenta el diseño (encofrado, tipo y trazado del pretensado) y el método de construcción del puente mediante cuatro pares de carros de encofrado móviles. □



1
© FRANCIS VIGOUROUX

LES OUVRAGES TERRE ARMÉE® SOUS LA LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE DU PROJET SEA TOURS BORDEAUX

AUTEURS : NICOLAS FREITAG , DIRECTEUR TECHNIQUE, TERRE ARMÉE - DAVID BRANCAZ, INGÉNIEUR EN CHARGE DU PROJET SEA, TERRE ARMÉE - YASSINE BENNANI, INGÉNIEUR R&D, TERRE ARMÉE - PATRICK JOFFRIN, EXPERT, IFSTTAR LABORATOIRE PPO

LE CHAMP D'APPLICATION DE LA TERRE ARMÉE® VIENT DE S'ÉLARGIR NETTEMENT AVEC LA RÉALISATION D'OUVRAGES SOUS LIGNE FERROVIAIRE À TRÈS GRANDE VITESSE. UN PROGRAMME AMBITIEUX, L'ACHÈVEMENT DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE LGV SEA TOURS-BORDEAUX ET LES PREMIERS ESSAIS DE CIRCULATION ONT CONFIRMÉ LA VALIDITÉ ET L'INTÉRÊT DE CETTE SOLUTION TECHNIQUE.

INTRODUCTION

Largement employée dans le domaine routier, l'utilisation de la Terre Armée® dans le domaine ferroviaire a connu une forte accélération à l'occasion du développement des nouvelles Lignes à Grande Vitesse (LGV) en France. Après avoir été retenue pour des soutènements du raccordement de la LGV Est à Vendenheim (67) et pour deux ouvrages de la LGV Bretagne-Pays-de-Loire, la solution a été appliquée sur de nombreux ouvrages de

la LGV Sud-Europe-Atlantique (SEA). Sur le projet SEA, 20 ouvrages utilisent cette technique. Dix-sept d'entre eux supportent les voies avec des hauteurs allant jusqu'à 12,70 m pour le plus haut.

Les vitesses commerciale des trains sur ces voies varient entre 160 km/h et 320 km/h. Débutée au printemps 2012 pour le premier ouvrage de la ligne, la construction des derniers murs Terre Armée® a été terminée au printemps 2014.

1- Vue d'un ouvrage Terre Armée® pendant les tests de montée en vitesse (août 2016).

1- View of a Terre Armée® structure during speed ramp-up tests (August 2016).

La conception de ces ouvrages a intégré les nombreuses contraintes liées au domaine ferroviaire, que ce soit en terme d'accessibilité, de maintenance ou de maîtrise des déformations vis-à-vis des voies ferrées franchies ou supportées.

En particulier, un important programme d'études a été mis en œuvre afin de lever certaines incertitudes liées à la fatigue des ouvrages sous sollicitations dynamiques cycliques à des fréquences élevées.

L'ABOUTISSEMENT DE 10 ANNÉES D'ÉTUDES

Dès 2007, un programme d'études a été initié par la SNCF et l'IFSTTAR avec la collaboration de la société Terre Armée et visait à :

- Quantifier l'influence du passage d'un TGV sur une structure support en sol renforcé ;
- Vérifier certaines hypothèses de calcul utilisées pour le dimensionnement ;
- Valider l'utilisation de la technique Terre Armée® pour les applications ferroviaires à grande vitesse.

Ce programme a été développé suivant trois axes : un axe expérimental en laboratoire, un axe d'analyse numérique et enfin une instrumentation dynamique sur un ouvrage construit.

Dans le détail :

- Le plot expérimental (SNCF et IFSTTAR) constitué d'un massif Terre Armée® sous chargement dynamique (Soyez, 2009) ;



2 © L.SOYEZ

- Une analyse numérique du comportement d'un massif sous chargement cyclique réalisée par la société Terre Armée sur la période 2013/2014 ;

2- Vue du plot expérimental côté Terre Armée®.

3- Notion de ligne des tractions maximales (3a - à gauche) et armature haute adhérence HA (3b - à droite).

LA TERRE ARMÉE® : LE PRINCIPE

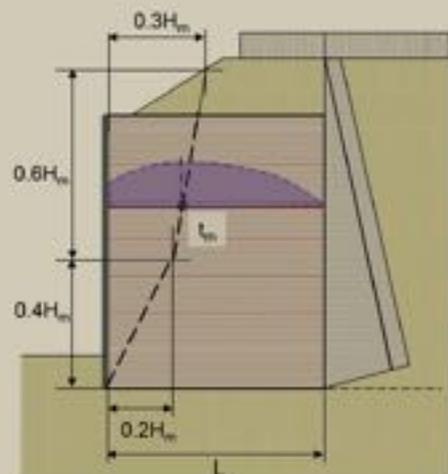
La Terre Armée® repose sur l'association d'un remblai granulaire compacté et de renforcements qui constituent un massif composite. L'interaction entre les renforcements et le matériau de remblai se fait essentiellement par frottement. Les armatures sont dimensionnées de façon à reprendre la poussée exercée par le remblai, en son sein même et sur le parement.

La très faible extensibilité des armatures métalliques à haute adhérence (HA), combinée à leur grande capacité d'adhérence avec le matériau de remblai, permet de constituer un massif composite dont la matrice (le remblai) a un comportement globalement élastique après une mise en œuvre de l'ouvrage conforme aux règles de l'art (figure 3).

2- View of the experimental section on the Terre Armée® side.

3- Concept of the line of maximum tension (3a - on the left) and high-adhesion (HA) reinforcement (3b - on the right).

NOTION DE LIGNE DES TRACTIONS MAXIMALES



3a



3b

- L'instrumentation d'un des murs de la LGV SEA supportant les voies circulées à 320 km/h pour disposer d'un retour d'expérience pendant la phase d'essais de montée en vitesse en août 2016.

LES ENSEIGNEMENTS DU PLOT EXPÉRIMENTAL

Le plot expérimental (figure 2) d'une hauteur de 4,1 m de haut est constitué d'une structure Terre Armée® d'un côté et d'un remblai technique se finissant en talus de l'autre. Le plot représente une tranche de 8 m de large d'une future LGV. La traverse est située à 3 m du parement, ce qui lui place à l'aplomb des armatures de 3,5 m de long.

Les charges ferroviaires ont été reproduites à l'aide de vérins hydrodynamiques et hydrauliques.

La très faible déformation résiduelle du plot expérimental suite aux cycles de fatigue ainsi que l'analyse ultérieure des essais d'extraction sous chargement dynamique ont démontré l'absence de fatigue de l'interface sol-renforcement pour des bandes métalliques à haute adhérence.

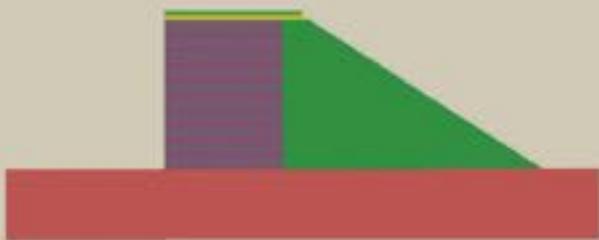
En complément, pour des trains circulant à plus de 250 km/h et donc pour des fréquences de sollicitation associées élevées, de l'ordre de 25 Hz et plus, il était nécessaire d'analyser le déphasage entre l'onde de compression et de cisaillement généré par le passage du train et diffusé dans le remblai. En effet, puisque la stabilité d'un renforcement est fonction du niveau de traction instantané et de sa capacité d'adhérence au même instant, la non-prise en compte de ce déphasage pourrait entraîner une mauvaise estimation du niveau de sécurité de l'ouvrage.

L'APPORT DE LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE

En comparant les ordres de grandeur de longueurs d'onde avec les dimensions des ouvrages, il apparaît que seul l'effet des fréquences élevées dues à l'entraxe de 3 m entre les essieux d'un même boggy peut poser un problème et nécessite d'être étudié. En raison de ces déphasages possibles à fréquence élevée, il faut vérifier la stabilité instantanée à différents moments.

