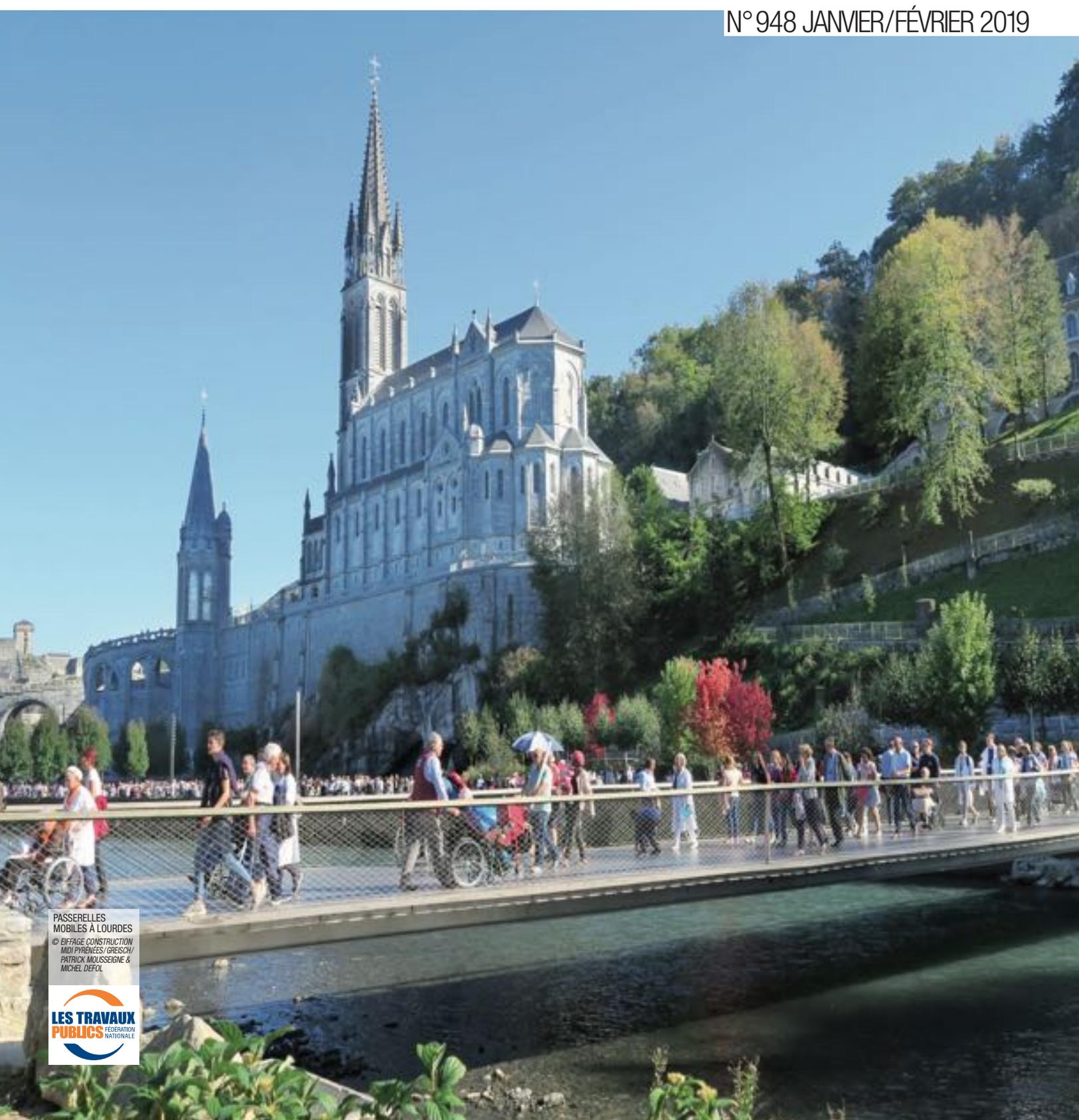


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES D'ART. REGENERATION DU VIADUC DE MARLY-LE-ROI. LEWIS AND CLARK BRIDGE (USA). VIADUCS PREFABRIQUES, METRO DE RIYADH (ARABIE SAOUDITE). RD45 - UN NOUVEAU PONT SUR L'ISERE. DOUBLEMENT DU VIADUC DE LANGEAIS SUR L'A85. SAUT DE MOUTON DE BEZONS. REMPLACEMENT DE PONTS RAILS A SAINT-GRATIEN ET GENNEVILLIERS. PASSERELLES MOBILES A LOURDES. ECHANGEUR DE NOGENT SUR MARNE - PASSAGE SUR L'A4. RENFORCEMENT DU VIADUC DE CAREI SUD SUR L'A8

N° 948 JANVIER/FÉVRIER 2019



PASSERELLES
MOBILES A LOURDES
© EIFFAGE CONSTRUCTION
MIDI PYRENEES / GREISCH/
PATRICK MOUSSEIGNE &
MICHEL DEFOL

LES TRAVAUX
PUBLICS FEDERATION
NATIONALE

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 ajuste les solutions qui couvrent l'ensemble de vos risques. Vous obtenez ainsi la protection dont vous avez réellement besoin pour vos chantiers, votre entreprise et vos clients. Des solutions d'assurance en matière d'épargne, de retraite, de prévoyance et de santé peuvent également vous être proposées par SMAvie.

Parce que chaque profession est unique, nous déclinons nos solutions d'assurance par métier depuis 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 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 Cedex 15

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**
Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard
Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland
(Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon
(Fnfp), Florent Imbert (Razel-Bec),
Nicolas Law de Lauriston (Léon Grosse),
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 (actualités),
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**Directeur de clientèle**
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@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.comLa 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).Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

L'INGÉNIERIE DE RÉALISATION AU SERVICE DE L'ART DE CONSTRUIRE



© DR

L'effondrement du pont de Chirajara en Colombie en pleine construction, la rupture d'un des câbles de précontrainte du pont de l'île de Ré, et surtout la tragédie du viaduc de Gênes, ont rappelé de façon brutale à l'ensemble de la profession et au grand public combien la conception, la construction et la maintenance des ouvrages relèvent d'un art difficile.

Ce dernier repose sur la compétence et la primauté de l'ingénierie, et ceci à toutes les étapes du projet.

Si les ingénieries de conception et de maintenance jouent bien sûr un rôle important dans la qualité d'un ouvrage, c'est du rôle fondamental de l'ingénierie de réalisation dont il est question ici.

Souvent intégrée au sein des grandes entreprises de construction, cette ingénierie de réalisation regroupe l'ensemble des études d'exécution (géotechnique, structure, environnement, équipements), ainsi que les ingénieries des matériaux et des méthodes de construction.

Tous les jours, de par ma fonction de directeur de l'Ingénierie et Innovation au sein d'un groupe comme Razel-Bec, je constate le rôle essentiel

mais insuffisamment reconnu de cette ingénierie de réalisation. Les sujets qu'elle doit traiter sont de plus en plus nombreux et complexes, alors même que les durées de préparations de chantier, souvent trop courtes, ne laissent pas le temps suffisant au bon déroulement de ces études.

Et pourtant, la compétence et la qualité de l'ingénierie de réalisation sont des piliers dans la construction des ouvrages d'art. La capacité à en combiner les différentes composantes est indispensable au succès des opérations. C'est bien à partir des plans, des méthodes et des matériaux conçus par ces équipes que nos compagnons construisent les ouvrages. Les différents viaducs de la route du Littoral ou le viaduc du métro de la ligne b de Rennes sont la parfaite illustration de cette synergie réussie entre matériaux, méthodes et études d'exécution.

Par ailleurs, l'ingénierie de réalisation constitue un vecteur important pour stimuler l'innovation. Dans notre domaine de la construction, les freins à l'innovation sont nombreux. On peut citer pêle-mêle le conservatisme normatif, l'aversion au partage des risques, le coût élevé des nouveaux matériaux, ou même l'efficacité technico-économique de certaines formes d'ouvrages d'art comme les bi-poutres mixtes, rendant particulièrement difficile l'émergence de solutions innovantes en phase de conception. En phase de construction en revanche, l'ingénierie de réalisation est à même de proposer et porter des innovations tout en maîtrisant le coût des travaux, entraînant ainsi avec elle l'ensemble des acteurs du projet.

Redonnons donc ses lettres de noblesse à l'ingénierie de réalisation, et encourageons une innovation raisonnée, maîtrisée et partagée, afin de faire perdurer l'esprit français de l'ingénieur ouvrages d'art.

FLORENT IMBERTYDIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE ET DE L'INNOVATION
RAZEL-BEC

OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

RD45 - UN NOUVEAU PONT SUR LIBÈRE © L. TAVARES - AUTEURS DE VUES





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
KLAUS OSTENFELD**

KLAUS OSTENFELD UN GRAND INGÉNIEUR
PASSIONNÉ

**24 GROUPE BRIAND : SOUS LE SIGNE
DE L'ENGAGEMENT TECHNIQUE
ET DU RESPECT DES HOMMES**



34

**RÉGÉNÉRATION
DU VIADUC
DE MARLY-LE-ROI**



40

**LEWIS AND CLARK
BRIDGE
(USA)**



48

**VIADUCS
PRÉFABRIQUÉS**
Métro de Riyadh Ligne 3
(Arabie Saoudite)



55

**UN NOUVEAU PONT
SUR L'ISÈRE**
RD45



62

**DOUBLEMENT
DU VIADUC DE LANGEAIS**
sur l'A85 à l'ouest de Tours



68

**SAUT DE MOUTON
DE BEZONS**
Réalisation des appuis



75

**REMPLACEMENT
DE PONTS RAILS**
à Saint-Gratien et Gennevilliers



80

**PASSERELLES MOBILES
FRANCHISSANT
LE GAVE DE PAU**
sur le site du Sanctuaire
Notre-Dame de Lourdes



88

**ÉCHANGEUR
DE NOGENT SUR MARNE**
Passage supérieur sur A4



94

**RENFORCEMENT
DU VIADUC DE CAREÏ SUD**
sur l'autoroute A8





RÉGÉNÉRATION DU VIADUC DE MARLY-LE-ROI RIEN DE PLUS FACILE **POUSSEZ** LE VIEUX TABLIER ET METTEZ-EN **UN NEUF**

Vinci Construction France, Soletanche Freyssinet et Baudin-Chateaufort ont remplacé dans les meilleures conditions le tablier existant de ce viaduc vieux de 135 ans où passent 150 trains par jour de la Ligne L du Transilien. Opération réalisée avec succès, en milieu urbain, avec seulement quatre périodes d'interruption de 48 heures sur 7 semaines. (Voir article page 34).



DIMENSIONNER LES FONDATIONS D'ÉOLIENNES EN MER



En jaune, la sous-structure, intermédiaire entre mât et monopieu de fondation, des 32 machines MHI Vestas, extension 2015-2017 de la ferme éolienne de Burbo Bank, au large de Liverpool (Angleterre), développée par Orsted.

© ORSTED

Calculer les fondations d'éoliennes offshore consiste à s'approcher au plus près de la réalité du milieu marin difficile à modéliser. Des recommandations adaptées au littoral français ont été publiées par le CFMS.

Les fondations sont la principale différence entre éoliennes marines et terrestres, selon le Syndicat des énergies renouvelables. Les machines et leur base sont mises à rude épreuve en milieu marin et intervenir à 10-20 km des côtes revient plus cher qu'à terre. Les fondations absorbent 20% environ du coût global d'un projet.

Les éoliennes offshore sont plus puissantes que les autres, jusqu'à 8 MW. Des modèles de 15 MW sont en développement.

Un groupe de travail spécifique a été mis sur pied en 2012 au sein du Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS). Par ailleurs, le projet national Solcyp 2008-2015 a mené des recherches sur les pieux de fondation

soumis à des sollicitations cycliques. Il a été repris par France énergies marines⁽¹⁾ et se concentre sur l'éolien offshore (Solcyp+, 2017-2020). Les participants à ces groupes ont fait part de leurs travaux à la journée technique du 6 décembre où étaient présentées les *Recommandations pour la conception et le calcul des fondations d'éoliennes offshore* (CFMS, août 2018).

Le document de 270 pages rassemble les connaissances existantes et les adapte au contexte et habitudes français⁽²⁾. Il incorpore les enseignements du projet Solcyp sur les sols comme la craie, les sables carbonatés, les calcarénites (grès), présents sur le littoral. Il s'appuie sur des normes internationales dont la IEC 61400-3, traduite en NF EN 61400-3

sur les exigences de conception des éoliennes en pleine mer (2009).

→ **Études de terrain primordiales**

Les spécialistes des fondations d'éoliennes en mer veulent les dimensionner au plus juste selon ce qu'ils en connaissent à l'heure actuelle. Ils visent la sécurité des implantations et leur maintien en bon état.

Le calcul des charges et des sollicitations sur une fondation d'éolienne dépend de la dynamique de la structure de la machine et des interactions entre sol et structure. Ce couplage est à prendre en compte dès la préparation du projet.

« *Le mode de fondation est la première chose que nous choisissons dans un projet et après, nous nous y tenons,* développe Patrick Berthelot (PBe Conseils), président du groupe de travail CFMS. *C'est pourquoi les études de terrain sont primordiales.* »

Certaines charges cycliques spécifiques aux fondations offshore sont difficiles à cerner : tempêtes, vagues qui peuvent s'enchaîner. Les méthodes tentent d'approcher au plus près une certaine réalité.

→ **Éviter l'excitation des fréquences**

La machine, elle-même, génère des charges cycliques. « *Les 3 pales ne font jamais exactement le même poids,* » précise Patrick Berthelot, également coordinateur du comité de rédaction des recommandations avec Françoise Ropers (consultante Terrasol) et Alain Puech (Fugro Geo Consulting). D'où un petit déséquilibre permanent auquel s'ajoute le passage devant le mât à chaque rotation. La mer et le vent accentuent ces phénomènes.

DATE À RETENIR :
18 JUIN

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique organise le 18 juin (lieu à préciser) une conférence sur l'aperçu des défis de la géotechnique offshore.

www.cfms-sols.org

Dans l'interaction sol-structure, veiller à ce que : « *Les fréquences de la structure globale de l'éolienne soient éloignées de celles auxquelles est soumis l'ouvrage, liées à la rotation des pales, au vent, aux vagues, etc.,* » rappelle Françoise Ropers. Si elles entrent en résonance (plage d'excitation), cela peut conduire à l'emballement et à l'arrachement.

→ **Monopieu de 10 m de diamètre**

Le monopieu est la fondation offshore la plus courante. Son diamètre, jusqu'alors de 6-9 m, s'approche des 10 m voire plus mais il arrive un moment où le tube métallique, trop lourd et encombrant, devient difficile à installer.

Recommandations sur www.cfms-sols.org/documentation/normes-et-recommandations

⁽¹⁾ Partenariat entre le public et le privé sur les énergies marines renouvelables.

⁽²⁾ Les ancrages d'éoliennes flottantes ne sont pas traités.

SIX FERMES OFFSHORE EN FRANCE

Six parcs éoliens en mer sont lancés sur les côtes françaises suite à deux appels d'offres par lesquels l'État s'est engagé à racheter la production électrique*. Ces fermes de 62 à 80 éoliennes de 6 ou 8 MW/unité totalisent 2 900 MW.

Pour la suite, la programmation pluriannuelle de l'énergie (cf. page suivante) ne propose que 5 GW en service en 2028 contre 10 attendus par les professionnels qui ont investi pour être compétitifs.

* Cf. *Travaux* n°944, septembre 2018, page 8.

TRAINS : DU DIESEL À L'HYDROGÈNE

Le premier train à hydrogène SNCF pourrait rouler en 2022. Le ministère des Transports veut que le matériel au diesel, soit 20% du parc de locomotives, michelines, engins de manœuvre et de chantier, soit à l'hydrogène en 2035. Le rapport de Benoît Simian, député, remis fin novembre, va en ce sens. Reste à élaborer un cahier des charges avec les Régions.

VOLUME DE TP : +7% EN 2018

Le volume de travaux publics progresse de 7% en 2018 (source FNTP). En 2017, le chiffre d'affaires a atteint 38,6 milliards d'euros en métropole (+4,4%) et 30 milliards, hors de l'hexagone (+8%). La route réalise 35% de son chiffre à l'international, les travaux électriques, plus de 27%, les fondations spéciales, travaux souterrains, eau et environnement, 9,5%, les ouvrages d'art et équipement industriel, 9,3%. La clientèle reste en majorité publique à 41% du chiffre d'affaires avec les collectivités territoriales, 17,5% avec les grands opérateurs de transport et d'énergie, et 3,2%, l'État.

MOINS D'ÉNERGIES FOSSILES, PLUS DE CHALEUR RENOUVELABLE ET D'ÉLECTRICITÉ



© EFC SOLAIRE

À Lourdes (Hautes-Pyrénées), 1 000 m² de capteurs photovoltaïques, en autoconsommation, ont été installés sur une toiture.

Les 2^e et 3^e périodes de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ont été dévoilées le 27 novembre, par le gouvernement. Celle-ci fait partie de la stratégie française pour le climat et l'énergie aux côtés de la stratégie nationale bas carbone. Instituée en 2016⁽¹⁾ conformément à la loi de transition énergétique pour la croissance verte (n°2015-992), elle est en phase de consultations. La PPE est définie jusqu'en 2023 puis 2028. Sur la 1^{re} période, dominant la réduction des énergies fossiles dans l'habitat dont le raccordement de 3,4 mil-

lions de logements à un réseau de chaleur urbain.

→ Fonds chaleur en hausse

La chaleur qui accapare la moitié de la consommation d'énergie en France, devra être à 38% d'origine renouvelable - géothermie, biomasse, récupération, etc. - en 2030, selon la loi de transition énergétique. Ce qui se traduit dans la PPE par 196 TWh de chaleur renouvelable en 2023 puis 247 en 2028, contre 142 en 2016.

Le fonds chaleur qui soutient les installations vertueuses, passe de 245 millions

d'euros en 2018 à 315 en 2019. Il atteindra un plafond de 350 millions en 2020 et 2021, avant de redescendre à 339 en 2022.

Le transport n'est pas en reste dans l'objectif 2023 avec 20 000 camions au gaz et 1,2 million de voitures électriques. La stratégie pour l'énergie et le climat veut « arriver en 2040 à 100% des ventes de véhicules particuliers zéro émission » (électriques).

→ L'électricité renouvelable double d'ici 2028

En 2028, notre consommation finale d'énergie devra avoir baissé de 14%, avec un accent sur les sources fossiles. Les puissances installées d'électricité renouvelable devraient croître de 50% d'ici 2023 et doubler en 2028, par rapport à 2017, pour atteindre 40% de la production totale en 2030.

Le nucléaire comptera pour 50% de la production d'électricité en 2035. Ce qui suppose la fermeture de 14 réacteurs d'ici 2028. La stratégie française pour l'énergie et le climat conserve l'option de nouveaux réacteurs pour sécuriser l'approvisionnement sur le long terme. ■

⁽¹⁾ Cf. *Travaux* n°937, novembre 2017, page 7.

TRANSPORT : VERS LA FIN DES ZONES BLANCHES ?

Plus personne ne devrait être exclu d'un moyen de transport autre que la voiture conduite par une seule personne. Le projet de loi d'orientation des mobilités (Lom) entend « supprimer les zones blanches de la mobilité en s'assurant que, sur 100% du territoire, une autorité organisatrice est en charge de mettre en place des offres de transport alternatives à la voiture individuelle ».

À côté de la combinaison des modes de transport facilitée par le numérique, figure la possibilité pour toute collectivité locale de devenir "autorité organisatrice de la mobilité" (AOM). Cette compétence s'exerce sur la base d'un comité de partenaires locaux. La Région coordonnera les différentes AOM.

→ Afift : 500 millions de plus par an

Les investissements dans les infrastructures, dévoilés cet été⁽¹⁾, sont confirmés.

Toutefois, « les recettes de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (Afift) doivent être sécurisées », demande Bruno Cavnagné, président de la Fédération nationale des travaux publics. Le texte de loi mentionne 500 millions d'euros en plus par an pour l'Afift à partir de 2020 sans préciser la source⁽²⁾.

« Le rôle du Comité d'orientation des infrastructures doit être renforcé avec une mission d'études, de suivi, d'alerte et de programmation », a ajouté M. Cavnagné.

Voir aussi www.gart.org/nos-adherents/autorites-organisatrices-de-mobilite ■

⁽¹⁾ Cf. *Travaux* n°944, septembre, page 8.

⁽²⁾ Cf. *Travaux* n°940, mars, page 8.



© COLAS RAIL

Les TP réalisent 44% de leur CA hors de l'hexagone. Ici, ligne TGV entre Tanger et Kenitra (Maroc).



© PARC NATUREL DU PILAT

Le Parc naturel du Pilat (Rhône et Loire) donne priorité au partage de véhicules. Ici, aire d'attente piétonne pour autostop participatif.

LES COLLECTIVITÉS LOCALES CONTRIBUENT DAVANTAGE À L'OBSERVATOIRE NATIONAL DES ROUTES

L'État a investi entre 30 000 et 40 000 euros par kilomètre de route par an contre 5 000-6 000 euros pour les départements, entre 2013 à 2017, hors grands travaux.

En fonctionnement (entretien courant), l'État dépense 20 000-25 000 euros/km contre 2 000-3 000 euros pour les départements, hors personnel.

Ces chiffres émanent du 2^e rapport de l'Observatoire national des routes (ONR)⁽¹⁾. « Les différences de coût peuvent s'expliquer par la circulation et le nombre de poids lourds », a souligné Yves Krattinger, président de l'Institut des routes, des rues et infrastructures pour la mobilité. Une route de montagne revient plus cher qu'une dans les Landes. Plus le trafic est élevé, plus il faut de surveillance. »

De plus, les chiffres de l'État sont basés sur des données publiques tandis que ceux des départements émanent d'enquêtes, plus subjectives.

« L'observatoire sert au gestionnaire qui veut faire le point sur son réseau, il exa-

mine le décalage avec ces chiffres, » rappelle David Zambon, directeur de l'Idrim.

→ Données sur l'état du réseau départemental

Le 2^e rapport se base sur un échantillon de 49 départements en 2015-2017 contre 27 en 2013-2014. Pour la 1^{re} fois, ils se sont exprimés sur l'état de leur réseau.

Plus de la moitié des routes sont en bon état qu'elles dépendent de l'État (52%) ou des collectivités (57%). De 17 à 18% des routes nationales sont en mauvais état contre 11-12% des départementales. Un tiers « nécessite un entretien », quelque soit le maître d'ouvrage.

→ Près de 62 400 ponts sur les RD

Les dépenses routières incluent les ouvrages d'art. Le réseau national non concédé de 12 000 km abrite 18 000 ouvrages d'art dont 12 000 ponts⁽²⁾. Le réseau départemental - 56 départements pour lesquels l'ONR avait ces données - compte 112 893 ouvrages dont 62 389 ponts, sur 203 298 km.

Sur 43 départements (données fiables), près de 64% des ponts sont déclarés en bon état structurel contre plus de 70% pour ceux de l'État. À l'autre bout, 2% ont leur capacité portante menacée, 1,1% pour l'État. Entre-deux, la structure de 27,5% doit être réparée et pour 6,7%, elle est altérée, en départements. L'État fait un peu mieux avec 23,1% et 5,5%.

→ Arrivée des métropoles

En 2018, 65 départements participent à l'observatoire ainsi que 7 métropoles. Une centaine d'intercommunalités y figureront à terme. « C'est un travail de longue haleine, observe David Zambon. La compétence voirie étant facultative pour elles, certaines y incluent l'éclairage public, la propreté. Les historiques sont parfois difficiles à reconstituer ».

56 pages du rapport de l'ONR sur www.idrim.com ■

(1) Cf. Travaux 922, mars 2016, page 10.

(2) Reste : murs de soutènement.

BINÔMES GAGNANTS RÉSEAUX-VOIRIE

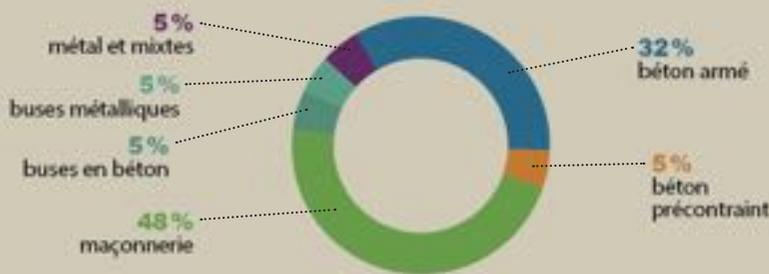
La coopération entre canalisateur et constructeur de voirie urbaine est mise en valeur lors des olympiades des métiers organisées par Les Canaliseurs et Routes de France, au niveau national. Benoît Bouchez (réseaux) et Damien Duvivier (voirie) de la région Hauts-de-France ont remporté la médaille d'or. Médaille d'argent : Corentin Vuillemin et Léo Marandet, Bourgogne/Franche-Comté. Médaille de bronze : Nicolas Dailleux et Alexis Chevillon, Pays-de-la-Loire.



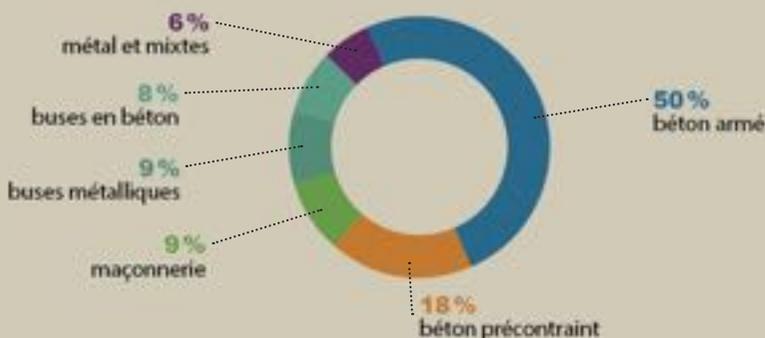
© LES CANALISATEURS/RUTES DE FRANCE

Équipe canalisateur et constructeur de voirie de moins de 23 ans pendant la compétition.

RÉPARTITION EN NOMBRE DES PONTS DES DÉPARTEMENTS PAR FAMILLE



RÉPARTITION EN NOMBRE DES PONTS DU RRN



Les ponts en maçonnerie représentent 48% des ouvrages sur les routes de 43 départements. Ils ne sont que 9% sur les nationales où dominent ceux en béton, armé ou précontraint.

RECTIFICATIF

Dans l'article "La modélisation et le numérique contribuent à mieux protéger des chutes de blocs", paru dans Travaux n°945, page 9, nous avons écorché le nom de Lucas Meignan, président de Géolithe. Nous prions M. Meignan de nous en excuser et nos lecteurs, de rectifier.

Par ailleurs, il fallait nuancer son propos en considérant que « Du fait de la forte évolution des systèmes innovants de surveillance, il arrive que des dysfonctionnements mineurs soient plus fréquents que sur des parades traditionnelles, à l'heure actuelle. » Le projet national "Chutes de blocs, risques rocheux et ouvrages de protection", créé par un groupe issu de la filière, est piloté en interne. La gestion courante est confiée à l'Irex.

TUNNELS AUTOROUTIERS À SYDNEY

Les travaux de deux tunnels reliant les autoroutes M4 et M5 à l'est de Sydney (Australie) ont commencé et devraient se terminer en 2023.

Le chantier des deux ouvrages de 7,5 km à 4 voies a été confié à la joint-venture Lendlease Samsung Bouygues. Il s'agit du lot 3A de l'autoroute Westconnex de 33 km.

BIM EN DÉCONSTRUCTION

Le Bim entre dans la déconstruction de bâtiment. Il devient Rim (Resource Information Modeling). Suez et Resolving, partenaires dans Resolving Building Innovation, ont enrichi leur solution Batirim, modélisation des flux de produits et matières, d'une plateforme collaborative. Suivront des fiches de commercialisation des produits issus du recyclage.

ACCORD EDF-EGIS

Egis et EDF ont signé un accord de deux ans, début octobre, pour « saisir ensemble les opportunités internationales en ingénierie thermique, transport d'énergie, réseaux de chaleur, hydroélectricité, smart city » dans une dizaine de pays.

AUTO- CONSOMMATION SOLAIRE EN COLLECTIVITÉS

Engie et Casino à travers sa filiale Greenyellow ont créé Réservoir Sun, société dédiée à l'autoconsommation de l'électricité solaire produite en toiture de supermarché ou d'ombrière de parking, par des entreprises et des collectivités. Objectif : 100 MWh par an au rythme de 1 MW maximum/emplacement.

EFFACEMENT D'UN NŒUD FERROVIAIRE AU NORD DE STRASBOURG



© SNCF RÉSEAU GRAND EST

Travaux sur une voie en provenance de Strasbourg.

Le nœud ferroviaire au nord de Strasbourg (Bas-Rhin) est en voie d'être résorbé. Les travaux pour fluidifier le trafic en direction de Vendenheim, à une douzaine de kilomètres, ont été lancés le 15 octobre. Ils se terminent en juin 2022. Actuellement, les voies passent de 4 voies à 3, la 4^e se déviant vers la gare de triage de Hausbergen. Une 4^e voie sera rétablie, allant tout droit, la bifurcation restant en place sur le côté. Il faut donc construire ce tronçon de 6 km, rénover 2 km existants, remanier les équipements ferroviaires, démolir des bâtiments, reprendre les systèmes d'écoulement des eaux et créer un bassin de rétention, étendre les plates-formes à Mundolsheim et Cronembourg situées sur le trajet.

Un mur de soutènement est monté à Mundolsheim, avec talus plantés et espaces de co-pâturage. En 2020, aura lieu l'élargissement d'un pont-rail au-dessus de voies et le ripage d'un tablier. Un mur antibruit sera construit sur 400 m (2021).

SNCF Réseau veut ainsi en finir avec les retards de trains régionaux. Des TER, des trains de marchandises, des TGV, empruntent ces 4 voies rapides, sur deux corridors très fréquentés, est-ouest, nord-sud.

→ 6 TGV par heure et par sens

À partir de 2022, il circulera 14 TER par heure et par sens au lieu de 10, 6 TGV au lieu de 5, et 3 trains de marchandises au lieu de 2.

Les travaux sont planifiés surtout de jour. L'opération est divisée en cinq zones et douze phases d'intervention (source : *LeMoniteur.fr*, 17 octobre).

→ Aides de l'État et de l'Europe

Études et travaux sont estimés à 117 millions d'euros. L'État et la Région paient chacun 41 millions dans le cadre du contrat de plan 2015-2020. Les études relevaient du contrat 2007-2013. L'Union européenne apporte 25 millions d'euros au titre du programme transeuropéen de développement de transport (RTE-T). Restent 10 millions à régler par SNCF Réseau. ■

BARRAGE DE 420 MW AU CAMEROUN

Le chantier du barrage de Nachtigal Amont, à 65 km au nord-est de Yaoundé (Cameroun), a été lancé officiellement mi-novembre. En 2023, la centrale hydroélectrique de 420 MW devrait être en service.

NGE Contracting a signé en août le marché de conception, construction du génie civil, de 400 millions d'euros. Cela comprend études et réalisation, le tout sur cinquante-sept mois. Le mandataire travaille avec Besix et SGTM (barrages au Maroc).

Le contrat est passé avec Nachtigal Hydro Power Company, concessionnaire pour trente-cinq ans, créée en 2016, détenue par EDF (40%), la République du Cameroun (30%), la Société financière internationale (30%, Banque mondiale), Africa 50 (fonds africains) et Stoa (Caisse des dépôts et Agence française de développement).

→ Digue principale de 1450 m

Le barrage est implanté sur la Sanaga au niveau des chutes de Nachtigal Amont. Il comprend une digue de 1450 m d'une

hauteur maximale de 14 m, et une secondaire de 550 m, le tout couvrant 421 ha. Le canal entre barrage et cen-

trale hydroélectrique mesure 3,3 km de long (débit 980 m³/h). La centrale abrite 7 groupes de 60 MW au fil de l'eau. ■



La centrale occupe 421 hectares.

© NGE CONTRACTING

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

OUVRAGES D'ART

+ SUPPLÉMENT "SPÉCIAL 100 ANS" OFFERT

932

SOLS ET FONDATIONS

933

SPÉCIAL BIM 2

934

VILLE ET PATRIMOINE

935

INTERNATIONAL

936

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

937

SPÉCIAL GRAND PARIS

938

TRAVAUX SOUTERRAINS

939

OUVRAGES D'ART

940

SPÉCIAL INNOVATION

941

SOLS ET FONDATIONS

942

ÉNERGIE

943

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

944

INTERNATIONAL

945

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

946

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

JE COMMANDE LES NUMÉROS

SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

932 x 1 | 937 x 1 | 942 x 1
933 x 1 | 938 x 1 | 943 x 1
934 x 1 | 939 x 1 | 944 x 1
935 x 1 | 940 x 1 | 945 x 1
936 x 1 | 941 x 1 | 946 x 1

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour les numéros de la revue TRAVAUX le prix est de 15 € au lieu de 25 € HT)

Offre réservée aux abonnés de la revue TRAVAUX. Cette offre est valable jusqu'au 31/12/2014. L'offre est réservée aux abonnés de la revue TRAVAUX. Les numéros de la revue TRAVAUX sont disponibles à l'achat séparément. Les numéros de la revue TRAVAUX sont disponibles à l'achat séparément. Les numéros de la revue TRAVAUX sont disponibles à l'achat séparément. Les numéros de la revue TRAVAUX sont disponibles à l'achat séparément.

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 EVIDENCE

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 EVIDENCE

Je régle à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture accusée

Cote, signature et cachet de l'entreprise obligatoires

CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE PLUS GRANDS

Les Chantiers de l'Atlantique ont gagné 30 % de surface, soit 17 000 m², sur l'aire de pré-montage de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). Le chantier a duré de juillet 2017 à novembre 2018. Le chemin du portique de 1 400 tonnes est prolongé de 135 m.

Études et travaux - génie civil, fondations spéciales, terrassements, traitement des sols, VRD - ont été confiés à Charier.

Pour faciliter cette extension, la Communauté d'agglomération de la région nazairienne et de l'estuaire avait modifié l'accès au boulevard des Apprentis.

SURVEILLANCE D'EXCAVATION

Groundforce a utilisé pour la 1^{re} fois le système de surveillance d'état sans fil Flatmesh (Senceive) sur l'agrandissement du Royal College of Music de Londres (Angleterre).

Il suffit d'un contact entre un axe de charge et un nœud du système pour que tous les axes soient connectés.

Un seul axe a besoin d'être en ligne visuelle directe avec le module passerelle.

Le comportement des bâtiments entourant la cour creusée sur 7 m et en contact avec les butons hydrauliques, doit être surveillé. Chantier confié à Gilbert-Ash.



Le Royal College of Music (Londres) est agrandi par le sous-sol.

PROMOUVOIR LES BIENFAITS DES INFRASTRUCTURES

La Fédération nationale des travaux publics a décerné cinq "victoires de l'investissement local" à des projets ayant un impact socio-économique positif sur le long terme⁽¹⁾ : « Il s'agit de porter un regard neuf sur la façon dont les ouvrages et les infrastructures peuvent contribuer à un avenir prospère, viable et vivable, » écrit-elle.

Pour les sélectionner, la FNTP s'est appuyée sur les fédérations régionales. Le calcul de l'intérêt socio-économique a été confié à Citizing Consulting.

Un projet à impact socio-économique positif génère une valeur collective : gain de temps, économie de carburant, air plus sain, moins de bruit, etc.

→ 27 millions d'heures gagnées

Le jury des Victoires a attribué le grand prix à la mise à 2 fois 2 voies des routes départementales entre Rennes (Ille-et-Vilaine) et Angers (Maine-et-Loire) qui génère 315 millions d'euros, une fois les coûts soustraits (fin du chantier : 2020). Comme les conducteurs roulent plus vite et dépassent plus facilement, ils gagnent 27 millions d'heures sur 46 ans (durée prise en compte). D'où plus de productivité des entreprises, plus de temps pour les loisirs, soit un gain de 381 millions d'euros. La baisse des accidents de la route - dont 114 morts évitées -, économie 180 millions.

Du côté des inconvénients, les émissions de gaz à effet de serre et de polluants dues à la plus grande vitesse et au trafic accru, soit 18,3 millions à retrancher. Travaux et entretien se montent à 225 millions pour 63 km (2^{de} moitié du parcours seulement prise en compte).

→ Un tramway vertueux à Saint-Étienne

La victoire "développement économique" a distingué l'allongement de 4,3 km de la 3^e ligne de tramway de l'agglomération de Saint-Étienne (Loire). Gain socio-économique : 35 millions d'euros sur 125 ans⁽²⁾. Dans la balance, 68 millions d'euros investis face aux cinq minutes gagnées par trajet en bus, le report de la voiture sur les transports en commun, moins de CO₂ et de polluants, sans oublier la baisse du bruit et des accidents.

→ Aménager les abords d'un complexe sportif

Le prix spécial du jury est allé à la construction d'une grande usine d'eau potable pour remplacer trois existantes, choix de Trigone, syndicat mixte de pro-



Bilan positif de l'élargissement des routes entre Rennes et Angers, malgré un trafic accru. Ici, la RD 775 à 4 voies, dans le Maine-et-Loire.

duction d'eau potable du Gers. L'analyse évoque des coupures d'eau plus rares, des économies d'eau, la valorisation des boues et du charbon filtrant.

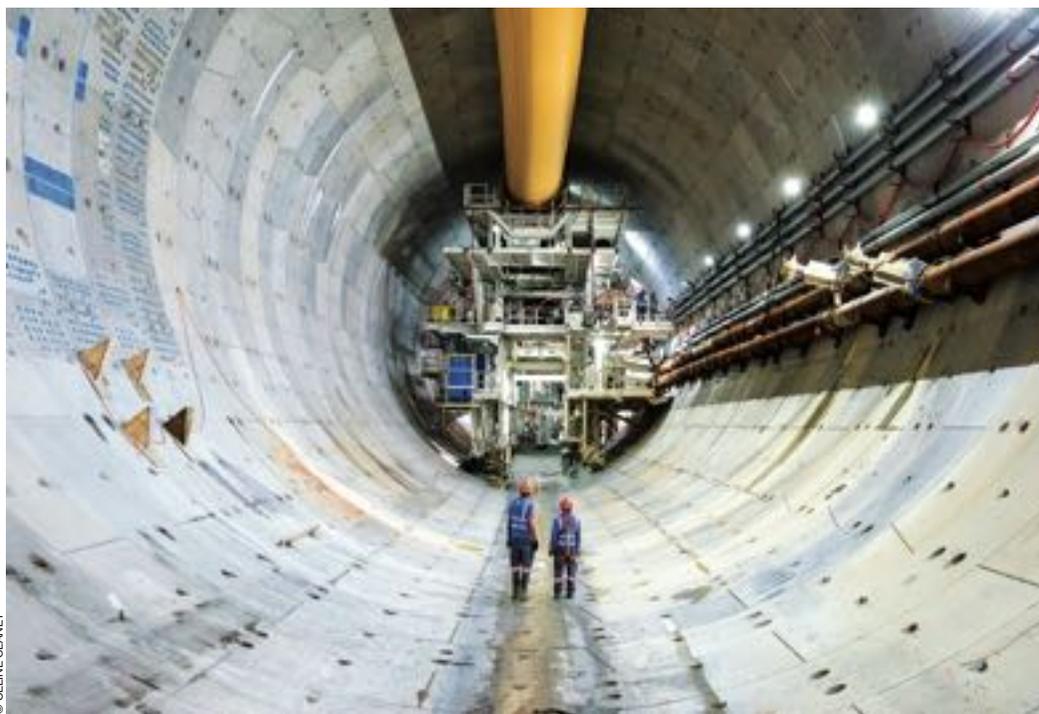
Victoire de la cohésion territoriale : aménagement des abords du complexe sportif Georges Hébert à Reims (Marne). Victoire de la transition écologique : unité

de biogaz injecté à Angers (La Baumette). ■

⁽¹⁾ Remises au Salon des maires fin novembre, à Paris.

⁽²⁾ La période de référence cumule le chantier (2015-2020), les 50 ans de mise en service et 70 ans où les avantages sont stabilisés sauf les émissions de GES.