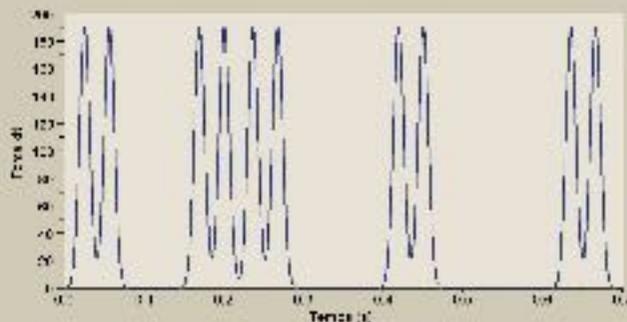
L'effort de traction le long des lits supérieurs est une conséquence de la distribution des contraintes dans le massif due à la superposition de la charge statique et des effets dynamiques des vibrations. L'application de la surcharge de trafic augmente temporairement l'effort de traction dans les armatures. ▽

MODÈLE DE L'OUVRAGE SIMULÉ AUX DIFFÉRENCES FINIES



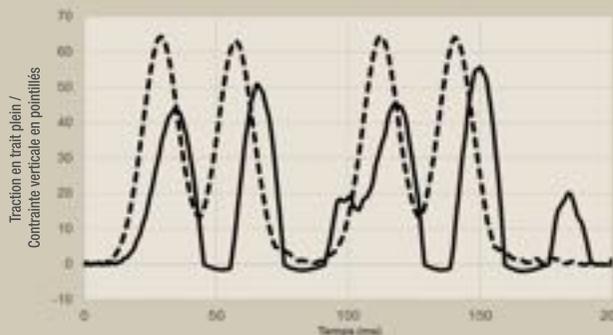
4

CHARGEMENT CONSIDÉRÉ LORS DE LA SIMULATION D'UN TRAIN DU TYPE HSLM-A4



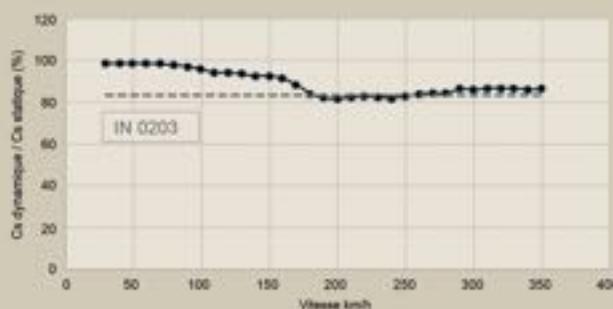
5

DÉPHASAGE ENTRE LA CHARGE DYNAMIQUE APPLIQUÉE ET L'INCRÉMENT DE TRACTION



6

SÉCURITÉ VIS-À-VIS DU SURDIMENSIONNEMENT EN FONCTION DE LA VITESSE



7

On vérifie ainsi dans quelle mesure un déphasage pourrait occasionner la situation suivante : à l'instant où la traction maximale dans le lit atteint son pic, un déconfinement suffisant tout au long de l'armature entraînerait son glissement.

MODÉLISATION D'UN OUVRAGE TYPE

Un ouvrage Terre Armée® représentatif des structures projetées sur la ligne SEA a été modélisé aux différences finies à l'aide du logiciel FLAC 2D (figure 4).

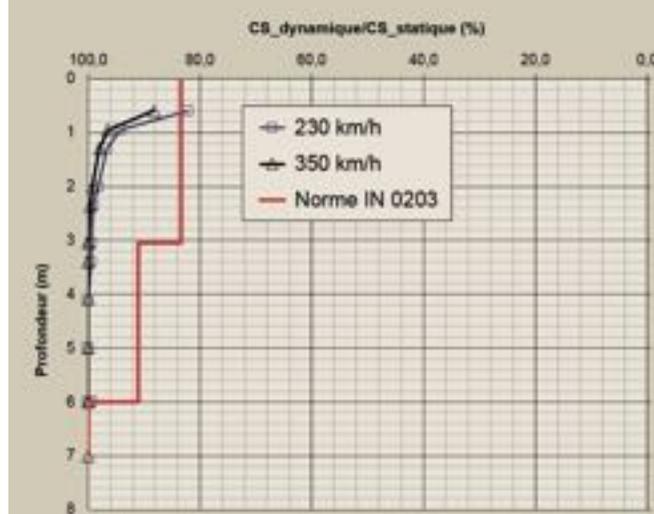
Le comportement global de l'ouvrage est obtenu en combinant l'état d'équilibre statique de la structure aux incréments de contraintes et de tractions d'un modèle purement élastique sans gravité. Cette simplification de calcul est justifiée car en phase de chargement dynamique, l'ouvrage ne subit que des incréments de contraintes élastiques. Un amortissement de 3% a été retenu lors de cette étude.

Le passage de deux trains types a été simulé par l'application de « doubles M ». Les vitesses de passage simulées s'étendent de 30 km/h à 350 km/h, par incréments de 10 km/h (figure 5).

Pour chacune de ces vitesses, l'étude a consisté à repérer l'instant où l'effort dans le lit d'armatures supérieures est maximal. Puis, en se basant sur les contraintes verticales simultanées entre le point de traction maximale et l'extrémité libre des armatures, un coefficient

de surdimensionnement instantané a été recalculé. Ce coefficient de surdimensionnement minimum dynamique a ensuite été comparé à celui déterminé en statique. Le rapport a alors déterminé la marge de sécurité vis-à-vis du surdimensionnement.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA SÉCURITÉ



8

4- Modèle de l'ouvrage simulé aux différences finies.

5- Chargement considéré lors de la simulation d'un train du type HSLM-A4.

6- Déphasage entre la charge dynamique appliquée et l'incrément de traction.

7- Sécurité vis-à-vis du surdimensionnement en fonction de la vitesse.

8- Influence de la profondeur sur la sécurité.

4- Model of structure simulated by the finite differences method.

5- Loading considered during simulation of a train of the HSLM-A4 type.

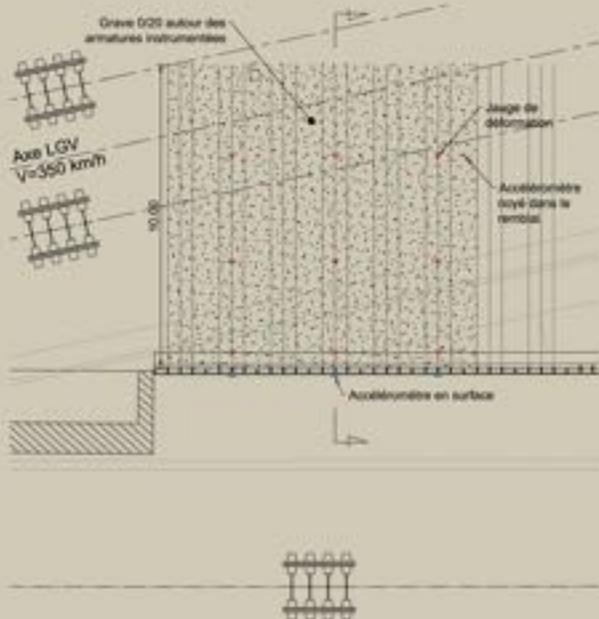
6- Phase difference between the dynamic load applied and the incremental tension.

7- Security with regard to oversizing according to speed.

8- Influence of depth on safety.

POSITION DES CAPTEURS

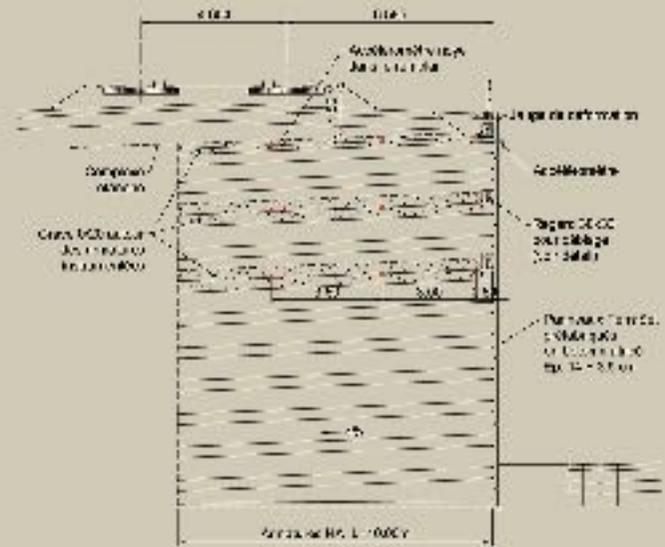
Vue en plan



9a

POSITION DES CAPTEURS

Coupe du massif



9b

L'EFFET DU DÉPHASAGE

La figure 6 montre l'incrément de traction maximal dans l'armature supérieure et l'incrément de confinement maximal (l'armature supérieure dans le modèle est à une profondeur de 60 cm, ce qui est beaucoup plus proche que dans les applications sur la LGV SEA où cette distance est systématiquement supérieure à 1 m).

On peut aisément observer que le déphasage entre l'instant où la charge maximale est appliquée et l'instant où l'incrément de traction est maximal. Le délai est d'environ 5 ms, ce qui au vu de la distance entre la traverse et le point d'observation dans l'ouvrage, correspond bien à la différence de

9- Position des capteurs : Vue en plan (9a - à gauche) et coupe du massif (9b - à droite).

10- Jauge de contrainte fixée sur l'armature.

11- Mise en place de l'accéléromètre.

9- Position of sensors: Plan view (9a - on the left) and cross section of foundation block (9b - on the right).

10- Strain gauge attached to reinforcement.

11- Placing the accelerometer in position.

célérité des ondes de compression (confinement) et de cisaillement (traction).

Le coefficient global de sécurité sur l'adhérence est respecté.

L'INFLUENCE DE LA VITESSE

La figure 7 illustre l'influence de la vitesse du train sur la sécurité vis-à-vis du surdimensionnement.

Les courbes sont comparées au coefficient forfaitaire de 1,2 imposé par le référentiel SNCF (IN-0203-1985) sur les efforts de traction dans les armatures pour tenir compte des phénomènes vibratoires.

Le coefficient forfaitaire de 1,2 semble être bien adapté pour tenir compte des effets vibratoires dus au passage du train à grande vitesse.

L'INFLUENCE DE LA PROFONDEUR

Afin de vérifier l'atténuation des effets de vibration avec la profondeur, l'étude sur la sécurité vis-à-vis du surdimensionnement est réalisée à différentes profondeurs sous l'axe de la voie.

La figure 8 montre qu'à 2,35 m de profondeur sous la traverse, le coefficient de surdimensionnement ne varie plus entre la situation statique et l'effet dynamique du passage du train : on retrouve ainsi le fait qu'il ne semble plus y avoir d'effet dynamique au-delà de 3 m.



10



11



12

© IFSTTAR

L'INSTRUMENTATION DYNAMIQUE IN SITU

Afin d'obtenir un retour d'expérience avant mise en service de la ligne, le département de recherche en Géotechnique de l'IFSTTAR a été sollicité pour mettre au point une instrumentation sur l'un des ouvrages les plus significatifs de la LGV SEA. L'ouvrage a été choisi pour sa plus grande vulnérabilité potentielle s'agissant du massif en Terre Armée® le plus élevé de la ligne (12,70 m au point le plus haut) et de celui qui sera soumis à des passages de train à des vitesses allant jusqu'à 320 km/h.

L'instrumentation mise en place visait deux objectifs :

- Permettre de mesurer l'évolution des contraintes internes, et le cas échéant les déformations externes résultantes de l'ouvrage au cours du temps ;
- Permettre de mesurer en dynamique la propagation des vibrations et des contraintes transmises à l'ouvrage sous l'effet de la circulation à diverses vitesses.

On distingue l'instrumentation interne au massif et l'instrumentation externe (figure 9).

Les contraintes internes de l'ouvrage sont mesurées grâce à 8 armatures instrumentées de jauges de contraintes (figure 10).

8 accéléromètres placés au voisinage des jauges les plus profondes (2/3 de longueur) de chaque armature sont mises en place pour mesurer les vibrations verticales transmises par le passage des trains (figure 11). Un neuvième capteur est noyé dans la couche de forme directement sous les voies.

Les accéléromètres ont une bande passante de 1 000 Hz et une étendue de mesure de +/- 50 g.

5 panneaux reliés à des armatures instrumentées sont par ailleurs équipées en surface d'un accéléromètre central bi-axial permettant de mesurer à la fois les vibrations verticales et les vibrations horizontales normales à l'écaille (figure 12).

La double intégration des signaux de mesure permet de déduire l'amplitude des déformations en dynamique lors des passages des trains.

12- Mise en place de l'instrumentation de surface par l'IFSTTAR.

13- Localisation des ouvrages Terre Armée®.

12- Surface instrumentation placed in position by IFSTTAR.

13- Location of Terre Armée® structures.

Les mesures réalisées doivent encore faire l'objet d'un travail d'analyse approfondi, mais les résultats préliminaires confirment dès à présent les conclusions tirées du plot d'essai et des calculs numériques. En particulier, on constate une atténuation rapide de l'accélération verticale dans le remblai en fonction de la profondeur et l'absence de défaut d'adhérence, avec des incréments de traction mesurés lors du passage des trains nettement inférieurs à ceux considérés lors du dimensionnement.

DES APPROCHES MULTIPLES POUR DES RÉSULTATS COHÉRENTS

La réalisation du plot expérimental a confirmé la très faible déformabilité résiduelle et l'absence de fatigue de l'interface sol/renforcement de la structure Terre Armée® soumise à des sollicitations cycliques.

L'analyse numérique a mis en évidence des déphasages entre la variation de la traction dans les armatures en fonction du temps et la variation de la contrainte verticale appliquée sur la partie résistante des armatures. Toutefois, si ces déphasages engendrent une légère baisse instantanée du coefficient de surdimensionnement des armatures vis-à-vis du risque de glissement, celui-ci reste très élevé et il est largement couvert par les coefficients forfaitaires imposés par le référentiel SNCF. Cette baisse n'engendre donc aucune crainte par rapport à la possibilité d'une défaillance progressive de l'ouvrage. Ces mêmes résultats ont montré qu'une vitesse de 320 km/h (voire 350 km/h) ne serait pas plus critique



© PHOTO THÉÂTRE TERRE ARMÉE

13



© PASCAL LE DOAIRE

14

qu'une vitesse de 200 ou 230 km/h. Enfin, cette analyse a révélé l'atténuation rapide de l'effet dynamique dans le remblai grâce à la profondeur. L'instrumentation mise en œuvre sur un mur de la LGV SEA a permis d'obtenir un retour d'expérience grâce aux mesures réalisées pendant les essais de montée en vitesse. Ces mesures ont confirmé les résultats obtenus par

l'approche expérimentale en laboratoire et l'analyse numérique. Ces différentes approches prouvent que les méthodes classiques de justification (norme NFP 94270) complétées par les recommandations du référentiel (IN-0203-1985) sur le niveau de surdimensionnement des lits supérieurs, assurent un niveau de sécurité pleinement satisfaisant.

LES OUVRAGES EN TERRE ARMÉE® DE LA LGV SEA

Principale application de la Terre Armée® sur la LGV SEA, la construction des murs en sortie de saut-de-mouton (SDM), concerne 8 ouvrages soit 16 murs. Construits au droit des raccordements de la LGV au Réseau Ferré National, ces SDM sont répartis sur les raccordements de Monts, Chasseneuil,

Fontaine-le-Comte et La-Couronne (figure 13).

Les caractéristiques suivantes du projet LGV SEA rendent l'utilisation de la solution Terre Armée® particulièrement avantageuse :

- La nécessité de construire le long de voies circulées pour les ouvrages franchissant le réseau existant ;
 - Un gabarit ferroviaire qui impose des hauteurs de mur supérieures à 10 m ;
 - La prise en compte de la sismicité de la zone et des conditions d'assise globalement médiocres ;
 - Une gestion de projet très complexe du fait de la multiplicité des chantiers et des impératifs de planning.
- Au regard de tous ces critères, la Terre Armée® offre une solution nettement plus optimisée que les murs coulés en place, grâce, à la fois, à ses caractéristiques techniques et à la souplesse de mise en œuvre du procédé.

LE RACCORDEMENT DE FONTAINE-LE-COMTE

Le raccordement de Fontaine-le-Comte (figure 14) est sans doute le chantier le plus emblématique du projet SEA pour la société Terre Armée, puisqu'il regroupe le plus grand nombre d'ou- ▷

14- Complexité du raccordement de Fontaine-le-Comte.

15- SDM FS2 0012 construit au-dessus des voies existantes de la ligne Poitiers/La Rochelle.

14- Complexity of the Fontaine-le-Comte connection.

15- Flyover FS2 0012 built above the existing tracks of the Poitiers/La Rochelle line.



© PHOTO THÉÂTRE TERRE ARMÉE

15



16

© PHOTOTHÈQUE TERRE ARMÉE

vrages (3 SDM), les murs les plus hauts (jusqu'à 12,70 m) et les vitesses de circulation sur voies portées les plus rapides (320 km/h). Situé en zone sismique, ce raccordement est caractéristique de la complexité du projet que ce soit du fait des conditions géotechniques ou de la co-activité de multiples chantiers.