TROPHÉES DES TP : HONNEUR AUX TUNNELIERS



© CELINE CLANET

Bouygues TP remporte le grand prix des trophées pour un indicateur d'effort du tunnelier. Ici, travaux dans un tunnel sous-marin à Hong-Kong.

Les tunneliers creusent des terrains dont la nature comporte une part d'aléatoire. Bouygues TP a conçu un indicateur « traduisant l'effort d'un tunnelier pour abattre le terrain ». Ainsi est-il possible de mieux choisir les outils et les méthodes. L'indicateur a été mis au point à partir de séries d'informations sur chantiers passés et récents. Le modèle déduit a été confronté à d'autres chantiers. L'analyse montre « sa cohérence avec les études géologiques et les ana-

lyses de laboratoire en sortie des stations de boues et des résidus d'excavation. »

→ Doublure de canalisation

Grâce à cet indicateur, 1^{re} étape du projet Carsby+ pour optimiser la production d'un tunnelier, Bouygues TP a remporté le grand prix des trophées TP de la Fédération nationale des travaux publics, en décembre⁽¹⁾.

La filiale de Bouygues Construction avait aussi proposé, dans la catégorie Technique et recherche, la réalisation de rameaux inter-tubes de tunnel de 14 m au micro tunnelier. Le lauréat de cette catégorie est Axéo TP avec le Viscolining, un tube de réparation de canalisation qui se plaque sur la paroi intérieure par mise sous pression.

→ Travail en atmosphère hyperbar

Dans la catégorie Matériels et usages, Ceccon TP a été distinguée pour le service Rezzoprocess. Un smart phone filme en 3D les réseaux dont les non répertoriés, découverts lors d'une tranchée. Ainsi une entreprise peut-elle compléter ses plans de recollement par ce qu'elle enregistre. Parmi les nommés dans cette catégorie, citons Bessac pour un micro tunnelier rétractable simplifiant sa récupération (chantier à Singapour). Bessac a aussi été lauréat du trophée Prévention. Il s'agit d'une assistance à la

protection en atmosphère hyperbare. Les opérateurs d'un tunnelier sont obligés de travailler hors zone protégée, pour une réparation ou la maintenance. Bessac figure également dans les nommés "Initiatives ressources humaines" pour son école de travaux souterrains. Le lauréat en est Colas IDF Normandie pour son permis d'utiliser de l'outillage dangereux.

→ Atelier mobile de recyclage

Encore Bouygues TP dans les nommés "Performance environnementale et énergétique" aux côtés d'Eiffage Route et d'Eurovia. Le lauréat de la catégorie est le groupe Marais pour Recystreet, procédé de valorisation des déblais de chantier sur place. Véritable atelier mobile, il va jusqu'à la fabrication d'un mortier autoplaçant ou d'un béton de scellement. Le groupe espère fabriquer 30 machines par an dans cinq ans.

Redwit a remporté le trophée Jeunes entreprises pour son suivi par capteurs des heures d'utilisation de camions et de leur localisation.

Enfin, le jury a eu un coup de cœur pour les cubes Zest, capables de rendre l'eau potable, de fournir de l'électricité et un accès internet. Intéressant hors réseaux. ■

⁽¹⁾ Lors de la journée de l'innovation.

PASSERELLE DE LIAISON

Une passerelle relie Chessy et Dampmart (Seine-et-Marne) par dessus la Marne.

L'ouvrage métallique de 78 m de long repose sur des culées sur 8 pieux à 20 m de profondeur. Cemex a livré des bétons spéciaux, adaptés aux sols humides et acides, pour les fondations, les piliers des rampes d'accès ainsi que pour le radier support de la grue de levage de la passerelle.



© CEMEX

Fondations à 20 m de profondeur.

PELLE DÉDIÉE AU RECYCLAGE

La pelle sur pneus Hydradig existe dans une version adaptée au recyclage des déchets. La visibilité du conducteur est améliorée par le logement des composants dans le châssis inférieur, sauf le distributeur hydraulique. Elle roule à 40 km/h, est dotée de trois modes de direction et d'une inversion de sens de marche. Elle lève jusqu'à une tonne à portée maximale. JCB l'a présentée à Pollutec (Lyon, fin novembre).



© JCB

La pelle peut lever 1 tonne.



© E. PEROU

Grâce à Rezzoprocess, une entreprise filme les réseaux dans le sous-sol et les reporte sur ses plans.

PISCINE RECONSTRUITE

Aulnay-sous-Bois (Seine-Saint-Denis) va abriter un des 3 bassins d'entraînement de natation des jeux olympiques de 2024. La ville démolit le stade nautique de Coursaille et installe à la place un grand complexe à vocation de compétition et de loisirs. L'ancienne piscine de 1968 avait été fermée en 2014 à cause d'une fissure dans une poutre maîtresse. Le nouvel équipement dont les travaux ont commencé fin 2018, devrait être prêt pour 2020. Il comporte une récupération de chaleur sur un centre de données numériques voisin et sur les eaux usées de l'établissement. De plus, la toiture est revêtue d'une moquette solaire thermique qui fournira de l'eau chaude.

Coût du centre : 35,8 millions d'euros y compris la démolition, le désamiantage et la dépollution du terrain. Il est conçu, financé et géré en délégation de service public par Espacéo (Spie Batignolles concessions). Les travaux sont confiés à Spie Batignolles Île-de-France. Architecte : Chabanne & Partenaires. Bureau d'études : Keo.



© CHABANNE & PARTENAIRES

Centre aquatique à récupération de chaleur et eau chaude solaire.

GÉOTEXTILE MANGEUR D'HYDROCARBURES



© TENCATE

Test de l'aquatextile sous une chaussée perméable aux Pays-Bas.

Le Geoclean empêche les hydrocarbures issus de la circulation routière de s'infiltrer dans le sol et donc, de polluer les eaux de ruissellement. Ce géotextile se pose sous une chaussée, un parking non goudronné, dans un fossé,

sous une plate-forme de travaux ou une voie ferrée.

Selon Tencate qui l'a lancé à Pollutec (Lyon, 27-30 novembre), l'aquatextile retient, même en cas de grosse pluie (65 mm/h), plus de 99,9% des huiles de

moteur qui représentent de 1 à 5 kg par kilomètre sur route très fréquentée.

→ En deux couches

La 1^{re} couche, bleue, capte la pollution courante. Ses fibres contiennent des microorganismes qui vont la dégrader. En cas de pollution accidentelle, la 2^{de} couche, de couleur blanche, traite le surplus de la même façon. Cet ensemble fonctionne sur la durée de vie de l'infrastructure, en conditions normales. ■



© TENCATE

La couche bleue absorbe et dégrade les huiles courantes, la blanche s'occupe du surplus.

TOITURE VÉGÉTALISÉE ET SOLAIRE

Comment faire pour que l'assemblage bâtiment-végétation dure longtemps ?

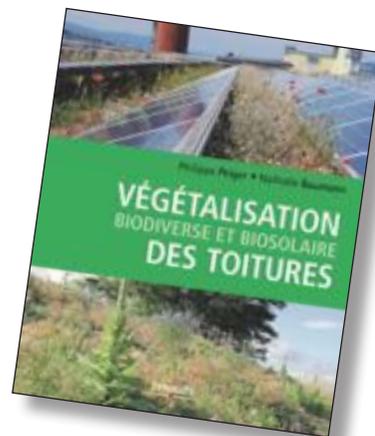
L'ouvrage *Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures* souligne les précautions à prendre et ce qu'il ne faut pas faire. Centré sur l'aménagement végétal des toits, il aborde la combinaison jardin et capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques.

L'Agence de l'eau Seine-Normandie, qui aide ces aménagements, est partenaire du livre de 270 pages illustrées. Patricia

Blanc, directrice générale, souligne que c'est un moyen de retenir les eaux de pluie à la parcelle et de refroidir le bâti l'été. Elle le préface aux côtés d'Alain Bougrain-Dubourg (Ligue de protection des oiseaux) et Laurence Abeille (députée).

Le guide est rédigé par Philippe Peiger, paysagiste expert en agro-écologie urbaine, et Nathalie Baumann, écologue urbaine suisse, experte en biodiversité appliquée aux infrastructures vertes.

www.eyrolles.com ■



INCORPORER LES GRANULATS RECYCLÉS DANS LE BÉTON

Comment recycler le béton dans le béton contient les recommandations techniques de base.

L'ouvrage de 74 pages s'appuie sur les conclusions de *Le béton recyclé* (dirigé par François de Larrard et Horacio Colina, 792 pages téléchargeables sur lfstar.fr). Ces bonnes pratiques sont le fruit du projet national Recybeton (2012-2018) avec 47 acteurs du secteur.

Les recommandations veulent accompagner l'utilisation des granulats recyclés.

Elles précisent comment sortir du cadre des règles de l'art sans se mettre en porte-à-faux, comment s'ajuster aux normes applicables, les précautions sur la composition chimique et mécanique des constituants.

Elles constatent que l'analyse du cycle de vie est défavorable aux bétons de granulats recyclés.

La réutilisation suppose un écosystème industriel de proximité.

www.pnrecybeton.fr ■



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 11 AU 13 MARS

12^e rencontres géosynthétiques

Lieu : Nancy

www.rencontresgeosynthetiques.org

• 18 AU 20 MARS

Vulnérabilité et résilience des réseaux de transport

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)

www.biennaledesterritoires.fr

• 20 ET 21 MARS

Génie civil au cœur des mutations techniques et numériques

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)

www.afgc.asso.fr

• 20 ET 21 MARS

Digues 2019 : systèmes et ouvrages de protection contre les inondations

Lieu : Aix-en-Provence

(Bouches-du-Rhône)

www.cfg.asso.fr

• 25 ET 26 MARS

Assises nationales des risques naturels

Lieu : Montpellier (Hérault)

www.cerema.fr

• 26 AU 28 MARS

Semaine internationale du transport et de la logistique

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

www.sitl.eu

• 27 AU 29 MARS

Symposium Iabse : pour un environnement construit résilient (infrastructures)

Lieu : Guimarães

(Nord-Ouest Portugal)

www.iabse.org

• 2 ET 3 AVRIL

Bim World

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

www.bim-w.com

FORMATIONS

• 19 AU 21 MARS

Échangeurs thermiques : de la technologie au dimensionnement

Lieu : Aix-les-Bains (Savoie)

<http://greth.fr>

• 27 AU 29 MARS

Management d'équipes dans le BTP

Lieu : Paris

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

• 1^{er} ET 2 AVRIL

Fondamentaux de la maîtrise foncière

Lieu : Paris

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

• 1^{er} AU 3 AVRIL

Nouvelles exigences réglementaires et environnementales en projets maritimes et fluviaux

Lieu : Paris

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

• 3 AU 5 AVRIL

Digues en site portuaire

Lieu : Paris

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

• 8 AU 10 AVRIL

Maîtriser les effets de l'eau dans les sols

Lieu : Paris

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

NOMINATIONS

AFITF :

Jean Abèle est devenu secrétaire général de l'Agence de financement des investissements de transport de France après Dominique Etienne.

ASSEMBLÉE NATIONALE :

Didier Martin mène le groupe de travail sur la création de l'agence nationale de cohésion des territoires.

CDG EXPRESS :

La société de gestion de la ligne de train rapide entre Paris et l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle (2023), enregistrée en octobre, est présidée par Grégoire Marlot.

ONR :

Tristan Hirel remplace Magali Dupetit en tant que chargé de projet de l'Observatoire national des routes.

SYNTEC-INGÉNIERIE :

Pierre Verzat (Systra) a été élu président de Syntec-Ingénierie, à la suite de Nicolas Jachiet.

UNICEM BRETAGNE :

Médéric d'Aubert succède à David Henry (élu président de l'Unicem) à la tête du collège des producteurs de granulats de Bretagne.



Membre du Réseau Congés Intermédiaires BTP

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

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

La CNETP regroupe plus de **7 700 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **260 000 salariés**.

Nos coordonnées :

· Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

· Par Internet : www.cnetp.fr

· Par mail : sur www.cnetp.fr, lien [écrire un e-mail](#)

· Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.09.00



KLAUS OSTENFELD

UN GRAND INGÉNIEUR PASSIONNÉ

Ce grand Danois est, comme beaucoup de ses compatriotes, d'envergure internationale. Il a exercé plusieurs années en France chez Europe Études et aux États-Unis. Ses réalisations et sa renommée sont sans frontières. Son œuvre est remarquable. Qui ne connaît pas le pont de l'Øresund qui relie le Danemark à la Suède, et le pont du Storebælt qui relie le Danemark d'est en ouest, les projets fabuleux du pont du détroit de Gibraltar et de celui de Messine ? On ne saurait oublier les inventions dont il est l'auteur, qui font de lui un Léonard de Vinci du Nord, avec cette différence que la plupart de ses inventions à lui ont dépassé le stade du dessin visionnaire et ont été mises en application. Adeptes inconditionnels du travail en équipe et des échanges interdisciplinaires il tient à en vanter les vertus et à partager le mérite de ses succès. **L'entretien a lieu à Kongens Lyngby, au siège de COWI dont il a été président.** PROPOS RECUEILLIS PAR MICHEL MORGENTHALER

Le viaduc de Gênes s'est effondré le 14 août 2018, causant la mort de 44 personnes et provoquant d'importantes et durables perturbations. Que vous inspire cette catastrophe ? Quelles sont vos recommandations en matière de surveillance des ponts ?

Je m'abstiendrai de donner la moindre leçon aux personnes impliquées dans ce dramatique événement. Il me donne cependant l'occasion de rappeler, au sujet des grands ouvrages, quelques principes simples qu'il ne faut pas se lasser de répéter et d'appliquer. La redondance est primordiale.

Je considère comme essentiel de concevoir les structures, dans la mesure du possible, de manière à éviter que la rupture d'un élément structurel ne conduise à la ruine totale de l'ou-

1 - Klaus Henrik Ostenfeld.

2 & 3- Vélodrome du Parc Olympique de Montréal (Canada), 1976 - coque quadripode de 172 m de portée, d'un poids de 35 000 t, décentrée au moyen de 330 vérins plats Freyssinet Ø 920 mm travaillant à 170 bars.



© LARS OSTENFELD 1

vrage. La défaillance d'un élément ne doit pouvoir provoquer aucune réaction en chaîne.

Ainsi, lorsqu'un câble cède sur un pont, il doit être possible de se contenter de réduire un peu le trafic et de remplacer le câble.

Comme sur les systèmes dont sont équipés les avions où la redondance peut atteindre le niveau 4 (c'est-à-dire que lorsque 1 est défaillant, 2 le remplace et ainsi de suite jusqu'à 4). Ceci en s'assurant bien sûr que les systèmes redondants soient absolument indépendants les uns des autres.

Une autre considération très importante pour ces grands ouvrages serait de se rappeler que la maintenance commence dès que le projeteur pose pour la première fois son crayon sur le papier.



2



3

© INTERNET

KLAUS H. OSTENFELD : PARCOURS

Klaus Henrik Ostfeld (figure 1) est ingénieur civil et de structure, diplômé du DTU (Danish Technical University, École Polytechnique du Danemark), spécialisation ouvrages d'art. Il est en outre titulaire de la qualification américaine d'ingénieur professionnel (Registered Professional Engineer Az. USA) l'autorisant à exercer aux USA.

Après quatre ans passés dans le bureau d'étude Ostfeld & Jønson à Copenhague, pendant lesquels il réalise des projets de ponts, surveille leur construction sur site, développe des dalles pour instrumentation lourde au CERN à Genève, il est employé par la société américaine Sverdrup & Parcel Inc. aux USA pendant trois ans, où il étudie des grands ponts en béton précontraint tels que celui de la rivière Columbia dans l'état d'Oregon et d'autres à Phoenix (Arizona). C'est à cette occasion qu'il obtient sa qualification de "Registered Professional Engineer" en 1972.

En 1973 il rejoint le bureau d'ingénierie Europe Études à Paris où il est rapidement nommé ingénieur en chef avec la responsabilité du projet du vélodrome et des coques de couverture des piscines olympiques ainsi que du "tour incliné" du Stade Olympique des Jeux de Montréal (figures 2 et 3) en 1976. Il participe également à plusieurs projets de pont.

Il passe ainsi quatre ans à Paris puis retourne au Danemark pour diriger les études de la liaison fixe du Grand Belt (Storebælt) (Danemark) (figures 4, 5, 6, 7, 8, et 9). Cette affaire se déroule en deux étapes, entre lesquelles il est directeur de projet du pont de Farø (Danemark) (figures 12 et 13), ouvrage qui comprend un pont haubané avec des techniques très innovantes (tablier continu flottant) dont il est l'inventeur.

Lorsque commence la construction du Grand Belt, il est nommé directeur des projets et des joint-ventures internationales qui ont remporté les quatre concours d'études pour les ponts et les tunnels. Il supervise ainsi l'exécution de cette liaison fixe exceptionnelle dont le grand pont suspendu a une portée libre de 1624 m. Là encore, il met en œuvre plusieurs de ses inventions techniques, avec son équipe.

Suivent le pont d'Øresund entre La Suède et le Danemark (figures 14, 15, 16 et 17) et le pont de Normandie (France) (figure 18) dont il dirige le projet pour la partie centrale du tablier métallique et pour le système d'haubanage. Il intervient aussi sur d'autres grands ponts parmi lesquels il faut signaler plusieurs études de conception du pont sur appuis fixes du détroit de Gibraltar entre le Maroc et l'Espagne (figures 20 et 21), dont il réalise les études approfondies de faisabilité.

À l'occasion des études de ces grands ponts il invente un système de contrôle actif de stabilisation aérodynamique des grands ponts légers, breveté internationalement en 1996 (figure 19).

En 2000 il est nommé directeur général du groupe international d'ingénierie danois COWI où il détient notamment la responsabilité de la vision à long terme et de la stratégie ainsi que du développement opérationnel. Sous sa direction, l'effectif de ce groupe a augmenté de 2000 à 5000 employés, comprenant les acquisitions aux USA, au Royaume-Uni et en Norvège, dont les grands bureaux d'ingénierie danois Kampsax et Christiani & Nielsen, de renommée internationale.

Ayant pris sa retraite au terme de sa présidence de COWI, il exerce maintenant une activité d'ingénieur conseil indépendant spécialisé dans les grands ponts. Cette activité internationale le conduit à collaborer à de nombreux projets, entre autres en Chine (figure 23), au Bangladesh (figure 24), aux USA, au Royaume-Uni. Il a été également conseil sur le pont du détroit de Messine (Italie) (figures 25 et 26).

Parallèlement à sa carrière chez COWI, il a été très actif dans les associations professionnelles internationales. Il a été élu président de l'IABSE où il a siégé de 1997 à 2001 et il a été chairman de la Fondation IABSE. Il a été président de la section danoise des ISF (Ingénieurs Scientifiques de France).

Klaus Ostfeld a reçu plusieurs distinctions professionnelles, dont la médaille d'or G.A. Hagemann décernée par l'Université Technique du Danemark et récemment le Grand Prix Eugène Freyssinet 2014 et le Prix Albert Caquot 2017.

Cela veut dire que chaque détail du projet doit être conçu à la lumière de l'accessibilité, de l'inspectabilité, de l'entretien et du remplacement. Sans accès facile, il y a peu de chance que l'inspection nécessaire soit faite. J'insiste également sur l'indispensable étanchéité à l'eau, et surtout à l'eau salée répandue contre le verglas, pour assurer la durabilité et protéger les pièces sensibles à la corrosion.

Il ne faut jamais considérer ces détails comme secondaires. En ce qui concerne la résistance et la durabilité, *the devil lies in the detail*.

Les dispositifs d'auscultation sont bien sûr essentiels, sans négliger pour autant les inspections humaines régulières, avec une bonne compréhension de la structure et de ses mécanismes d'effondrement, des risques et de leur probabilité. Le personnel chargé de la surveillance et de la maintenance doit être bien entraîné et il faut s'assurer qu'il a bien compris l'essentiel.

Il est indispensable que l'ouvrage soit livré au client avec un manuel d'utilisation et d'entretien, comme une machine à laver ou une voiture. Le client doit comprendre ce qui est important dans la surveillance et l'entretien régulier.

Vous êtes un spécialiste de renommée mondiale des ponts en béton précontraint et en acier. Quel est l'avenir de ces techniques ? Avez-vous une préférence entre béton et acier ?

Le béton et l'acier sont les matériaux traditionnels. Le comportement du béton est parfait en compression mais il ne résiste pas à la traction et l'acier fonctionne très bien en traction mais les éléments élancés flambent sous l'effet de la compression. Les deux matériaux sont parfaitement compatibles et, utilisés ensemble, chacun dans son domaine de performance, fonctionnent très bien. Béton et acier ont certainement encore un grand avenir. ▶

LES PONTS SIGNÉS COWI AU DANEMARK

y compris les liaisons fixes avec la Suède et l'Allemagne



PETIT GLOSSAIRE

Danois	Anglais	Français
bælt	strait	détroit
store	great	grand
lille	little	petit
storebælt	great Belt	grand Belt
lillebælt	little Belt	petit Belt

Cependant d'autres matériaux commencent à intéresser le concepteur, comme les matières plastiques et composites renforcées à la fibre de verre (GFRP - Glass Fiber Reinforced Plastic) ou à la fibre de carbone (CFRP - Carbon Fibre Reinforced Plastics).

La fibre de carbone est très résistante, légère et insensible à la corrosion. Elle présente un module d'élasticité élevé et surtout un rapport résistance/poids 5 à 6 fois plus élevé que celui de l'acier. Elle peut remplacer les fils ou torons d'acier dans le béton précontraint. Elle peut surtout être utilisée pour les câbles porteurs, haubans et suspentes pour concevoir des ponts suspendus avec de très longues portées, au-delà des portées possibles avec de l'acier, ou des très grands ponts à haubans. Mais le matériau de base est fragile, c'est-à-dire dépourvu de la ductilité souhaitable, et, pour le moment, encore d'un prix élevé. Son prix va forcément diminuer au fur et à mesure qu'on l'utilisera. Un pont expérimental avec armatures en fibre de carbone a été réalisé au



Danemark il y a 20 ans pour acquérir une expérience de mise en œuvre de ce matériau très intéressant, aux résultats prometteurs. Citons aussi l'aluminium, encore cher mais qui offre, comme la fibre de carbone, des avantages de poids et peut-être moins de sensibilité à la corrosion s'il est utilisé correctement. Des passerelles pédestres entièrement préfabriqués en GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) en usine ont été réalisées en Hollande. Le montage s'effectue en quelques heures seulement.

Grâce au béton précontraint inventé par Eugène Freyssinet, il a été possible de créer des portées de plus de 300 m, ce qui est actuellement la limite de cette technologie. Pour les très grandes portées, les ponts suspendus ou haubanés s'imposent. Dans un avenir assez proche on utilisera des câbles porteurs en fibre de carbone, non corrodables. En dehors de leur prix qui n'est pas encore compétitif, il reste à développer la mise en œuvre de ces matériaux, très différente des méthodes pour l'acier.

Vous êtes un grand spécialiste des ponts suspendus et en avez été un promoteur. Quelques exemples ?

Soyons honnête, je ne suis pas l'inventeur du pont suspendu ! La technique remonte à loin dans l'histoire des hommes.

Le pont de Farø au Danemark (1 700 m, 1985) (figures 12 et 13), présente deux caractéristiques uniques.

Son tablier métallique de 1 700 m est d'un seul tenant, sans joints de dilatation sauf à ses extrémités. Les joints sont des organes mécaniques chers, sensibles à la corrosion et à l'usure, qui, exposés à de l'eau souvent salée, demandent un entretien régulier et un remplacement périodique. Ils ne conduisent pas non plus à un confort optimal pour les véhicules. Mieux vaut en réduire le nombre.

La deuxième caractéristique est que ce tablier est flottant verticalement dans la traversée des pylônes, uniquement suspendu à ses haubans, avec un système hydraulique contrôlant la torsion



5



7



6



8



9

4- Liaison fixe du Storebælt (Danemark), 19 km, 1998, comprenant tunnel ferroviaire Est, pont suspendu routier Est et pont mixte Ouest - tracés.

5- Pont Est du Storebælt (Danemark), 1998 - 7 km de long avec travée principale suspendue de 1 624 m.

6- Pont du Storebælt (Danemark), 1998 - structure d'ancrage associant grande efficacité structurelle et faible impact visuel.

7- Pont Ouest du Storebælt (Danemark), 1998 - pose du tablier préfabriqué de 6 000 t avec la mâture "Svanen".

8- Pont Ouest du Storebælt (Danemark), 1998, 6,8 km - entièrement préfabriquée en 324 éléments - caissons de fondations, piles et tabliers.

9- Tunnel foré ferroviaire Est du Storebælt (Danemark), 8 km de long et 80 m de profondeur.



10



11

10- Pont suspendu du Lillebælt, 1970. Premier pont suspendu nordique avec 600 m de portée, comportant plusieurs innovations techniques.

11- Pont suspendu du Lillebælt (Danemark), 1970 - tablier-caisson aérodynamique avec déflecteurs de vent pour assurer la stabilité aérodynamique.

12- Deux ponts de Farø (Danemark), 1985 - tabliers caissons métalliques continus de 1 700 m conçus pour l'optimisation de la fabrication et du montage, avec considérations esthétiques.

13- Pont de Farø (Danemark), 1985 - tablier à débatement vertical libre et fixe à la torsion à travers les pylônes, grâce à des dispositifs hydrauliques innovants.

les deux jambes inclinées du pylône et optimiser les ancrages multiples des haubans dans les têtes de pylônes. On peut encore citer les fondations GBS (Gravity Base Structure) pour les grandes profondeurs comme c'est le cas pour le pont du détroit de Gibraltar (hauteur d'eau > 300 m), sur le modèle des fondations construites en cale sèche pour les plateformes offshore (figure 20), et les longs pieux battus en acier de grand diamètre et forte épaisseur comme ceux mis en œuvre sur le pont Jamuna sur le fleuve Brahmapoutre au Bangladesh dans les années 1990 et dans la suite, dans le cadre d'une mise en œuvre à très grande échelle sur le pont de Padma au Bangladesh en cours de construction (figures 24a et 24b) dernier comporte des fondations sur pieux inclinés de 3 m de diamètre et de 120 m de long, battus avec le marteau le plus grand du monde développant une énergie de 3500 KJ.

La conception des ouvrages d'art associe couramment un ingénieur et un architecte.

La pureté technique ne suffit-elle pas à procurer la beauté ? Le dessin de l'architecte est-il un stimulant pour l'ingénieur ?

Stimulante et fructueuse sont bien les qualificatifs qui conviennent pour définir la coopération entre les deux professions, visant à aboutir aux solutions les plus intéressantes. Mais il faut que l'ingénieur et l'architecte acceptent chacun qu'il ne peut être à lui tout seul le spécialiste omniscient.

Les plus grands sauts technologiques ont souvent trouvé leur origine dans l'adoption d'une idée d'une autre profession. On a toujours intérêt à regarder ce qui se fait ailleurs, dans toutes les disciplines, et garder l'esprit ouvert. ▷

qui s'est révélé parfaitement efficace et fiable (figure 13). D'énormes amortisseurs ont été installés sur les ancrages du pont suspendu du Grand Belt. D'une capacité de 2000 t environ, ils permettent de réduire les déflexions verticales causées par les poids lourds et surtout de diviser par 100 le nombre des mouvements cumulatifs longitudinaux rapides aux extrémités du tablier. Ils sont combinés avec le nœud central (introduit par les Français au pont de Tancarville et reproduit pour le pont de Petit Belt) à mi-travée entre câbles porteurs et tablier. Les déflexions sont ainsi limitées aux mouvements thermiques lents.

Il s'agit d'une caractéristique spécifique aux ponts suspendus qui n'affecte pas d'autres types de ponts, notamment les ponts haubanés. Les organes de dilatation du pont du Grand Belt sont capables d'absorber des dilatations thermiques de l'ordre de 1 m. Grâce aux amortisseurs, leur longévité se trouve considérablement augmentée. J'ai également mis au point un système de stabilisation aérodynamique (figure 19) des tabliers, qui est breveté, en m'inspirant des techniques classiques du pilotage automatique des avions. Pour le pont de Farø, un caisson métallique a été développé pour relier



12



13



14

© SUND & B/ELT

Il faudra que l'ingénieur ne s'interdise jamais d'entrer dans le domaine de l'architecte et vice-versa. Ce principe rejoint celui "des deux cerveaux" voire celui "des trois cerveaux" qui prescrit simplement de croiser plusieurs points de vue.

On peut déplorer quelques catastrophes illustrant les conséquences de l'ignorance de ce principe vertueux, comme l'effondrement du fameux pont de Tacoma (Washington) en 1940, moins d'un an après sa mise en service, à cause d'une instabilité aérodynamique qui avait été négligée alors que le problème de *flutter* aérodynamique était parfaitement maîtrisé chez Boeing, le constructeur d'avions juste à côté.

Il convient de créer des équipes multidisciplinaires pour concevoir les ponts, réunissant ingénieurs de structure, ingénieurs en mécanique et aérodynamique, économistes, environnementalistes, spécialistes en circulation, etc.

14- Pont mixte autoroute - rail de l'Øresund (Danemark-Suède), 2000 - 7,8 km avec travée haubanée de 490 m.

15- Pont de l'Øresund (Danemark-Suède), 2000 - 7,8 km avec travée haubanée de 490 m.

16- Pont de l'Øresund (Danemark-Suède), 2000 - Travée centrale de 490 m pendant sa construction.

17- Pont de l'Øresund (Danemark-Suède), 2000 - tablier en treillis acier deshumidifié avec dalle béton travaillant en composite.

Dans quels secteurs géographiques sont situées vos réalisations. Quelles différences avez-vous constatées entre les cultures techniques propres à chaque pays ?

Mon expérience au Danemark, en Suède, en France, au Canada, en Turquie, en Amérique, au Bangladesh, en Chine, etc. est fondée partout sur un travail en équipe. Il est essentiel de noter ce fait quand bien même j'ai dirigé ces

équipes et souvent participé à des développements et à des innovations qu'elles ont mises en œuvre, ou les ai facilités. La réponse est oui, les cultures sont différentes, aussi bien sur le plan technique, que sur le plan des traditions et sur le plan comportemental ou culturel. On pouvait s'en douter. Et c'est un facteur important de créativité et de progrès. Je relève, à grands traits, les quelques différences suivantes. En simplifiant beaucoup, on pourrait dire qu'aux USA



15

© SUND & B/ELT



16

© SUND & B/ELT



17

© COM



© INTERNET

18

ce sont souvent les méthodes traditionnelles utilisant des procédés standardisés qui s'imposent, afin d'échapper au maximum aux responsabilités dont les conséquences financières et juridiques peuvent être considérables. À l'opposé, le client chinois manifeste souvent peu d'intérêt pour les solutions traditionnelles déjà éprouvées ailleurs. Il veut du neuf, du jamais vu, de l'innovant, du record mondial. Le Danois serait entre ces deux extrêmes. Quant au Français, vous jugerez par vous-même, mais, je peux dire qu'à l'époque où je travaillais en France, j'ai trouvé l'environnement des ingénieries françaises très stimulant, caractérisé par une recherche constante de bonnes idées et de nouvelles technologies. Pour avoir travaillé dans des bureaux d'étude danois, américains et français, et toujours en simplifiant, je peux vous dire que j'ai retenu la manière méthodique des Danois, le dynamisme com-

18- Pont de Normandie, 1995 - travée haubanée record de 856 m.

19- Système de contrôle aérodynamique actif inventé par Klaus Ostenfeld (brevet Ostenfeld/COWI).

20- Projet de pylône en eau profonde, inspiré des plateformes offshore pétrolières (Gravity Base Structure - GBS). 21- La plateforme off-shore " Troll " en Atlantique Nord de Norvège, sur une profondeur de 300 m, a été l'inspiration du projet de fondations pour le Pont de Gibraltar. Ici en comparaison avec la Tour Eiffel.

mercial et le conservatisme technique des Américains, et l'esprit créatif des Français.

Clairement, c'est en France, entre 1973 et 1977, que j'ai connu un des moments les plus intéressants de ma carrière. On baignait à l'époque dans un grand enthousiasme technique : le TGV, les centrales nucléaires et le Concorde en France, le premier homme sur la Lune chez les Américains. La situation peut avoir changé depuis.

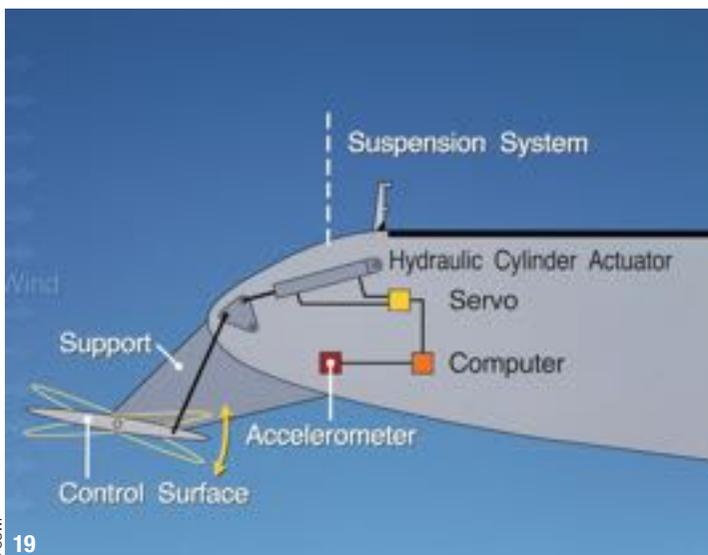
Le BIM règne aujourd'hui dans le bâtiment et progresse dans le génie-civil, où il apparaît utile mais pas encore indispensable. Quel est votre avis ?

Chaque ouvrage d'art est un prototype, ou presque, et seuls de petits ouvrages sont parfois répétitifs. Les bâtiments sont aussi la plupart du temps des prototypes mais ils font appel à de nombreux composants standardisés

et ils demandent la coordination de nombreux corps d'état, au contraire des ouvrages d'art. Le BIM rend d'immenses services dans le bâtiment, en cours de travaux pour valider toute modification et ses répercussions, après la réception pour constituer le dossier de récolement de l'ouvrage avec la nomenclature exacte de tous les équipements, qui sera indispensable pour l'entretien. Sur les ouvrages d'art, les problèmes et les enjeux ne sont pas les mêmes. Il s'agit de maîtriser des efforts souvent énormes et leur cheminement dans toutes les phases de construction ainsi qu'en phase définitive, comprenant des interactions avec les fondations dans des sols aux caractéristiques variables. Les représentations 3D sont très utiles, entre autres pour examiner l'accessibilité à l'intérieur des ponts, dont on a évoqué l'importance plus haut. Mais on dispose de logiciels adaptés et cela ne constitue qu'un aspect du BIM. Comme déjà dit, un pont doit être livré avec son manuel d'utilisation et d'entretien. J'ai bien sûr accompagné et favorisé l'introduction du BIM dans le bâtiment chez COWI.

Vous avez passé quarante ans chez COWI, qui compte parmi les plus renommés bureaux d'études de structures du monde. Vous en avez été le président. Diriez-vous que le Grand Belt et l'Øresund auront été vos plus belles réalisations ?

Je pense que oui, parmi beaucoup d'autres satisfactions professionnelles. Ce que vous évoquez constitue effectivement un des pinacles de ma carrière. Mais j'ai une affection toute particulière pour le pont de Farø (figures 12 et 13). ▷



© COWI

19



20



21



22

© COWI



23

© INTERNET

Sur cet ouvrage j'ai pu, alors que j'étais encore un jeune ingénieur, introduire des innovations technologiques favorables à la performance technique et à la compétitivité économique, avec de surcroît un bel effet esthétique. Il m'a procuré une grande satisfaction.

Les ouvrages des Jeux Olympique de Montréal en 1976 (figures 2 et 3) ont été pour moi un très grand défi que j'ai affronté et surmonté avec mes excellents collègues, en parfaite collaboration avec mon patron Pierre Xercavins, directeur Technique d'Europe Études, et l'architecte Roger Taillibert. J'en garde un vif et excellent souvenir.

En élargissant votre question au domaine du management, je regarde mes responsabilités dans la position de président de COWI à partir de l'an 2000 comme un autre défi marquant.

Avec mes collègues, j'ai établi une vision et une stratégie de développement précises sur la base de la culture particulière de COWI cultivant l'expertise, qui s'est révélée fructueuse.

Par croissance interne et externe, toujours dans un objectif de spécialisation, l'effectif du groupe est passé de 2000 collaborateurs en l'an 2000 à 5000 collaborateurs en 2008 lorsque j'ai quitté ma fonction à l'âge contractuel de 65 ans.

Quel est le rôle de l'IABSE que vous avez présidée ?

L'IABSE (International Association for Bridges and Structural Engineering) est une association scientifique et technique fondée en 1929 par des savants visionnaires. Son siège est à Zürich. Ses membres proviennent d'une centaine de pays. Elle compte 51 groupes nationaux. Elle traite de l'ingénierie des structures sous tous ses aspects : conception, construction, utilisation, auscultation, surveillance, entretien, réhabilitation, destruction, etc. Par structures, il faut entendre les ponts, les bâtiments et autres ouvrages quels que soient les matériaux dont ils sont constitués. L'objet de l'association est d'échanger librement les connaissances et de contribuer au progrès de l'ingénierie des structures, partout dans le monde.

À ma connaissance, il n'existe pas d'association semblable ayant le même objet. Cette association m'a été véritablement très utile pour créer des contacts, discuter de problèmes techniques et nouer des amitiés partout dans le monde. Il me paraît évident que tout ingénieur animé par une ambition internationale se doit d'y adhérer. En tant que dirigeant d'un bureau d'études international, j'en ai retiré le plus grand profit sur le plan des affaires, de la technique et de l'amitié.

Le prix Albert Caquot vous a été décerné en 2017, pour l'ensemble de votre œuvre, par l'Association Française de Génie Civil. Quel regard portez-vous sur le génie-civil français ?

Le génie-civil français - comme le "génie français" tout court - est reconnu dans le monde. Je ne dis pas cela seulement pour vous faire plaisir. Il faut savoir que le métier d'ingénieur jouit, dans la population, d'un prestige qui n'est pas le même dans tous les pays. Ainsi, en France, lorsqu'une jeune fille présente un jeune homme à ses parents, ceux-ci seront en général satisfaits - et rassurés sur le confort futur de leur fille - si le prétendant est ingénieur, et encore plus s'il est diplômé d'une de vos très prestigieuses grandes écoles. Dans d'autres pays il semble que d'autres métiers soient plus estimés, comme par exemple ceux des secteurs financiers et juridiques. Dans les pays anglo-saxons, on dit en se moquant qu'un *engineer* est un homme qui conduit une locomotive, donc d'un niveau professionnel modeste. Ce n'est évidemment pas le cas. En Angleterre, il faudra obtenir la qualification de *Chartered Engineer* pour pouvoir pratiquer la profession d'ingénieur.

22- Liaison fixe sur le détroit de Gibraltar (Maroc - Espagne) - projet d'un pont suspendu a travées multiples de 3500 m avec fondations type offshore à 300 m profondeur - vue d'artiste.

23- Pont de Sutong à Nanjing (Chine), 2008 - travée principale haubanée de 1088 m.

24a & 24b- Pont rail-route de Padma (Bangladesh) - en construction - pieux inclinés en acier de 120 m de long, Ø 3,0 m, épaisseur 60 mm.

Je garde un excellent souvenir de mon séjour chez Europe Études à Paris où j'ai trouvé un environnement professionnel très porteur et côtoyé des collègues à la fois passionnés et de grande qualité humaine. Je suis très fier d'avoir reçu le Prix Albert Caquot mais je me sens tenu de rester humble.



24a

© KLAUS OSTENFELD



24b

© KLAUS OSTENFELD



25 © COWI



© COWI 26

Vous continuez à faire des ponts, en tant qu'ingénieur indépendant. Il s'agit sans doute d'une addiction. En outre, vous êtes depuis longtemps pilote d'avion. Quelles similitudes trouvez-vous entre ces deux passions ?

Je suis devenu ingénieur parce que j'aime les défis techniques et sans doute à cause de l'exemple de mon

25- Projet de pont sur le détroit de Messine (Italie) - tablier en triple caisson métallique.

26- Projet de pont du détroit de Messine (Italie) avec portée libre de 3 300 m - vue d'artiste.

oncle Christen Ostenfeld fondateur de COWI, mais surtout pour répondre au désir de m'engager dans de grands projets au service de la société.

En outre, les ponts sont des ouvrages très visibles et ce n'est pas pour me déplaire.

Les grands ouvrages permettent de franchir les grands obstacles naturels et témoignent en même temps, avec leurs grandes portées, de notre meilleur savoir-faire.

Lorsqu'ils sont bien faits, ils s'insèrent avec élégance dans la nature comme des compléments de l'environnement. Ils représentent la victoire de la technique sur la pesanteur. En plus, ils sont les symboles de la réunion des populations.

L'ingénieur qui y participe en retire grande satisfaction et fierté.

Dès l'âge de 6 ans, j'ai été passionné par les avions et j'admire l'agilité des oiseaux. J'ai commencé par le modélisme en construisant des planeurs puis des modèles motorisés par un

petit moteur de 2,5 cc. À 16 ans je me suis entraîné au vol à voile et j'ai obtenu mon brevet en 1961. J'ai fait l'acquisition de mon premier avion en 1983, en copropriété avec un autre ingénieur, et obtenu la licence IFR (vol sans visibilité) la même année. Je pilote toujours mon petit avion personnel à 4 places que j'utilise finalement pour voyager comme si c'était une voiture avec des ailes. Dans le milieu des pilotes que je fréquente il est d'usage de dire « Je n'envie personne, je suis pilote ». Cela veut tout dire !

Alors, puisque c'est votre question, quelles sont les similitudes ?

Dans l'art du pilotage sont combinées de nombreuses disciplines : météorologie, navigation, aérodynamique, mécanique, motorisation, instrumentation, règlements aériens, communication, etc. C'est exigeant. C'est grisant. Voler procure un plaisir intense.

Dans les grands ponts, les défis structurels et aérodynamiques sont intimement liés. J'y retrouve la même exigence que dans le pilotage, la nécessité de maîtriser les mêmes sujets et la même sensation magnifique d'évoluer au-dessus de ce que vous appelez si joliment en français "le plancher des vaches". □

COWI

Christen Ostenfeld a fondé la société Christen Ostenfeld Consulting Engineer en 1930, qui s'est étoffée avec l'embauche d'ingénieurs au fur et à mesure, parmi lesquels Wriborg Jønson devenu partenaire en 1946.

La raison sociale COWI a été composée en 1946 avec les initiales de Christen Ostenfeld et Wriborg Jønson. Quand Christen Ostenfeld s'est retiré à l'âge de 70 ans, les partenaires restants ont modifié le statut de la société en A/S (équivalent d'une SARL) et ont changé le nom en COWIconsult A/S Consulting Engineers. Oui, mais, pourquoi "I" au lieu de "J" à la fin de COWI ? Parce qu'autrefois on écrivait souvent I pour J. Plus tard, sous la présidence de Klaus H. Ostenfeld - qui est d'ailleurs le neveu de Christen Ostenfeld - la société prendra son nom actuel, plus simple, de COWI A/S.

Le lecteur érudit se demandera si, dans la lignée Ostenfeld, figure l'auteur d'une formule de flambement très connue. Eh bien oui. Le père, Ib (médecin psychiatre) et l'oncle Christen (ingénieur) de Klaus Ostenfeld sont les fils d'Asger Ostenfeld, professeur en structure et statique et fondateur du Laboratoire Structures à l'École Polytechnique du Danemark (aujourd'hui DTU, Danish Technical University). Le professeur Asger Ostenfeld a effectivement développé la "formule d'Ostenfeld" pour le flambement des colonnes courtes, en complément de la "formule d'Euler".

En 2017, COWI affiche un chiffre d'affaires de 826 millions d'euros et compte 6675 employés répartis dans 20 pays : Allemagne, Bahreïn, Belgique, Canada, Corée-du-Sud, Danemark, Etats-Arabs-Unis, Hongkong, Inde, Lituanie, Mozambique, Norvège, Oman, Pologne, Qatar, Suède, Royaume-Uni, Tanzanie, Zambie. Dans de nombreux pays, on dénombre plusieurs établissements, parfois jusqu'à une vingtaine.

Le siège est à Kongens Lyngby, à une quinzaine de kilomètres du centre de Copenhague.

COWI se définit comme une société de conseil (consulting) indépendante dans les domaines de l'ingénierie, de l'économie et de l'environnement, qui offre à ses clients des solutions globales avec, selon ses termes, une "approche à 360°".

La liste des compétences revendiquées est assez variée :

Infrastructures : ponts, tunnels, ports, voies ferrées, métros, routes, aéroports ;

Bâtiment : hôpitaux, habitation, culture et enseignement, gares, industrie, data centers ;

Environnement : stratégie, déchets et ressources, contamination, enquêtes environnementales préalables, évaluations environnementales, santé et sécurité ;

Eau : approvisionnement, traitement, gestion des ressources, rabattement de nappe et géophysique, crues, drainage, énergie hydraulique, eaux d'orage ;

Énergie : énergie éolienne, solutions bio, biomasse et déchets, réseaux de chaleur et de froid, oil & gas ;

Industrie : industrie de transformation, industrie forestière, industrie alimentaire, industrie manufacturière ;

Planification : cartographie et topographie, études foncières, assistance à direction de projet, trafic et transports, système d'information géographique (SIG) et système d'information (IT).



© BRIAND
1

GROUPE BRIAND

SOUS LE SIGNE DE L'ENGAGEMENT TECHNIQUE ET DU RESPECT DES HOMMES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

L'ACTIVITÉ HISTORIQUE DU GROUPE BRIAND A FAIT DE LUI L'UN DES PRINCIPAUX CHARPENTIERIS MÉTALLIQUES INDUSTRIELS EN FRANCE. LES ENTREPRISES QUI CONSTITUENT LE PÔLE CONSTRUCTION MÉTAL DU GROUPE RÉALISENT DES OUVRAGES MÉTALLIQUES DES PLUS SIMPLES AUX PLUS COMPLEXES DANS TOUS LES DOMAINES D'ACTIVITÉ, MÊME LES PLUS EXIGEANTS. CONCEVOIR ET OPTIMISER, FABRIQUER INDUSTRIELLEMENT ET MONTER DES BÂTIMENTS MÉTALLIQUES ET DES OUVRAGES D'ART EST SON MÉTIER DEPUIS PLUS DE 65 ANS ET MÊME PLUS PUISQUE L'ORIGINE DE L'ENTREPRISE REMONTE À 1745 ! GIL BRIAND, P-DG DU GROUPE BRIAND, NOUS CONTE CETTE BELLE HISTOIRE QUI VA BIEN AU-DELÀ DU SEUL MÉTAL.

L'histoire des Briand est inséparable de celle des Herbiers, commune vendéenne de 15 000 habitants, bien connue tant pour son parc à thème du Puy-du-Fou que pour son équipe de football, finaliste de la

Coupe de France 2018, sans oublier le constructeur de bateaux de plaisance Jeanneau et le foie gras Rougier. Si la famille Briand est l'une des plus anciennes de la commune, elle est également propriétaire d'une des plus

1- En 1956, Anselme et Roger Briand en compagnie de leurs premiers compagnons.

anciennes entreprises du territoire. En effet, c'est ici qu'en 1745 un certain Anselme Briand exerçait son métier de taillandier c'est-à-dire fabricant et aiguiser d'outils tranchants en fer. Pendant deux siècles, cette activité est



© MATTHIEU MITSCHKE

demeurée artisanale, l'atelier se transmettant de père en fils tandis que l'aîné de chaque génération portait le prénom de son père.

En 1931, Anselme Marcel Briand a 14 ans quand son père Anselme Alcibiade décède prématurément. Sa mère tient l'atelier avec deux ouvriers. L'adolescent apprend le métier, aiguise le métal, fabrique et répare le matériel des cultivateurs et, en 1942, il prend la tête de la forge familiale.

Après la guerre, l'arrivée du matériel agricole américain bouleverse la donne : il n'y a plus de travail. Il faut trouver rapidement une solution. L'atelier intègre une petite activité de serrurerie qui va se révéler salvatrice.

INDUSTRIALISATION DÈS L'APRÈS-GUERRE

Dès le début des années 50, alors que le pays est en pleine reconstruction, son activité s'oriente vers la charpente métallique et la petite entreprise s'industrialise.

Pour financer son développement, Anselme et son épouse Jeanne s'endettent, allant même jusqu'à hypothéquer leur maison tout en sollicitant l'aide de leurs amis. Le risque sera payant : la croissance est régulière, l'atelier déménage à deux reprises et s'installe en 1960 avenue des Sables où il est toujours aujourd'hui.

Plusieurs dates importantes vont alors jalonner l'histoire et l'évolution de l'entreprise pour l'amener à atteindre sa taille et sa structure actuelles : un groupe familial de 1200 collaborateurs réalisant un chiffre d'affaires de 250 M€ au travers de 14 filiales et 13 sites de production.

En 1965, lors de voyages en Belgique et en Suisse, Anselme découvre les champs d'application immenses de l'aluminium dans le domaine de la menuiserie : cela aboutit à la création de Ouest Alu qui donne rapidement

2- Gil Briand, président-directeur général du groupe Briand.

3- Roger Briand et Gil Briand.

naissance aux fenêtres K-Line, numéro 1 français de la fenêtre aluminium.

Parallèlement, les pionniers préparent leur succession : dans les années 70, Roger Briand, qui supervisait déjà le bureau d'études, prend la direction de

Briand Construction Métallique tandis qu'André Liébot, le mari de leur fille Eliane, pilote la branche aluminium.

ÉLARGISSEMENT DE COMPÉTENCES

Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, sous l'impulsion de Roger Briand, le groupe accélère son développement en réalisant les charpentes métalliques mais aussi la couverture, les façades et la serrurerie de plusieurs usines : d'Esswein (lave-linge) à Jeanneau (bateaux de plaisance), en passant par Thomson (télévision et électroménager) ainsi que de nombreux centres commerciaux. Avec des investissements industriels et grâce à son bureau d'études, Briand consolide les savoir-faire techniques qui constituent aujourd'hui le socle de l'entreprise.

ARRIVÉE DU BOIS LAMELLÉ

À partir des années 90, un matériau supplémentaire intègre l'activité : les charpentes en bois lamellé. En 2007, apparaît ainsi Briand Construction Bois, résultat de la fusion de deux PME : AMB Charpentes à Saint-Sylvain-d'Anjou (49) et Berton Demangeau à Vallet (44). Dans la foulée, pour faciliter la transmission familiale, la holding se scinde en deux entités distinctes : le groupe Liébot gère la partie aluminium tandis que Briand se recentre sur les parties métal et bois.

En 2003, Gil Briand rejoint la société comme chargé d'affaires au bureau d'études, un poste central à la base des métiers. Il accompagne les clients dans leurs projets, conçoit et rédige les offres. L'environnement lui est familier : certains l'ont même connu en culotte courte.

« Depuis tout petit, précise Gil Briand, j'avais déjà une idée précise de ce que je voulais faire. À 14 ans, je faisais mon premier stage dans les ateliers et à 16 ans au service travaux ».

GRUPE BRIAND : LES DATES-CLÉS

- Depuis 1745 : la forge familiale est transmise de père en fils au sein de la famille Briand.**
- 1950 : Création de la société Briand aux Herbiers par Anselme et Jeanne Briand.**
- 1951 : Un important chantier de menuiserie métallique et de fabrication de charpente métallique lance l'activité industrielle de Briand. La société intègre le savoir-faire des études et fabrique ses premières machines.**
- 1963 : Construction d'une importante usine de construction métallique route des Sables aux Herbiers.**
- 1976 : Création de Briand Construction Métallique.**
- 1981 : Roger Briand, fils d'Anselme, prend la direction du groupe Briand**
- 1993 - 1997 : Diversification des activités avec l'intégration au groupe de AMB Charpentes à Saint-Sylvain d'Anjou (49) et Berton Demangeau à Vallet (44), spécialiste de la charpente en bois lamellé.**
- 2001 : Intégration de la société Gérard qui devient Briand et Gérard, société de charpente métallique basée à Voves (28) et intervenant dans le bassin parisien.**
- 2005 : Gil Briand est nommé directeur général de Briand Construction Métallique.**
- 2006 : Création de Briand Construction Bois par fusion des sociétés AMB Charpentes et BD Charpentes.**
- 2007 : Gil Briand, prend la présidence du groupe Briand.**
- 2008 : Création de la société Design & Build. Création de Briand Énergies pour développer les activités liées à l'énergie du bâtiment.**
- 2009 : Mise en service d'une nouvelle usine innovante de construction métallique à Beaufort (85).**
- 2010 : Inauguration du nouveau siège du Groupe Briand, premier bâtiment basse consommation en charpente métallique.**
- 2012 : Intégration des sociétés Gagne Construction Métallique et France Montage au Puy en Velay (43) et Alphamétal à Saint-Malo (35) afin de renforcer le positionnement géographique et métier du groupe Briand.**
- 2014 : Intégration de la société Leroux Construction Métallique intervenant dans la région Bretagne et Grand Ouest.**
- 2015 : Intégration des sociétés Savoie et SNB situées dans la région Centre et spécialisées dans la construction béton afin de développer une nouvelle activité béton.**
- 2018 : Intégration de l'entreprise 2i (Ivoire Ingénierie) à Abidjan, en Côte d'Ivoire.**



4

Gil Briand prend rapidement des responsabilités. En 2005, il est nommé directeur général de Briand Construction Métallique puis, deux ans plus tard, à 31 ans seulement, président-directeur général du groupe.

QUALITÉ INDUSTRIELLE ET INNOVATION

Roger Briand transmet à Gil les valeurs humaines qui sont toujours au cœur de

l'entreprise - sens de l'engagement et respect des hommes - l'exigence de la qualité technique et la rigueur de la réalisation. Le passage de flambeau s'effectue dans la continuité.

À cette époque, le métier est en pleine mutation et la crise économique pointe. Pour faire face à ces paramètres, le groupe se dote de nouveaux moyens de production, recrute et forme les meilleurs techniciens et s'assure les

4- Le viaduc de Taulhac au Puy en Velay.

5- Une équipe du bureau d'études au travail.

6- Dans l'atelier de soudure de l'usine des Herbiers.

compétences d'ingénieurs de haut niveau. Il s'appuie sur des équipes fidélisées de longue date et le socle de compétences acquises depuis plus de 60 ans.

« *Bien ancrés à nos valeurs*, poursuit Gil Briand, *nous avons traversé la crise sans dommage* ». De fait, en dépit d'une conjoncture plutôt défavorable, la croissance externe se poursuit. L'objectif est double : « *D'abord, atteindre une taille*

LES 4 PÔLES DU GROUPE BRIAND

- 1 200 collaborateurs
- 250 M€
- 14 filiales
- 13 sites de production

PÔLE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : 173 M€ - 800 PERSONNES

- Briand Construction Métallique (85, 69, 13)
- Gagne Construction Métallique (43, 91)
- Leroux Construction Métallique (56)
- France Montage (43)
- Briand et Gérard (28)
- Europ'A (85)
- Alphamétal (35)
- 2i (Côte d'Ivoire)

PÔLE BOIS : 22 M€ - 100 PERSONNES

- Briand Construction Bois (44, 49)

PÔLE BÉTON : 55 M€ - 300 PERSONNES

- Savoie (37)
- SNB (41)

RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

- Park'Up (75)
- Briand Energies (44)
- Design & Build (44, 69)



5

© PHILIPPE BERTHEAU



6

© MATHIEU MITSCHKE

critique sur le marché pour répondre aux demandes sans cesse plus exigeantes de nos clients et renforcer notre politique de Recherche & Développement. Ensuite, être plus attractifs pour accueillir des talents au sein de l'entreprise ».

Le groupe reprend ainsi plusieurs sociétés de charpente métallique entre 2012 et 2014. Mais il manque un dernier matériau pour devenir un acteur tout terrain de la construction industrielle : le béton.

En 2015, le rachat de deux entreprises spécialisées dans la réalisation de grands ouvrages en béton - Savoie et SNB - acte la création de ce troisième pôle d'activités.

L'innovation demeure de son côté une stratégie incontournable pour résister dans un monde de plus en plus concurrentiel. Ainsi, le groupe structure-t-il progressivement une démarche ambitieuse de R&D. Une filiale - Briand Energies - s'intéresse à la performance énergétique des bâtiments via le photovoltaïque et des systèmes d'économie d'énergie : elle conçoit notamment un système breveté d'éclairage par LED - le Starpark® - fixé directement sur la charpente métallique tandis que d'autres innovations émergent comme des systèmes constructifs mixtes acier/bois et acier/béton, qui disposent de stabilité au feu, un savoir-faire unique en France.



7 © BRIAND

7- Francis Pierron, directeur de l'activité "ouvrages d'art" de Gagne.

8- Pont-route de type TPE à Buchelay, dans les Yvelines.

9- Viaduc de la Vonne sur la LGV SEA à Marigny-Clémenceau dans la Vienne.

10- Passage à faune sur l'autoroute A57 à Pignans dans le Var.

11- Passerelle sur le Gave entre Mazères et Bizanos, dans les Pyrénées Atlantiques.

Les entreprises du pôle métal du groupe disposent des moyens des plus modernes et d'équipes techniques expérimentées :

- Chaque entité dispose de compétences pointues en bureau d'études : élaboration de notes de calcul, propositions d'optimisation, réalisation de plans, proposition de variantes techniques ;
- Plus de 150 ingénieurs et techniciens capables de développer des process constructifs innovants mais aussi des conceptions alternatives économiques ;
- Des usines de production réparties sur le territoire qui usinent 35 000 tonnes d'acier par an ;

- Des outils industrialisés performants dont plusieurs machines spéciales créées par le pôle R&D du groupe ;
- Plus de 100 compagnons de chantier, en complément d'un réseau qualifié de sous-traitants partenaires.

Autonomes dans leur fonctionnement, les entités du pôle métal construisent régulièrement en groupement d'entreprises afin d'apporter aux clients les solutions les plus maîtrisées tant en termes de prix que de délai et de qualité. Elles disposent d'ailleurs des certifications et qualifications adaptées aux différentes typologies de construction : Qualibat 2412, 2413 technicité supérieure, 2414 technicité exceptionnelle, 2513 ouvrage d'art technicité supérieure, marquage CE, EXC 3 et 4, ISO 9001 et MASE⁽¹⁾.

Ces certifications et qualifications illustrent sa capacité à maîtriser les process et donc la qualité de ses charpentes métalliques des plus simples aux plus complexes.

DES RÉALISATIONS DIVERSIFIÉES

Les réalisations récentes ou en cours témoignent de l'élargissement de compétences du groupe et de ses filiales : le Vendespace de Mouilleron-le-Captif (complexe sportif et culturel) et l'Arena Loire de Trélazé, ainsi que plusieurs usines pour Fleury-Michon, Airbus, ▷



8 © BRIAND



9



10 © BRIAND



11



12

© BRIAND

Zodiac, Sodebo, Brioches Pasquier ou encore les verrières de la gare de Lyon rénovée à Paris, des gares à Montpellier, plusieurs viaducs de la ligne à grande vitesse SEA Tours-Bordeaux, notamment celui de la Charente Sud, le viaduc de Taulhac sur le contournement du Puy-en-Velay, l'usine de retraitement George Besse à Cadarache, le plus grand centre commercial d'Afrique occidentale à Abidjan, en l'occurrence Carrefour, des usines de cacao au Cameroun et en Côte d'Ivoire, de caoutchouc au Ghana...

Il réalise actuellement pour Louis Vuitton cinq ateliers répartis en France dans une conception très harmonieuse mixte bois/métal dont celui de Beaulieu-sur-Layon qui sera opérationnel en 2019. Pour Altarea, il s'est vu confier l'extension du centre commercial "Cap 3000" à Saint-Laurent-du-Var comprenant 100 000 m² de parkings et plus de 50 000 m² de surfaces commerciales.

Pour Airbus Industrie, Briand et ses filiales ont réalisé plusieurs bâtiments de construction et de maintenance des appareils, de près de 30 mètres de hauteur, notamment de chargement et déchargement des Belugas, à Toulouse, Nantes et Saint-Nazaire ainsi que les parking PKS1 et PKS2 de 500 places chacun en R+3 extensible R+4, à Toulouse, livrés respectivement en 2016 et 2018.

Le nouveau Marché d'Intérêt National de Nantes (architecte Erik Guidice) est l'un des chantiers en cours. Les bâtiments intègrent ossature métallique et charpente en bois lamellé sur 350 mètres de long, 130 mètres de large et 11 mètres de hauteur. D'autres réalisations méritent d'être évoquées : la tour de contrôle de l'aéroport de Villacoublay, l'Arena d'Aix-en-Provence (architecte Christophe Gulizzi), le musée Albert Kahn de Boulogne-Billancourt (architecte Kengo Kuma) etc.

12- Franchissement du Blavet pour le contournement Nord de Pontivy, dans le Morbihan.

13- Rampe de mise à l'eau pour les bateaux de l'école de voile du Yacht Club de Monaco.

14- Remplacement d'un tablier auxiliaire par un RaPum à Chaux-des-Crotenay, dans le Jura.

cette activité, indique Francis Pierron, directeur de l'activité "ouvrages d'art" au sein de Gagne. Cela fait maintenant 20 ans que nous réalisons ce type d'ouvrages et cette activité représente environ 25 % du chiffre d'affaires de l'entreprise ».

Un service est dédié à cette activité comprenant une dizaine de personnes telles que chargés d'études, dessinateurs utilisant des outils spécifiques pour le calcul et la création des plans, conducteurs de travaux.

Les ponts et les passerelles sont fabriqués dans l'atelier de Taulhac de 12 000 m² et qui compte aussi une unité d'application de peinture permettant la réalisation de systèmes ACQPA, où les équipes sont formées à la soudure et à ses exigences réglementaires concernant les ouvrages d'art.

« Nous disposons des qualifications Qualibat 2513 et du marquage CE suivant NF EN 1090-2 classe EXC4,

OUVRAGES D'ART : L'ART ET LA MANIÈRE

Au sein du groupe, les ouvrages d'art sont une spécificité de l'entreprise Gagne. « En effet, nous sommes la seule entreprise du groupe à proposer



13



14

© BRIAND



15

© BRIAND

précise Francis Pierron. *Nous avons aussi des équipes chantier avec deux chefs de chantier spécialisés car les ouvrages d'art nécessitent des montages spécifiques* ».

Quand on dit ouvrage d'art, on parle généralement de ponts, de passerelles, de viaducs, de passages à faune... Mais il existe différentes typologies d'ouvrages. « *Nous réalisons principalement des ponts mixtes acier/béton, poursuit Francis Pierron, où Gagne exécute la partie métallique mais aussi des ponts haubanés, suspendus, à poutres latérales, à béquilles, en arc, de type bow-string. Le catalogue est vaste* ».

Dans la plupart des cas, les chantiers sont traités en groupement avec un architecte et une entreprise de génie civil afin de proposer la meilleure solution technique, esthétique et économique.

Les ouvrages d'art sont souvent impressionnants par leurs dimensions et les méthodes de réalisation. En atelier, l'entreprise Gagne réalise couramment des poutres de grande dimension et relativement lourdes, pouvant atteindre 40 mètres de longueur, soit 60 tonnes de poids unitaire.

Sur chantier, la mise en place de la charpente se fait à l'aide de grues de forte capacité mais aussi par lancement ou par ripage.

« *Que les ouvrages soient simplement fonctionnels ou très esthétiques, précise Francis Pierron, ils restent souvent complexes dans leur conception, leur fabrication ou leur montage. À chaque fois, c'est un nouveau challenge !* ».

Les références sont multiples. Pour en citer quelques-unes récentes mettant en évidence la diversité de compétences de Gagne :

15- Passerelle sur l'Orb à Sérignan dans l'Hérault.

16- Éclairage breveté par LED "Starpark®".

→ Réalisation d'un pont route de 38 mètres et d'une passerelle piétons de 79 mètres de type bow string pour le franchissement de la RD 952A à Blois (41) avec mise en place à l'aide d'une grue à flèche treillis ;

→ Construction d'un pont route de type TPE (Tablier en Poutrelles Enrobées) sur piles métalliques en V articulées en pied et d'un trottoir à encorbellement à Buchelay (78) avec mise en place par grutage ;

→ Pont rail de type RAPL bas pour le franchissement de l'Arve à Saint Gervais (74), avec mise en place par lancement et ripage ;

→ Réalisation d'une passerelle piétons et cycles de 70 mètres de longueur, de type bow-string, sur le Gave à Bizanos (64) ;

→ Contournement nord de Pontivy (56) par un pont route de type bipoutre à entretoises pour le franchissement du Blavet, avec mise en place par lancement ;

→ Passerelle suspendue sur l'Orb à Sérignan (34) pour piétons et cycles de 125 mètres de longueur avec une portée suspendue de 80 mètres ;

→ Réalisation du viaduc de la Vonne pour la LGV SEA à Marigny Clémenceau (86), par un pont LGV de type bipoutre mixte ;

→ Rampe de mise à l'eau pour les bateaux de l'école de voile du Yacht Club de Monaco, assemblée à Fos-sur-Mer, transportée par barge (2 jours d'acheminement) et posée à la bigue ;

→ Passage à faune au-dessus de l'autoroute A57 à Pignans (83) ;

→ Viaduc de Taulhac (architecte Soberco), ouvrage bipoutre mixte à pièces de pont et consoles de 422 m de longueur au Puy en Velay (43) ;

→ Réalisation d'une passerelle piétonne de 58 mètres de longueur en arc tubulaire cintré avec tablier métallique sur la rivière Saint Denis à la Réunion (97) ;

© BRIAND



16

LE STARPARK® : DÉJÀ UN BEST-SELLER

Avec près de 15 000 exemplaires posés, le Starpark® est aujourd'hui une véritable réussite.

Brevetée en 2013, l'innovation en matière d'éclairage a été conçue et développée par les équipes de Briand Énergies. Cet éclairage par LED offre confort visuel et sécurité aux usagers en évitant les zones d'ombre. Système étanche et robuste, sa fiabilité est prouvée par un service après-vente quasi-nul. Intégré directement au bâti, il offre par ailleurs un rendu architectural unique.



17

© BRIAND

→ Pont en arc articulé en pied sur la déviation de Luxeuil-les-Bains (70), avec membrure et montant en tube rectangulaire reconstitué soudé.

ET DEMAIN ?

Les perspectives de développement sont inscrites dans la philosophie du groupe. Toujours à l'écoute de ses marchés, il est très impliqué dans de multiples réseaux professionnels. Ainsi, Roger Briand préside depuis 2010 le Syndicat de la Construction Métallique de France (SCMF) et, à ce titre, dispose d'un poste d'administrateur au Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM).

En veille permanente pour disposer des outils les plus performants, Briand est également actif au sein des plateformes régionales d'innovation. « Ces centres de réflexion nous aident à réfléchir à nos méthodes de production et de construction de demain », explique Gil Briand. « Nous croyons aux outils de travail collaboratifs où l'on partage des informations entre des métiers différents et avec des approches complémentaires. C'est déterminant pour l'avenir ».

Cette idée que « la performance est collective, que chacun apporte sa pierre à l'édifice », Gil Briand la cultive au sein de l'entreprise et pratique le management participatif. « Nous avons toujours fait le choix d'intégrer les savoir-faire en interne, en recrutant, en formant, en fabricant nous-même ».

Depuis longtemps, des *open spaces* permettent aux ingénieurs d'échanger instantanément leurs réflexions.

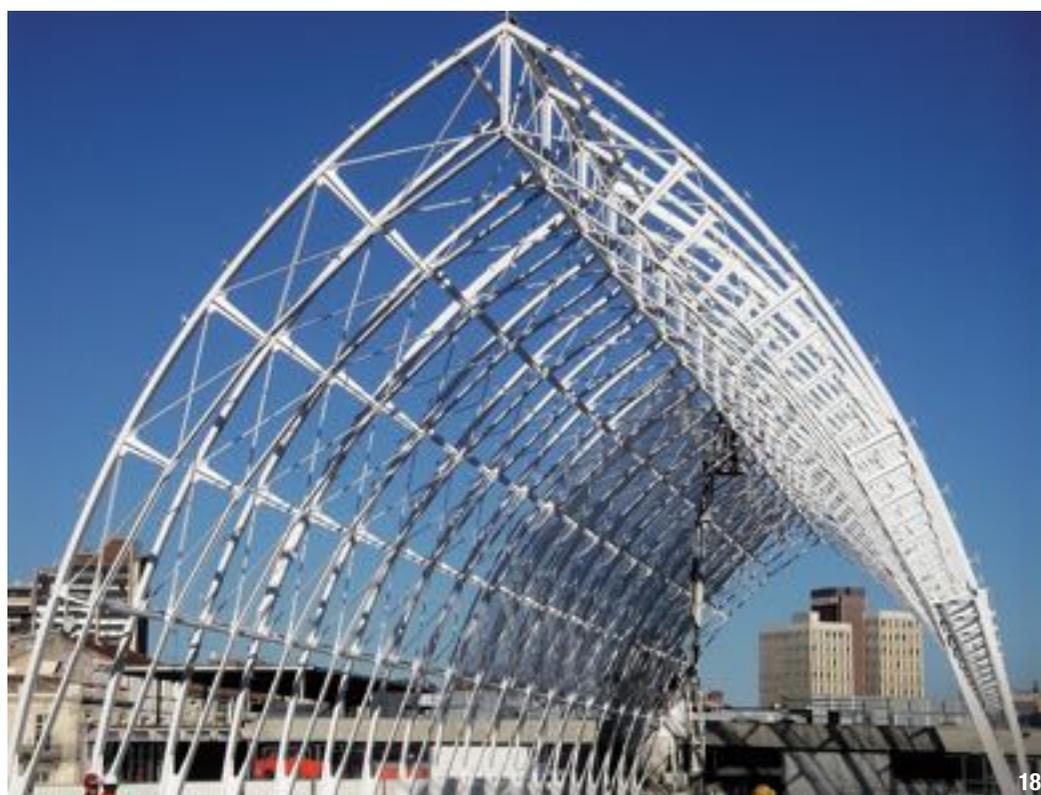
« À l'écoute des idées, quel que soit le niveau hiérarchique, les gens peuvent s'exprimer », poursuit-il. *Entreprise familiale, nous avons la volonté de garder une certaine proximité entre nous, le tutoiement est la règle ».*

17- Le parking PKS2 d'Airbus Industrie à Toulouse.

18- Le Pôle d'Echanges Multimodal (PEM) Saint-Roch à Montpellier, dans l'Hérault.

Le groupe est également attentif aux opportunités. En poursuivant sa croissance organique, en optimisant les processus de production et en développant l'export.

L'intégration en 2018 d'une filiale sur le continent africain en est une illustration : 2i (Ivoire Ingénierie), basée à Abidjan en Côte d'Ivoire, avec une



18

© MATHIEU MITSCHKE

PARK'UP SYSTEMS : DES PARKINGS SILOS DÉMONTABLES

Le groupe Briand réalise des parkings silos métalliques depuis une dizaine d'années dont elle est d'ailleurs devenue le leader français avec la réalisation de l'ordre de 10 000 places par an. Il s'agit de parkings R+1 au R+7 en superstructure.

Ceci correspond à l'évolution de la réglementation française en matière de construction de structures métalliques intervenue en 2004 et 2006 moyennant le respect d'une série de contraintes telle que l'ingénierie-feu. Au nombre de ses réalisations récentes, citons un parking de 2 500 places au centre commercial de Rosny II, au nord de Paris un parking de 360 places pour l'hôpital d'Eaubonne, un parking de 3 500 places pour l'extension du centre commercial "Cap 3000" à Saint-Laurent-du-Var, aux portes de Nice tandis que plusieurs opérations similaires sont en cours un peu partout en France.

Dans cette démarche, l'entreprise a fait la constatation que certains de ses clients avaient besoin de parkings provisoires et, à l'issue de quatre années de recherches et de développement, elle a conçu, produit et installé le premier prototype de "Park'Up systems" aux Herbiers, premier système modulaire de parking silo entièrement préconstruit et standardisé, modulable et démontable dont le développement technique, l'assemblage, la commercialisation et la pose sont confiées depuis 2017 à Nextensia®. Cette filiale a été créée pour rendre autonome l'activité de parkings démontables du groupe.

Le parking silo Park'Up Systems s'installe sans fondation ni travaux préparatoires et permet de monter en quelques jours sur un parking existant un ou deux niveaux supplémentaires de stationnement en élévation, au rythme de 100 nouvelles places par semaine.



19

© BRIAND

Entièrement démontable et réutilisable, reconfigurable et re-localisable, Park'Up Systems répond à des besoins temporaires en étant proposé à la location.

Il constitue ainsi une alternative inédite pour des industries, des aéroports, des hôpitaux ou des collectivités souhaitant libérer de l'espace foncier alloué au stationnement pour le dédier à d'autres activités productives ou dans le cadre de besoins d'appoint.

La création d'une filiale à part entière, essentiellement dédiée à cette activité, matérialise ainsi la conviction du groupe qu'il existe bel et bien une autre façon de construire des parkings.

Le siège de Nextensia, dirigée par Elie Smadja, est située à Paris dans le quartier de la Madeleine. L'équipe compte pour l'instant 13 collaborateurs répartis sur le France entière pour les fonctions études, supports, commercial, marketing et travaux.

filiale à Douala, au Cameroun, emploie 200 personnes et réalise un chiffre d'affaires de 21 millions d'euros. Elle dispose de 5 000 m² d'atelier équipé de machines à commande numérique et réalise des opérations en côte d'Ivoire, au Mali, au Ghana et au Burkina Fasso dans les secteurs de génie civil, de la charpente métallique et des installations industrielles.

« Notre groupe maintient un niveau d'investissements élevé depuis plusieurs années, conclut Gil Briand. Pour-

19- Le prototype de "Park'Up systems" installé aux Herbiers, en Vendée.

20- Le parking de 3 500 places pour l'extension de Cap 3000 à Saint-Laurent-du-Var, dans les Alpes Maritimes.

21- Le Vendespace, complexe sportif et culturel de Mouilleron-le-Captif, en Vendée.

tant, les plus belles machines comme la nouvelle profileuse de l'usine des Herbiers ou les grandes innovations comme les éclairages LED intégrés, n'ont de sens que si les hommes et les femmes qui portent ces projets en saisissent tous les aspects en rendant ces développements uniques, en rupture avec l'existant, tout en les inscrivant dans une démarche collective d'amélioration. Parce qu'on est plus fort en travaillant ensemble, j'insiste sur deux points : la transparence et la

bienveillance dans les échanges, prérequis essentiels pour établir des relations durables entre les filiales et indispensables à la croissance et à la pérennité de notre groupe ».

Une histoire et un savoir-faire dont il est fier, des valeurs humaines perpétuées de longue date, c'est la force du groupe Briand et de ses collaborateurs. □

1- La certification MASE a pour objectif de réduire les risques au travail, quelle que soit l'activité de l'entreprise.



20

© MILÈNE SERVELLE



21

© BRIAND

Choisir SYSTRA BRIDGES, C'EST CHOISIR UNE RÉFÉRENCE MONDIALE DANS LA CONCEPTION DES PONTS

Notre mission est de concevoir les infrastructures complexes qui répondent aux grands enjeux de mobilité des territoires.

Credit photo: Hyndair/Dia



8^{ème} au classement mondial Ponts Engineering News-Record 2018



- À Dubaï, Delhi, Montréal, Paris, San Diego et Séoul, les expertises et le savoir-faire de nos équipes sont au service de nos clients.

Grâce à notre expérience en conception-réalisation, nous les aidons à être plus compétitifs en coûts, délais et constructibilité.



1

© VALENTINE PEDOUSSAT

RÉGÉNÉRATION DU VIADUC DE MARLY-LE-ROI

AUTEURS : LAURENT DUBREUIL, DIRECTEUR DU PROJET DU VIADUC DE MARLY LE ROI, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - VINA GUKHOOL, INGÉNIEUR COORDINATION ÉTUDES TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - ARNAUD FLOQUET, DIRECTEUR DE TRAVAUX, FREYSSINET FRANCE - SUZHE YANG, INGÉNIEUR OA / SNCF RÉSEAU, DÉPARTEMENTS DES OUVRAGES D'ART - DANIEL FOISSAC, DIRECTEUR, VCF SENG

VIEUX DE 135 ANS, LE VIADUC FERROVIAIRE DE MARLY-LE-ROI DOIT ÊTRE REMPLACÉ. CET OUVRAGE EN FER PUDDLÉ VOIT PASSER CHAQUE JOUR LES VOYAGEURS DE LA LIGNE SNCF L DU TRANSILIEN (140 À 150 TRAINS PAR JOUR). IL FRANCHIT LA VALLÉE PLONGEANT VERS LA SEINE ET SURPLOMBE LES HABITATIONS DE LA VILLE BASSE À UNE HAUTEUR DE 25 m. SON VIEILLISSEMENT, LES PATHOLOGIES COURANTES DE CE TYPE DE STRUCTURE ET LA MISE EN SERVICE PROCHAINE D'UN NOUVEAU MATÉRIEL ROULANT ONT CONTRAINT LA SNCF À PROCÉDER AU REMPLACEMENT DU TABLIER.

L'OUVRAGE ANCIEN

Le tablier existant est d'une longueur totale de 245 m répartie en cinq travées, avec une pente longitudinale de 1 % et un profil en travers nul.

L'ouvrage est composé de deux culées en maçonnerie de type voûte (de 23 et 14 m de long) et de quatre piles rectangulaires en maçonnerie mesurant de 18 à 25 m de haut. Les appuis sont fondés sur puits.

Le tablier existant est entièrement métallique (figure 1). Il est composé de quatre poutres treillis de 4 m de haut.

De conception hyperstatique, l'ouvrage est posé sur quatre appareils d'appui à rouleaux par appui. La masse totale du tablier en fer puddlé est de 1300 t et sa largeur de 8,40 m.

L'OUVRAGE NEUF

Le nouveau tablier repose sur les anciens appuis régénérés et renforcés. Sa longueur totale et ses travées sont identiques à l'ancien ouvrage.

La pente longitudinale reste à 1 %, mais son profil en travers devient un profil en toit avec 1 % de pente.

1- Ancien tablier de fer puddlé - structure de type Eiffel.

1- Old puddle-iron deck - Eiffel type structure.

Sa conception est du type bipoutre mixte acier-béton (figure 2). Deux PRS de 3 m de haut espacés de 4,80 m

constituent l'ossature de la charpente. Des diaphragmes intérieurs sont soudés tous les 6 m. En encorbellement, des consoles métalliques sont ajoutées tous les 3 m.

Le hourdis en béton armé a une épaisseur variable de 33 cm à l'axe et de 19 cm en encorbellement. Sur les deux encorbellements sont fixées des corniches caniveaux pour la gestion des eaux de pluie.

La masse de ce nouveau tablier est de 3000 t hors superstructure pour une largeur de 10,10 m.



2

© VALENTINE PEDOUSSAT

CONTEXTE

Sous la contrainte d'assurer le transport des voyageurs, les travaux doivent impacter la circulation ferroviaire pour une durée réduite au strict nécessaire. Des interruptions temporaires de circulation (ITC) sont contractuelles et permettent de faire les travaux. Il y a quatre périodes de 48 heures à l'automne 2017 pour les opérations de lancement de la charpente métallique et une période de sept semaines pendant l'été 2018 pour procéder à l'échange des tabliers.

L'ensemble des contraintes pour les usagers et ses exploitants étant défini, les choix techniques sont arrêtés et le

2- Nouveau tablier bipoutre mixte acier-béton.

3- Palées provisoires disposées autour des piles.

2- New composite steel-concrete double-girder deck.

3- Temporary bents placed around the piers.

planning directeur du projet est construit. Le tablier neuf va donc être construit parallèlement à l'ancien tablier à une distance de 1,50 m. La substitution se fera par ripage transversal des deux ouvrages sur des palées provisoires qui entourent les appuis existants lors de l'ITC de sept semaines pendant l'été 2018.