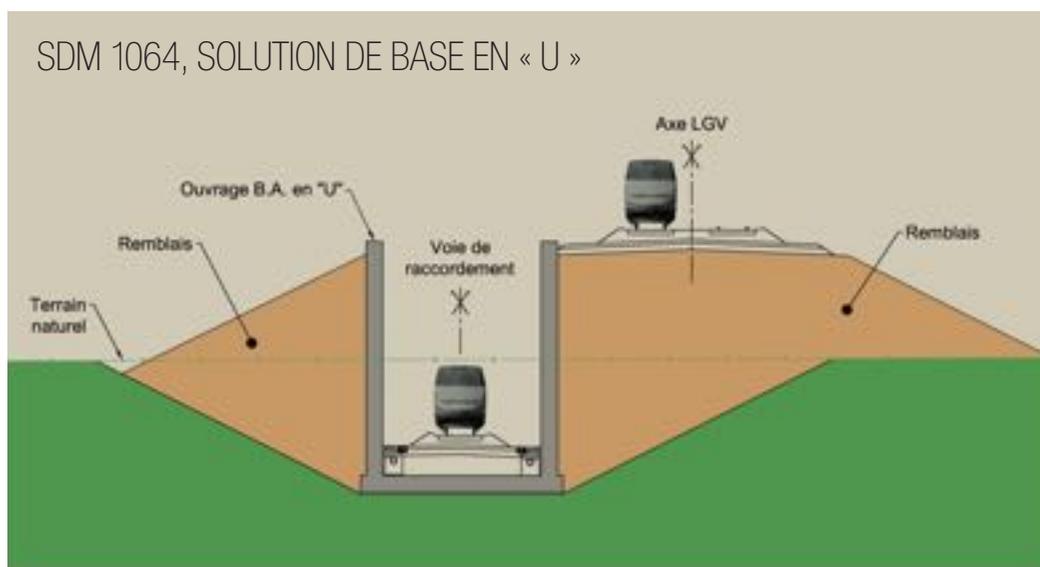
LE FRANCHISSEMENT DE LA LIGNE POITIERS-LA ROCHELLE

Le SDM FS2 0012, permet le franchissement de la ligne RFN Poitiers-La Rochelle par la voie de raccordement V2 (figure 15). Le cadre du SDM étant fondé sur pieux, des inclusions rigides ont été mises en œuvre sous la partie la plus haute des murs afin d'éviter les effets parasites induits par les tassements. Le reste des murs a ensuite été fondé directement au terrain naturel après avoir analysé l'impact de la construction sur les voies adjacentes. Sur cet ouvrage, en permettant la suppression des fondations profondes, la Terre Armée® offre une solution optimisée. Elle facilite également la construction le long des voies en circulation en évitant la mise en œuvre d'écrans de protection lourde, équipements provisoires coûteux et contraignants à installer.

DEUX SAUTS DE MOUTON POUR UN RECORD DU MONDE

Les SDM1064 et SDM1058 sont deux des ouvrages « neuf sur neuf », ils permettent le franchissement des voies du nouveau raccordement par les voies de la nouvelle ligne LGV circulée à 320 km/h (figure 16). Cela constitue un record mondial de vitesse pour les murs en Terre Armée® !

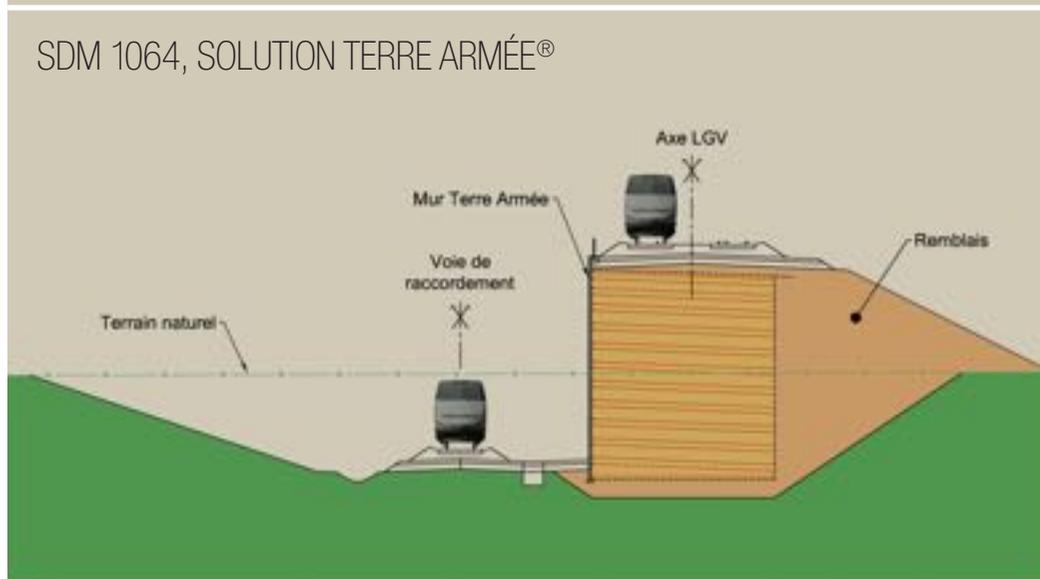
SDM 1064, SOLUTION DE BASE EN « U »



17a

© PHOTOTHÈQUE TERRE ARMÉE

SDM 1064, SOLUTION TERRE ARMÉE®



17b

© PHOTOTHÈQUE TERRE ARMÉE



16- SDM 1064, mur sud.

17a & 17b- SDM 1064, solution de base en « U » et solution Terre Armée®.

16- Flyover 1064, south wall.

17a & 17b- Flyover 1064, standard "U" solution and Terre Armée® solution.

Construits sur des sols argileux de faible portance et en zone sismique, les murs en sortie d'ouvrage étaient initialement prévus en « U », avec radier construit sous voie et contremur permettant d'équilibrer les poussées (figure 17a).

Au final, un pré-chargement est réalisé pour limiter les tassements et

une solution en Terre Armée® est préférée puisqu'elle apporte une très forte réduction du volume de béton (figure 17b).

CONCLUSION

De nombreux murs en Terre Armée® ont été construits à travers le monde, et ce, dans divers domaines d'applications.

Sur la LGV SEA, Terre Armée, l'IFSTTAR et les équipes du constructeur Cosea ont conclu de la plus belle des façons dix années d'études expertes par la construction de structures jamais réalisées jusque-là dans le domaine de la grande vitesse ferroviaire.

C'est un ensemble de 17 murs sous voies qui a été construit, atteignant 12,70 m pour le mur le plus haut, dont quatre supportant directement les voies qui seront circulées à 320 km/h en exploitation et sur lesquels des tests de montée en vitesse ont atteint 352 km/h. □

QUELQUES CHIFFRES

NOMBRE DE MURS CONSTRUITS : 20

Dont :

- Murs sous voies ferrées : 17

- Murs de culées de pont route : 3

NOMBRE DE SAUT DE MOUTON UTILISANT LE PROCÉDÉ : 8

SURFACE DE PAREMENT CONSTRUITE : 9 500 m²

HAUTEUR MAXIMALE : 12,70 m

VITESSES MAXIMALE ATTEINTE AU-DESSUS DES MURS : 352 km/h

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE CONCÉDANT : RFF (SNCF Réseau)

MAÎTRE D'OUVRAGE : Lise

MAÎTRE D'ŒUVRE : Cosea DP

CONSTRUCTEUR : Cosea SGI (Vinci Construction, Nge, Razel-Bec)

BUREAUX D'ÉTUDES : Cosea SGC (Systra, Egis, Arcadis)

CONTRÔLE EXTERNE : Fondasol

ORGANISME DE CERTIFICATION : Certifer-Tractebel-Tuc Rail-Asconit

EXPERTS : IFSTTAR

ABSTRACT

REINFORCED EARTH® STRUCTURES UNDER THE HIGH-SPEED RAIL LINE OF THE TOURS-BORDEAUX S.E.A. PROJECT

NICOLAS FREITAG, TERRE ARMÉE - DAVID BRANCAZ, TERRE ARMÉE - YASSINE BENNANI, TERRE ARMÉE - PATRICK JOFFRIN, IFSTTAR

The construction of the South Europe Atlantic (SEA) High-Speed Rail Line linking Tours and Bordeaux is a decisive step forward in the use of Reinforced Earth® in the railway sector. Following a long R&D process which focused mainly on an analysis of soil-reinforcement interaction behaviour under dynamic loading, the technique was used on 11 structures, including eight flyovers. The maximum height of the Reinforced Earth® walls is 12.70 m. The train running speed on Reinforced Earth® foundations reached a world record of 320 km/h on two of these structures. □