LA PRÉPARATION DE CHANTIER : DES ÉTUDES, DES MÉTHODES ET DE LA CONCERTATION

L'ordre de démarrage des études d'exécution est donné en octobre 2016. Les bureaux d'études de chaque entité se concertent en présence du bureau

d'études de la SNCF pour figer et valider les hypothèses de calcul, anticiper les contraintes et les interférences entre intervenants en termes d'études. C'est principalement la caractérisation des efforts horizontaux qui focalise l'attention. Induit par les lançages successifs de la charpente neuve, les ripages transversaux des deux ouvrages, le délançage de l'ancien tablier, le vent et autres frottements, l'ensemble des combinaisons d'efforts doit garantir à 100% la stabilité des palées provisoires. Il est nécessaire de figer l'ensemble des modes opératoires dès le début des études. Par exemple, la méthodologie des travaux de ripage, qui doivent avoir lieu 18 mois plus tard, a une incidence immédiate sur les structures et les fondations profondes des palées. Les travaux démarrent en février 2017.

LE DÉMARRAGE DES TRAVAUX : LES PALÉES PROVISOIRES

Cette phase de travaux consiste à réaliser, autour des piles et devant les culées, des palées provisoires. Ces dernières serviront d'appuis transitoires à l'ouvrage neuf, ainsi qu'aux opérations de substitution et de retrait de l'ouvrage ancien.

Après quatre mois d'études d'exécution, la conception des palées est validée. Celle-ci permet de réduire le délai de montage et de démontage, en minimisant le nombre des éléments qui les constituent. Elle répond également à la contrainte de l'occupation des emprises restreintes au sol en réduisant le nombre d'appuis à quatre par palée (figure 3).



3

© VALENTINE PEDOUSSAT



Les palées situées autour des piles sont construites sur des semelles en béton armé de 1,50 m d'épaisseur, fondées sur 16 pieux Ø 1000 mm d'une longueur de 20 à 24 m.

La semelle, de forme rectangulaire évidée en son milieu, entoure le fût de la pile existante en laissant une bande de terrain de 1 m. Cette disposition a pour but ne pas transmettre d'efforts provisoires à la structure existante. Les semelles en béton C35/45 ont un volume de 252 m³.

Les palées métalliques autour des piles ont une forme en W composée de poteaux intérieurs et extérieurs en tube circulaire Ø 600 mm d'épaisseur 25 mm, de cerclages HEA500 et de contreventements en tube circulaire Ø 400 mm (figure 3).

Les têtes de palée sont spécifiques aux opérations qui vont s'y dérouler.

Deux poutres de ripage se situent en tête de chaque palée, de part et d'autre de la pile, et sont disposées transversalement à l'axe longitudinal du tablier. Elles mesurent chacune 28,70 m de long, 2 m de haut et 1,20 m de large et pèsent 40 t. Ces deux caissons sont entretoisés avec quatre autres poutres. Elles servent à reprendre les appuis provisoires du tablier neuf côté Sud et du chemin de ripage pour le délançage de l'ancien tablier côté Nord.

Les palées les plus hautes sont sur les piles P2 & P3 avec une hauteur d'environ 23 m.

Les palées sur culée ont une structure plus légère que les palées sur pile. Ces palées métalliques sont constituées de quatre poteaux tubulaires carrés 300x300 mm disposés de manière à former des palées contreventées de 1,80 m x 1,80 m chacune (figure 4).

4- Palées provisoires sur culées.

5- 2^e lançage du nouveau tablier le 15/10/2017.

6- Système de lançage du nouveau tablier.

4- Temporary bents on abutments.

5- 2nd launching of the new deck on 15/10/2017.

6- New deck launching system.

Les diagonales sont réalisées en tube circulaire Ø 168 mm et forment un treillis Warren sur chacune des 4 faces des palées.

ASSEMBLAGE ET LANÇAGE DU NOUVEAU TABLIER

La zone d'assemblage et de lançage du nouveau tablier est installée le long de la voie ferrée et, du côté de la culée CO, au sud de l'emprise de chantier. La réalisation de cette zone consiste à blinder la zone à l'aide d'une berlinoise parallèle aux voies, située à une distance de 3 m de la voie la plus proche.

La berlinoise se compose de 31 profilés HEB360 en zone courante et cinq profilés IPE400. Ils sont espacés de 2 m. 19 tirants actifs 4T15 espacés de 4 m et de 31 m de long sont mis en place. La berlinoise mesure 6,50 m de haut avec, à son pied, une plateforme de 2500 m². Son profil en long est parallèle à celui du tablier, avec une pente descendante de 1 %. Son niveau est mis en adéquation avec celui des appuis provisoires afin d'éviter des





© VALENTINE PEDOUSSAT

7

dévérinages importants pour la mise sur appuis.

La charpente métallique d'environ 900 t est mise en place par lançage sur les palées provisoires. La charpente est lancée parallèlement à l'ouvrage existant, sur un entraxe distant de 11,30 m. La longueur de la plateforme disponible à l'arrière de la culée C0 impose un lancement en trois phases.

Les trois lançages ont été effectués, compte-tenu des contraintes ferroviaires et d'évacuation des riverains : le 17 septembre 2017, le 15 octobre 2017 (figure 5) et le 12 novembre 2017.

La charpente métallique est déplacée à l'aide d'un système de traction composé d'un treuil et de deux mouffles d'une capacité de 80 t fixés sur la palée de la culée C0 d'un côté et sur la traverse d'arrière-bec de l'autre. Le câble du treuil est enroulé par va-et-vient autour des poulies des deux mouffles. L'enroulement du câble génère le rap-

7- Équipage mobile permettant la pose des prédalles.

8- Ancien tablier après ripage du 13/07/2018.

9- Suite au ripage du 13/07/2018, les deux tabliers sont positionnés de part et d'autre des piles.

7- Mobile rig for placing the precast slabs.

8- Old deck after skidding on 13/07/2018.

9- Following skidding on 13/07/2018, the two decks are positioned on either side of the piers.

prochement des deux mouffles et fait ainsi avancer la charpente métallique (figure 6).

Les chaises de lancement reposent sur des lignes d'appuis provisoires disposées sur la plateforme et au-dessus des palées qui reçoivent la charpente métallique. Ces chaises sont conçues en balanciers (platines épaisses rotulées sur un grain), sur lesquelles sont posés des patins en PTFE. Le frottement mesuré sera de l'ordre de 2,5%. Un guidage latéral solidaire est mis en place au niveau de chaque appui.

LA CONSTRUCTION DU HOURDIS EN BÉTON

Le hourdis béton est une structure mince. Pour des raisons liées à l'environnement du chantier (situé en ville en surplomb d'habitations et de routes) et aux conditions structurelles (diaphragme de la charpente toute hauteur et pré-

sence des consoles sous les encorbellements), le hourdis est constitué de prédalles participantes et d'une dalle de liaison coulée en seconde phase. Ce choix technique s'impose car l'utilisation d'un équipage mobile traditionnel n'est pas possible.

1855 m² de prédalles, fabriquées et acheminées depuis l'usine de préfabrication, sont mises en place. La pose des prédalles s'effectue à partir d'un portique mobile roulant sur l'axe des deux poutres principales (figure 7). Conçu pour le chantier de Marly-Le-Roi, le portique est entièrement motorisé. Il répond aux contraintes induites par la proximité de la voie ferrée électrifiée. Les emprises situées aux extrémités de l'ouvrage servent pour l'approvisionnement des prédalles et des autres matériaux (armatures HA et coffrages), le portique a dû multiplier les allers-retours sur la charpente métallique (83 fois).

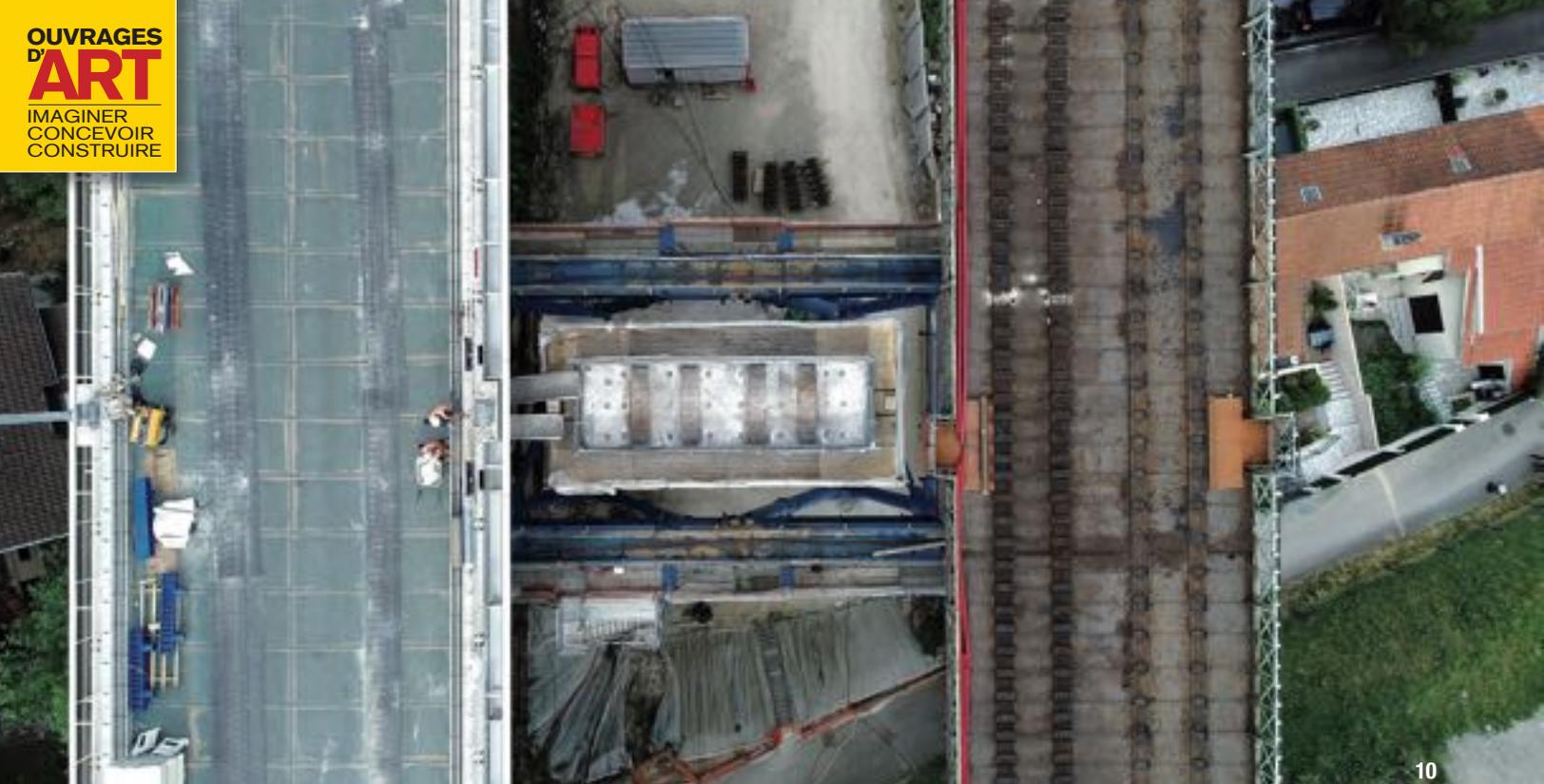


© VALENTINE PEDOUSSAT

8



9



10

© 88 MILES PRODUCTION

Pour l'approvisionnement des armatures et des autres matériaux, un plateau roulant a été conçu avec un partenaire. Il est tracté par un treuil et franchit les plots ferraillés, bétonnés ou simplement recouverts des prédalles. Le bétonnage du hourdis est réalisé à la pompe en seize plots de 15,5 m moyen.

OPÉRATION DE RIPAGE DU TABLIER EXISTANT

Le tablier existant, d'un poids de 1300 t, a été pris en charge puis ripé sur 10,3 m grâce à des selles posées sur les palées (figures 8 et 9). Celles-ci sont équipées de vérins de levage qui permettent de prendre en charge le tablier existant et le dégager de ses appuis à rouleaux. Les selles sont ensuite tirées grâce à des câbles composés de six torons entraînés par des vérins avaleurs de câble. Elles glissent sur des patins en polymère recouverts d'huile afin de réduire le frottement. Les vérins à câble sont au nombre de dix et pilotés en débit depuis un poste de commande central. Le pilotage du débit d'huile hydraulique dans les vérins permet d'assurer une vitesse d'avancement identique pour l'ensemble des selles de ripage et ainsi éviter de rajouter des contraintes de déformation dans le tablier existant. La pression hydraulique de chaque vérin est contrôlée depuis le poste de commande afin de surveiller les efforts de traction pour arrêter l'opération en cas d'efforts plus importants que les hypothèses retenues pour le dimensionnement des structures.

Les palées ont également fait l'objet d'un monitoring au cours de cette opération. Des capteurs à fil ont été tendus transversalement et longitudinalement entre chaque palée et la pile

associée (considérée comme point fixe). Ces capteurs ont permis d'afficher en temps réel le déplacement de chaque palée afin de pouvoir arrêter l'opération si un déplacement supérieur aux hypothèses était constaté. L'opération a été réalisée le 13 juillet 2018 et aura nécessité environ 6 heures.

CONFORTEMENT DES APPUIS EXISTANTS

Les appuis existants sont conservés mais ils nécessitent un renforcement et une régénération (figure 10). Les structures en maçonnerie ont été injectées sur toute leur hauteur, rejointoyées et nettoyées.

En tête des piles et sous les sommiers des culées, la maçonnerie est frettée

10- Renforcement des têtes de piles après 13/07/2018.

11- Ripage du nouveau tablier (nuit du 30 au 31/07/2018).

10- Strengthening of pier caps after 13/07/2018.

11- New deck skidding (night from 30 to 31/07/2018).

par le rajout d'armatures horizontales et verticales scellées. D'un diamètre moyen de 25 mm, ces barres homogénéisent sur les deux derniers mètres la maçonnerie vieille de 135 ans. Des sommiers en béton armé de 50 cm d'épaisseur sont réalisés. Ils supportent les deux bossages par file d'appuis du nouveau tablier, ainsi que les contraintes qu'apportera le vérinage pour la maintenance du tablier.

Pour sécuriser la construction des sommiers d'appui (se trouvant entre 18 et 25 m du sol), des coques de 15 cm d'épaisseur ont été préfabriquées, elles servent également de coffrage. La cage d'armatures de 4 t est également préfabriquée et mise en place à la grue à l'aide d'un palonnier adapté.



11

© VALENTINE PEDOUSSAT



© VALENTINE PEDOUSSAT

OPÉRATION DE RIPAGE DU TABLIER NEUF ET DESCENTE SUR APPUIS

Le tablier neuf a été ripé de la même façon que le tablier existant. Le ripage a été réalisé en moins de six heures (figure 11). Un contrôle topographique précis est réalisé par un géomètre en temps réel. Le tablier a finalement été ripé avec une précision de moins de un centimètre. Une fois les appareils d'appui à pot vissés à la sous-face du tablier, l'ouvrage a été descendu à sa cote défi-

nitive grâce aux vérins de levage présents dans les selles de ripage. Ces 136 vérins ont été pilotés depuis un automate LAO (Levage Assisté par Ordinateur).

12- Délançage et découpe de l'ancien tablier.

12- Delaunching and cutting out the old deck.

Des capteurs de déplacement en altimétrie ont également été mis en place et connectés au LAO, ce qui permet de lever ou descendre l'ouvrage sans modifier le dénivelé entre appuis, avec une précision de 0,3 mm. Le scellement des appareils d'appui à pot dans les bossages a eu lieu quelques jours après l'opération lorsque la température ambiante s'est rapprochée de celle de référence pour les calculs.

DÉLANÇAGE DE L'ANCIEN TABLIER

Une fois l'ancien tablier ripé, les opérations préliminaires au délançage ont

commencé. Un arrière-bec bipoutre a été éclissé/connecté en bout de tablier. L'ouvrage délançé est posé sur des selles équipées de patins en téflon qui glissent sur les palées provisoires à l'aide d'huile de silicone.

L'ensemble est poussé à l'aide de vérins pousseurs disposés sur chaque palée.

De cette façon, on obtient un système fermé, c'est-à-dire que la réaction des vérins sur la palée est annulée par le frottement du patin sur la palée. Il n'y a donc pas d'effort supplémentaire imposé aux palées provisoires.

Une palée provisoire a été construite pour permettre la découpe par oxycoupage du tablier par tronçon de 11 m (60 t). Le cycle est le suivant :

- 1- Délançage de l'ouvrage sur 11 m ;
- 2- Découpe par oxycoupage au niveau de la palée provisoire ;
- 3- Levage du tronçon de 11 m découpé à l'aide d'une grue de 500 t puis pose du tronçon au sol ;
- 4- Découpe au sol à l'aide d'une pelle munie d'une cisaille (figure 12).

Les morceaux découpés sont ensuite chargés dans des bennes et évacués par camions jusqu'au centre de traitement. En vitesse de pointe, deux cycles sont réalisés chaque jour soit 22 m d'ouvrage délançés et évacués en 20 heures. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- AVANCÉ DE L'OUVRAGE :** 82 m environ en 5 heures (soit 16,4 m/h)
- MASSE DÉPLACÉE :** 900 t
- APPUIS ACCOSTÉS :** P4 et C5
- APPUIS DÉLESTÉS :** R60 et R30 sur la plateforme
- EFFORT DE TRACTION MAXIMAL PRÉVU :** 60 t
- EFFORT DE RETENUE MAXIMAL :** 14 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** SNCF Réseau
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** SNCF Réseau
- GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Chantiers Modernes Construction (filiale de Vinci Construction France, mandataire), Freyssinet, Etf, Soletanche Bachy Pieux, Soletanche Bachy France (filiales de Vinci Construction), et Baudin Chateaufort
- ARCHITECTE :** Agence Lavigne & Chéron Architectes

ABSTRACT

REGENERATION OF THE MARLY-LE-ROI VIADUCT

LAURENT DUBREUIL, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - VINA GUKHOOL, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - ARNAUD FLOQUET, FREYSSINET FRANCE - SUZHE YANG, DÉPARTEMENTS DES OUVRAGES D'ART

The Marly-le-Roi viaduct regeneration project was able to demonstrate the feasibility of the operation and the reliability of the work execution method. The design engineering was able to be brought forward in order to validate and freeze the calculation assumptions. In this project carried out in partnership with SNCF Réseau, the contractors Vinci Construction France, Soletanche Freyssinet and Baudin Chateaufort replaced the existing deck in optimal conditions. The method chosen made it possible to carry out the project in a problematic environment while limiting temporary traffic interruptions to four 48-hour periods and one seven-week period. □

REGENERACIÓN DEL VIADUCTO DE MARLY-LE-ROI

LAURENT DUBREUIL, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - VINA GUKHOOL, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - ARNAUD FLOQUET, FREYSSINET FRANCE - SUZHE YANG, DÉPARTEMENTS DES OUVRAGES D'ART

El proyecto de regeneración del viaducto de Marly-le-Roi ha permitido demostrar la viabilidad de la operación y la fiabilidad del método de ejecución. Los estudios han podido anticiparse para validar y fijar las hipótesis de cálculo. En el marco del proyecto, en colaboración con SNCF Réseau, Vinci Construction France, Soletanche Freyssinet y Baudin Chateaufort han sustituido el tablero existente en las mejores condiciones. La elección del método ha permitido llevar a cabo la operación en un entorno complejo, limitando las interrupciones temporales de la circulación a cuatro períodos de 48 horas y un período de 7 semanas. □

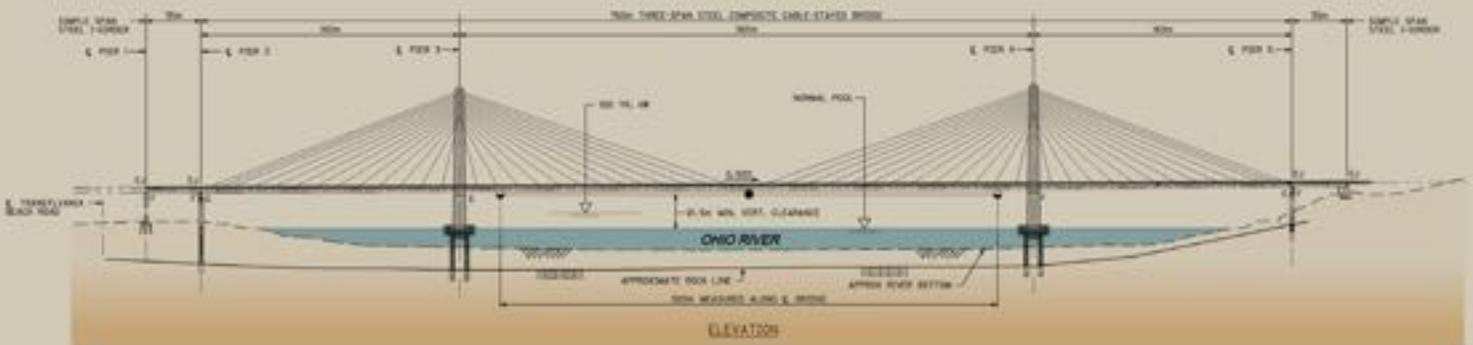


LEWIS AND CLARK BRIDGE (USA)

AUTHOR: BENJAMIN SOULE, TECHNICAL DIRECTOR, SYSTRA IBT

THREE MAJOR INTERSTATE HIGHWAYS CONVERGE IN THE CITY OF LOUISVILLE, KENTUCKY, WHERE HISTORICALLY THEY CONVERGED DOWNTOWN TO CROSS THE OHIO RIVER INTO INDIANA OVER A SINGLE BRIDGE. AS TRAFFIC VOLUMES GREW, THE RESULTING CONGESTION CAUSED DELAYS AND WAS AN ECONOMIC DRAIN ON THE REGION. TO ADDRESS THIS, A COOPERATIVE EFFORT BETWEEN THE STATES OF INDIANA AND KENTUCKY RESULTED IN THE OHIO RIVER BRIDGES PROJECT, OR ORB. THIS AMBITIOUS UNDERTAKING DELIVERED TWO NEW RIVER CROSSINGS AND ASSOCIATED APPROACHES. ONE OF THE BRIDGES, PART OF THE DOWNTOWN CROSSING, WAS LOCATED PARALLEL TO THE EXISTING TRUSS BRIDGE IN DOWNTOWN LOUISVILLE. THE SECOND WAS LOCATED 12 km UPSTREAM AND WAS KNOWN AS THE EAST END CROSSING DURING CONSTRUCTION.

GENERAL ELEVATION



2

© SYSTRA

INTRODUCTION

The East End Crossing consisted of significant approaches, including twin blasted tunnels, each over 500m long. The centrepiece of the East End Crossing is the bridge over the Ohio River, named the Lewis and Clark Bridge at its opening. This is a cable-stayed bridge, with a total length of 695m and a main span of 365m (figure 2).

The project was delivered by a Public-Private Partnership (P3). The bridge is owned by the Indiana Finance Authority, administered by the Indiana DOT. They awarded the concession pro-

ject to WVB East End Partners (WVB), consisting of Walsh Investors, Vinci Concessions and Bilfinger Berger. The construction joint venture, WVC, was formed by Walsh Construction and Vinci Construction Grands Projets.

1- Anchor Box Installation.

2- General Elevation.

1- Pose de la boîte d'ancrage.

2- Vue d'ensemble en élévation.

GENERAL DESCRIPTION

The Lewis and Clark Bridge is a cable stayed bridge over the Ohio River. It is a wide bridge, capable of carrying three lanes of traffic in each direction with an additional full lane acting as a shoulder. On the downstream side, there is a pedestrian path 3.65m wide. Overall, the typical bridge section is nearly 38m wide (figure 3).

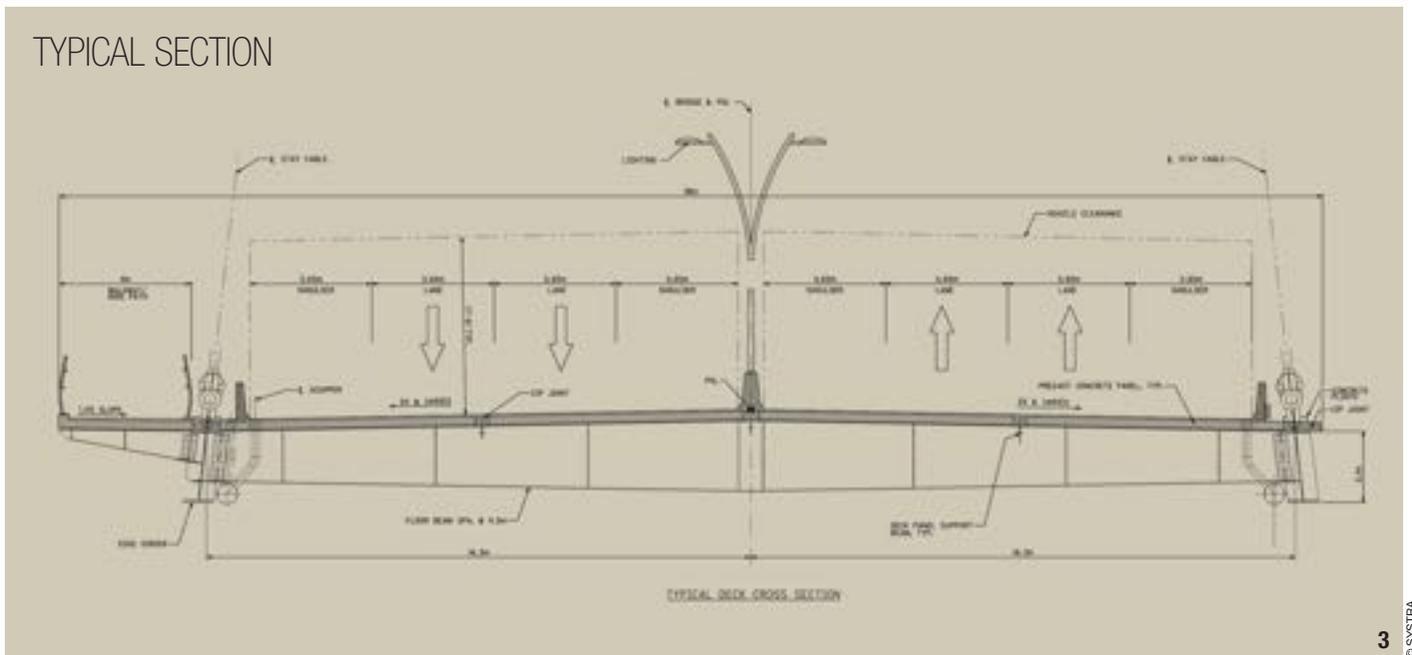
There were project-specific factors that greatly influenced the layout of the spans and pylons. Some of these factors were functional, while others reflected a desire to respect the

pastoral nature of the surroundings. The primary functional driver was the horizontal navigational clearance.

The actual width of the required clearance was only 275m. However, due to the alignment of the highway, the bridge was at a 65 degree skew to the shipping channel. This increased the effective required clearance, and resulted in the longer 365m main span.

The pylon height was capped at an elevation only 92m above the waterline and 66m above the deck level. This resulted in an historically low stay angle of about 20 degrees.

TYPICAL SECTION



3 © SYSTRA

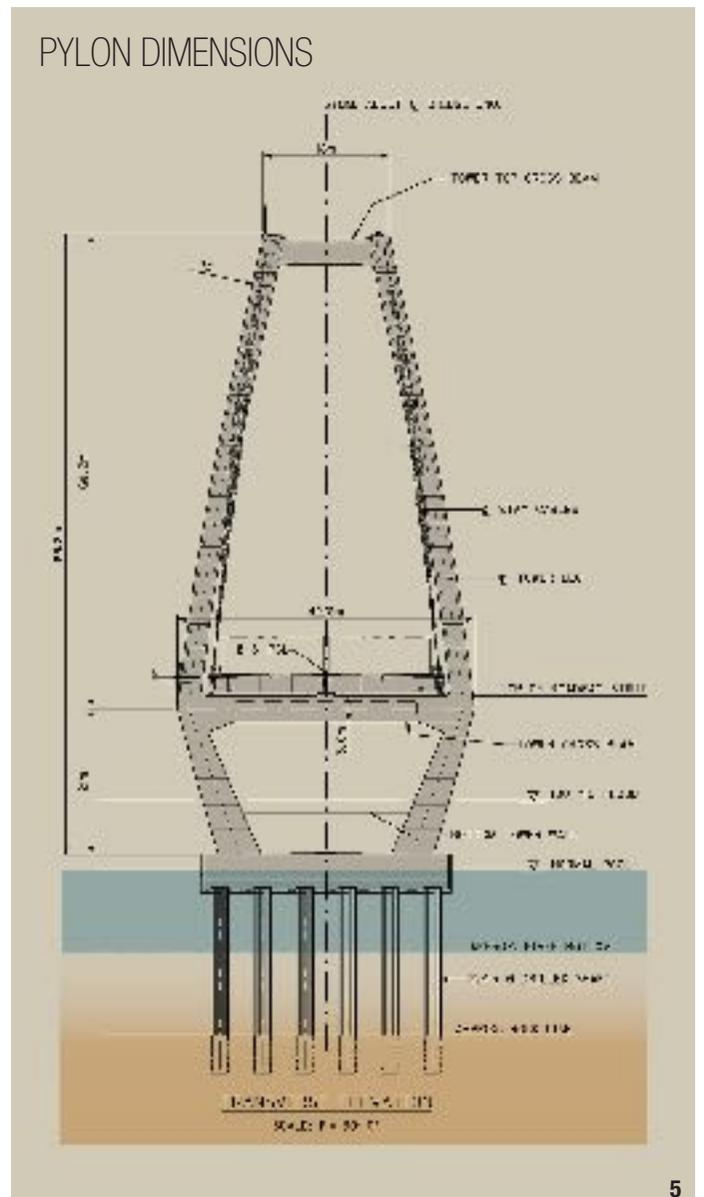
The tender phase was a dynamic period. The bridge had been conceived as a concrete cable-stayed bridge, and a concrete superstructure was a requirement of the draft version of the RFP. However, as the Owner became more aware of the costs associated with a heavy deck and low stay angles, the requirements were modified to allow a steel superstructure. This revision of the requirements was coupled with aesthetic requirements that referenced the original environmental approvals, giving the tenderers room for creativity. The WVC team recognised the challenges associated with a wide, heavy concrete deck and shallow cable angles, and adopted a composite steel deck option. For this span length, open composite decks have demonstrated good aerodynamic performance coupled with lower costs, and this was

chosen as the deck system. It required two layers of stay cables, influencing the pylon shape. To best reflect the aesthetic requirements while providing an anchorage location for both layers, a modified diamond shape was selected. The somewhat unusual shape was determined by a desire for transverse

- 3- Typical Section.
- 4- Precast Tub.
- 5- Pylon Dimensions.

- 3- Section courante.
- 4- Bac préfabriqué.
- 5- Dimensions du pylône.

PYLON DIMENSIONS



5 © SYSTRA



4 © SYSTRA



6- Steel Grillage Erection.

7- Tie-Down Exploded View.

6- Montage du treillis métallique.

7- Vue éclatée d'un ancrage.

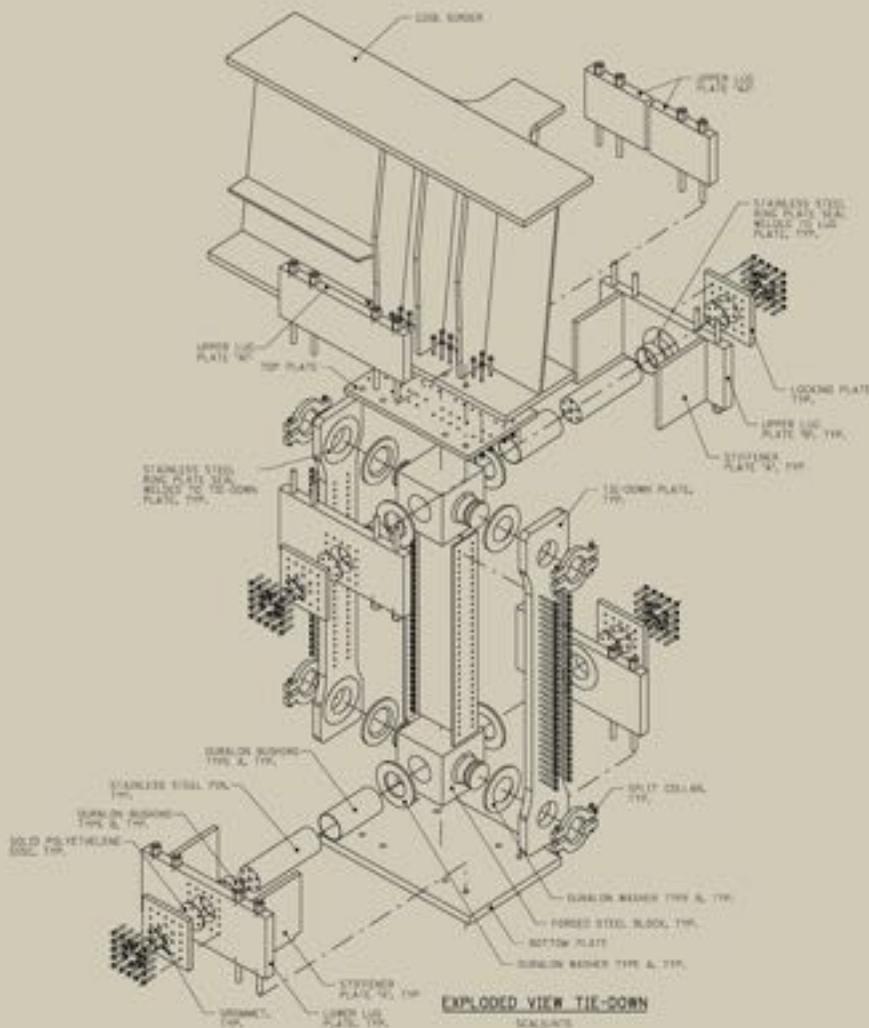
stiffness, coupled with the overall roadway clearance for the cables and limited height. The pylon legs were given a gradual inward curve, reflecting the aesthetic guidelines in the environmental documents.

SUBSTRUCTURE

The site for this project had favourable foundation conditions, with limestone rock located relatively close to the surface, approximately 25m below the waterline and 15m below the river bed. This led to concrete drilled shafts as the foundation type, with each pylon resting on 12 drilled concrete shafts of diameter 2.4m. While the limestone had good bearing characteristics, a risk with this type of rock is the potential for voids. To address this, an exploration programme was developed that drilled an additional 15m below each shaft to ensure the immediate vicinity was free of voids. Because of the location of the pylon foundations in the river, it was important to integrate the shaft design with the construction methods. WVC used a precast concrete tub for the pile cap, acting as a template for the drilled shafts, a cofferdam for in-water work and a stay-in-place form for the footing itself. The precast tub (figure 4) had holes in the bottom at the shaft locations. These were sealed, the tub was floated into position, and steel casings for the drilled shafts were installed through the holes in the tub. The drilled shafts were completed, the annulus around the casings was sealed, and the tub was de-watered, creating a dry work area for completion of footings. The pylon legs angle outward from the foundation, reaching a maximum width just below the roadway height, only 23m above the foundation. The lower sections of the pylons were designed with vessel collision as a consideration, resulting in solid legs and a shear wall to distribute impact loads to both legs (figure 5).

Beneath the roadway the pylon legs change inclination, and are re-oriented inward.

TIE-DOWN EXPLODED VIEW



EXPLODED VIEW TIE-DOWN
SCALE: 1/4\"/>



This creates a strong tensile force due to deviation of the high compressive loads. To resist this tension, a hollow, post-tensioned concrete tie beam connects the two legs. The top surface of this beam also acts as the bearing seat for the superstructure, transmitting reactions from the deck to the pylons. Above the tie beam, the pylon legs are hollow. This allows access to the top of the pylon and the stay anchorages, located in the top third of each pylon leg. The stay anchorages consist of steel boxes embedded inside the pylon, with opposing stay anchorages on either face. These are complex elements, with variable angles, an inclined pylon and fracture requirements combining to create analytical and fabrication challenges (figure 1).

compression from the stay cables was adequate to achieve the required stress levels. However, the centre of the main span and the ends of backspans sustain lower axial compression, so post-tensioning was required. This consisted of four-strand tendons running longitudinally in the concrete deck.

Attention was paid to the arrangement of the back stays near the expansion joint.

Given that the side spans were shorter than half of the main span, it was necessary to cluster the final stay cables near the transition piers.

The typical 13.8m spacing was reduced to 7.6m. For overall stability, a net uplift under dead loads was not wanted at the transition pier. Ballast was added near the transition pier to compensate

**8- Tub After Flooding.
9- Tower Strut.
10- Backspan Steel.**

**8- Bac après inondation.
9- Jambe de force de pylône.
10- Acier de travée de rive.**

and allowed an even distribution of stress on these stays.

The stays themselves were larger than would normally be seen on a bridge of this length, primarily due to the flat stay angle. The largest stays consisted of 109 strands, of unit area 150mm². The strands were waxed and sheathed strands conforming to ASTM A416 standards.

The connection of the transition pier to the superstructure was one of the more complex and interesting parts of the design. This was largely due to the functional requirements, as well as considerations of installation and long-term corrosion performance.

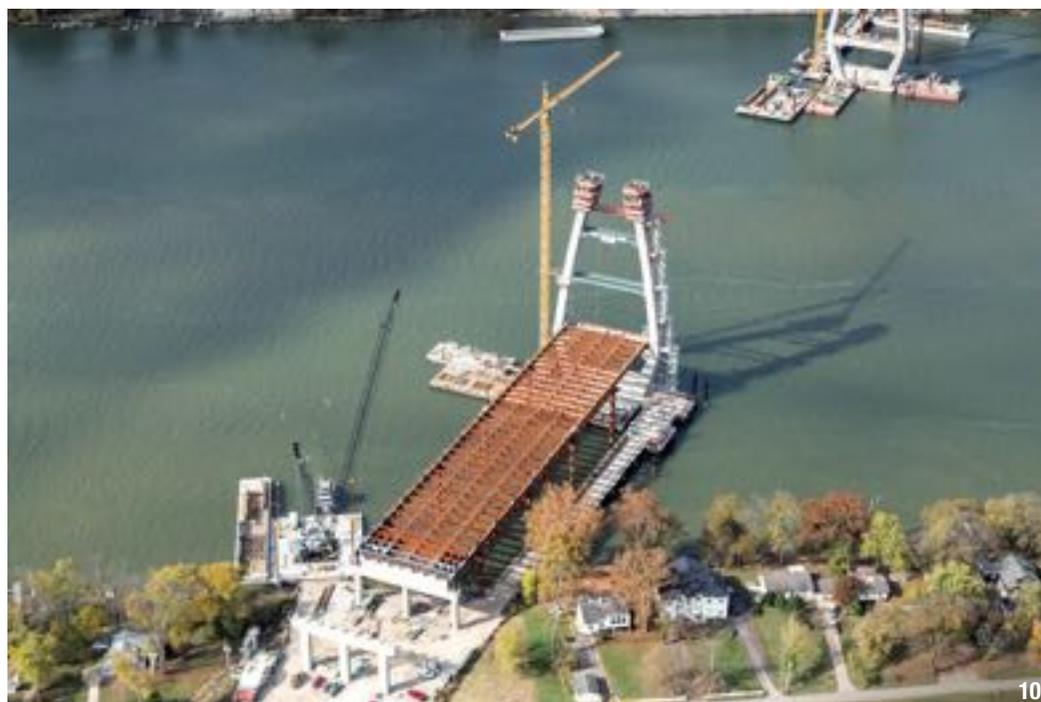
The connection between super- and sub-structure needed to achieve the following:

for the unbalanced dead loads. This ballast consisted of concrete poured in between the floor beams in the three bays leading up to the transition pier. This spread the ballast between the stays with a shortened tributary area,

SUPERSTRUCTURE

For span lengths shorter than 500m, an open composite section has a proven history. Here, the system consisted of two longitudinal edge girders, supported every 13.8m by stay cables. The webs of the edge girders were inclined inward to match the transverse inclination of the stay cable anchorages. At 4.6m intervals, the edge girders were connected transversely by floor beams. The floor beams were plate girders with an I section, of depth ranging from 1.5m to 2.1m. For each floor beam, a cantilevered beam was added on the downstream side, outboard of the edge girder. This provided support for the pedestrian path, which was separated from the roadway (figure 6).

The deck was formed of precast concrete panels made composite with the steel grillage through cast-in-place stitch pours. The criteria called for compression in the deck under service loads. In most of the deck, the





11

© SYSTRA

- 1- Transmit both tensile and compressive loads.
- 2- Accommodate longitudinal movements of approximately 800mm.
- 3- Accommodate rotations about a transverse axis.

To meet these requirements, a vertical tie-down link was selected. This consisted of a steel member connecting the bottom of the edge girder to the top of the concrete transition pier. Pinned connections at both ends allow free rotation and translation. The basic configuration proved complicated

**11- Launching.
12- Pier Table
Erection.**

**11- Lancement.
12- Montage
de la plateforme
de lançage.**

during construction. The floor beams in this area are cambered upward. At the time of tie-down installation, they are rotated outboard, and the tie-down connection would be at the

wrong transverse location on the pier. To solve this, WVC selected a double-acting rotational tie-down. This consists of a pin running through an anchorage block with lugs at 90 degrees to the pin orientation. This allows free rotation in both directions, creating a universal joint. An exploded view of the assembly is shown in figure 7.

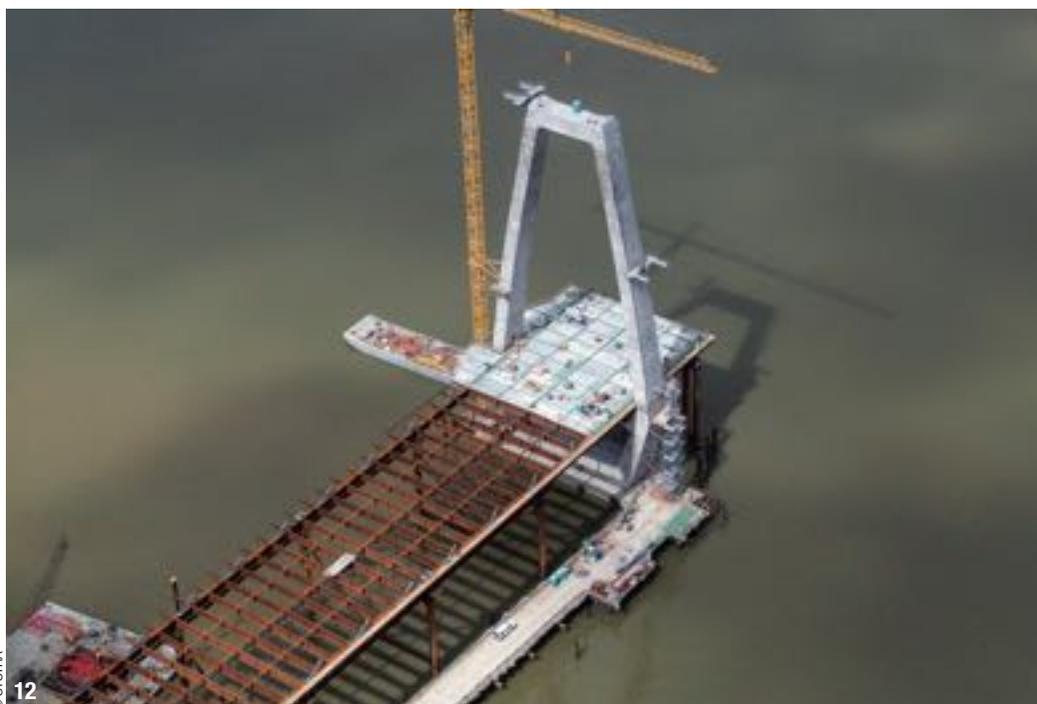
ANALYSIS

While the analysis of any major cable-supported structure is complex, many of the analytical requirements for this

project were relatively straightforward. The primary governing design code was the AASHTO LRFD specifications. This was supplemented by the Post-Tensioning Institute (PTI) Recommendations for Stay Cable Bridges and project-specific requirements in the project Request for Proposals. The live loading given in AASHTO was increased by 10%.

In the design of a river crossing, three sets of loads are often prime considerations. These are seismic, wind, and vessel collision loads. In these respects, the location of the project was very advantageous, and the stress from these loads was relatively small. Louisville is located in the region of the United States known as the Midwest, south of the Great Lakes. It is an area of low seismicity, and is far from the known isolated faults, such as the New Madrid fault. Louisville is also far inland, and not subject to hurricane exposure. The wind study resulted in design wind speeds of 30 m/s for a 10 minute mean with a return period of 100 years, well below design values found along the coast. Vessel impact mainly concerned barges, with lower tonnages than ocean-going vessels.

The analysis for this project also included studies developed specifically for this bridge. The studies focused on the requirements for fracture-critical steel members, or FCMs. The guidance for defining FCMs in the AASHTO code is general, and gives discretion to the Engineer and Owner to determine which members should be so categorized.



12

© SYSTRA

This has cost implications for both the short and long term, as an FCM designation affects the material requirements, welding inspection and repair, and inspection and maintenance requirements.

The designers and the Owner's reviewer spent considerable time developing a methodology for determining which members should be designated as FCM. The methodologies found in Federal Highway Administration (FHWA) guidance were not an exact fit, as they apply to conventional multi-girder beam bridges.

In the case of a cable-stayed bridge, the degree of structural redundancy is not clear and the question is further clouded by the redundancy implied by the stay loss analysis.

The final criteria for evaluating steel elements was influenced by the PTI stay loss criteria. This was done to bring a level of reliability to the case of a member fracture as was assumed for the case of a stay loss. As such, the load factors from PTI were adopted directly, and the sudden fracture of a structural steel member was substituted for the loss of a cable. With the load case established, the next question was which locations were representative, and as such nominated for the detailed study. Fracture studies were carried out for the edge girder at three locations. First in the back span, immediately adjacent to the tie-down girder. This area sees significant moment reversals. Second, on the pylon, where negative bending and compression are high. Last, at the centre of the main span, where positive bending is maximised. Floor beam loss cases were analysed in the same three locations. At each location, the floor beam fracture was modelled in bending at the centre of the floor beam, and in shear immediately adjacent to the edge girder.

In each location, the analysis was similar to a stay loss analysis, with the internal forces in the fractured member applied dynamically to a fully loaded model.

As these were considered extreme event load cases, the structure was evaluated for collapse only. Plasticity was permitted, within strain limits established in the project criteria. The analyses were largely successful, in that they demonstrated a significant ability of the structure to re-distribute loads away from the point of fracture. All of the fracture cases that were modelled were found to be within the established failure criteria.



13
© SYSTRA

CONSTRUCTION

In-water construction began in the autumn of 2013 with the installation of the precast foundation tubs. This would prove to be a challenging time, as the Ohio River was struck by one of the two major flood events that would affect construction. Fortunately, the tubs remained in their proper position, but were filled by the high waters and had to be emptied and cleaned before construction could begin again (figure 8).

Pylon construction progressed from the summer of 2014 until early 2016. The lower portions of the pylons faced their primary challenges in the control of mass concrete. To limit temperatures, cooling tubes were installed throughout the pours, and river water was circulated during curing. The portions of the pylons above the lower cross beam

**13- Intermediate
Erection Stage.**

**14- Completed
Bridge.**

**13- Stade inter-
médiaire du
montage.**

14- Pont achevé.

were hollow, and were not subject to a thermal control plan. The inclined pylon legs were braced with steel pipe struts (figure 9). The struts were also jacked to target the force distribution in the legs assumed during the design of the pylons.

Cable-stayed bridges follow a very linear construction path, from foundations to pylons, then the deck and

finally the finishing work. To mitigate this, some of the superstructure works were shifted to the pylon construction phase. While no stays would be stressed until the pylons were complete, the construction team decided to pre-assemble all of the backspan steel grillage and two stays worth of concrete deck prior to the completion of the pylon on temporary falsework towers (figure 10).

On the Kentucky backspan, good access was available either from land or by barge. At this end, the steel was placed conventionally with cranes. On the Indiana side, however, the banks of the river rise sharply, and a road runs along the shore providing access to local neighbourhoods. With these restrictions, crane access was not feasible. Instead, the backspan steel was assembled and incrementally launched from the Indiana abutment to the nearest pylon (figure 11). This operation was a substantial engineering and construction challenge. The stress in the launching phase had to be allowed for in designing the steel edge girders and connections. The process was made even more complex by the varying deck geometry, as the bridge transitions from crowned to superelevated within this span. This required careful shimming and adjustments to the support conditions during the launch to minimise the stresses due to this distortion.

The original deck erection plan only had shoring towers in the backspans.



14
© JACOBS



However, the site suffered a second flood that affected the work during pylon erection. To compress the remaining schedule, an additional falsework tower was constructed on the main span side. This allowed the first two cycles of deck concrete at the pylons to be constructed on falsework (figure 12). Deck erection was thus able to begin quickly, and 15% of deck erection was completed within a week of pylon completion. After this initial spurt, the remainder of the deck was erected using a repetitive pattern. First, the precast deck panels for one 13.8m cycle were placed in the back span. Stitch pours were cast, and the corresponding stays stressed. This prevented significant out-of-balance loads from developing due to dead load. Then a 13.8m segment of steel grillage was erected in the main span. Six precast panels were erected on the main span side, and three along each edge girder to provide access for the stay installation equipment to work on the stay anchorage at the segment tip, without requiring special platforms (figure 13). WVC would have preferred to install all of the panels at this stage,

15- Completed Bridge.

15- Pont achevé.

but it was found that doing so would result in unacceptably high tensile stresses in the concrete deck. At this stage, the leading stays were partially installed. Partial installation was necessary to prevent over-stres-

sing the structure with the minimum required seating stress in the strands. The remaining deck panels were then placed, and the remainder of the stay strands installed. Last, the stitch pour was cast, and the stay force adjusted to match target force and deck elevation values. Strands were installed by the isotension method, whose flexibility was critical for completing this complex sequence.

After two years of building the foundations and pylons, fabricating steel and deck panels and planning the work, the cables, main span grillage and the entire concrete deck were erected in only five months. Finishing works were performed in the following months, and the bridge was opened to traffic on schedule in December of 2016. The completed bridge is shown in figures 14 and 15. Since then, the new bridge and highway has successfully served its purpose, with about one-third of the traffic originally crossing the river in downtown Louisville now bypassing the bottleneck in favour of the outer crossing, significantly reducing congestion. □

QUANTITIES FOR THE MAIN BRIDGE

- PYLONS INCLUDING FOUNDATIONS (BOTH): concrete 18,000 m³, reinforcement 2,915 metric tons**
- SUPERSTRUCTURE DECK: concrete 6,945 m³, structural steel 5,300 metric tons**
- STAY CABLES: 875 metric tons**

STAKEHOLDERS

- OWNER: Indiana Finance Authority**
- OWNER'S REPRESENTATIVE: Parsons**
- 3P CONCESSIONAIRE: WVB East End Partners, a joint venture of Walsh Investors, Vinci Concessions and Bilfinger Berger**
- CONTRACTOR: WVC, a joint venture of Walsh Construction and Vinci Construction Grands Projets**
- BASIC AND DETAILED DESIGN: Jacobs, with subconsultant Systra IBT**
- CONSTRUCTION ENGINEER: Systra IBT**

ABSTRACT

LE PONT LEWIS AND CLARK (USA)

BENJAMIN SOULE, SYSTRA IBT

Le pont Lewis and Clark situé à Louisville, dans le Kentucky, est un pont haubanné avec un tablier mixte. Il s'agit d'un pont à trois travées, de portées respectives 164,5, 365 et 164,5 m, portant la circulation routière au-dessus du fleuve Ohio. Les contraintes du site, dont un canal de navigation biaisé, une hauteur de pylônes limitée et des limitations de travée de rive, ont constitué autant de défis d'ingénierie. □

EL PUENTE LEWIS AND CLARK (EE.UU.)

BENJAMIN SOULE, SYSTRA IBT

El puente Lewis and Clark, situado en Louisville (Kentucky), es un puente atirantado con un tablero de material compuesto. Formado por tres tramos, de 164,5, 365 y 164,5 m de longitud respectivamente, vehicula el tráfico viario sobre el río Ohio. Las restricciones del emplazamiento, como por ejemplo el cruce oblicuo sobre el canal de navegación, limitaron la altura de los pilotes, y las limitaciones de paso posterior plantearon desafíos de diseño. □



1

© SYSTRA-IBT

VIADUCS PRÉFABRIQUÉS, MÉTRO DE RIYADH LIGNE 3 (ARABIE SAOUDITE)

AUTEURS : PAUL-ÉMILE DURAND, OPERATIONS MANAGER, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ -
LUCAS WISE, TECHNICAL MANAGER, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ

LE MÉTRO DE RIYADH EST L'UN DES PROJETS MAJEURS D'INFRASTRUCTURES EN CONSTRUCTION EN ARABIE SAOUDITE AUJOURD'HUI. ACTUELLEMENT, SIX LIGNES SONT SIMULTANÉMENT EN CONSTRUCTION PAR DIFFÉRENTS CONSORTIUMS. LA LIGNE 3 EST LONGUE DE 40,7 km ET, PARMIS LES SIX LIGNES EN CONSTRUCTION, ELLE EST CELLE QUI POSSÈDE LE PLUS LONG LINÉAIRE DE VIADUC. POUR UNE CONSTRUCTION RAPIDE ET ÉCONOMIQUE, LA MAJORITÉ DU VIADUC A DONC ÉTÉ PRÉFABRIQUÉE. POUR LA CONCEPTION, LE VIADUC A ÉTÉ STANDARDISÉ PAR TYPES DE STRUCTURES, DE MANIÈRE À OPTIMISER LA PRÉFABRICATION ET L'UTILISATION DES MOULES ET DES VOUSOIRS.

INTRODUCTION

Riyadh, capitale de l'Arabie Saoudite, est la ville la plus peuplée du royaume avec 6,5 millions d'habitants, ce qui en fait la ville la plus peuplée des pays du Golfe ainsi que la troisième ville la plus peuplée du Monde Arabe. Les projections démographiques prévoient que, d'ici à 2025/2030, la ville de Riyadh comptera autour de 8,5 millions d'habitants.

Arriyadh Development Authority (ADA), en charge du développement stratégique et urbain de la ville, a fait de la modernisation du système de transport public une de ses principales priorités. Ainsi donc, dans le cadre d'un programme de développement urbain exceptionnel, un appel d'offres international pour la construction d'un système de transport par métro léger de grande envergure a été lancé en 2012.

1- Modèle 3D développé pendant la phase d'appel d'offres en 2012.

1- 3D model developed during the tendering phase in 2012.

Un plan sans précédent a été envisagé par le biais d'un seul programme nommé "Riyadh Metro", comprenant 6 lignes pour un total de 176 km, comptant près de 100 stations et pour un budget de 22 milliards de dollars US. (figure 2).

En juin 2013, le marché sera attribué à trois consortiums en charge de la livraison du génie civil, des systèmes ferroviaires et du matériel roulant pour



© RIYADH MUNICIPALITY

2

2- Riyadh Metro Masterplan (2012).

2- Riyadh Metro Masterplan (2012).

l'ensemble du projet et par le biais d'un contrat de conception-construction. Le consortium en charge du Package numéro 2, correspondant à la ligne 3, est Arriyadh New Mobility (ANM).

PRÉSENTATION DU PROJET

La ligne 3 comprend deux sections de viaduc de respectivement 20,4 et 5,0 kilomètres dans un environnement urbain et séparées par une section souterraine. L'arrangement des voies de circulation existantes, dans le secteur de la ligne 3, consiste en 2 chaussées séparées par un terre-

TABLEAU A :
LIGNE 3 - TYPES DE VIADUCS

	Travées (nombre)	Longueur (m)	Surface de tablier (m ²)
Travées isostatiques 24 m	3	72	720
Travées isostatiques 25 m	26	650	6,500
Travées isostatiques 28 m	18	504	5,040
Travées isostatiques 29 m	47	1,363	13,630
Travées isostatiques 33 m	168	5,544	55,440
Travées isostatiques 36 m	60	2,160	21,600
Travées isostatiques 37 m	278	10,286	102,860
Ponts continus à 3 travées (37 m - 50 m - 37 m)	27	1,116	11,160
Ponts encorbellement Type 1 (44 m - 60 m - 44 m)	6	296	2,960
Ponts encorbellement Type 2 (59 m - 95 m - 59 m)	9	639	6,390
Ponts encorbellement Type 3 (44 m - 73 m - 44 m)	3	161	1,610
Structures à 3 travées coulées en place Type 1	23	985	13,500
Structures à 3 travées coulées en place Type 2	13	420	6,888
Stations	50	1,460	14,600
TOTAL	731	25,391	260,248

plein central. Durant la phase d'études préliminaires, le viaduc de la ligne 3 a été positionné au-dessus de ce terrain central (figure 1).

Le tableau A indique les différentes structures composant le viaduc de la ligne 3.

STRUCTURES À VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS

Le viaduc est principalement constitué de tabliers en béton précontraint à voussoirs préfabriqués. Les trois principaux types de viaducs préfabriqués qui ont été développés sont décrits ci-après :

- Travées isostatiques longues de 24 m, 25 m, 28 m, 29 m, 33 m, 36 m et 37 m ;
- Ponts continus à 3 travées, inertie constante, de 37 m, 50 m et 37 m ;
- Ponts à 3 travées construits par encorbellement avec inertie variable (3 types similaires d'un point de vue conception et construction, mais différenciant par les longueurs de travée). Chacun de ces types est décrit plus en détails ci-dessous.

TRAVÉES ISOSTATIQUES

La plupart de l'alignement consiste en une succession de travées isostatiques à voussoirs préfabriqués, posées à l'aide d'un cintre auto-lanceur (figure 3).

Étant donné les exigences d'esthétique du projet, en particulier l'exigence d'un intrados courbe pour le viaduc, le concept d'un caisson multicellulaire a été adopté. La figure 4 ci-dessous représente la section transversale typique.

Les différentes longueurs de travées utilisées sont les suivantes : 24 m, 25 m, 28 m, 29 m, 33 m, 36 m et 37 m, les travées de 37 m constituant l'essentiel des travées, alors que les autres sont développées de manière à permettre les ajustements d'alignement lorsque nécessaire (présence de VRD enfouis, stations, franchissements spéciaux, etc.).

Le découpage des voussoirs a été optimisé en tenant compte des contraintes de transport et levage. Ainsi la longueur des voussoirs n'excède pas 4 m pour un poids maximal de 50 t (figure 5). Pour les travées de 37 m, le tracé de la précontrainte est composé de deux paires de câbles multi-torons régnant dans le hourdis inférieur et de trois paires de câbles multi-torons paraboliques disposés dans les âmes centrales. Ces câbles sont continus d'une extrémité de la travée à l'autre. ▷



© SALINI-IMPREGILO LARSEN & TOUBRO JOINT VENTURE

© SYSTRA-IBT

Pour les longueurs de travée plus courtes, cette disposition est simplifiée par la réduction soit du nombre de torons, soit du nombre de câbles. Cependant, pour permettre la standardisation des masques et coffrages de préfabrication, le tracé des câbles est maintenu constant quel que soit le type de travée. Sur instruction de l'entreprise, tous les câbles sont définis internes et adhérents.

Les voussoirs sont à face conjuguée (*match-cast*) et les coffrages consistent en "long-banc" de préfabrication pour les rayons de courbure en plan supérieurs à 1 000 m et en cellules individuelles pour les rayons inférieurs. Les appuis utilisés sont de type élastomère fretté à guide pour les alignements droits et à pot pour les alignements courbes. Les piles et têtes de pile sont en béton armé coulé en place (figure 6).

Pour la plupart de l'alignement, le niveau de la roche se situe entre un et deux mètres sous le terrain naturel. Pour cette raison, le principal type de fondation retenu est la semelle superficielle en béton armé.

Pour certaines zones spécifiques (présence de VRD enfouis et ne pouvant être déviés, ou lorsque les conditions locales de sol le requièrent), on a recours à des fondations spéciales par pieux forés.

DATES CLEFS DU PROJET

- Période d'appel d'offres : septembre 2012 à janvier 2013
- Date d'attribution du marché : juillet 2013
- Études d'exécution : 2014 et 2015
- Construction de la première pile : janvier 2015
- Pose de la première travée : juillet 2015
- 7 cintres auto-lanceurs
- Premier pont par encorbellement : terminé en mars 2016
- Premier pont par encorbellement : terminé en octobre 2017
- Fin de la pose du viaduc (génie civil) : août 2018 (650 travées pour 850 jours calendaires)
- Livraison de la ligne 3 prévue : août 2020

3- Installation d'une travée isostatique au cintre auto-lanceur.

4- Section transversale typique.

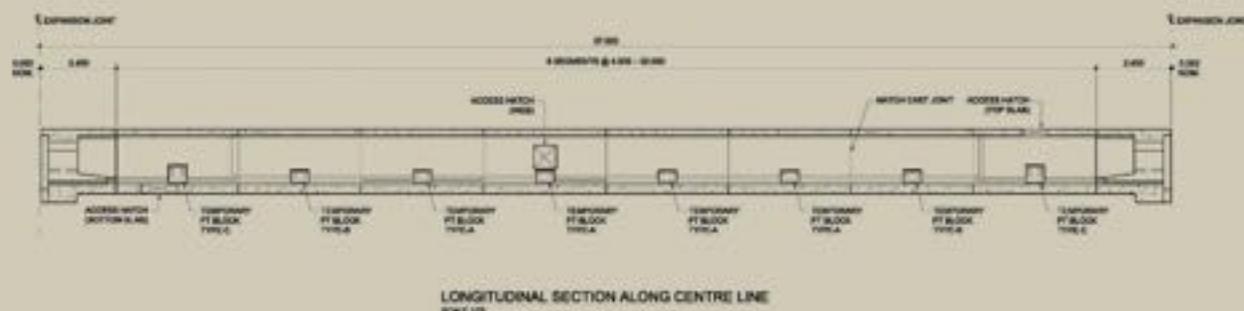
5- Vue en élévation d'une travée isostatique typique de 37 m.

3- Installation of an isostatic span with a movable scaffolding system.

4- Typical cross section.

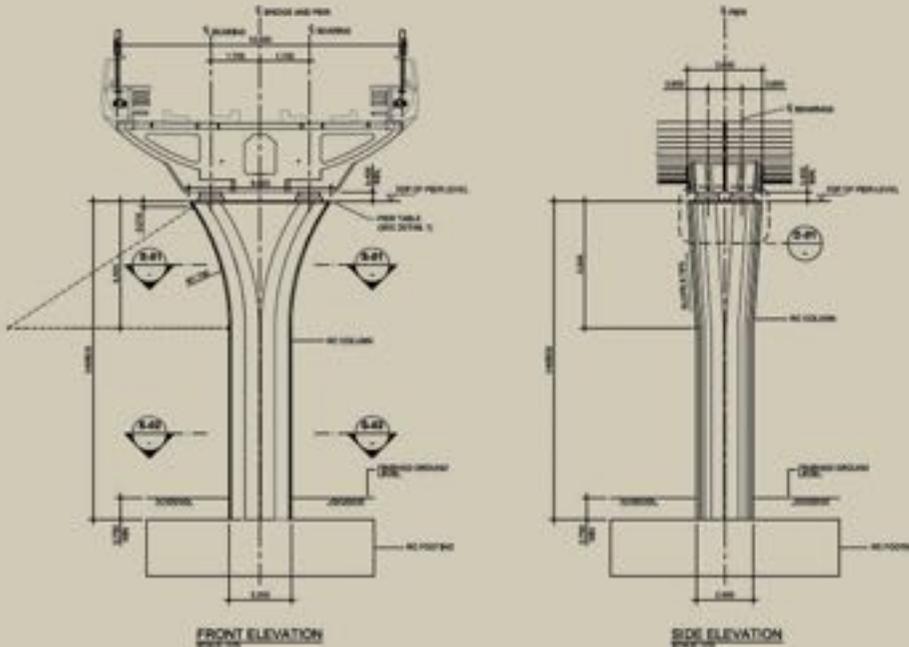
5- Elevation view of a typical 37-metre isostatic span.

VUE EN ÉLÉVATION D'UNE TRAVÉE ISOSTATIQUE TYPIQUE DE 37 m



LONGITUDINAL SECTION ALONG CENTRE LINE
SCALE 1/10

PILE EN BÉTON ARMÉ TYPIQUE



6- Pile en béton armé typique.

7- Cinématique de pose typique pour une travée isostatique.

6- Typical reinforced concrete pier.

7- Typical kinematic drawing of installation for an isostatic span.

reprenre le poids propre, sans ouverture des joints, alors que la travée est toujours supportée par le cintre.

Une fois la travée posée sur ses appuis temporaires, la deuxième phase de mise en précontrainte est effectuée, le reste des câbles est tendu et le cintre relocalisé à la travée suivante.

L'installation des appuis permanents et autres équipements (voies, systèmes, balustrades, injection des câbles, installation des appuis permanents, etc.) se tient une fois le cintre relocalisé et donc en dehors du chemin critique pour la pose du viaduc (figure 7).

Pour les viaducs de la ligne 3 du métro de Riyadh, sept cintres auto-lanceurs sont utilisés avec une vitesse de pose moyenne de deux jours par travée, pour un record de six travées en une semaine. La pose des travées isostatiques a commencé en juillet 2015 et s'est achevée en novembre 2017. Au total, 850 jours calendaires ont été nécessaires pour poser approximativement 650 travées isostatiques.

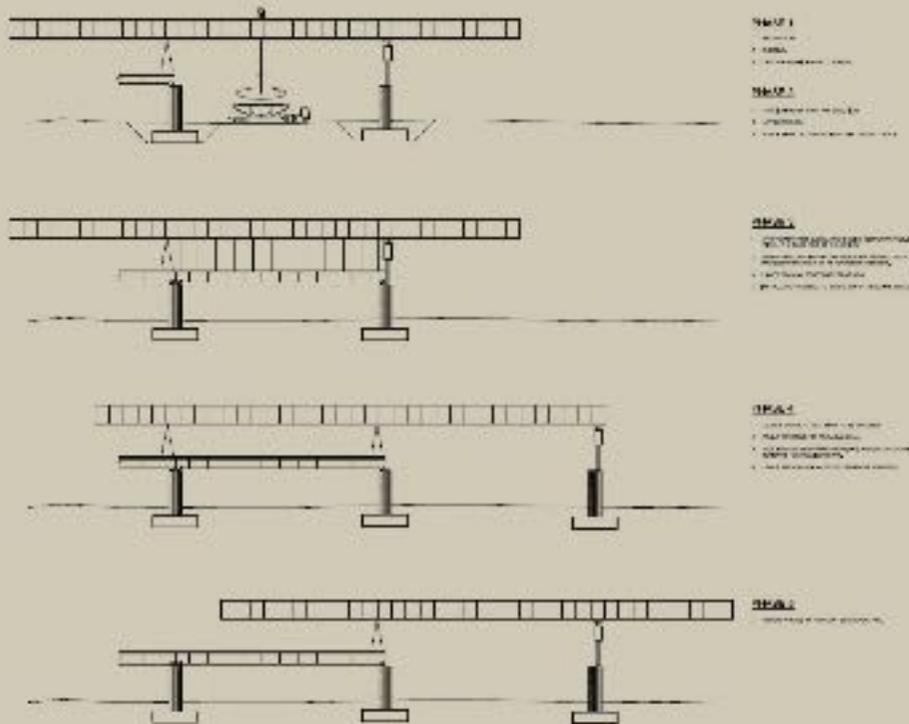
PONTS CONTINUS À 3 TRAVÉES À INERTIE CONSTANTE

Pour certaines zones spécifiques où la longueur à franchir doit excéder 37 m, des ponts continus à 3 travées avec inertie constante sont définis.

Les ponts continus sont conçus de manière à maintenir autant que possible les caractéristiques des travées isostatiques. Pour cette raison, le principe du caisson multicellulaire est maintenu, avec des aménagements spéciaux tels que hourdis épaissis et goussets pour permettre de loger les câbles de précontrainte dans le hourdis supérieur. Des bossages d'ancrage à l'intérieur du caisson sont également nécessaires. Puis finalement, des âmes épaissies ont été nécessaires pour permettre de reprendre des efforts tranchants supérieurs.

La distribution des travées pour une unité est de 37 m, 50 m et 37 m. ▷

CINÉMATIQUE DE POSE TYPIQUE POUR UNE TRAVÉE ISOSTATIQUE



Les travées sont posées à l'avancement par le biais de cintres auto-lanceurs. Étant donné la nature ferroviaire des viaducs, les travées peuvent être interrompues et il n'y a pas besoin de prévoir de continuité ou d'appareil de dilatation entre travées adjacentes.

Le rail enjambe donc le joint d'expansion entre travées adjacentes sans mesure particulière.

Pour l'installation, les voussoirs sont suspendus au cintre auto-lanceur après application de la colle époxy sur les faces conjuguées. Des barres de

précontrainte temporaire sont utilisées de manière à permettre le minimum de compression assurant la prise correcte de l'époxy sur toute la surface du joint. La mise en précontrainte s'effectue en deux phases. La première phase devant être juste suffisante pour permettre de

De la même manière que pour les travées isostatiques, le découpage des voussoirs est optimisé pour le transport et le levage.

Ainsi, des voussoirs de 3,6 m et 4,0 m sont définis pour un poids n'excédant pas 50 t pour la plupart et 60 t pour certains voussoirs à âmes et hourdis épaissis.

Pour ces structures, une méthode de pose hybride est définie avec l'entreprise, de manière à optimiser la conception des cintres.

Les trois premières paires de voussoirs au-dessus des piles sont posées par encorbellements successifs, alors que les autres voussoirs sont posés à l'avancement. (figure 8).

Comme illustré sur la figure 9, un "mini-encorbellement" au-dessus de la première pile centrale est d'abord installé pour ensuite permettre de *dropper* les voussoirs de la première travée de rive.

Le monolithisme de l'ensemble est assuré par coulage d'un clavage non-armé de 20 cm et de la mise en tension de câbles de continuité.

Le cintre est par la suite lancé vers la deuxième pile où le second mini-encorbellement est posé.

La travée centrale est à son tour *droppée* et rendue continue par clavage et mise en tension des câbles. Et ainsi de suite avec un processus similaire pour la pose de la troisième travée.

La disposition des câbles de précontrainte comprend deux familles de câbles.

La première famille constitue les câbles de fléaux logés dans le hourdis supérieur et ancrés sur la face des voussoirs, comme illustré sur la figure 11. La deuxième famille comprend les câbles de continuité logés dans les âmes et le hourdis inférieur, suivant un arrangement similaire à celui des travées isostatiques, et pouvant être ancrés soit dans des bossages, soit dans les diaphragmes des voussoirs sur pile (figure 10).

De la même manière que pour les travées isostatiques, le câblage de précontrainte est rationalisé de manière à permettre une standardisation des masques et coffrages de préfabrication. Sur instruction de l'entreprise, tous les câbles sont définis internes et adhérents.

Les appareils d'appui définis sont de type à pot, bloqués en translation longitudinale au droit de l'une des deux piles centrales (ou aux deux piles centrales dans le cas de piles particulièrement hautes).



8 © SALINI-PIRELLA GÖTTSCHEK & TOUBRO JOINT VENTURE

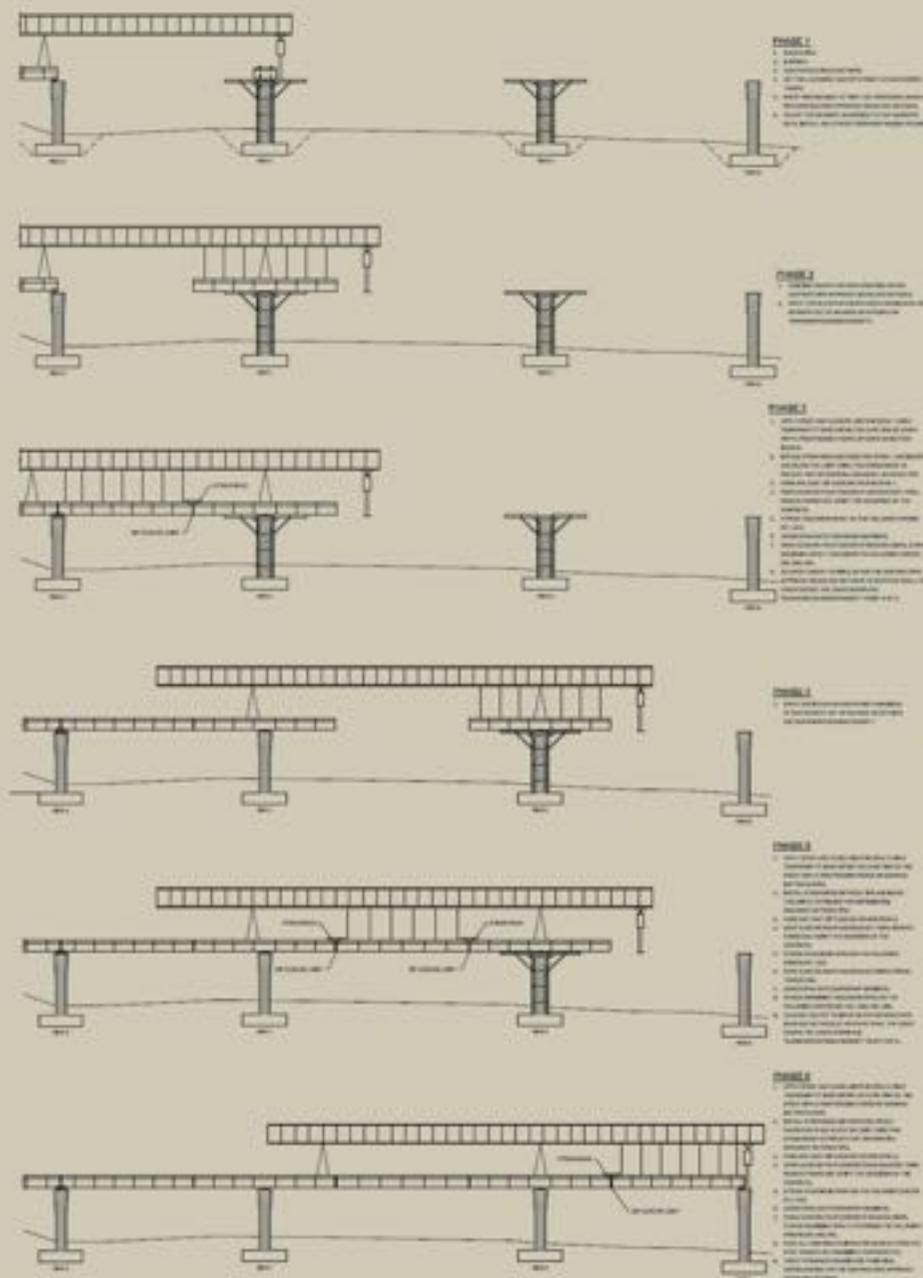
8- Ponts continus en cours de pose.

9- Cinématique de pose typique d'un pont continu.

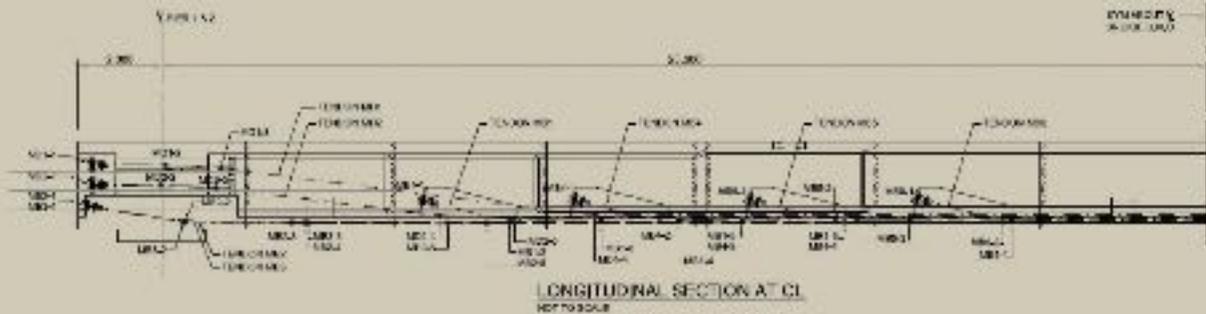
8- Continuous bridges during installation.

9- Typical kinematic drawing of installation for a continuous bridge.

CINÉMATIQUE DE POSE TYPIQUE D'UN PONT CONTINU

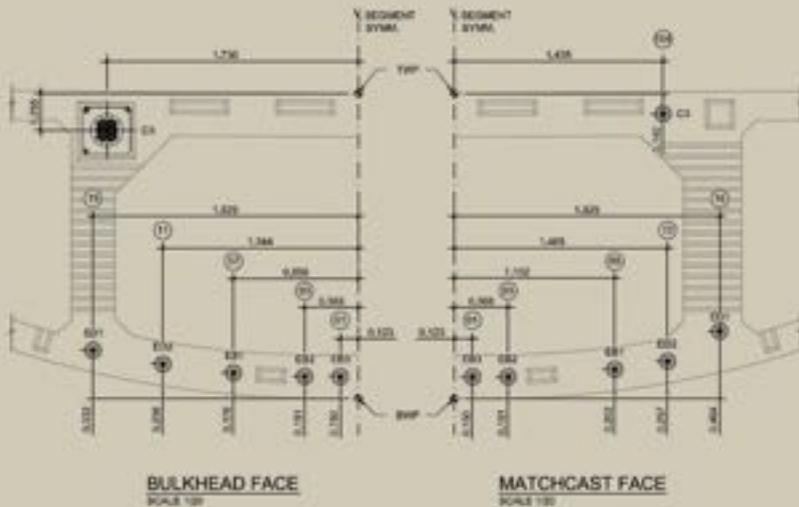


DEMI COUPE LONGITUDINALE DE LA TRAVÉE CENTRALE



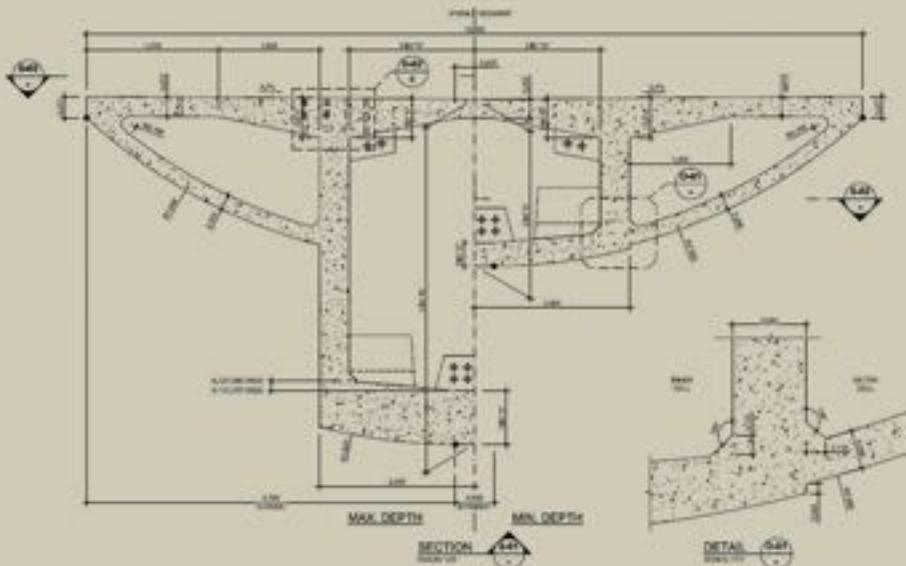
© SYSTRA-IBT
10

CÂBLES DE FLÉAUX POUR LES MINI-ENCORBELLEMENTS



© SYSTRA-IBT
11

SECTION TRANSVERSALE POUR LES PONTS CONSTRUITS PAR ENCORBELLEMENT



© SYSTRA-IBT
12

10- Demi coupe longitudinale de la travée centrale.