LAS OBRAS EN TERRE ARMÉE® BAJO LA LÍNEA FERROVIARIA DEL ALTA VELOCIDAD DEL PROYECTO SEA TOURS BORDEAUX

NICOLAS FREITAG, TERRE ARMÉE - DAVID BRANCAZ, TERRE ARMÉE - YASSINE BENNANI, TERRE ARMÉE - PATRICK JOFFRIN, IFSTTAR

La construcción de la línea de alta velocidad Sud Europe Atlantique que une Tours y Burdeos supone un avance decisivo para el empleo de la Terre Armée® en el ámbito ferroviario. Tras un largo proceso de I+D, principalmente centrado en el análisis del comportamiento de la interacción suelo-armaduras bajo la carga dinámica, la técnica se ha aplicado a 11 estructuras, 8 de ellas pasos elevados. Los muros tienen una altura máxima de 12,70 m. La velocidad de circulación de los trenes sobre los bloques de Terre Armée® de estas obras alcanza los 320 km/h, lo cual supone un récord mundial. □



1a

© EIFFAGE

PASSERELLE DE L'ÎLE SEGUIN - UN LIEN VERS LA MUSIQUE SUR UN ANCIEN SITE INDUSTRIEL

AUTEURS : LAURENCE DAVAINÉ, CHEF DE PROJET MOE, INGEROP - JONATHAN DELACOUR, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - MARC WEBER, INGÉNIEUR D'AFFAIRE, EIFFAGE MÉTAL - LIONEL BOGNER, RESPONSABLE BUREAU D'ÉTUDES DIVISION PONTS ET OUVRAGES D'ART, EIFFAGE MÉTAL

UNE NOUVELLE PASSERELLE DÉDIÉE AUX CIRCULATIONS DOUCES PERMET D'ACCÉDER À LA CITÉ MUSICALE DÉPARTEMENTALE DIRECTEMENT DEPUIS L'ARRÊT DU TRAMWAY À SÈVRES/MEUDON EN FRANCHISSANT LA SEINE. LA TRAVÉE ISOSTATIQUE À TABLIER MÉTALLIQUE DE 5,7 M DE LARGEUR ET 97 M DE LONGUEUR S'APPUIE SUR LE SOCLE EN BÉTON QUI CEINTURE TOUTE L'ÎLE SEGUIN, SANS Y FAIRE APPARAÎTRE D'APPUI IDENTIFIABLE, ET INTÈGRE EN RIVE GAUCHE LES ESCALIERS DE DESCENTE VERS LE CHEMIN DE HALAGE.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Franchissant le petit bras avalant de la Seine, la passerelle Sud relie l'île Seguin avec la rive gauche de la Seine à Meudon (92). Le projet s'inscrit dans le contexte du réaménagement urbain du site des anciennes usines Renault (figure 1a) qui accueille la Cité Musicale signée par les architectes Shigeru Ban et Jean de Gastines. Il permet aux

usagers de rejoindre facilement l'arrêt « Brimbordon » de la ligne de tramway T2 reliant Issy les Moulineaux à la Défense (figure 1b). Plus largement, la passerelle crée aussi un franchissement pour les modes doux, alternatif et plus agréable que le pont routier de Sèvres, entre la future gare du Grand Paris Express (ligne 15 à Boulogne) en rive droite de la Seine et la ligne T2.

LA CONCEPTION DE L'OUVRAGE - LE PARTI ARCHITECTURAL

Le parti architectural du projet s'articule autour de deux grands principes : conserver l'esprit industriel du lieu et respecter l'unité architecturale avec le projet d'aménagement urbain sur l'île. Les structures marquantes de type câbles ou bowstring ont été écartées

au profit d'une ligne épurée et droite utilisant l'acier pour trancher avec le béton clair des appuis.

La passerelle présente un tracé rectiligne, placé dans l'axe du pont Renault et franchissant la Seine avec un léger biais. La largeur utile dédiée aux circulations piétonnes et cycles (280 personnes/minute) est de 4 m. L'ensemble de la traversée, y compris les appuis,

1- Contexte du projet et insertion dans le schéma des transports en commun (a) et de l'île (b).

2- Coupe transversale - niveau PRO.

3- Vue architecturale des appuis rive droite (a) et gauche (b) de la passerelle - Ateliers Jean Nouvel.

1- Project environment and integration into the public transport system (a) and the island (b).

2- Cross section - road bridge level.

3- Architect's view of foot-bridge supports on (a) right bank and (b) left bank Ateliers Jean Nouvel.

CONTEXTE DU PROJET ET INSERTION DANS LE SCHÉMA DES TRANSPORTS EN COMMUN ET DE L'ÎLE



© INGEROP
1b

doit respecter les conditions d'un cheminement PMR, nécessitant la mise en œuvre d'un ascenseur de type 3 (2 000 kg) côté Meudon.

Le franchissement en une seule portée d'environ 100 m s'impose par une passe navigable de 47 m de large et des promenades sur les berges basses des deux rives de Seine. Le respect du gabarit de 5,25 m au-dessus des PHEN (+28,45 m NGF) pour les péniches, combiné avec une nécessité de raccord des circulations piétonnes sur le parvis de l'île (+36,0 m NGF), conduit à des structures porteuses latérales.

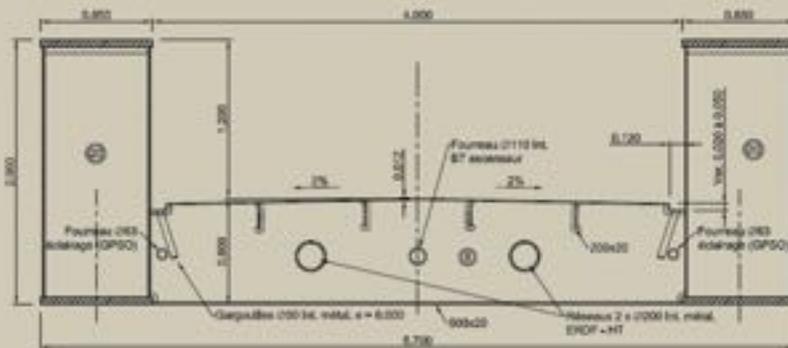
La conception retenue est une structure métallique à caissons latéraux faisant office de garde-corps, reliés entre eux par un platelage orthotrope.

LE TABLIER

Avec un élanement très important au 1/50°, soit 2 m de hauteur, le recours à un acier de nuance élevée s'est imposé.

Les poutres latérales ont une section résistante en caisson rectangulaire fermé, ce qui leur confère une certaine rigidité en torsion (pour le comportement dynamique notamment) et qui correspond aux choix architecturaux. La largeur des semelles supérieures et inférieures des caissons a été retenue à 850 mm avec un acier de nuance S460 pour rester dans une gamme d'épaisseur de tôle entre 20 et 100 mm (figure 2). Le platelage orthotrope soudé entre les caissons latéraux est quant à lui en acier de nuance S355. Il est recouvert d'un revêtement mince gravillonné étanche, il repose sur des entretoises métalliques en I, régulièrement espacées tous les 6 m et soudées sur les âmes et le tranchant des semelles inférieures des poutres principales.