11- Câbles de fléaux pour les mini-encorbellements.

12- Section transversale pour les ponts construits par encorbellement.

10- Longitudinal half-section of the centre span.

11- Deck section cables for mini-cantilevers.

12- Cross section for bridges built by cantilevering.

Les piles sont architecturalement identiques aux piles supportant les travées isostatiques, les détails et quantités d'armatures étant ajustés pour reprendre les efforts plus importants dans le cas des piles de ponts continus.

PONTS À 3 TRAVÉES CONSTRUITS PAR ENCORBELLEMENT

Six ponts spéciaux à longue travée sont nécessaires pour permettre le franchissement d'échangeurs ou intersections complexes, et sont déclinés en trois types avec les travées centrales suivantes : 60 m, 72 m et 95 m. La méthode de construction est celle par encorbellements successifs à la grue depuis le sol ou par le tablier déjà posé grâce à des chèvres de levage. ▷

Pour ces ouvrages, la solution typique du caisson multicellulaire est conservée, avec le caisson central ajustable de manière à augmenter l'inertie pour reprendre les moments négatifs élevés au droit des piles (figure 12).

Les voussoirs préfabriqués sont posés par paire de part et d'autre de la pile et de manière symétrique par rapport à la pile (figure 13).

Après la pose de chaque paire, la précontrainte de fléau est mise en tension, puis une fois les deux fléaux du même pont terminés, un joint de clavage en béton non-armé de 20 cm est coulé en place, et précontraint par des câbles à éclisse de continuité.

Lors de la pose, des barres de précontrainte temporaires sont installées de manière à assurer un minimum de 0,28 MPa de compression pendant la prise de la colle époxy. Suivant les règles de la norme AASHTO LRFD 2012, les effets du temps ainsi que le phasage de construction sont pris en compte dans le modèle numérique : les forces de précontrainte (permanentes et temporaires), le fluage, le retrait, le poids propre, les effets de déséquilibre pendant la pose, les charges de construction, du vent et des équipements de levage. À chaque étape du



13

© SALINI-IMPREGILO LARSEN & TOUBRO JOINT VENTURE

phasage, les contraintes sont vérifiées au regard des limites prescrites par la norme AASHTO.

Pour le coulage des voussoirs, une contre-flèche est nécessaire.

Celle-ci est calculée à chaque joint comme étant la valeur de déformation obtenue à 10 000 jours.

Des "pyramides de déformations" sont calculées et fournies à l'entreprise de manière à permettre le monitoring des déformations pendant le montage.

13- Fléau d'un pont construit par encorbellement.

13- Deck section of a bridge built by cantilevering.

des Chemins de fer (UIC). Bien qu'il soit nécessaire d'utiliser des attaches de rail avec friction réduite de type "Vossloh System 336" dans le cas ces ponts de 95 m, les études spéciales d'interaction montrent qu'il n'est pas nécessaire d'équiper le viaduc d'appareils spéciaux de dilatation de la voie, permettant ainsi à l'entreprise de réaliser des économies d'installation et à l'exploitant de s'affranchir de certains coûts de maintenance onéreux.

INTERACTION ENTRE LA VOIE ET LE VIADUC

Des études d'interaction entre la voie et le viaduc sont conduites à l'aide de modèles non-linéaires complexes intégrant la structure et le rail, en particulier dans le cas des longues travées des ponts construits par encorbellement de 95 m. Les déplacements de la structure et les incréments de contrainte dans le rail sont vérifiés au regard des règles du Livret 774-3 de l'Union Internationale

PRINCIPAUX DÉLAIS ET DATES

Une phase d'appel d'offres de trois mois, suivis d'une phase d'études d'exécution de plus de deux ans fut nécessaire pour livrer le viaduc de la ligne 3. Un total de 4300 plans et 125 notes de calcul furent produits pour en permettre la construction. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR TOTALE DU VIADUC : 25 391 m

NOMBRE TOTALE DE TRAVÉES : 728 u

SURFACE TOTALE DE TABLIER : 26 0248 m²

VOLUME TOTAL DE BÉTON : 26 4044 m³

ÉPAISSEUR DE TABLIER ÉQUIVALENTE : 1 015 m

TONNAGE TOTALE DE PRÉCONTRAINTÉ : 4 839 t

RATIO DE PRÉCONTRAINTÉ : 18,6 kg/m²

TONNAGE TOTALE D'ARMATURES PASSIVES : 4 1793 t

RATIO D'ARMATURES PASSIVES : 158 kg/m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Systra (France), Egis (France), Parsons (USA)

ENTREPRISES DE GÉNIE CIVIL : Salini-Impregilo (Italie), Larsen & Toubro (Inde), Nesma (Arabie Saoudite)

SYSTÈMES FERROVIAIRES ET MATÉRIEL ROULANT : Ansaldo (Italie), Bombardier (Canada)

BUREAU D'ÉTUDES PRINCIPAL : Idom (Espagne)

BUREAU D'ÉTUDES SPÉCIALISTE OUVRAGES D'ART : Systra International Bridge Technologies (USA)

ABSTRACT

PREFABRICATED VIADUCTS, RIYADH METRO LINE 3 (SAUDI ARABIA)

PAUL-ÉMILE DURAND, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ - LUCAS WISE, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ

Due to its size and cost, the Riyadh metro project in Saudi Arabia is an unprecedented infrastructure project, currently under construction. Line 3 includes 25.4 km of elevated viaduct mostly with a precast deck. The viaduct as a whole is of the multicellular box section type, in prefabricated match-cast segments. The typical structures are of the isostatic span type up to 37 metres long, and 50-metre continuous bridges laid as work progresses with a movable scaffolding system. There are also bridges built by variable-inertia cantilevering, with 60- to 95-metre spans, constructed using a crane or lifting tripod. □

VIADUCTOS PREFABRICADOS, METRO DE RIAD, LÍNEA 3 (ARABIA SAUDITA)

PAUL-ÉMILE DURAND, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ - LUCAS WISE, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES, DUBAÏ

Por su tamaño y su coste, el proyecto del metro de Riad, en Arabia Saudita, actualmente en construcción, es una obra de infraestructuras sin precedente. La línea 3 incluye 25,4 km de viaducto aéreo con tablero mayoritariamente prefabricado. El conjunto del viaducto es de tipo cajón multicelular en dovelas prefabricadas con juntas combinadas. Las estructuras típicas son de tipo luces isostáticas de hasta 37 m, así como puentes continuos de 50 m colocados mediante avance por cimbra autolanzable, y también de tipo puentes construidos por ménsula de inercia variable, con luces de 60 a 95 m, construidos con grúa o bastidor de elevación. □



1

© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

RD45 - UN NOUVEAU PONT SUR L'ISÈRE

AUTEURS : NICOLAS MILANI, CONDUCTEUR D'OPÉRATIONS AMÉNAGEMENT, LE DÉPARTEMENT 38 - PHILIPPE PRIEUR, DIRECTEUR ADJOINT, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - NASR KHALIL, CHEF DE PROJET, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - SANDRA CROQUETTE, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TP - HERVÉ VADON, DIRECTEUR, STRATES OA

L'ANCIEN BOW-STRING FRANCHISSANT L'ISÈRE (38) A ÉTÉ CONSTRUIT EN 1931. L'OUVRAGE ÉTAIT EN MAUVAIS ÉTAT, ÉTROIT ET COURBE À SON EXTRÉMITÉ EST. NE RÉPONDANT PLUS AUX EXIGENCES DE SÉCURITÉ ET DE CIRCULATION SOUHAITÉES, IL EST REMPLACÉ PAR UN VRAI VIADUC. LE NOUVEAU PONT SUR L'ISÈRE A PERMIS DE CONCILIER SOBRIÉTÉ ET FONCTIONNALITÉ. IL EST CONÇU EN CAISSON MIXTE ET SON TRACÉ EST RECTILIGNE, COMPORTANT DEUX VOIES DE CIRCULATION, DEUX BANDES CYCLABLES ET UN LARGE TROTTOIR. IL A ÉTÉ NÉCESSAIRE DE RECOURIR À DES TECHNIQUES CONSTRUCTIVES À FORTE TECHNICITÉ.

LE CONTEXTE DU PROJET

La route départementale n°45 est un axe routier important pour le Département de l'Isère, avec un trafic moyen journalier de 8600 véhicules. Il participe au maillage du territoire, dessert Tullins chef-lieu de canton, assure le trafic lié aux activités économiques et touristiques, procure un accès à l'auto-route A49 Grenoble/Valence. Dans sa partie centrale, la configuration de la RD45 est réputée être en partie res-

ponsable de plusieurs accrochages en raison de problèmes de visibilité et de la largeur insuffisante de la chaussée au droit du pont permettant le franchissement de l'Isère.

1- Vue générale du projet.

1- General view of the project.

Ce pont datant de 1931, de type bow-string, présente à sa sortie en rive gauche un virage assez marqué avec peu de visibilité, induisant des problèmes de sécurité. Du fait de sa largeur réduite, le pont sur l'Isère n'intègre pas d'aménagement dédié aux cyclistes circulant entre les deux rives de l'Isère alors que le trafic des vélos est important en raison de la présence des voies vertes sur les berges de l'Isère. Le projet de la RD45 (figure 1) repré-

sentant un linéaire d'environ 1,7 km avait plusieurs objectifs :

- Améliorer la sécurité des piétons et des cyclistes le long de la route départementale et faciliter le rabattement sur les voies vertes ;
- Donner un gabarit satisfaisant et uniforme à la route sur l'ensemble de l'itinéraire en particulier au droit du franchissement de l'Isère afin d'améliorer la sécurité et la fluidité du trafic routier ;





2

© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

→ Réaménager le carrefour à feux au centre de Saint-Quentin-sur-Isère pour le rendre plus lisible.

LA CONCEPTION DE L'OUVRAGE

Le nouveau pont franchissant l'Isère est un ouvrage mixte constitué d'un caisson métallique surmonté d'une dalle en béton armé. La longueur totale entre les axes des deux culées est de 190 m réparti en trois travées de 55 m - 80 m - 55 m (figure 2). La largeur totale du tablier hors corniche est de 13,67 m répartie comme suit :

- Une bande cyclable de 1,50 m de largeur ;
- Une chaussée bidirectionnelle de 7,50 m ;
- Une bande cyclable de 1,50 m de largeur ;
- Un trottoir de 2,00 m de largeur du côté aval ;
- Deux corniches en acier thermo-laqué, un dispositif de retenue de niveau H2 en rive amont, une GBA entre la bande cyclable et le trottoir et un garde-corps architectural en rive aval.

L'ouvrage est fondé sur deux culées sur berges et deux piles dans le lit mineur de l'Isère.

LA PERCEPTION ARCHITECTURALE

Les réflexions sur le choix d'une structure ont porté sur l'inscription

de l'ouvrage dans son paysage, sa valeur symbolique mais aussi sur les contraintes hydrauliques, géométriques et de coûts.

Sa simplicité apparente s'accompagne d'une recherche avancée sur les appuis, sur sa forme géométrique et les adaptations dues à l'évolution de sa coupe transversale.

On a reconsidéré la distribution transversale du tablier en faisant sortir sur la rive aval les piétons au-delà du dispositif de sécurité en bord de chaussée. La création de deux petits belvédères au

2- Vue générale du nouveau pont en circulation.

3- Amortisseur sismique sur culée.

2- General view of the new bridge under traffic.

3- Seismic damper on abutment.

niveau des appuis est apparue nécessaire et intéressante dans l'accompagnement du cheminement piéton.

Les piles ont une forme oblongue et fluide, orientée dans le sens du courant ; l'absence d'arête laisse glisser la lumière et redessine indéfiniment le volume en fonction des heures, des jours et des saisons. Tous les éléments d'accastillage sont conçus pour la sécurité et le confort des usagers. Les corniches et garde-corps, en acier thermo-laqué gris lumière, participent à la qualité de l'ouvrage.

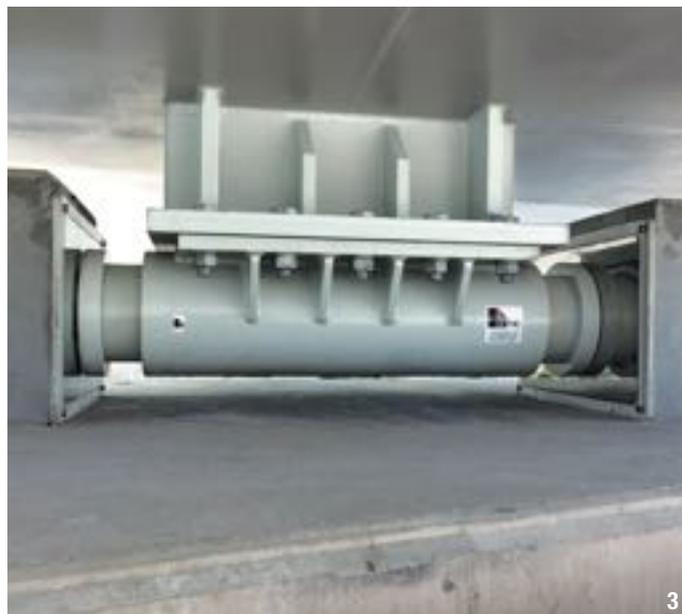
LES CONTRAINTES TECHNIQUES Géotechniques/Hydrauliques

Le lit de l'Isère est tapissé de plusieurs formations géologiques susceptibles d'être concernées par les affouillements :

- **Pile P1** : deux formations ont été rencontrées (de haut en bas) : des graves sablo-limoneuses grises et des sables fins limoneux gris ;
- **Pile P2** : trois formations ont été rencontrées (de haut en bas) : des sables argilo-graveleux, des graves sablo-limoneuses grises et des sables fins limoneux gris.

Pour appréhender le phénomène d'affouillement, deux études hydrauliques ont été entreprises :

- Une étude de morphodynamique du lit de l'Isère qui a montré un abaissement généralisé du lit à long terme de 1,5 m ;



3

© GROUPEMENT C/R

→ Une étude a été dédiée au calcul de la profondeur des fonds affouillables au droit des piles de l'ouvrage ; la profondeur d'affouillement calculée a été de 10,5 m y compris l'abaissement du lit de l'Isère de 1,5 m.

Face à cette contrainte, les mesures suivantes ont été prises :

→ Abaissement de la face supérieure des semelles des piles de 1,50 m sous le niveau du lit de l'Isère ;

→ Les batardeaux en palplanches métalliques prévus pour la construction des piles ont été intégrés à la structure des appuis pour participer à la stabilité de l'ouvrage en cas d'affouillement ;

→ Mise en œuvre d'une protection en enrochement autour des piles et sur les berges.

Séisme

L'ouvrage est situé en zone sismique moyenne et dans un sol de classe C. L'effort sismique horizontal provenant de la mise en mouvement du tablier est de 27 500 kN. Cet effort est trop important pour être équilibré par les appuis de l'ouvrage, quel que soit le type de fondations.

La solution technique retenue est conçue sur le principe d'isolation sismique.

L'intégration de dispositifs amortisseurs a été indispensable. Ces organes sismiques (figure 3) filtrent et absorbent la quasi-totalité de l'énergie du tremblement de terre. Ainsi, les éléments structurels de l'ouvrage ne subissent aucun dégât et les matériaux restent dans leur domaine élastique.



4
© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

4- Pile P2 en construction.

5- Culée C3 en construction.

4- Pier P2 under construction.

5- Abutment C3 under construction.

Ces amortisseurs ont permis de diviser l'effort sismique par un facteur de 8 environ.

LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Le projet de la RD45 a impacté une zone humide d'environ 1 ha en bordure de l'Isère ainsi qu'un habitat d'espèces

protégées (Triton crêté) sur environ 4 000 m². À ce titre, des mesures compensatoires avec une surface à traiter représentant le double de la surface impactée ont été intégrées à la conception du projet et réalisées en phase travaux. En effet, une surface d'un hectare de zone humide a été aménagée sur le site des travaux avec la réalisation de déblais et la création de plusieurs mares.

Pour compléter la surface de mesures compensatoires exigée par les instances administratives, le Département a dû rechercher des terrains adaptés en dehors du site tout en restant dans l'environnement de la zone aménagée. Quatre terrains représentant la surface demandée d'un hectare ont été trouvés et aménagés de façon à créer des zones humides.

LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'OUVRAGE

Les appuis

Les piles : Chaque pile est composée d'un fût unique en béton armé d'une hauteur de 12,55 m et d'une section oblongue avec extrémités circulaires. La largeur du fût varie de 9,0 m en tête à 13,65 m à la base et l'épaisseur varie de 1,89 m côté amont à 3,10 m côté aval. Chaque pile est équipée de deux appareils d'appui à pot multidirectionnels d'une capacité ultime de 16 369 kN pour l'appareil d'appui côté chaussée et de 13 792 kN pour l'appareil d'appui côté trottoir et d'un isolateur sismique transversal de type Ressort Amortisseur Précontraint (RAP) d'une capacité ultime de 1 533 kN. Chaque pile est fondée sur une semelle superficielle, ancrée dans la grave sablo-limoneuse. Sa géométrie est de 9,60 m de large, 22,90 m de long et 1,50 m d'épaisseur. L'ensemble a été fondé sur un bouchon hydraulique de 2,0 m d'épaisseur connecté aux palplanches métalliques. L'enceinte en palplanches métalliques présente une fiche de 24,0 m. Elle a été dimensionnée pour participer à la stabilité de la pile en cas d'affouillement (figure 4).

Les culées : Chaque culée est constituée d'un voile de 3,05 m d'épaisseur, d'un mur garde grève de 60 cm d'épaisseur et de deux murs en retour. La culée C3 est fondée sur une semelle superficielle de 12,30 m de large, 16,20 m de long et 1,50 m d'épaisseur. La culée C0 est fondée sur une semelle superficielle de 12,30 m de large, 20,30 m de long et 1,50 m d'épaisseur. Chaque semelle repose sur un batardeau en palplanches métalliques. Chaque culée est équipée de deux appareils d'appui à pot multidirectionnels d'une capacité ultime de 6 806 kN pour l'appareil d'appui côté chaussée et de 3 522 kN pour l'appareil d'appui côté trottoir et d'un isolateur sismique transversal de type Ressort Amortisseur Précontraint (RAP) d'une capacité ultime de 932 kN. La culée C0 est destinée à la reprise de l'effort sismique longitudinal. À ce titre, elle est équipée en plus de deux isolateurs sismiques longitudinaux de type Ressort Amortisseur Précontraint (RAP). Chaque RAP longitudinal a une capacité ultime de 1 733 kN (figure 5).

La charpente métallique

La charpente métallique se compose d'un caisson de forme trapézoïdale à hauteur constante dans le sens longitudinal (figure 6).



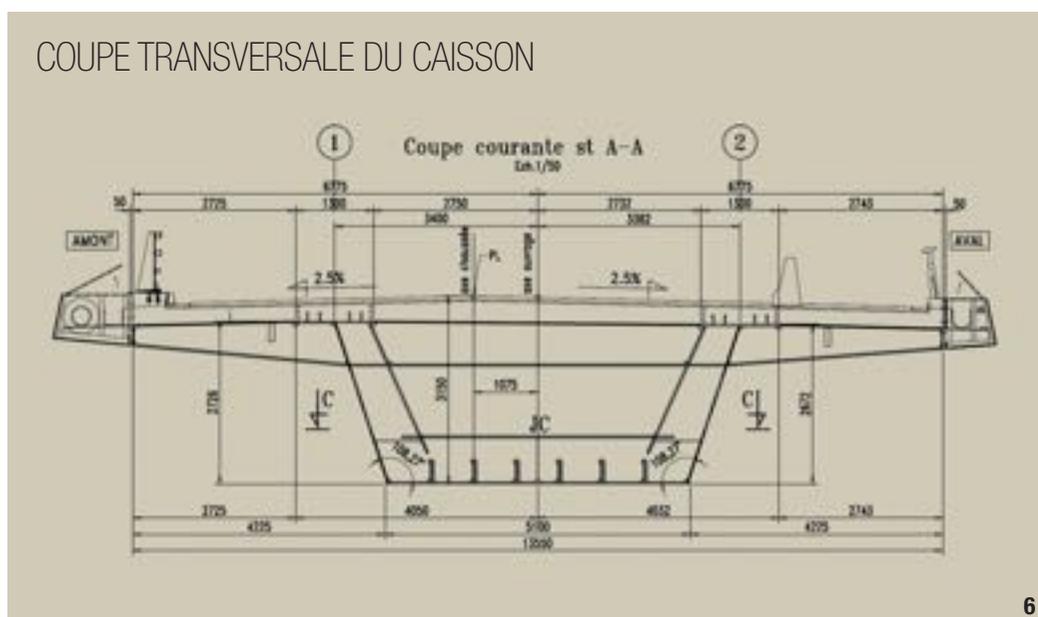
5
© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

Dans le sens transversal, la hauteur du caisson varie de 2726 mm côté amont à 2672 mm coté aval. Cette variation est due au décalage de l'axe de la chaussée par rapport à l'axe du caisson. Les âmes sont inclinées vers l'extérieur. Ainsi la largeur supérieure de caisson est de 6,78 m et la largeur inférieure est de 5,10 m. Les semelles supérieures sont de largeur constante de 1300 mm pour une épaisseur variant de 35 à 95 mm. La tôle de fond d'une largeur de 5,10 m a vu son épaisseur varier entre 25 mm et 50 mm. Elle est raidie par six files d'augets sur toute la longueur de l'ouvrage. L'épaisseur de l'âme varie entre 22 et 28 mm. Les diaphragmes sont équipés de pièces de pont et ont un espacement variable de 4,08 m en travée de rive à 4,00 m en travée centrale.

La géométrie des diaphragmes a été conçue pour autoriser les visites périodiques de la structure.

Les pièces de pont sont constituées de PRS de dimensions : semelle supérieure 550 mm x 20 mm, âme 20 mm et semelle inférieure de 300 x 30 mm. Au droit de chaque pile, le tablier a été élargi pour créer un belvédère afin d'agréments le confort des promeneurs. L'ensemble de la charpente a été protégé contre la corrosion par l'application d'un système de classe C3ANV sur les faces intérieures et d'un système de classe C4ANV sur les faces extérieures. La finition choisie est de couleur gris lumière.

Le caisson a été fabriqué en deux demi-caissons et transporté par tronçons en deux livraisons par convois exceptionnels depuis l'usine de fabrication de l'entreprise Berthold à Verdun. La reconstitution des moitiés d'éléments et l'assemblage ont été réalisés



sur site sur la plateforme de lancement. Une équipe d'ouvriers et soudeurs a assuré l'assemblage-montage pendant 6 mois. La charpente est mise en place par lancement, en deux phases à partir de la culée C3.

Le tablier et les équipements

La dalle de béton armé qui surmonte le caisson a été préfabriquée sur site en pleine épaisseur. Son épaisseur varie de 26 cm en extrémité à 35 cm à la jonction acier-béton.

Le complexe d'étanchéité de 30 mm d'épaisseur est un complexe épais adhésif au support béton. La couche de roulement en béton bitumineux EB 10 ROUL 50/70 qui le surmonte a une épaisseur de 6 cm.

Les joints de chaussée sont de type monobloc Mageba LR2-A80. La rive amont de l'ouvrage a été équipée d'une barrière de retenue de niveau H2 et la

rive aval d'un garde-corps métallique architecturé ainsi que deux corniches-caniveaux en acier thermolaqué à chaque rive.

6- Coupe transversale du caisson.

7a- Ferrailage de fut de la pile P2.

7b- Fût en élévation de la pile P2.

6- Cross section of the box section.

7a- Reinforcement of pier shaft P2.

7b- Elevation view of pier P2.

LES MÉTHODES ET LES PROCÉDÉS D'EXÉCUTION LA RÉALISATION DES APPUIS

L'ensemble des appuis a été réalisé à l'abri d'un batardeau en palplanches métalliques et d'un bouchon en gros béton. Lors de la réalisation des batardeaux des piles, deux principales difficultés ont été rencontrées :

La première est liée à la vitesse du courant et aux accès. L'accès à la pile P2 a été assuré par une digue provisoire. Une estacade permet d'accéder à la pile P1. La seconde est liée aux obstacles rencontrés lors du battage des palplanches de grande longueur : blocs rocheux, carcasses de voitures et surtout troncs d'arbres ensevelis sous plusieurs mètres d'alluvions. Ces contraintes ont nécessité l'alternance des techniques : vibrofonçage à l'aide de différents vibreurs, surbattage, etc.



7a



7b



8

© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

Une fois les batardeaux réalisés, les bouchons ont été coulés par des scafandriers. Les semelles de fondation et le fût en élévation ont été réalisés à sec avec un pompage ponctuel. La forme architecturale des piles et leur géométrie tronconique a nécessité la réalisation de fourrures en bois spécifiques (figures 7a et 7b).

Les appareils d'appuis ainsi que les amortisseurs sismiques ont été acheminés par un système de rails depuis le tablier après le lançage de la charpente métallique.

La réalisation des culées sur berges n'a pas présenté de difficulté particulière puisque celles-ci sont assez usuelles pour ce type d'ouvrage. Elles ont été réalisées à l'abri d'un rideau de palplanches métalliques et bouchon hydraulique. Le coffrage a été réalisé par des banches métalliques courantes

8- Vue en plan de la charpente métallique.

9a- Portique en cours de pose des dalles.

9b- Vue en plan de dalles préfabriquées.

8- Plan view of steel structure.

9a- Gantry crane during slab placing.

9b- Plan view of precast slabs.

avec intégration des matrices pour les parements vus.

LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique a été acheminée par tronçons de 16 m environ, en demi-caissons soit un total de 24 tronçons.

Les demi-caissons ont été assemblés sur chantier ainsi que les pièces de pont (figure 8).

Une plateforme d'assemblage et de lançage de 100 m de long et de 30 m de large a été créée à l'arrière de la culée C3 en rive gauche de l'Isère. Les tronçons sont arrivés déjà peints en usine pour faciliter les conditions d'exécution de la protection anticorrosion. Seules les zones soudées sur chantier ont ensuite fait l'objet d'une mise en peinture sur site. La charpente a fait l'objet de deux lançages successifs à

trois mois d'intervalle en février puis en avril 2017 :

- Assemblage de 7 tronçons représentant une longueur de 114 m et lançage sur 100 m. L'avant bec de 36 m a été accosté sur la pile P2 ;
- Assemblage de 5 tronçons représentant une longueur de 76 m et lançage jusqu'à la culée C0.

Le lançage a été réalisé sur sept chaises pouvant reprendre chacune jusqu'à 450 t, sur des plaques en téflon posées sur appuis, un treuil avec câbles sur mouflage de traction. Au terme du lançage et d'une opération de descente sur appuis délicate, compte tenu des hauteurs de calage (80 mm), l'ouvrage est réglé sur des appuis provisoires préalablement aux opérations de réalisation du hourdis. Après pose des dalles et clavage, l'ouvrage est descendu sur ses appuis définitifs. ▷



© GROUPEMENT C/R

9a

9b



10

© L. TAVARES - AUTEURS DE VUES

LE TABLIER

Le hourdis béton est constitué de 150 dalles préfabriquées de pleine épaisseur présentant chacune un poids de 17 t. Ces dalles portent entre les pièces de pont de la charpente métallique de sorte que le clavage n'a nécessité aucun coffrage provisoire. Une aire de préfabrication a été aménagée pour réaliser 9 dalles simultanément. Le décoffrage se faisait à 48h. Le stockage et l'ordre de fabrication des dalles ont été étudiés pour éviter toute reprise inutile. La manutention des dalles sur l'aire de fabrication et la plateforme de lancement a été assurée par chariot télescopique de 25 t (HTH25.11). Depuis l'extrémité gauche de l'ouvrage, les dalles ont été reprises trois par trois par un portique motorisé (figure 9a) réalisé sur mesure et placées à leur position définitive (figure 9b). Le bétonnage des clavages (200 m³) a été réalisé en une

seule fois à la pompe avec création de joints provisoires pour limiter le retrait longitudinal.

LES AMORTISSEURS SISMIQUES

La mise en place des amortisseurs sismiques (figure 3) sous le caisson métallique a nécessité la conception et la réalisation d'une plateforme spécifique.

Cette plateforme en structure métallique a permis l'acheminement depuis le tablier et la pose des amortisseurs sismiques sous le caisson métallique en toute sécurité. Cette même logistique a été utilisée pour la mise en place des appareils d'appuis à pot en tête des appuis. Les actions entreprises pour la pose des amortisseurs ont été les suivantes :

→ La reprise des faces en appuis avec les amortisseurs : sablage et peinture primaire chargée en zinc ;

10- Vue générale en cours de démolition.

11a- Démolition de la travée en rive droite.

11b- Démolition de la travée centrale.

10- General view during demolition.

11a- Demolition of the right-bank span.

11b- Demolition of the centre span.

→ Le serrage au couple à l'aide d'une clé hydraulique. Les amortisseurs longitudinaux sur la culée C0 type BC 60S-850-90-2300K avec un couple de serrage Cs = 2840Nm et les amortisseurs transversaux sur les appuis C0-P1-P2-C3 de type BC60S-580-90-1650L avec un couple de serrage Cs = 1890Nm ;

→ La mise en œuvre des plaques de glissement sur les faces latérales de l'amortisseur avec un réglage soigné du parallélisme entre les plaques à l'aide des vis calantes avec un jeu de 1 mm maxi entre les plaques de glissement et l'amortisseur de chaque côté, qui permettra le libre mouvement longitudinal de l'ouvrage en service ;

→ La mise en place d'un coffrage entre la plaque de glissement et la butée en béton déjà réalisée en tête de l'appui ;

→ Le positionnement des amortisseurs sur leurs consoles à l'aide de la visserie ;



11a



11b

© GROUPEMENT C/R

→ Le bétonnage en mortier sans retrait à haute performance de type Master-Flow 765 du support de la plaque du glissement.

LA DÉMOLITION DE L'OUVRAGE EXISTANT

L'ouvrage existant franchissant l'Isère est constitué de trois travées isostatiques de type bow-string en béton armé de 53 m de portée chacune, soit une longueur totale de 160 m.

Les tabliers sont constitués de dalles nervurées de 6 m de largeur pour 32 cm d'épaisseur. Les tabliers sont supportés par des suspentes et arcs en béton armé de 10 m de flèche. L'ouvrage comportait deux piles fondées dans l'Isère et deux culées sur berge. En phase conception, la solution retenue consiste à maintenir l'ouvrage sous son poids propre pendant la phase provisoire par le biais d'un étalement lourd constitué de profilés métalliques, d'un contreventement intérieur et d'appuis provisoires. L'ouvrage est ensuite légèrement vériné afin de décompresser ses arcs. La cinématique de déconstruction étant la démolition des arcs, des suspentes, du tablier et enfin les piles puis les culées, l'ensemble des travaux doit être réalisé soit à partir des berges de l'Isère, soit à partir de barges en faisant appel à des matériels spéciaux tels que grues, barges, pelles à pinces hydrauliques, matériels de sciage.

Les culées sont entièrement détruites. Les fouilles des fondations sont remblayées et les berges sont reprofilées dans la continuité des berges existantes. Les piles sont détruites jusqu'au niveau du terrain naturel et les palplanches existantes sont arasées. Cette méthode de démolition et les moyens d'accès dans le lit de l'Isère sont dictés par la forte contrainte environnementale qui interdit toute création des pistes ou batardeaux en remblais

dans l'Isère et d'une période d'intervention limitée entre mai et septembre. Par la suite et ultérieurement à la phase conception, une demande supplémentaire au titre du code de l'environnement

a été déposée auprès des autorités administratives. À l'issue de cette demande, les contraintes d'accès à la rivière ont été allégées, et la création des digues ou pistes en remblais est

devenue possible à condition que ces moyens n'aient pas d'impact significatif sur le régime hydraulique de l'Isère. Ainsi, en phase réalisation, la méthode de démolition et d'intervention dans l'Isère retenue par le groupement d'entreprises consiste à démolir chaque travée depuis une plateforme en tout-venant réalisée dans le lit mineur de l'Isère (figure 10). La digue, utilisée pour la construction de la pile P1 du nouveau pont, est également mise à profit. La modélisation hydraulique réalisée par le groupement a montré que le niveau de la ligne d'eau décennale de l'Isère aura une cote de +5 cm lors de la création de la plateforme en travée centrale. Ce niveau est jugé acceptable et n'aggrave pas la vulnérabilité puisque la crue reste non débordante. Les travaux débutent par le premier bow-string en rive droite. La structure est démolie par grignotage du béton et des aciers de façon à faire s'écrouler la travée sur elle-même. L'entreprise a déployé une pelle à long bras (6 m) équipée d'une pince hydraulique (figures 11a et 11b) permettant de dissocier et découper la structure en béton armé. Les matériaux de démolition sont triés et évacués. Puis, la démolition de la culée rive droite est réalisée. L'accès à la pile P2 est assuré par la réalisation d'une estacade en rive gauche. Les matériaux de remblai de la première plateforme ont été extraits et déplacés sous la deuxième travée en enveloppant les deux piles de l'ouvrage. La seconde et la troisième travée sont déconstruites à l'identique de la première. Les piles sont déconstruites en quatre étapes : l'élévation, la semelle, la désolidarisation des rideaux de palplanches implantés en périphérie de la semelle et enfin, le massif d'assise en béton est dynamité. Une fois toutes les fondations retirées, une remise en état du lit de l'Isère a été réalisée. □

PRINCIPALES DIMENSIONS ET QUANTITÉS

DIMENSIONS DE L'OUVRAGE

LONGUEUR TOTALE DU PONT : 190,00 m

LARGEUR : 13,65 m

SURFACE TABLIER : 2 594,00 m²

MATÉRIAUX DE L'OUVRAGE

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 998 t

CONNECTEURS : 8 t

BÉTON : 3 669 m³

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : 525 t

PALPLANCHES MÉTALLIQUES : 475 t

BOUCHONS HYDRAULIQUES : 2 384 m³

ENROCHEMENTS : 9 920 m³

TERRASSEMENTS : 90 000 m³

DURÉE DES TRAVAUX : 40 mois, mise en service du pont en novembre 2017

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Le Département de l'Isère (38)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Groupement Ingerop (mandataire) - Artelia - Strates OA

ENTREPRISES : Groupement Eiffage Travaux Publics (mandataire) - Carron - Berthold

SOUS-TRAITANTS :

- **Effage travaux maritimes et fluviaux : Fourniture et mise en œuvre des palplanches**
- **Etic : Fourniture des appareils d'appuis, amortisseurs sismiques et joints de chaussée**
- **Dfc Battage : Travaux des batardeaux de palplanches et estacade accès batardeau pile P1**
- **A.m.o-Btp : Assistance à la maîtrise d'œuvre**
- **Actif : Travaux de protection anticorrosion de la charpente métallique sur site**

COORDINATEUR SPS : Laasco

ABSTRACT

RD45 - A NEW BRIDGE OVER THE ISÈRE

NICOLAS MILANI, LE DÉPARTEMENT 38 - PHILIPPE PRIEUR, INGEROP - NASR KHALIL, INGEROP - SANDRA CROQUETTE, EIFFAGE TP - HERVÉ VADON, STRATES OA

The new bridge over the Isère is a structure 190 metres long, having three continuous spans with an 80-metre main span. It consists of a steel box section on top of which is placed a reinforced concrete slab precast on site. The structure is sober and functional, with a straight alignment, two traffic lanes, two cycle tracks and a wide footpath. The structure is provided with transverse and longitudinal seismic isolators. Given the great depth of foundation undercutting, the piers had to be protected by rockfill and steel cofferdams, incorporating very long breakwaters and sheet piling. □

RD45 - UN NUEVO PUENTE SOBRE EL RÍO ISÈRE

NICOLAS MILANI, LE DÉPARTEMENT 38 - PHILIPPE PRIEUR, INGEROP - NASR KHALIL, INGEROP - SANDRA CROQUETTE, EIFFAGE TP - HERVÉ VADON, STRATES OA

El nuevo puente sobre el Isère es una construcción de 190 m de longitud, con tres luces continuas y una luz determinante de 80 m. Está formado por un cajón metálico que sustenta una losa de hormigón armado prefabricada in-situ. La obra resulta sobria y funcional gracias a su diseño rectilíneo, con dos vías de circulación, dos carriles bici y una acera ancha. La construcción dispone de aisladores sísmicos transversales y longitudinales. La gran profundidad de socavación de los cimientos ha obligado a proteger las pilas mediante escolleras y ataguías metálicas, con diques y tablestacas de gran longitud. □



1

© EUROVIA CENTRE LOIRE

DOUBLEMENT DU VIADUC DE LANGEAIS SUR L'A85 À L'OUEST DE TOURS

AUTEUR : MICKAËL GIRET, DIRECTEUR DE PROJETS, ARCADIS

LES TRAVAUX DU DOUBLEMENT DU VIADUC DE LANGEAIS SONT D'ABORD CARACTÉRISÉS PAR LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION SOUS CHANTIER QUI S'IMPOSENT AUX TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENTS AUTOROUTIERS. UN ENJEU PLANNING FORT PÈSE SUR L'OPÉRATION DU FAIT DE CRÉNEAUX SNCF FIGÉS POUR LE FRANCHISSEMENT DE VOIES FERRÉES. LE VIADUC ET LES RACCORDEMENTS AUTOROUTIERS LIÉS ONT ÉTÉ CONÇUS EN MAQUETTE NUMÉRIQUE. LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DE LA ZONE D'ÉTUDE ONT CONDUIT À DES AMÉNAGEMENTS SPÉCIFIQUES CONSÉQUENTS.

OBJET DE L'OPÉRATION

La section K3 de l'autoroute A85, mise en service en 2007 à l'ouest de Tours, comprenait une série de 3 viaducs dont le profil ne permettait pas alors d'obtenir une continuité de l'autoroute à 2x2 voies. La réalisation présentée ici vise le doublement d'un de ces viaducs, le viaduc de Langeais, d'une longueur de 671 m (figure 1). Les deux autres ouvrages, La Perrée (546 m) et La Rou-

mer (249 m), doublés concomitamment suivant une technique similaire, ne seront pas évoqués ici.

VIADUC ET RACCORDEMENTS AUTOROUTIERS CONÇUS SOUS BIM

Le maître d'œuvre a mené la conception du projet en BIM, sous Revit pour le viaduc, et sous Civil 3D pour les raccordements autoroutiers (figure 2).

1- Viaduc existant et appuis du futur ouvrage.

1- Existing viaduct and supports of the future structure.

La conception en maquette numérique a notamment été précieuse pour l'étude de la culée C1 du viaduc. Celle-ci étant contrainte par les armatures de terre armée de la culée C0 existante, plusieurs solutions complexes ont dû être étudiées pour concevoir une culée hors de ces armatures.

La culée C1 a été reculée de 16 m au regard de la culée existante pour traiter cette problématique. Ceci a



© ARCADIS
2

induit des sujétions de phasage de réalisation importantes, avec un soutènement de la plateforme existante de l'autoroute à assurer en permanence (figure 3).

Un soutènement de hauteur 10 m a pour cela été réalisé en rive de BAU, permettant d'atteindre la sous-face du chevêtre projeté.

La maquette numérique a également permis de présenter à l'exploitant et aux entreprises la configuration de chantier qui allait être mise en œuvre pendant l'essentiel de la durée des travaux. Cette configuration correspond à la déviation de l'autoroute nécessaire pour dégager l'aire d'assemblage et de lancement de la charpente métallique. Une vidéo issue de la maquette numérique a été produite à cet effet (figure 4).

Il a été retenu la mise en place de GBA et de DBA (glissières en béton adh-

2- Maquette numérique de conception du viaduc et des raccordements autoroutiers.

3- Maquette numérique de conception de la culée C1.

4- Extrait de la vidéo illustrant les conditions de circulation sous travaux.

2- Digital design model of the viaduct and motorway links.

3- Digital design model of abutment C1.

4- Excerpt from the video illustrating traffic conditions during the works.

rent) en rives et en axe des voies autoroutières déviées, plutôt que la mise en place de SMV (séparateurs mobiles de voies).

Ceci pour une sécurité maximale des travailleurs sur la plateforme d'assemblage et de lancement, et aussi pour éviter les interventions de l'exploitant pour remise en place de SMV (nécessité de couper l'autoroute, risque pour la sécurité de l'exploitant et des usagers).

CHARPENTE TRAITÉE EN BIM EN PHASE EXE

Les études EXE décrivent nécessairement la charpente métallique en longueurs réelles, pour les besoins de la fabrication en usine.

La maquette de l'ensemble du site est calée dans le référentiel du concessionnaire, à savoir le système Lambert 93. Le choix a été fait de conserver dans la maquette d'assemblage les EXE en

longueur réelle de la charpente ; aussi l'altération linéaire, induite par le référentiel Lambert 93, est visible dans la maquette générale (raccordement routier et about du tablier superposé à une des extrémités de l'ouvrage). L'altération linéaire est d'environ 860 mm/km, soit 577 mm d'écart pour une longueur de viaduc de 671 m.

Pour éviter l'apparition de clashes non justifiés lors des opérations de contrôle de la charpente métallique prise en compte est une maquette de charpente chargée par le tablier en béton. Ceci évite de prendre en compte l'effet de la contre-flèche dans la définition de l'ouvrage construit, effet qui induirait de nombreux conflits avec le tablier béton.

Le récolement est réalisé en Lambert 93 sur le périmètre complet du projet.



© ARCADIS
3



4



5

© ARCADIS

LIVRAISON, ASSEMBLAGE ET LANCÉAGE DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique provient de l'usine de fabrication Baudin Chateaufort située à Châteaufort-sur-Loire (Loiret).

La charpente métallique est approvisionnée sur site en 4 livraisons, avec 10 à 12 colis par livraisons.

Les livraisons de charpente s'effectuent de jour, sous protection de patrouilles Cofiroute.

La longueur de l'aire d'assemblage et de montage de la charpente a été intercalée entre la brèche à franchir et le passage supérieur situé en amont. La longueur obtenue de 250 m permet de réaliser un lançage de la charpente en 4 étapes.

Les éléments de charpente sont déchargés puis positionnés sur le lieu de montage à partir d'un portique automoteur.

L'utilisation de ce portique permet un gain de temps sur les opérations de manipulation de la charpente, ce qui est précieux pour cette opération au regard d'une contrainte de planning très forte constituée par des dates figées de franchissement par la charpente de la ligne ferroviaire Tours-Saint-Nazaire, sous interruption de trafic ferroviaire. L'utilisation du portique permet également de limiter les contraintes rapportées au sol, en circulant sur un chemin de roulement, au regard de l'utilisation de grues mobiles (figure 6).

Pour permettre le lançage de la charpente, un massif poids de 200 t a été réalisé en amont de la plateforme de lançage, pour accueillir les deux treuils, un treuil dédié à la traction, l'autre au freinage (figure 5).

Un renvoi du treuil de traction a été réalisé sur le chevêtre de la culée C1 (figure 7).

Le treuil de traction fait avancer la charpente en tirant sur l'arrière-bec, via le renvoi sur C1. Le treuil de freinage retient la charpente via un câble fixé également sur l'arrière-bec.

La hauteur des appuis provisoire est de 4,15 m au droit de la pile P2 (figure 8)

5- Treuils de lançage, aire de lançage et charpente lancée (en arrière-plan).

6- Portique automoteur pour le déplacement des poutres.

5- Launching winches, launching area and launched frame (in the background).

6- Self-propelled gantry crane for moving the girders.

et de 0,70 m au niveau de l'avant-dernier appui, sur la pile P11.

Aucun appui provisoire n'a été mis en place sur la culée C1. L'avant-bec est démonté avant l'accostage sur la culée C12.

Seule la travée destinée à surplomber les voies ferrées est lancée avec une partie du hourdis béton sous forme de dalles préfabriquées, posées à la grue, pour éviter l'utilisation de l'équipage mobile dans ce secteur.

Le 1^{er} lançage a été réalisé le 10 octobre 2018 (figure 9). La totalité de la charpente aura été lancée le 31 mars 2019.



6

© ARCADIS



DES MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le site des travaux présente des enjeux environnementaux significatifs : présence d'une large zone humide incluant les piles P3 à P11, et franchissement d'un ruisseau.

DÉMARCHE DE CO-CONCEPTION AVEC L'AGENCE FRANÇAISE BIODIVERSITÉ

Dès la phase avant-projet, le concepteur a échangé avec l'AFB (Agence Française pour la Biodiversité) pour définir les mesures à mettre en place pour limiter l'impact du chantier. Ces mesures se sont appuyées sur les recommandations du récent guide de l'Agence Française pour la Biodiversité "Bonne pratiques environnementales - Protection des milieux aquatiques en phase chantier".

7- Renvoi du treuil de traction sur la culée C1.

8- Appuis provisoires de la charpente sur la pile P2.

9- Avant- bec en fin d'opération de lancement, ruisseau des Agneaux en contrebas.

7- Haulage winch return pulley on abutment C1.

8- Temporary frame supports on pier P2.

9- Launching nose at end of launching operation, Ruisseau des Agneaux stream below.

On a d'abord recherché à limiter les emprises provisoires en zone humide. Puis, la zone humide restant sous l'emprise des pistes de chantier ou des plateformes de travail a été découpée, le produit du décapage soigneusement stocké dans des sites identifiés et protégé par ensemencement. Les terrains décapés ont été protégés par un géotextile de façon à éviter toute pollution du sol par l'apport des matériaux de structures provisoires. À l'issue des travaux, les terres sont remises en œuvre sur le site d'origine.

Pour éviter le rejet de matières en suspension (MES) dans le cours d'eau, un réseau de collecte et de traitement provisoire a été réalisé. Ce réseau a été conçu en lien avec l'AFB.

Les eaux de ruissellement des pistes et plateformes sont captées par une bar-

rière filtrante, composée de boudins en coco et de géotextiles filtrants, avant rejet des eaux filtrées dans un fossé provisoire (figure 11), lui-même équipé de seuils filtrants (calibre 40/300). Ce fossé provisoire étant raccordé sur un fossé existant à l'aval.

Les eaux issues du pompage des forages de pieux avant bétonnage, eaux très chargées en fines, sont dirigées soit vers un bassin provisoire équipé de seuils filtrants (figure 10), soit vers des bassins mobiles de décantation, solution innovante d'Eurovia (figure 12). Le choix de la mise en œuvre de l'un ou l'autre des dispositifs est lié à la sensibilité du milieu naturel dans le secteur considéré. Ainsi, le choix a été fait de ne pas creuser de bassin dans les zones humides, mais de poser des bennes équipées.





10

© ARCADIS

10- Bassin provisoire en rive de route départementale.

11- Fossé provisoire avec barrière filtrante en amont.

12- Bassin mobile de décantation des eaux.

10- Temporary basin on the edge of the county road.

11- Temporary ditch with upstream filtering barrier.

12- Mobile water settling basin.



11

© ARCADIS

La performance du système d'assainissement provisoire est vérifiée par des mesures régulières.

MODÉLISATION DU RUISSEAU DES AGNEAUX

Le doublement du viaduc induit la création de nouvelles piles. L'une d'entre elles se situe sur les berges du ruisseau des Agneaux (la nouvelle pile P4), ce qui a nécessité sa déviation, d'autres piles sont dans le lit majeur du cours d'eau.

BASSIN MOBILE DE DÉCANTATION DES EAUX



12

© EUROVIA BÉTON

PROFONDEUR D'EAU EN Q10 AVEC NOUVEAU VIADUC ET RUISSEAU DÉVIÉ



© ARCADIS

13

La présence des nouvelles piles et la déviation du lit mineur sont susceptibles d'impacter les conditions d'écoulement en crue du ruisseau des Agneaux. Pour appréhender ces conditions d'écoulement, une modélisation hydraulique 2D a été réalisée, pour les crues Q10 et Q100.

Le logiciel utilisé permet la modélisation 2D par résolution des équations de Barré de Saint-Venant à 2 dimensions d'espaces horizontales.

Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau (figure 13) et la vitesse moyenne sur la verticale. La zone modélisée est représentée par

13- Profondeur d'eau en Q10 avec nouveau viaduc et ruisseau dévié.

13- Water depth at Q10 with new viaduct and diverted stream.

des mailles triangulaires dont les extrémités sont à la fois les points de calcul et les points de donnée topographique. Cet outil se justifie en rivière, pour calculer localement et très finement des

champs de courants en lit mineur sur des secteurs localisés ou pour représenter finement les écoulements en zone lit majeur au droit de singularité telle que des piles. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

RACCORDEMENTS AUTOROUTIERS :

- Déblais : 16 000 m³
- Remblais 15 000 m³
- Couche de forme 8 600 m³
- GNT : 4 850 m³
- GB4 : 1 070 m³
- BBSG : 3 350 m³
- BBTM : 430 m³
- Glissières métalliques : 3 290 m
- Séparateurs béton : 3 390 m

VIADUC :

- Pistes d'accès 26 000 m²
- Forage de pieux : 1 170 m
- Batardeaux : 950 m²
- Fouilles : 3 140 m³
- Remblais : 1 950 m³
- Coffrages : 4 530 m²
- Béton C30/37 de pieux : 1 120 m³
- Béton C30/37 pour piles : 3 820 m³
- Béton C35/45 pour culées : 340 m³
- Béton C35/45 pour dalle : 2 500 m³
- Armatures pour béton armé : 1 270 t
- Acier laminé pour tablier : 2 000 t
- Chape d'étanchéité : 6 200 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Cofiroute

MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis

ARCHITECTE : Fabrice Néel et Françoise Vié

ENTREPRISES : groupement Etpo (mandataire) / Eurovia béton / Baudin Chateauneuf / Eurovia Grands Travaux / Eurovia Centre Loire

COORDONNATEUR SÉCURITÉ : Veritas

ABSTRACT

DOUBLING THE LANGEAIS VIADUCT OVER THE A85 MOTORWAY WEST OF TOURS

MICKAËL GIRET, ARCADIS

The Langeais viaduct doubling project employed conventional bridge construction techniques, i.e. a composite steel-concrete double girder, but nevertheless allowed innovative practices to be applied. The viaduct and the motorway links were designed entirely by computer modelling. The digital model was then refined by the contractors in the execution phase, before becoming an as-built and operating model of the structure. The project was also carried out applying the recent guide produced by Agence Française pour la Biodiversité on "Good environmental practices - Protection of aquatic environments in the site works phase". □

DUPLICACIÓN DEL VIADUCTO DE LANGEAIS SOBRE LA A85, AL OESTE DE TOURS

MICKAËL GIRET, ARCADIS

La operación de duplicación del viaducto de Langeais, clásica por los principios constructivos elegidos para la obra de fábrica, esto es, un birraíl mixto metal-hormigón, ha permitido sin embargo aplicar prácticas innovadoras. La obra de fábrica, así como las conexiones de las autopistas, se han diseñado en su totalidad mediante maqueta digital, que seguidamente las empresas han precisado en fase de ejecución, antes de convertirse en una maqueta de obra ejecutada y de explotación. Asimismo, la obra se ha llevado a cabo aplicando la reciente guía de la Agencia Francesa para la Biodiversidad "Mejores prácticas medioambientales - Protección de los entornos acuáticos en fase de obra". □



1
© STRATES OA

SAUT DE MOUTON DE BEZONS : RÉALISATION DES APPUIS

AUTEURS : MATTHIEU CARRY, DIRECTEUR DU PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - DIDIER KOENIG, DIRECTEUR DE DÉPARTEMENT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE PROLONGEMENT DU RER E ÉOLE VERS L'OUEST JUSQU'À MANTES-LA-JOLIE, SNCF RÉSEAU A CONFIE À EIFFAGE GÉNIE CIVIL, MANDATAIRE D'UN GROUPEMENT COMPOSÉ DE EIFFAGE GÉNIE CIVIL, EIFFAGE MÉTAL, ETMF ET SPIE FONDATIONS, LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE RACCORDEMENT DE LA VOIE NEUVE SUR LE RÉSEAU FERRÉ EXISTANT, AU NIVEAU DES COMMUNES DE NANTERRE, CARRIÈRES-SUR-SEINE ET BEZONS.

VUE GÉNÉRALE DU PROJET



2
© STRATES OA

INTRODUCTION

Le projet de construction du saut-de-mouton de Bezons, d'un montant de 60 M€ environ s'inscrit dans l'opération lancée par SNCF Réseau de prolongement du RER E ÉOLE vers l'ouest, pour raccorder Mantes-La-Jolie à la gare Saint Lazare en 2024. Ce saut-de-mouton est constitué d'une succession d'ouvrages d'art qui permettent de

franchir la voie ferrée Paris-Le Havre actuelle et la Seine, constituée à cet emplacement de deux bras.

Un ouvrage annexe, appelé "liaison douce", fait également partie intégrante du projet. Il permet d'associer au projet ferroviaire un projet d'aménagement urbain, consistant en la réalisation d'un second tablier de franchissement de la Seine, porté par les

1- Vue architecturale viaduc en Seine.

2- Vue générale du projet.

1- Architect's view of the viaduct over the Seine.

2- General view of the project.

pires de l'ouvrage ferroviaire. Les aménagements fonctionnels associés aux ouvrages neufs sont également inclus dans le marché confié à Eiffage Génie Civil : la création d'un bassin d'orage en terre à Nanterre et d'un bassin en béton armé enterré côté Bezons, ainsi que l'assainissement définitif, les pistes et voiries d'exploitation, le VRD, l'éclairage et les clôtures.

TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG



3

© EIFFAGE

Les travaux de pose des équipements ferroviaires, voies et signalisation font, eux, l'objet d'un marché séparé.

DESRIPTIF GÉNÉRAL DU PROJET (figures 2 & 3)

Dans le cadre du prolongement du RER E vers l'ouest, les nouvelles voies ÉOLE (V1E0&2E0) se raccordent aux lignes existantes du groupe V (ligne 340000).

La V1E0 se raccorde plus loin que la V2E0 car il est nécessaire de construire un ouvrage dénivelé (saut-de-mouton) au-dessus des voies du groupe V pour permettre la suppression du cisaille-

ment entre le flux de sens impair (Paris Saint-Lazare - groupe V) et celui de sens pair (groupe V - Évangile). La distance entre le raccordement de

3- Tracé en plan et profil en long.

4- Vue architecturale du bow-string.

3- Horizontal alignment and longitudinal profile.

4- Architect's view of bow-string girder.

ces deux voies est par ailleurs plus importante qu'à l'habitude en raison de la proximité immédiate de la Seine, et en particulier de l'ouvrage ferroviaire existant portant la ligne 340000, imposant le report au-delà de ce dernier du raccordement de la V1E0, alors que la V2E0 se raccorde juste avant le pont existant.

Le marché de construction du saut-de-mouton de Bezons comporte quatre lots :

- Ouvrage d'art ;
- Assainissement ;
- Voirie et réseaux divers ;
- Énergie électrique.

Le lot principal "Ouvrage d'art", est constitué par une succession d'ouvrages ferroviaires qui portent la voie neuve V1E0 et par une liaison douce piétons/cycles. Il est décomposé en 8 zones, présentées ci-dessous :

- **Zone 1** : Mur de soutènement en béton armé de 78 m, en forme de U, constitué d'un radier surmonté de deux voiles de hauteur variable et remblayé à l'intérieur pour permettre de créer une rampe d'accès aux ouvrages suivants ;
- **Zone 2** : Estacade d'accès au saut-de-mouton de 227 m, constituée de : ▷



4

© STRATES OA



- Onze appuis (CO à P10) tous reposant sur des fondations profondes ;
- Trois tabliers de type "poutrelles enrobées" (TPE) hyperstatiques à trois travées chacun, de travelage identique ;
- Un tablier isostatique de type TPE à une travée située entre P9 et P10.

→ **Zone 3** : saut-de-mouton de 96 m environ (figure 4) pour le franchissement des voies du groupe V. Il est constitué d'un tablier métallique isostatique de type bowstring avec suspentes inclinées reposant sur deux appuis fondés sur fondations profondes de type semelles/pieux (P10 commun à la zone 2 et P11). L'appui P10 présente la particularité d'être un appui double, présentant une pile de chaque côté des voies existantes et une traverse béton à poutrelles enrobées, supportant à la fois le TPE isostatique de la zone 2 et le bowstring. Cette particularité est liée à la nécessité de limiter la portée du bowstring, très importante du fait du faible biais entre les voies existantes et la voie neuve.

→ **Zone 4** : Estacade de liaison entre le saut-de-mouton (zone 3) et l'ouvrage sur la Seine (zone 5) de 75 m, constituée :

- De quatre appuis tous fondés sur des fondations (P11, commun à la zone 3 à C14, pile culée commune à la zone 5) ;
- D'un tablier hyperstatique à trois travées de type TPE.

→ **Zone 5** : Viaduc sur les deux bras de la Seine de 378 m (figure 1), constitué de :

- Onze appuis tous fondés sur des fondations profondes de type semelles/pieux ;
- Deux tabliers hyperstatiques à cinq travées chacun de type à poutres latérales basses (RaPL).

→ **Zone 6** : Murs de soutènement en béton armé de 154 m (mur A) et de 54 m (mur B), en forme de U et L pour le mur A et en forme de T inversé pour le mur B. Ces murs, constitués de radiers fondés sur pieux surmontés de voiles de hauteur variable, soutiennent :

5- Proximité entre les ouvrages à construire et les voies.

6- Extrait IN0033 - Plans P0-P1-P2.

5- Structures to be built close to the tracks.

6- Excerpt IN0033 - Drawings P0-P1-P2.

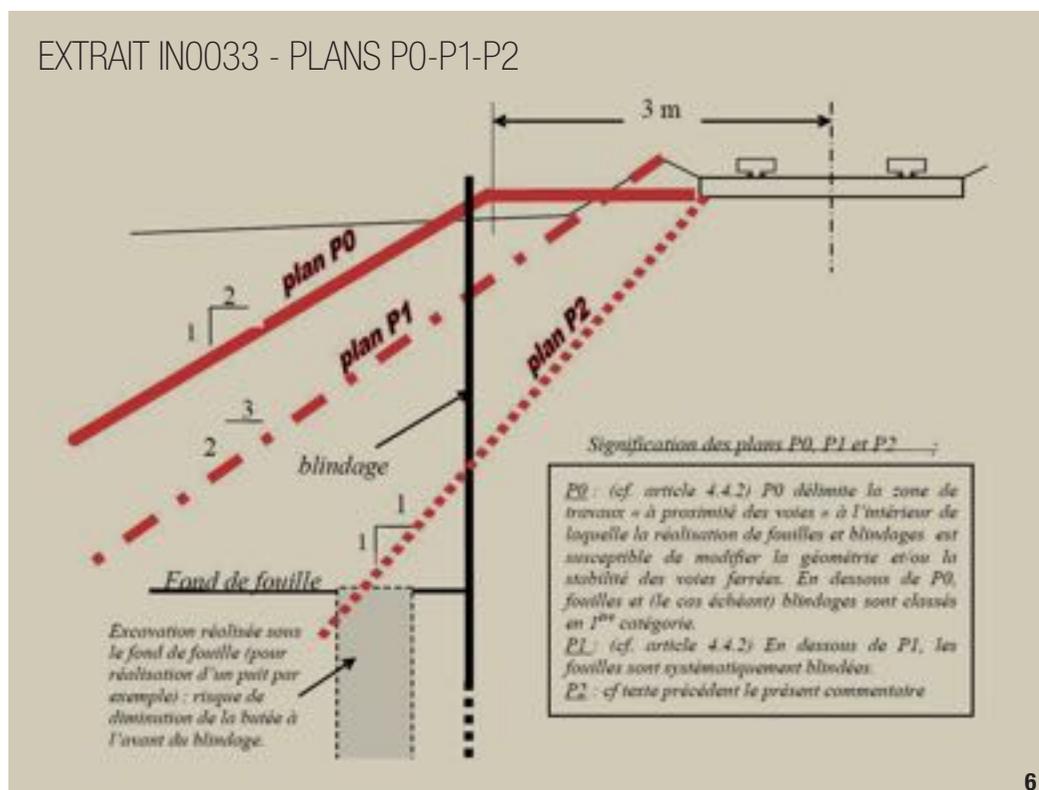
- Le remblai d'élargissement de la voie existante, accueillant la voie neuve V1E0 ;

- La liaison douce dans la zone de raccordement entre le tablier de franchissement de la Seine (Zone 8) et la chaussée existante à Bezons ;

- Une piste voie d'accès pour la maintenance, reliant la chaussée existante à la plateforme ferroviaire.

→ **Zone 7** : Élargissement du pont-rail des Carrières actuel par un tablier en poutre préfabriquée de 14 m de

EXTRAIT IN0033 - PLANS P0-P1-P2



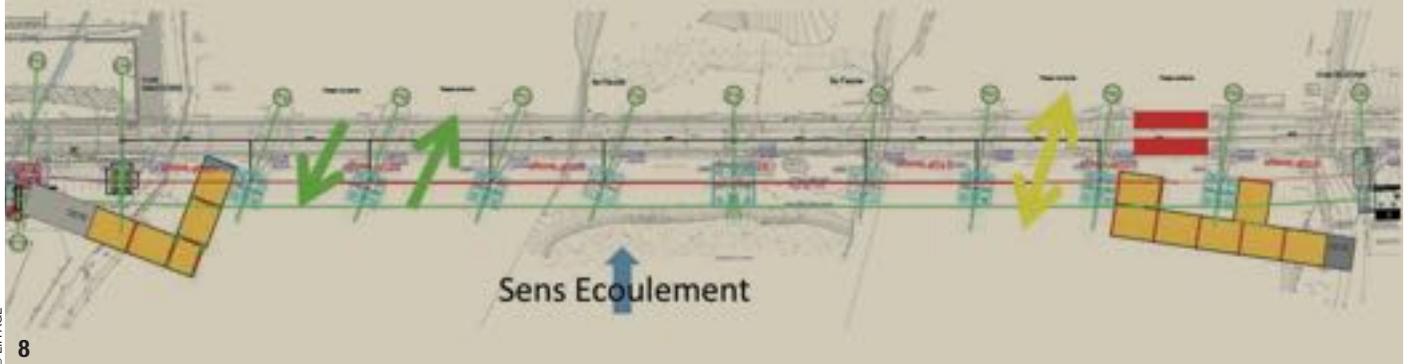


7a



7b

CONFIGURATION DES NAVIGATIONS ANNÉE 2018



8

7a- Pose des coques préfabriquées P11.
7b- Piles P11 à C14 - Coques préfabriquées des chevêtres posées sur les fûts.

8- Configuration des navigations année 2018.

9- Batardeau Pile 15.

7a- Placing P11 precast shells.

7b- Piers P11 to C14 - Precast shells of pier caps placed on the shafts.

8- Navigation configuration in 2018.

9- Pier 15 cofferdam.

longueur et reposant sur des longrines fondées sur micropieux.

→ **Zone 8** : "Liaison douce" (figure 1) composée d'une rampe d'accès côté Paris de 150 m environ de longueur totale constituée :

- De deux tabliers métalliques à poutres latérales de 350 m

appuyés sur des consoles métalliques fixées en encorbellement sur les appuis de l'ouvrage de la zone 5, et maintenues à ces derniers par des ancrages précontraints ;

- D'un remblai renforcé végétalisé de type Loeffel (éléments préfabri-

qués creux empilés), permettant de relier la chaussée existante au tablier ; une culée C'13 est réalisée à cet effet ;

- D'une rampe d'accès côté Bezons de 154 m environ, permettant de raccorder la chaussée côté Bezons au tablier. Une culée C'24 est réalisée pour assurer cette jonction.

La figure 2 est une représentation 3D générale du projet. La figure 1 donne un aperçu de l'ouvrage de franchissement en Seine.

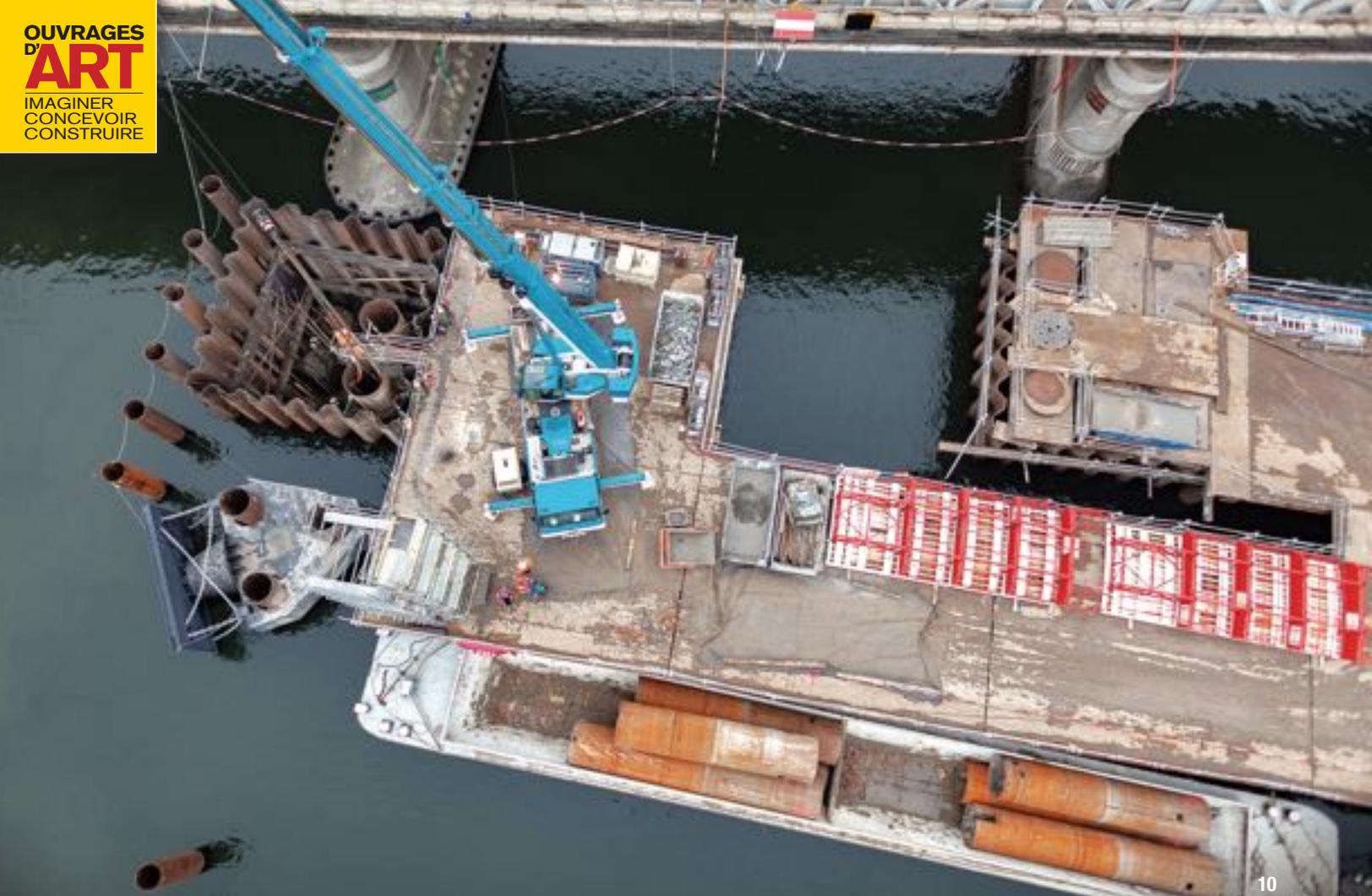
Une représentation de principe du tracé et du profil en long est présentée en figure 3.

LA PROXIMITÉ DES VOIES FERRÉES EXPLOITÉES, CONTRAINTE MAJEURE POUR LE CHANTIER

La particularité du chantier réside en sa réalisation en contexte ferroviaire très prononcé. En effet, la ligne 340000 "Paris - Le Havre" accueille un trafic très important de trains grandes lignes, ▷



9



10

© EIFFAGE/MRW ZEPHINE BRETAGNE

Transilien, TER et parfois fret, avec une fréquence pouvant atteindre un train toutes les cinq minutes aux heures de pointe. La circulation en exploitation habituelle s'effectue à 130 km/h.

En raison de la proximité des ouvrages à construire (jusqu'à 1,50 m du bord du rail pour certains ouvrages provisoires - figure 5), plusieurs dispositions de restrictions de circulation sont adoptées :

- Abaissement de la vitesse d'exploitation de 130 à 120 km/h pour la durée du chantier, permettant de limiter le caractère restrictif des critères de déplacements dans le dimensionnement des ouvrages provisoires de soutènement du remblai ferroviaire ou des voies.
- Abaissement de la vitesse d'exploitation à 80 km/h pour la réalisation de certains blindages berlinois et terrassements profonds à proximité immédiate des voies (terrassement sous le plan "P2" défini dans les règlements SNCF, ligne fictive partant du rail et inclinée à 1/1 (figure 6).
- Interruptions Temporaires de Circulations (ITC) de nuit, pendant 2h30 ou 5h00, permettant l'exécution des travaux nécessitant des maintenances à proximité des voies ou d'installations électriques sous tension (caténaires, ou feeder 25 000 Volts).
- ITC week-end, de 38 à 40h, pour des travaux de maintenances lourdes à proximité des voies ou des travaux nécessitant des délais de

montée en résistance du béton avant remise en circulation (bétonnages de pieux, tabliers, matages d'appuis...) ou ITC de 88h pour la mise en place du bow-string. Le bow-string présente la particularité d'être construit à côté des voies ferrées avant d'être mis en place par ripage sur chariots automoteurs au bénéfice de cette ITC.

RÉALISATION DES APPUIS À TERRE CÔTÉ NANTERRE

Les zones 2, 3 et 4 comportent des appuis dont les caractéristiques sont similaires. Ils sont tous composés, de la base vers leur sommet :

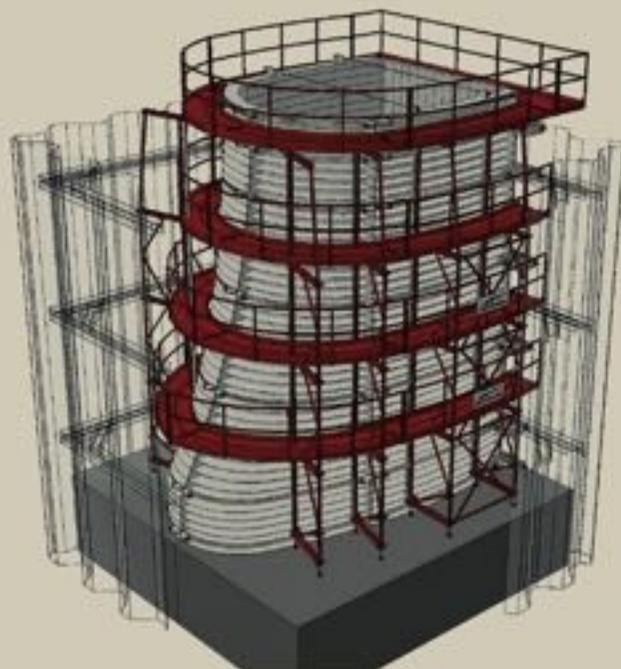
- De fondations profondes sur pieux Ø 1 000 à Ø 1 400. Ces pieux, au nombre de 8 à 12 par appui et de longueur variant de 10 à 25 m environ, sont réalisés à la boue à l'abri d'un tubage provisoire en tête ;
- De semelles superficielles de dimensions variables, coiffant les pieux.
- De fûts de piles coulés en place avec un béton C35/45 mis en œuvre à la benne ou à la pompe dans des banches équipées de fourrures pour donner la géométrie attendue.
- De chevêtres composés par une coque préfabriquée en 2 éléments, dans laquelle est bétonné un noyau en béton armé ; la préfabrication des coques est réalisée au chantier avec une formule de béton iden-

10- Estacade et batardeaux P22 et P23.

10- P22 and P23 jetty and cofferdams.

tique à celle utilisée pour les fûts afin de garantir une homogénéité des teintes ; cinq familles de coques préfabriquées dont le poids varie de 8 t à 25 t sont répertoriées sur le chantier, nécessitant chacune un moule spécifique. Au vu du nombre

COFFRAGE EMBASE



11a

© EIFFAGE

de réemplois peu élevé, une solution coffrage bois a été retenue. Les coques sont ensuite posées sur la tête de pile avec une grue télescopique 250 t à 650 t, éventuellement au bénéfice d'ITC (cf. chapitre spécifique) (figures 7a et 7b). La solution coques préfabriquées a été retenue pour garantir la faisabilité d'exécution des chevêtres dans les délais impartis par ces ITC.

RÉALISATION DES APPUIS EN SEINE

Outre la circulation ferroviaire évoquée plus haut, le chantier doit intégrer les contraintes liées à la navigation sur les deux bras de Seine. Ainsi, un phasage spécifique est mis en place pour garantir la continuité des navigations :

→ En 2018, réalisation depuis des estacades partant des berges côté Nanterre et Bezons, des appuis P15 (Bras de Marly) et P22 et P23 (Bras de la rivière neuve) ;

→ En 2019, réalisation depuis des estacades partant de l'île Saint-Martin, des appuis P16, P17 et P21.

Ces dispositions permettent d'assurer la continuité de navigation, au bénéfice d'un alternat dans une passe navigable pour le bras de rivière ne dégagent plus qu'une seule passe navigable (figure 8).

En relation avec la Driee, une procédure spécifique a été mise en place pour la gestion de crue. Ainsi, en cas de crue majeure de la Seine, il sera procédé au repli des estacades.

La cote d'alerte pour le repli des estacades est fixée à l'atteinte d'un niveau d'eau prédéterminé au niveau de la station de Paris-Austerlitz. Ainsi, dès l'atteinte de ce niveau, il sera procédé au repli en 3 jours de tous les éléments de tablier d'estacade susceptibles de faire obstacle à l'écoulement ou générant des retenues des embâcles.

La construction des piles en Seine s'effectue à l'abri de batardeaux en palplanches PU32 de dimension 9x9 m environ (figure 9), construits depuis l'estacade d'accès.

11a- Coffrage embase.

11b- Coffrage fût.

11c- Coffrage chevêtre.

11a- Base formwork.

11b- Shaft formwork.

11c- Pier cap formwork.

Les approvisionnements s'effectuent par le fleuve. Deux niveaux de lierne sont nécessaires pour assurer la stabilité des palplanches dans les phases dimensionnantes (terrassment dans le batardeau).

Les excavations dans le batardeau s'effectuent ensuite avec une pelle grand bras pour atteindre la cote de fond de fouille, niveau inférieur du bouchon immergé. Les évacuations s'effectuent par le fleuve pour limiter les impacts des transports.

Les 9 pieux Ø 1 600 de longueur 30 m environ assurant la fondation de la pile sont réalisés depuis une plateforme appuyée sur le batardeau (figure 10). Cette disposition permet de positionner la foreuse à l'aplomb du pieu à construire.

Des chemises métalliques ont été disposées préalablement à la réalisation du bouchon immergé connecté aux pieux pour optimiser son épaisseur et afin de permettre la traversée de ce dernier sans encombre pour la réalisation du forage.

Lorsque les pieux sont réalisés, le platelage sur le batardeau est démonté et il est procédé à l'épuisement de ce dernier. Les opérations de pompage sont conduites en assurant un suivi du taux de Matières En Suspension (MES) rejeté. Le pompage dans un bac à

décarter intermédiaire est nécessaire pour les eaux en partie inférieure du batardeau, fortement chargées en sédiments.

S'ensuit la réalisation de la pile proprement dite. Le recépage des pieux et la semelle sont réalisés en fond de batardeau.

La pile est construite avec un coffrage métallique. Elle est constituée d'une embase de 8 m de hauteur environ à section variable, dont la géométrie est commune à toutes les piles en Seine. Un fût de section constante et de hauteur variable de 0 à 6 m environ surmonte l'embase. Un chevêtre vient coiffer l'ensemble. Tous les coffrages sont des outils métalliques, construits sur mesure (figures 11a à 11c).

Le ferrailage de l'embase est réalisé autour d'un gabarit métallique.

En son sein, le fût comporte un châssis métallique rigide qui supporte des gaines de réservation et les barres de précontrainte Ø 72 mm qui permettront l'ancrage ultérieur, sur une face latérale, des consoles métalliques qui porteront le tablier de la voie douce. Ce châssis sert également de support pour l'assemblage de la cage d'armatures. Le chevêtre est réalisé avec un coffrage spécifique, reposant sur un consolage en treillis, périphérique à la pile (figure 11c). ▶

COFFRAGE FÛT



11b
© EIFFAGE

COFFRAGE CHEVÊTRE



11c
© EIFFAGE

MISE EN PLACE DES CONSOLES MÉTALLIQUES DE SUPPORTAGE DE LA VOIE DOUCE SUR LES PILES EN SEINE

Une fois les piles construites, les consoles métalliques d'un poids unitaire de 17 t (figure 12) sont mises en place sur la face de la pile opposée à l'ouvrage existant. Ces consoles sont construites à l'usine Eiffage Métal de Lauterbourg (67) et acheminées d'un seul tenant par transport exceptionnel au chantier. Elles sont levées depuis une grue positionnée sur l'estacade et sont provisoirement suspendues à un dispositif ancré en tête de pile pour garantir leur positionnement et leur réglage.

Une fois ce dernier opéré, un matage au mortier sans retrait de 4 cm d'épaisseur environ est réalisé. Il permet d'homogénéiser le contact entre la tôle cintrée d'appui de la console et la surface de béton, conique dans cette zone. Lorsque ce mortier a atteint sa résistance caractéristique (60 MPa), il est procédé à la mise en tension des barres de précontraintes ancrées dans la pile.



12

© EIFFAGE

Quand les consoles sont posées, le batardeau est remis en eau. Les palplanches sont recépées par plongeurs et l'estacade repliée.

CONCLUSION

L'année 2019 verra l'achèvement des travaux des appuis et le démarrage de la construction des tabliers. D'abord au sol pour l'assemblage des tabliers à poutrelles enrobées et le montage du bow-string. Ensuite dans les airs avec la pose à la grue des premiers et, en point d'orgue, la mise en place des

12- Console métallique liaison douce en fabrication.

12- Soft-link steel cantilever girder being manufactured.