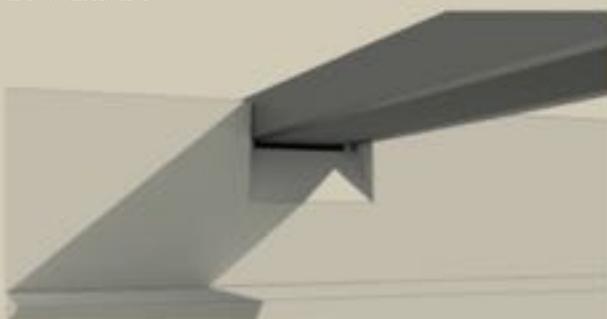
COUPE TRANSVERSALE - NIVEAU PRO



© INGEROP
2

VUE ARCHITECTURALE DE L'APPUI RIVE DROITE DE LA PASSERELLE

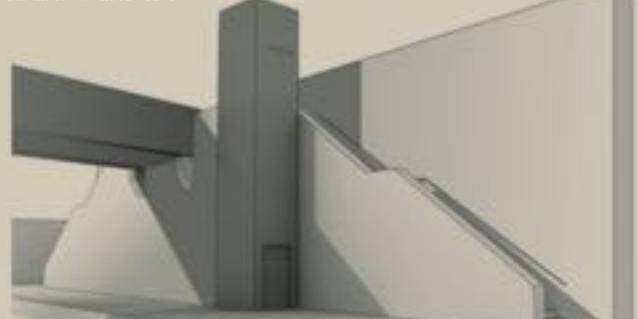
Ateliers Jean Nouvel



© ATELIER JEAN NOUVEL
3a

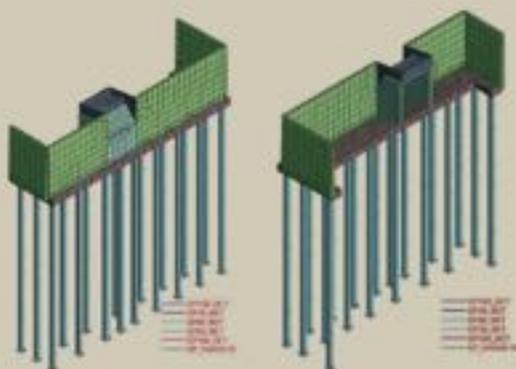
VUE ARCHITECTURALE DE L'APPUI RIVE GAUCHE DE LA PASSERELLE

Ateliers Jean Nouvel



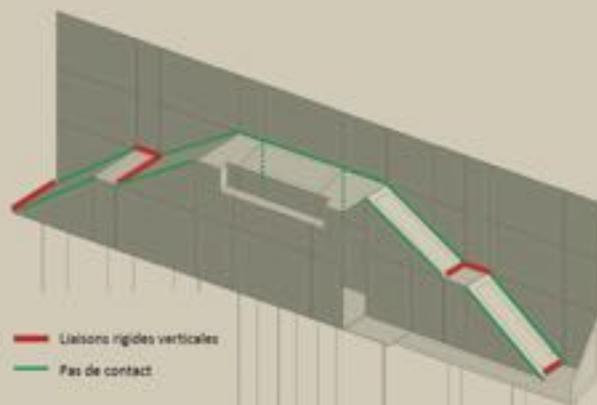
3b

MODÉLISATION DE CALCUL DE LA CULÉE RIVE DROITE



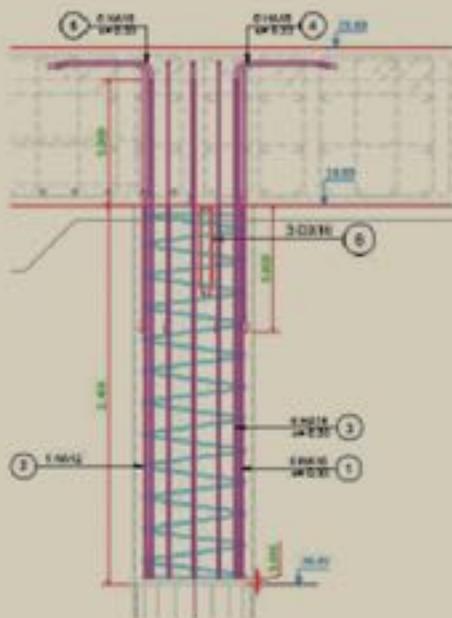
4a

MODÉLISATION DE CALCUL DE LA CULÉE RIVE GAUCHE



4b

ANCRAGE PIEUX MÉTALLIQUES



5a



5b

Le raidissage longitudinal de ce platelage est assuré par 4 simples plats longitudinaux continus au travers des âmes des entretoises.

Le biais est repris sur la dernière entretoise à chaque extrémité, avec un angle de 78° identique des 2 côtés.

Le platelage présente un léger dévers en toit pour l'évacuation des eaux de pluie qui se fait à l'aide de goulottes tous les 10 m environ, disposées entre les entretoises et qui rejettent ces eaux de pluie directement dans la Seine ; elles ne sont pas polluées.

Le platelage sert également de contreventement pour reprendre les effets

transversaux du vent qui souffle dans l'axe de la Seine et vient frapper les surfaces verticales des caissons latéraux.

LES APPUIS

L'architecte a souhaité « poser » ce barreau métallique sur le socle en béton qui ceinture toute l'île Seguin, sans faire apparaître d'appui identifiable.

La structure en portique de cette course, appuyée sur les façades des bâtiments (figure 3a) a été adaptée localement sur 50 m de long pour se transformer en mur de soutènement en L (sur une hauteur de 7 m) des

4- Modélisations de calcul des culées.

5- Ancrage pieux métalliques.

4- Abutment computation model.

5- Steel pile anchoring.

terres du parvis de l'espace public de l'île.

En rive gauche (figure 3b), l'architecture de l'appui rappelle celle du socle sur l'île tout en intégrant les escaliers de descente vers le chemin de halage (+30.1 m NGF) et la promenade aménagée par le CD92 le long de la Seine. La principale contrainte de conception réside dans l'exiguïté de l'espace disponible (3 à 4 m), très allongé entre les voies ferrées de la ligne T2 dont il faut assurer la stabilité, et la conduite de gaz haute pression Ø 500 enterrée sous le chemin de halage au pied du talus RATP, qui doit

rester en service pendant les travaux. Les appuis sont fondés sur pieux ancrés dans la craie blanche à silex du Campanien dont le toit se situe à environ 20 m sous le terrain naturel.

LE CONFORT DES USAGERS

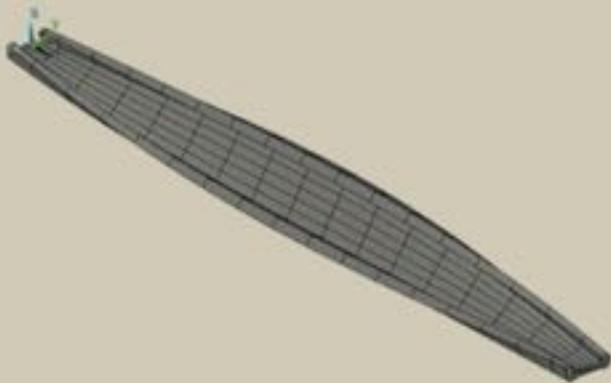
En milieu urbain et reliant des zones à forte concentration piétonnière, la passerelle est de classe I au sens du guide Setra/Afgc de 2006 pour l'étude de son comportement vibratoire. La longueur de la traversée et sa qualification PMR ont conduit la MOA à retenir un niveau de confort maximum.

L'ensemble du cheminement est éclairé. Les escaliers coté Sèvres sont éclairés par des spots dans le voile toutes les deux marches. Les spots, de finition robuste en acier inoxydable, sont encastrés dans le voile en béton tout comme l'alimentation et les câblages. Un éclairage spécifique est prévu aux portes des ascenseurs.

La passerelle est éclairée par le même type d'éclairage en acier inoxydable. Les éclairages et les appareils de télégestion sont positionnés en quinconce tous les 8 m le long du cheminement

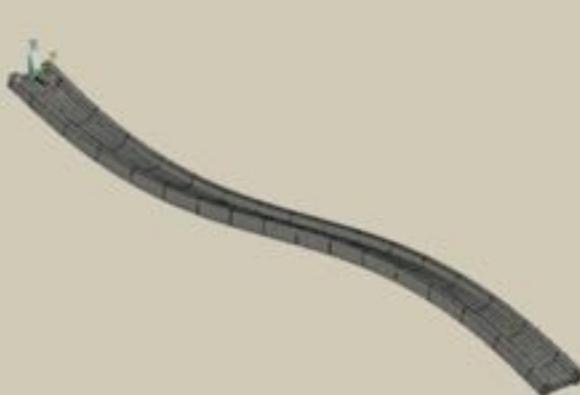
FRÉQUENCES PROPRES DU TABLIER À AMORTIR

Fréquence de vibrations de torsion en une onde à 2,3 Hz



6a

Fréquence de flexion verticale en 2 ondes à 2,4 Hz



6b



7

dans les caissons métalliques structuraux de la passerelle. Ce pas a été calé sur celui des entretoises. Les appliques éclairent à 40 cm au-dessus du platelage. Ainsi des réservations sont prévues dans les PRS pour permettre l'incorporation des appareils d'éclairage. L'intégrité structurelle des poutres, monolithiques et étanches, est reconstituée en arrière-plan des appareils alors que la tôle visible est simplement percée de la dimension de la plaque de finition laissant la perception de caissons monolithiques sans usinage, serrurerie, vis ou soudures.

Côté île Seguin, sur les berges basses, les 2 appareils d'éclairage respectent la trame générale de l'île Seguin.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION LES APPUIS ET FONDATIONS

Les études d'exécution des appuis et des fondations ont été conduites par le bureau d'étude interne d'Eiffage Génie Civil (DMI). Les dimensionnements des pieux métalliques (variante entreprise) et des rideaux de palplanches de soutènement provisoires des fouilles de fondations des appuis ont été réa-

6- Fréquences propres du tablier à amortir.

7- Trappe pour ADA et matériel de mesure lors des épreuves dynamiques.

6- Deck natural frequencies to be dampened.

7- Hatch for ADA (tuned dynamic shock absorbers) and measuring equipment during dynamic tests.

lisés par le bureau d'étude Valetude. Le tablier avec sa travée unique est supporté de manière isostatique par deux culées en béton. Les culées et voiles de parement sont encastrés sur un radier général de 1 m d'épaisseur, lui-même encastré aux fondations profondes.

Une modélisation aux éléments finis a été réalisée sur les deux culées (figure 4) afin de déterminer les réac-

tions aux appuis, pour chaque pieu. Afin de respecter au mieux le fonctionnement structurel, on modélise des liaisons rigides verticales entre certains éléments, pour les raisons suivantes :

→ Compte tenu du phasage, on ne relie pas les paliers intermédiaires avec le mur de soutènement vis-à-vis des déplacements horizontaux. Cette disposition traduit le fait que les tirants d'ancrage du soutènement provisoire (rideau de palplanches) de la plateforme tramway T2 sont désactivés avant que les paliers soient réalisés, donc la poussée des terres (qui est une charge prépondérante appliquée à la culée) transite directement du mur de soutènement définitif en béton à la semelle sans passer par les paliers et le mur de front.

→ Compte tenu de la méthodologie de construction, les escaliers préfabriqués prennent simplement un appui vertical sur les paliers.

Par ailleurs, pour respecter la réalité physique de l'ouvrage, certains panneaux proches ne se touchent pas (un écart de l'ordre de 2 cm est créé). Ces dispositions sont décrites à la figure 4b.

Côté Sèvres, la transmission des efforts de la semelle béton aux pieux métalliques s'effectue grâce à l'ancrage des armatures du bouchon dans la semelle de la culée (figure 5, conforme à la figure 7.2 article 7.4.2 de l'Eurocode 3). Dans ce cas-ci, le bouchon en béton armé est égal à 2 fois le diamètre du tube.

Ce mode constructif a été une adaptation du projet initial, proposée par Eiffage (contrainte de place et envi-

ronnementale pour réalisation de pieux forés bétonnés).

LE TABLIER MÉTALLIQUE

Les études d'exécution de la charpente ont été conduites par le service interne d'Eiffage Métal à l'aide du logiciel SCIA. Pour la justification globale, un modèle filaire a été utilisé, alors que les justifications locales ont été conduites à l'aide d'un modèle aux éléments finis tridimensionnel.

Pour l'étude dynamique, un premier calcul par un modèle à barres a permis d'identifier les deux fréquences de vibrations de torsion en une onde à 2,3 Hz (figure 6a), et de flexion verticale en 2 ondes à 2,4 Hz (figure 6b) ne respectant pas les critères de confort. Ces fréquences ont été confirmées par un contre-calcul à l'aide d'un modèle 3D aux éléments finis.

L'analyse dynamique a conduit à la mise en place de 2 Amortisseurs Dynamiques Accordés (ADA). Les amortisseurs (structure porteuse, ressort, lest, ...) sont rentrés dans les caissons latéraux par l'intermédiaire de trappes disposées dans les âmes verticales intérieures et accessibles directement depuis le platelage piéton. Leur position correspond aux ventres des modes propres à amortir pour la structure, à savoir au tiers de la travée, côté amont pour le mode vertical à deux ondes et côté aval pour la torsion. Masse, raideur et amortissement ont été pré-dimensionnées à partir des fréquences calculées numériquement. Environ 2 mois ont été nécessaires pour leur fabrication en usine. Un ADA n'est efficace sur une plage de fréquences d'environ $\pm 5\%$ autour de sa fréquence d'accordage. ▷

Le réglage fin a donc été ensuite réalisé directement sur site, avec des mesures d'accélération et d'amortissement lors des épreuves dynamiques (figure 7). Pour cela, il est nécessaire d'être très précis et donc que l'ouvrage repose sur ses appuis définitifs avec des conditions réelles de distribution de masse et de raideur (en particulier pour les superstructures). En pratique, le réglage fin a été obtenu en ajoutant ou enlevant quelques plaques de lest dans la caisse qui surmonte les ressorts.

LE PLANNING

Le déroulement des travaux a dû respecter les dates suivantes :

- **08/04/2015** : ordre de service pour le démarrage des études d'exécution.
- **04/05/2015** : ordre de service pour le démarrage des travaux.
- **Coupeure complète du trafic du tramway T2 du 26/06/2015 au 17/07/2015** : réalisation du soutènement provisoire (battage des palplanches, mise en œuvre des tirants actifs) du talus RATP en rive gauche sur cette période, conjointement avec réfection des nez de quai.
- **24/03/2016** : pose du tablier métallique avec coupeure d'une journée de la navigation sur le petit bras de la Seine.
- **28/10/2016** : mise en service.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

LES SOUTÈNEMENTS

Deux rideaux de soutènement provisoires en palplanches ont été réalisés au préalable des phases de terrassement pour soutenir côté Sèvres la plateforme du tramway T2 et côté Seguin une partie de l'esplanade de l'île.

Le soutènement côté Sèvres est un rideau de palplanche en AU14 de lon-



8

© INGÉROF

gueur 9 m tiranté tous les 1,50 m avec deux torons T15.7 par tête d'ancrage. Le rideau et les pieux battus ont été réalisés par Eiffage depuis la berge avec une grue à chenilles à flèche treillis et du matériel de vibrofonçage. Des capteurs ont été disposés à chaque tête d'ancrage pour suivre les tensions dans les tirants et contrôler les déformations du soutènement vis-à-vis de la plateforme tramway (figure 8).

LES APPUIS

Le tablier est appuyé sur deux culées en béton armé fondées sur 21 pieux forés bétonnés à la tarière creuse de 25 m de longueur côté île Seguin et sur 20 pieux battus métalliques de 19 m de

8- Soutènement palplanches le long du tram T2.
9- Travaux contre tram T2.

8- Sheet piling retaining structure along T2 tramway line.
9- Works alongside T2 tramway line.

culations hautes (+36,0 NGF) sur une longueur de 31,5 m environ. La culée de la passerelle y est intégrée.

Côté Sèvres/Meudon, le mur soutient le talus existant sur lequel circule la ligne de tramway T2 exploitée par la RATP, sur une longueur de 35 m environ. Une partie des murs a été coulée contre le rideau de palplanches préalablement vibrofonçées (figure 9a) sous interruption de circulation du T2.

Le vibrofonçage et le passage de la grue à chenille ont nécessité la constitution d'un sarcophage en béton autour de la conduite de gaz pour l'isoler des vibrations durant les travaux. Le rideau a été tiranté durant la construction du mur de soutènement.

longueur dans le chemin de halage côté Sèvres/Meudon.

Côté île Seguin, le mur soutient les terres du parvis public entre les berges basses (environ +29 NGF) et les cir-