2000 t d'acier et de béton du second. Cette opération spécifique de ripage du bowstring aura lieu au cours d'un week end, au bénéfice d'une ITC de 88h. Les lançages des tabliers de franchissement de la Seine suivront jusqu'en 2021, année de livraison de l'ouvrage à la SNCF. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

PIEUX DIAMÈTRES Ø 800 À Ø 1 000 SOUS OUVRAGES ZONE 6 : 190 u / 2 000 m

PIEUX SOUS OUVRAGES D'ART Ø 1 200 À Ø 1 600 : 220 u / 4 200 m

SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES PAR PAROI BERLINOISE : 1 500 m²

SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES PAR PAROI CLOUÉE : 450 m²

BATARDEAUX : 10 u / 450 t de palplanches

BÉTON : 25 400 m³

ARMATURES : 3 200 t

TONNAGE CHARPENTE BOWSTRING : 1 000 t

TONNAGE CHARPENTE RAPL : 2 950 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS ET PRESTATAIRES

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Sncf Réseau

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Sncf Réseau

CONCEPTION ARCHITECTURALE : Strates-OA

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR : Eiffage Génie Civil, Eiffage, Etmf, Spie Fondations

BUREAUX ÉTUDES : Eiffage (Biep) / Secoa / Cogeci pour le GC, Eiffage Métal / Bureau d'études Greisch pour la charpente, Apx / Orion pour les estacades et batardeaux

PRINCIPAUX PRESTATAIRES

COFFRAGES : Coffrag&quipage, Cml

BÉTON : Equiom

ARMATURES : Lambda / Ferralia

APPAREILS D'APPUIS : Mohrer / Etic

BARRES PRÉCONTRAINES : Etic

POUTRELLES TPE : Arcelor

ABSTRACT

BEZONS OVERPASS: EXECUTION OF SUPPORTS

MATTHIEU CARRY, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - DIDIER KOENIG, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

The Bezons overpass, a structure linking the new tracks of the RER E ÉOLE extension to the existing railway network, consists of a series of multiple-structure bridges and viaducts crossing over the railway lines and the Seine River. 24 supports of various designs carry five decks with hyperstatic composite joists, two decks with side girders and a bowstring girder of span length 100 metres. These supports are sometimes on land in an operating railway environment which is very restrictive both for the work methods and for the safety of workers and users, and sometimes placed in the river. The construction methods for the reinforced concrete supports differ greatly, using precasting or in-situ concreting with special tools. □

SALTO DE CARNERO DE BEZONS: REALIZACIÓN DE LOS APOYOS

MATTHIEU CARRY, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - DIDIER KOENIG, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

El salto de carnero de Bezons, dispositivo de conexión de las nuevas vías de la prolongación de la línea de cercanías E Éole a la red ferroviaria existente, está formado por una sucesión de obras de fábrica de estructuras múltiples que permiten cruzar dichas vías férreas y el Sena. 24 apoyos de distinto diseño soportan 5 tableros con vigas revestidas hiperestáticas, 2 tableros con vigas laterales y un bow-string de 100 m de longitud. Las obras se han desarrollado tanto en tierra, en un entorno ferroviario operativo y muy restrictivo para los métodos de ejecución y la seguridad de los empleados o usuario, como en el río. Los métodos de construcción de los apoyos de hormigón armado difieren notablemente, y se ha optado por la prefabricación o el hormigonado in-situ mediante herramientas específicas. □



1
© DR

REMPACEMENT DE PONTS RAILS À SAINT-GRATIEN ET GENNEVILLIERS

AUTEURS : NICOLAS MUNIER, CHEF DE GROUPE ÉTUDES OUVRAGES D'ART, SNCF RÉSEAU / DIRECTION GÉNÉRALE INDUSTRIELLE ET INGÉNIERIE - PIERRE-CORENTIN TEILLAUCHET, INGÉNIEUR D'ÉTUDES OUVRAGE D'ART, SNCF RÉSEAU / DIRECTION GÉNÉRALE INDUSTRIELLE ET INGÉNIERIE - DAVID LAVIALLE, INGÉNIEUR TRAVAUX, DEMATHIEU BARD INFRA / GÉNIE CIVIL ÎLE-DE-FRANCE - NICOLAS GOTTI, DIRECTEUR TECHNIQUE ADJOINT, DEMATHIEU BARD INFRA / GÉNIE CIVIL - ROMAIN LÉONARD, DIRECTEUR TECHNIQUE, DEMATHIEU BARD INFRA / GÉNIE CIVIL

LE RÉSEAU FERRÉ FRANCILIEN POSSÈDE DE NOMBREUX OUVRAGES ANCIENS DONT CERTAINS NÉCESSITENT D'ÊTRE REMPLACÉS POUR DES RAISONS DE VÉTUSTÉ OU POUR DES RAISONS FONCTIONNELLES. DANS CE CONTEXTE, SNCF RÉSEAU LANCE RÉGULIÈREMENT DES OPÉRATIONS DE REMPLACEMENT DE PONTS RAILS. SUR DEUX CHANTIERS RÉALISÉS PAR L'ENTREPRISE DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION, LA MÉTHODE CONSISTE À PRÉFABRIQUER ENTIÈREMENT LES CULÉES ET LE TABLIER DU PONT PUIS À LE METTRE EN PLACE LORS D'UNE COUPURE DES VOIES FERRÉES D'UNE DURÉE DE 120 HEURES.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET CONTEXTE DES OPÉRATIONS

Lors de la création des chemins de fer, de nombreux ouvrages ont été réalisés avec des culées en maçonnerie fondées superficiellement et un tablier métallique en fer puddlé riveté à pose de voies directes. Ces ouvrages anciens peuvent aujourd'hui présenter des désordres importants et nécessiter leur remplacement. C'est par ailleurs l'occasion pour le maître d'ouvrage d'amé-

1- Prise en charge de l'ancien tablier du PRA de Gennevilliers.

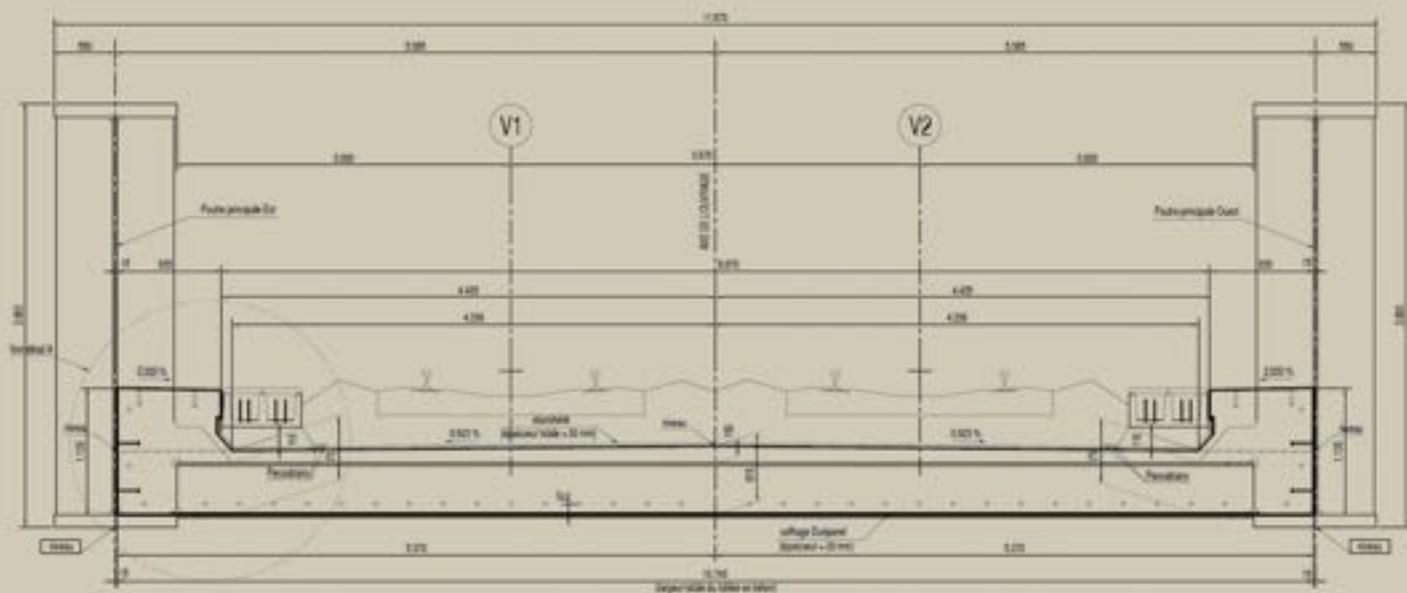
1- Handling the old Gennevilliers rail-bridge deck.

liorer le franchissement en concertation avec les services municipaux de la ville concernée (élargissement de la voie franchie, pose de voie ballastée pour des problématiques acoustiques, mise en œuvre de structure avec une durabilité élevée) (figures 2 et 3).

L'ouvrage de Saint-Gratien dont les travaux ont été réalisés en mai 2013 et celui de Gennevilliers réalisé en août 2018 s'inscrivent complètement dans ce contexte.

Le pont rail de Saint-Gratien permet le franchissement de la RD14 par la ligne Ermont-Eaubonne à Champs-de-Mars empruntée par le RER C. Cet ouvrage est composé d'un tablier métallique de 25 m de portée datant de 1906 et atteint de nombreuses pathologies qui ont conduit à engager sa régénération (corrosions foisonnantes, foisonnements de certaines fixations, dégradation de la protection anticorrosion, choc routier).

COUPE TRANSVERSALE DU PRA DE GENNEVILLIERS



2
© DR

À cela s'est greffée la volonté du Conseil Général d'élargir la Route Départementale RD14 à 2x2 voies en lieu et place des 3 voies initiales.

Les études de conception ont retenu le remplacement de l'ouvrage par deux tabliers de type RAPUB de 31,10 m de portée fondés sur deux culées superficielles mur de front.

Les tabliers, les culées et les murs en retours ont été préfabriqués. La dépose des tabliers anciens, la pose des culées ainsi que celle des tabliers neufs sont réalisés à l'aide de chariots automoteurs. L'interception nécessaire à cette opération est de 140 heures comprenant environ 120 heures de travaux liés aux ouvrages d'art.

Le pont rail de l'Étoile situé à Gennevilliers est composé de deux tabliers métalliques, l'un portant deux voies principales et le second portant une voie de service. Leur portée est respectivement de 23,89 m et 30,12 m. L'ouvrage soutient les voies du RER C de la ligne d'Erment-Eaubonne à Champ-de-Mars (ligne 962000), au point kilométrique 13+828. Le tablier supportant la voie de service n'est pas remplacé, seule sa dépose est prévue. L'ouvrage permet le franchissement de l'avenue Louis-Roche. Les tabliers existants présentant de nombreuses pathologies (corrosion foisonnante, défaut de protection anti-corrosion) ont nécessité la mise en place d'une surveillance renforcée en août 2010.

Ces conclusions ont conduit le maître d'ouvrage à décider du remplacement du tablier métallique et de la mise au gabarit de la piste sur l'ouvrage dans le cadre des travaux de régénération. Les études de conception ont retenu le remplacement de l'ouvrage par un tablier de type RAPL haut, deux voies de 46,49 m de portée avec un entraxe de poutres de 10,77 m.

Afin d'améliorer la stabilité de la voie et de pérenniser le vieillissement de l'ouvrage, le biais de l'ouvrage existant

2- Coupe transversale du PRA de Gennevilliers.
3- Coupe transversale du PRA de Saint-Gratien.

2- Cross section of Gennevilliers rail bridge.

3- Cross section of Saint-Gratien rail bridge.

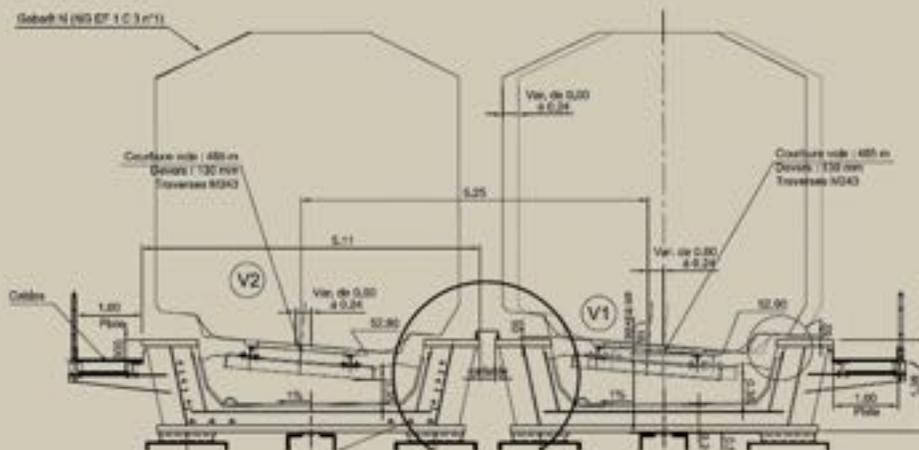
de 37 grades est redressé à 70 grades, tout en conservant l'ouverture initiale selon l'axe du franchissement.

Les appuis sont des culées murs de front préfabriquées.

La dépose des tabliers anciens, la pose des culées ainsi que celle du tablier neuf sont réalisés à l'aide de chariots automoteurs.

L'interception nécessaire à cette opération est de 140 heures comprenant environ 120 heures de travaux liés aux ouvrages d'art.

COUPE TRANSVERSALE DU PRA DE SAINT-GRATIEN



3
© DR



© DR 4

MÉTHODE DE RÉALISATION DE LA PRÉFABRICATION

Pour le PRA de Gennevilliers, la préfabrication complète de l'ouvrage (culées et tablier) a été réalisée sur le site d'une ancienne usine, située au nord-est de la position définitive du franchissement. La plateforme correspondant à l'ancien dallage de l'usine, qui ne nécessitait initialement aucune préparation, a fait l'objet de sondages, de travaux de démolition et finalement de travaux de purge à la suite de la découverte

4- Enlèvement du tablier du PRA de Saint-Gratien.
5- Terrassement des culées du PRA de Gennevilliers.

4- Removal of Saint-Gratien rail-bridge deck.
5- Earthworks for Gennevilliers rail-bridge abutments.

de plusieurs fosses non référencées. D'une part, le tablier est de type Pont Rail à Poutres Latérales (RAPL) dont la charpente métallique, d'un poids total de 420 t, a été livrée et assemblée à l'aide de grues mobiles de capacité 140 t par le cotraitant Berthold de mars à avril 2018.

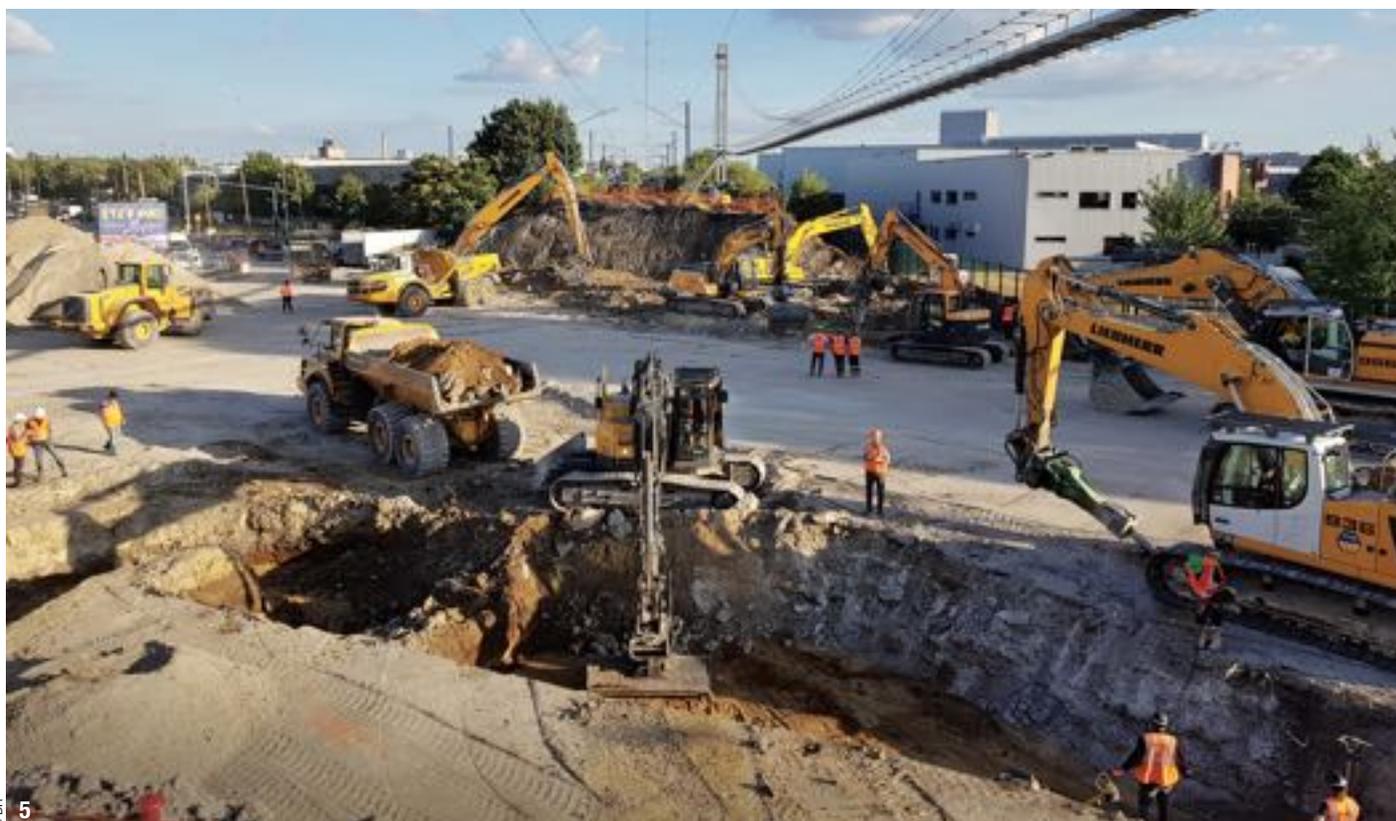
Après la réalisation des dernières couches de peinture anticorrosion, le ferrailage puis le bétonnage du tablier et de ses longrines ont été réalisés de juin à juillet 2018 (22 t d'armatures

et 365 m³ de béton C35/45). Enfin, l'étanchéité est mise en œuvre également sur la zone de préfabrication. D'autre part, les deux culées de l'ouvrage sont à mur de front, fondées superficiellement. Elles ont une longueur de 14,00 m et une hauteur de 7,50 m et ont été réalisées en 7 phases successives à l'aide de banches Simpra équipées de négatifs bois. Tout le matériel nécessaire à la réalisation des culées est manutentionné par une grue mobile de 35 t de capacité. Le volume total de béton pour les 2 culées est de 355 m³ et la quantité totale d'armature est de 55 t.

Pour le PRA de Saint-Gratien, la préfabrication complète de l'ouvrage (culées et tablier) a été réalisée sur 2 zones à proximité immédiate du pont à remplacer : une zone correspondant à une rue coupée le temps de la réalisation de la préfabrication pour les culées et une zone située de l'autre côté de la voie ferrée pour les tabliers.

Comme pour le PRA de Gennevilliers, ces 2 zones ont fait l'objet d'une préparation.

D'une part, et contrairement à Gennevilliers, les tabliers sont de type Pont Rails à Poutre en U enrobée de Béton (RAPUB) dont la charpente métallique, d'un poids total de 300 t, a été livrée et assemblée à l'aide de grues mobiles par le cotraitant Berthold. ▶



© DR 5



6

© DR

Après la réalisation des dernières couches de peinture anticorrosion, le ferrailage puis le bétonnage des tabliers ont été réalisés (13 t d'armatures et 130 m³ de béton C35/45). Enfin, l'étanchéité est mise en œuvre également sur la zone de préfabrication. Pour cette opération, les tabliers étaient équipés d'une certaine quantité de ballast.

D'autre part, les deux culées de l'ouvrage sont à mur de front, fondées superficiellement. Elles ont une longueur de 21,00 m et une hauteur de 7,00 m et ont été réalisées en plusieurs phases successives. Tout le matériel nécessaire à la réalisation des culées est manutentionné par une grue mobile. Le volume total de béton pour les 2 culées est de 560 m³ et la quantité totale d'armature est de 85 t.

MÉTHODE DE MISE EN PLACE DES OUVRAGES

Pour les 2 opérations, les différentes étapes sont identiques et se déroulent dans le même ordre.

L'opération de Saint-Gratien s'est déroulée lors de la semaine du 8 mai 2013 et celle de Gennevilliers durant la semaine du 15 août 2018.

La première phase consiste à déposer les 2 tabliers existants. Étant donné l'âge et l'état des appareils d'appui, les tabliers existants sont préalablement

décollés à l'aide de vérins afin de ne pas surcharger le système de déplacement. Les chariots automoteurs viennent ensuite se mettre en place et réalisent la prise en charge par l'intermédiaire d'une charpente métallique permettant de combler l'espace vide mais aussi de répartir les points d'appui sous la charpente rivetée.

Les tabliers sont ensuite stockés sur l'aire de chantier en reposant sur des calages provisoires (figures 1 et 4). Les appuis existants, en maçonnerie, sont ensuite démolis et évacués en même temps que les remblais situés

6- Mise en place d'une culée du PRA de Gennevilliers.

7- Mise en place du tablier du PRA de Saint-Gratien.

6- Placing a Gennevilliers rail-bridge abutment.

7- Placing the Saint-Gratien rail-bridge deck.



7

© DR

dans l'emprise du nouveau tablier. Une fois arrivé au niveau de la chaussée, le terrassement se poursuit ponctuellement au droit des deux culées jusqu'à un niveau proche du niveau d'assise. Le nivellement définitif est réalisé sur un lit de sable réglé avec précision par le géomètre (figure 5). Deux lignes parallèles de chariots automoteurs prennent en charge, l'une après l'autre, les culées de 450 t chacune à l'aide d'une charpente en portique les enjambant. La prise en charge est réalisée à l'aide de 4 vérins à câbles suspendus au portique. Les points de levage des culées sont matérialisés par 4 oreilles métalliques fixées par précontrainte sur le bord de la semelle. Le déplacement s'effectue à faible vitesse pour éviter la prise de ballant de la culée suspendue. Les deux lignes de chariots automoteurs roulent enfin de part et d'autre de la fouille du futur appui. L'implantation en plan de la culée est assurée par positionnement précis des chariots automoteurs et la pose est ensuite réalisée par descente des vérins à câbles (figure 6).

Une fois les deux culées mises en place et leur implantation vérifiée, le portique métallique est déposé et les chariots automoteurs partent s'installer sous le tablier neuf. La mise en place des murs latéraux de soutènement préfabriqués



© DPR 8

est réalisée en parallèle à l'aide d'une grue. Le remblaiement en matériaux choisis et le compactage démarrent. Les chariots automoteurs prennent en charge le tablier par l'intermédiaire d'une charpente métallique. Les vérins hydrauliques des essieux permettent de lever le tablier de ses appuis provisoires. Après un premier déplacement de plusieurs mètres, les appareils d'appuis à pot sont fixés en sous face du tablier et celui-ci peut maintenant être amené à sa position définitive. Le positionnement en plan est à nouveau assuré par

8- Mise en place du tablier du PRA de Gennevilliers.

8- Placing the Gennevilliers rail-bridge deck.

le pilotage des chariots automoteurs et les vérins hydrauliques des essieux permettent la pose du tablier sur ses appuis provisoires (figures 7 et 8). Les appuis provisoires sont des vérins

positionnés sur culées. Ceux-ci sont installés et réglés finement avant la pose du tablier. Ils permettront le dernier réglage fin de l'altimétrie et le transfert de charge après scellement des appuis. Les remblais compactés sont ensuite finalisés et les travaux de voies peuvent débuter. La pose du ballast et des rails est alors réalisée grâce à l'acheminement par trains travaux et pose par grue ferroviaire. Les réseaux préalablement suspendus par un tancarville sont alors repositionnés sur l'ouvrage neuf et les caténaires réalignées.

120 heures plus tard, la voie est alors redonnée à l'exploitant.

ENJEUX DE CES OPÉRATIONS

Le respect des délais impartis est le véritable enjeu de ce type de travaux nécessitant des coupures de lignes ferroviaires importantes pour le réseau parisien. Ces coupures de voies étant réservées très en amont de la passation des marchés, elles font partie intégrante du contexte de ces opérations et le respect de ces engagements est essentiel. Dès lors, il convient de tout mettre en œuvre pour assurer cela, d'un point de vue technique et opérationnel. Cela demande une préparation et une organisation minutée lors de la coupure ferroviaire prévue. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

PRA DE SAINT-GRATIEN :

- 2 tabliers métalliques à poutres en U enrobées de béton (RAPUB) de 31,30 m de portée de 5,10 m de large et de 380 t
- 2 culées de 700 t

PRA DE GENNEVILLIERS

- 1 tablier à poutres latérales hautes (RAPL) et hourdis mixte de 46,50 m de portée de 11,90 m de large et de 1300 t
- 2 culées de 500 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRE D'ŒUVRE : SNCF Réseau, DPR

ENTREPRISE : Demathieu Bard Construction, Berthold (charpente métallique), Wiame (terrassement)

SOUS-TRAITANT LEVAGE ET DÉPLACEMENT : Sarrens

ABSTRACT

REPLACEMENT OF RAIL BRIDGES AT SAINT-GRATIEN AND GENNEVILLIERS

NICOLAS MUNIER, SNCF RESEAU - PIERRE-COARENTIN TEILLAUCHET, SNCF RESEAU - DAVID LAVIALLE, DEMATHIEU BARD INFRA - NICOLAS GOTTI, DEMATHIEU BARD INFRA - ROMAIN LÉONARD, DEMATHIEU BARD INFRA

The railway network in the Paris region has numerous old bridges built when the first railway lines were created in France. Some of them therefore need to be replaced for reasons of obsolescence or for functional reasons (increase in span length, addition of a path along the railway tracks). In this context, Réseau Ferré de France and SNCF regularly perform rail bridge replacement operations. This article describes the method used on two projects performed by Demathieu Bard Construction, involving complete precasting of the bridge abutments and deck which are then installed during a 120-hour traffic break on the railway tracks. □

SUSTITUCIÓN DE PUENTES FERROVIARIOS EN SAINT-GRATIEN Y GENNEVILLIERS

NICOLAS MUNIER, SNCF RESEAU - PIERRE-COARENTIN TEILLAUCHET, SNCF RESEAU - DAVID LAVIALLE, DEMATHIEU BARD INFRA - NICOLAS GOTTI, DEMATHIEU BARD INFRA - ROMAIN LÉONARD, DEMATHIEU BARD INFRA

La red de ferrocarriles del área metropolitana de París posee numerosas construcciones antiguas que datan del momento de la creación de las primeras líneas férreas francesas. Por tanto, algunas de ellas deben ser sustituidas debido a su deterioro o por motivos funcionales (aumento de la capacidad, pista añadida a lo largo de las vías férreas). En este contexto, Réseau Ferré de France y SNCF realizan periódicamente operaciones de reemplazo de puentes ferroviarios. Este artículo desarrolla el método utilizado en dos obras realizadas por la empresa Demathieu Bard Construction, que consiste en prefabricar en su totalidad los estribos y el tablero del puente, para instalarlos seguidamente durante un corte de las vías férreas de 120 horas de duración. □



1

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI-PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

PASSERELLES MOBILES EN ACIER INOXYDABLE FRANCHISSANT LE GAVE DE PAU SUR LE SITE DU SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES

AUTEURS : CHRISTOPHE PEIGNEUX, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, BUREAU GREISCH - FABRICE ZUCCA, DESSINATEUR CHEF DE PROJET, BUREAU GREISCH - PATRICK MOUSSEIGNE, ARCHITECTE D.P.L.G. CO-GÉRANT, SCPA MOUSSEIGNE & DEFOL / ARCHITECTES ASSOCIÉS - JEAN-MARIE PRADIER, DIRECTEUR D'ÉTABLISSEMENT, EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI-PYRÉNÉES - SÉBASTIEN MAYSOUNAVE, DIRECTEUR DU PÔLE TECHNIQUE ET SÉCURITÉ, SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES

DANS LE CADRE DU RÉAMÉNAGEMENT DU DOMAINE DU SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES, TROIS PASSERELLES LEVANTES SERONT IMPLANTÉES EN DIVERS POINTS STRATÉGIQUES DU SITE, PERMETTANT AUX PÈLERINS DE FRANCHIR LE GAVE DE PAU. LEUR MÉCANISME DE LEVAGE PERMET DE FAIRE FACE AUX VIOLENTES CRUES DE LA RIVIÈRE, ET LEUR CONCEPTION SE VEUT MINIMALE, TANT D'UN POINT DE VUE GÉOMÉTRIQUE QU'AU REGARD DES MATÉRIAUX UTILISÉS. CES OUVRAGES EN INOX DUPLEX SE CARACTÉRISENT EN EFFET PAR LEUR STRUCTURE ÉLANCÉE DE 40 cm D'ÉPAISSEUR POUR 40 m DE PORTÉE, ASSURANT UNE PARFAITE INTÉGRATION DANS LE PAYSAGE.

LA RÉPONSE ARCHITECTURALE

L'approche s'est attelée dans un premier temps à la compréhension symbolique et topographique du site. C'est un lieu chargé d'histoire, de spiritualité et de silence, accueillant la foi et la passion des voyageurs venus parfois de très loin. Au-dessus, la basilique de l'Immaculée Conception, édifée

en 1876 et blottie contre la grotte des apparitions mariales, reçoit les premières prières de pèlerins. Les architectures construites ultérieurement (basilique du Rosaire, basilique Saint Pie X) s'inclinent devant elle, majestueuse dans le site rive gauche. En-dessous, le silence côtoie le Gave de Pau, fort, variable, changeant et marque le site de son empreinte.

1- Pont de l'espace Grotte in service.

1- Grotto area bridge in service.

Dans ce piémont pyrénéen, sa courbe vient épouser la basilique et la Grotte. Il vit et s'écoule sans fin dans un jeu de lignes naturelles. En équilibre entre le silence du dessus et le rugissement du dessous, se tiennent des fils tendus. De simples lignes droites, élançées, répondent à celles du gave, courbes et aléatoires.



2

2- Pont de l'espace Grotte en situation levée lors de la crue de juin 2018.

3- En juillet 2013, le Gave de Pau est en crue et déferle violemment sur le site, dégradant considérablement les ouvrages existants.

4- Vue de la passerelle depuis l'aval : un ruban un métal reliant les rives.



3



4

2- Grotto area bridge in raised position during the flood of June 2018.

3- In July 2013, the Gave de Pau River flooded and poured violently onto the site, considerably damaging the existing structures.

4- View of the foot bridge from downstream: a metal ribbon connecting the banks.

Nullement expressives, ces passerelles prennent la forme de chemins liant les deux rives.

Elles ne s'imposent pas, ne rivalisent pas avec les verticales de la basilique de l'Immaculée Conception mais invitent tout simplement le pèlerin à traverser. Sa procession devient alors limpide et claire. La traversée elle, est évidente et naturelle.

L'APPROCHE SE VEUT HUMBLE ET SIMPLE

Le projet des passerelles de Lourdes est atypique. Son évolution complexe a été particulièrement rapide (moins d'une année pour la conception et la réalisation). Le site des apparitions de Lourdes est remarquable. La topographie créée par la rivière du Gave de Pau et par les collines du piémont des Pyrénées créent en cet espace un site particulièrement confiné.

Les apparitions, l'édification des basiliques et le cheminement des pèlerins - plus de 5000 par jour - entraînent un besoin de mobilité et des cheminements particuliers.

En juillet 2013, une crue importante du Gave de Pau dégrade fortement les ouvrages existants (figure 3). Le Sanctuaire de Lourdes se positionne alors pour apporter une réponse intégrée à cette problématique et lance en milieu d'année 2014 une compétition de conception-réalisation de 3 passerelles mobiles franchissant le Gave de Pau. La compétition est remportée par le groupement Eiffage Construction Midi Pyrénées, bureau Greisch et Patrick Mousseigne & Michel Defol.

Afin de laisser passer la "colère" du Gave de Pau, trois nouvelles passerelles pourront se lever grâce à un système de vérins hydrauliques logés dans des fosses au droit de chaque culée des ouvrages.

Ces passerelles sont construites en matériau noble - l'inox Duplex (1.4462) - pour ses qualités esthétique et mécanique. Elles se caractérisent par leur finesse ; leurs 40 cm d'épaisseur pour 40 m de portée environ les font apparaître tels des rubans de métal reliant les deux rives (figure 4).

« Être juste, ne rien faire ». Telle a été la réponse à ce site.

S'il est évident que cette réponse ne peut être formelle au sens propre, nous avons néanmoins voulu nous en approcher le plus possible. Cette ambition n'est pas gratuite, elle cherche à respecter le site et s'y intégrer au maximum. Le concours porte d'ailleurs sur trois passerelles, qui sont toutes visibles sur l'intégration du concours (figure 5). En plus de la passerelle au premier plan, une passerelle en aval et une en amont viendront s'ajouter dans le paysage. À ce jour, seule la passerelle la plus en aval, dite "Pont de l'espace Grotte", est

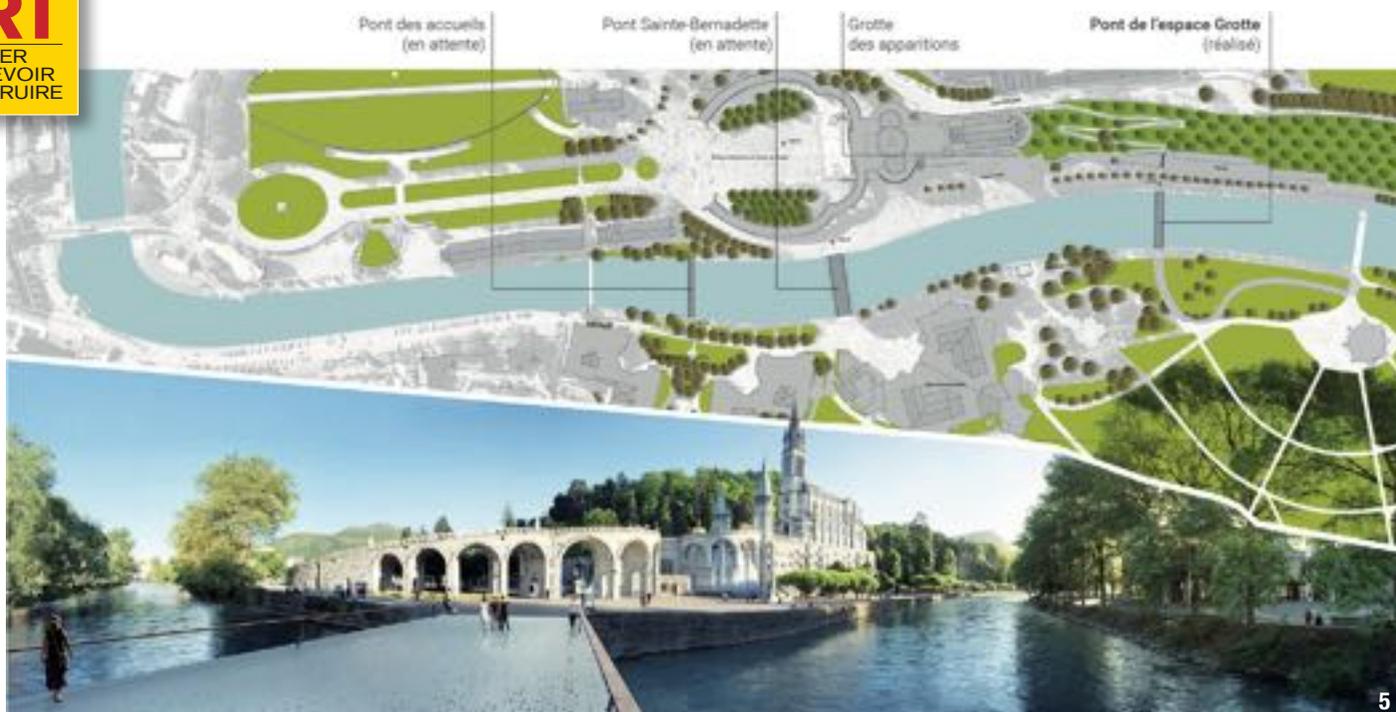
réalisée. C'est sur cette dernière que nous nous focaliserons dans la suite de cet article.

Les crues étant soudaines et violentes, le lit de la rivière fluctue et oblige à lever la passerelle pour ne pas encombrer l'écoulement des eaux.

Or, ces crues sont particulièrement fréquentes en période de pèlerinage. Minimiser l'épaisseur de la passerelle a permis de retarder sa levée, ce qui réduit le nombre de journées de non-utilisation de 15 jours à moins de 1 jour par an. Au vu du nombre conséquent de pèlerins présents sur site, la mobilité s'en trouve fortement améliorée.

En effet, les pré-études réalisées préalablement tablaient sur une épaisseur de tablier de l'ordre de 80 cm.

Par analyse des données hydrauliques disponibles, et plus particulièrement les fréquences de dépassement du niveau d'écoulement du gave au droit du futur ouvrage, on observe que le pont devrait être mis en sécurité (levé) plus de 15 jours par an avec environ 4 levages par an (figure 6). Une des contraintes du projet consiste donc à garder une marge de sécurité de minimum 50 cm entre l'intrados de l'ouvrage et la rivière. ▽



5 © EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

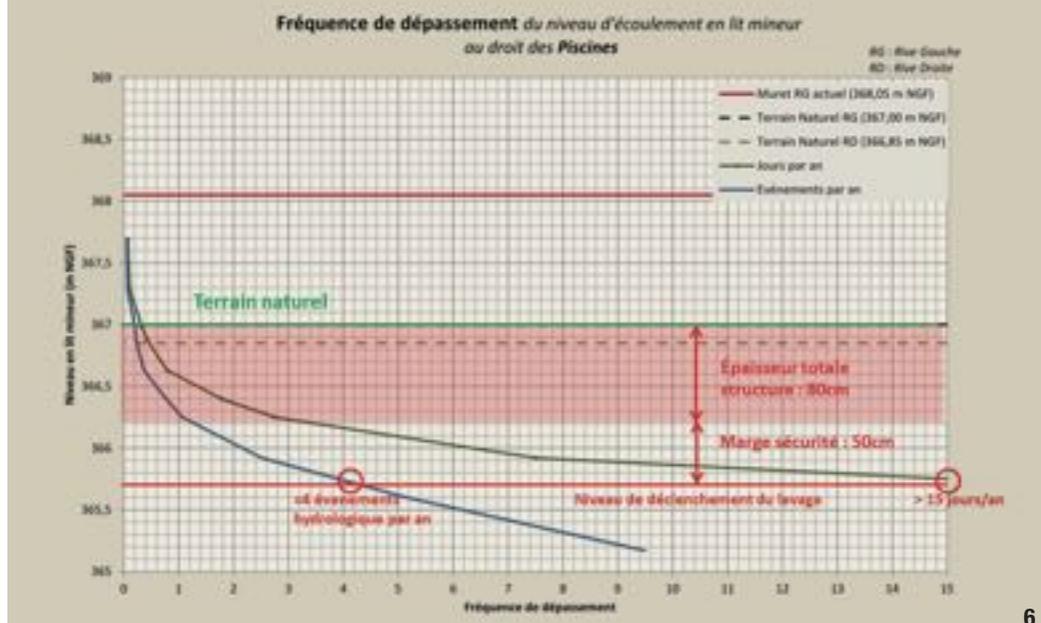
5- Vue en plan du site et intégration réalisée dans le cadre du concours.

6 & 7- Courbes hydrauliques du Gave de Pau montrant l'impact d'un tablier de 80 cm et de 40 cm d'épaisseur.

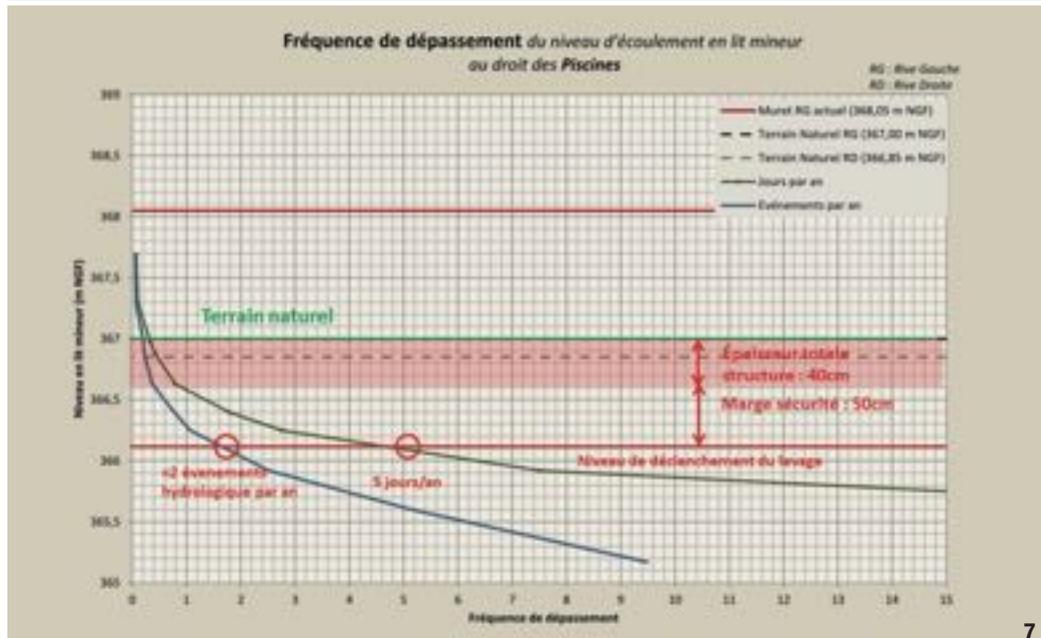
5- Plan view of the site and integration performed as part of the design contest.

6 & 7- Hydraulic curves of Gave de Pau showing the impact of a deck of thickness 80 cm and 40 cm.

COURBES HYDRAULIQUES DU GAVE DE PAU MONTRANT L'IMPACT D'UN TABLIER DE 80 CM ET DE 40 CM D'ÉPAISSEUR



6 © EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