9a



9b

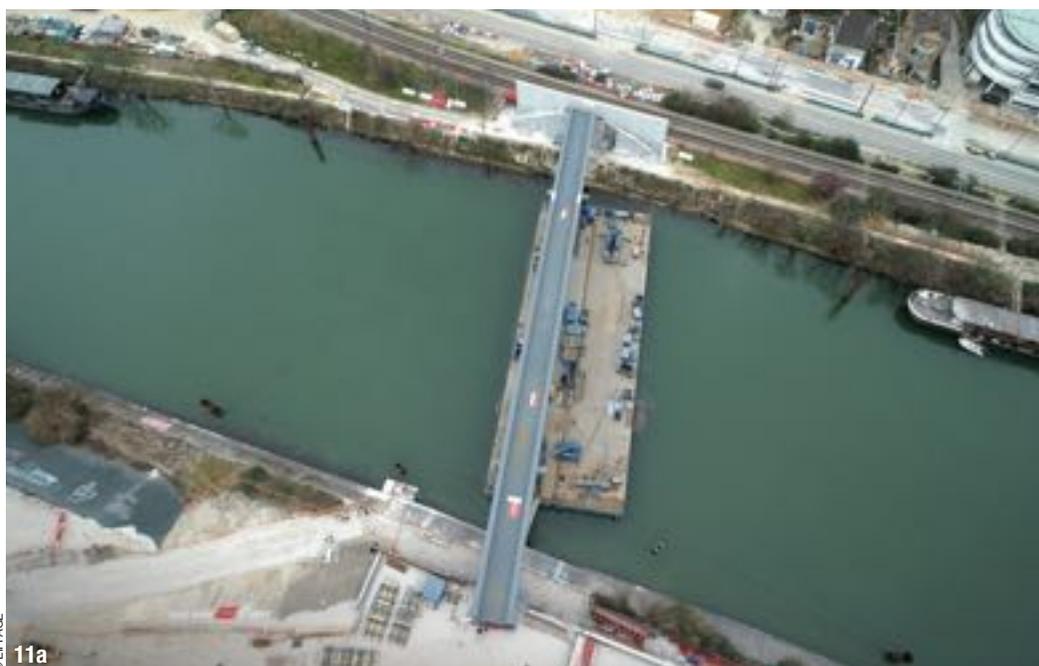
© EIFFAGE



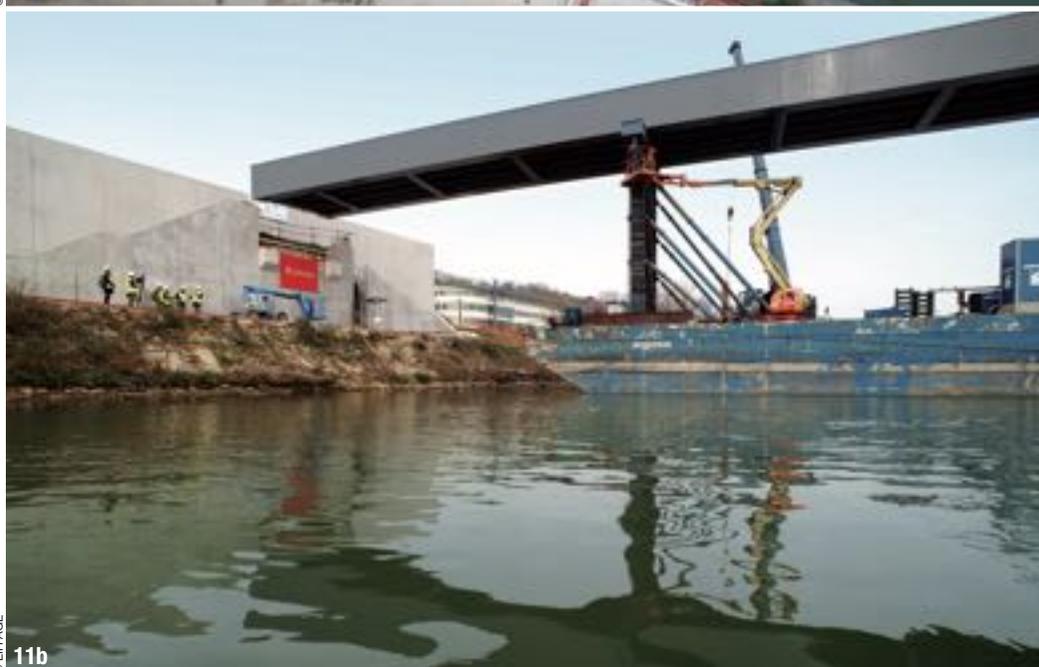
© EIFFAGE
10a



10b



© EIFFAGE
11a



© EIFFAGE
11b

10- Fabrication :
atelier et assem-
blage sur plate-
forme extérieure.
11- Pose de la
structure métal-
lique.

10- Manufacture:
workshop and
assembly on
outdoor platform.

11- Placing the
steel structure.

Un écran réalisé en pré-coffré coiffe la tête des palplanches pour assurer une séparation mécanique ente la ligne du tramway et le flux piéton en provenance de la Cité Musicale.

Le restant des voiles a été coffré avec des banches à peau inox pour un meilleur rendu. L'exiguïté des lieux a conduit à construire cette culée entre la ligne T2 en exploitation et une conduite d'alimentation en gaz et les berges de Seine depuis un ponton fluvial (figure 9b).

LA CHARPENTE

Construite par Eiffage Construction Métallique dans le Bas-Rhin, le tablier de 350 t et 97 m de long, entièrement métallique, a été chargé d'un seul tenant sur barge grâce à l'accès au Rhin dont dispose l'usine de Lauterbourg.

Pour la réalisation en atelier, le tablier a été découpé en 4 tronçons de deux types, les tronçons de rive de longueur 30 m et les tronçons centraux de longueur 19 m.



© INGEROP

Chaque tronçon a un poids unitaire d'environ 85 t. Chaque tronçon est composé de ses deux caissons latéraux et du platelage central (figure 10a). Il a été reconstitué en atelier avant la sortie peinture (figure 10b). L'assemblage final a été réalisé sur la plateforme extérieure de l'usine avant achemi-

nement sur Kamag jusqu'au port de Lauterbourg. Le convoi a d'abord descendu le Rhin, de Lauterbourg jusqu'à Rotterdam, où il a emprunté la mer du Nord puis la Manche. Il a finalement remonté la Seine à partir du Havre pour rejoindre sa position finale.

12- Passerelle terminée.

12- Completed foot bridge.

Le tablier a été acheminé jusqu'à bon port, en une vingtaine de jours, et a été mis en place par vérinage depuis la Seine le 24 Mars 2016 (figures 11). La passerelle a été ouverte aux piétons et aux deux-roues non motorisés à l'ouverture de la cité Musicale, fin 2016 (figure 12). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ACIER DE STRUCTURE : 350 t

PEINTURE ANTICORROSION : 1 900 m²

BÉTON ARMÉ DES APPUIS : 800 m³

PIEUX ø 800 : 1 000 m

COÛT : 5,2 millions € HT environ

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SPL (ex SAEM) Val de Seine

ARCHITECTURE : Ateliers Jean Nouvel

MAÎTRE D'ŒUVRE (CONCEPTION & TRAVAUX) :

Ingerop Conseils & Ingénierie

ENTREPRISES : Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux, Eiffage Construction Métallique

ABSTRACT

SEGUIN ISLAND FOOT BRIDGE - A LINK TO MUSIC ON A FORMER INDUSTRIAL SITE

LAURENCE DAVAINÉ, INGEROP - JONATHAN DELACOUR, EIFFAGE - MARC WEBER, EIFFAGE - LIONEL BOGNER, EIFFAGE

A new foot bridge dedicated to pedestrian and cyclist traffic provides access to the Departmental Music Centre directly from the Sèvres/Meudon tramway stop by crossing the Seine. The metallic structure in S460 steel, 5.7 metres wide, is formed of two sealed side caissons linked by an orthotropic decking carried by cross ties. The structure, manufactured in Lauterbourg, was placed on a barge on leaving the Eiffage workshops to be towed as far as Paris on the Rhine, in the Channel and on the Seine, then installed in a single day using tower jacks mounted directly on the barge. □

PASARELA DE LA ISLA SEGUIN - UN ENLACE HACIA LA MÚSICA EN UN ANTIGUO CENTRO INDUSTRIAL

LAURENCE DAVAINÉ, INGEROP - JONATHAN DELACOUR, EIFFAGE - MARC WEBER, EIFFAGE - LIONEL BOGNER, EIFFAGE

Una nueva pasarela de tráfico peatonal permite acceder a la Ciudad Musical del departamento directamente desde la parada del tranvía de Sèvres/Meudon, cruzando el Sena. La estructura metálica de acero S460, de 5,7 m de anchura, está formada por dos cajones laterales herméticos unidos por un forjado ortótomo sostenido por riostras. Fabricada en Lauterbourg, la estructura se colocó en una gabarra a la salida de los talleres de Eiffage y fue remolcada hasta París por el Rin, la Manga y el Sena, y fue instalada en un solo día mediante gatos de torre directamente montados en la gabarra. □



**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ
PRÉVOYANCE
RETRAITE
ÉPARGNE
ASSURANCES
ACTION SOCIALE
VACANCES

 **PRO BTP**
GROUPE



PRÉSERVONS L'AVENIR



**Remblai renforcé à parement
végétal Station de Val-Cenis.**

Dans une volonté de concevoir des solutions de soutènement durables et écoresponsables, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité.

Ses solutions sont pensées pour protéger les populations et les infrastructures autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site.

Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

Lanslebourg-Mont-Cenis, Savoie
Terramesh® vert - 700 m²

MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr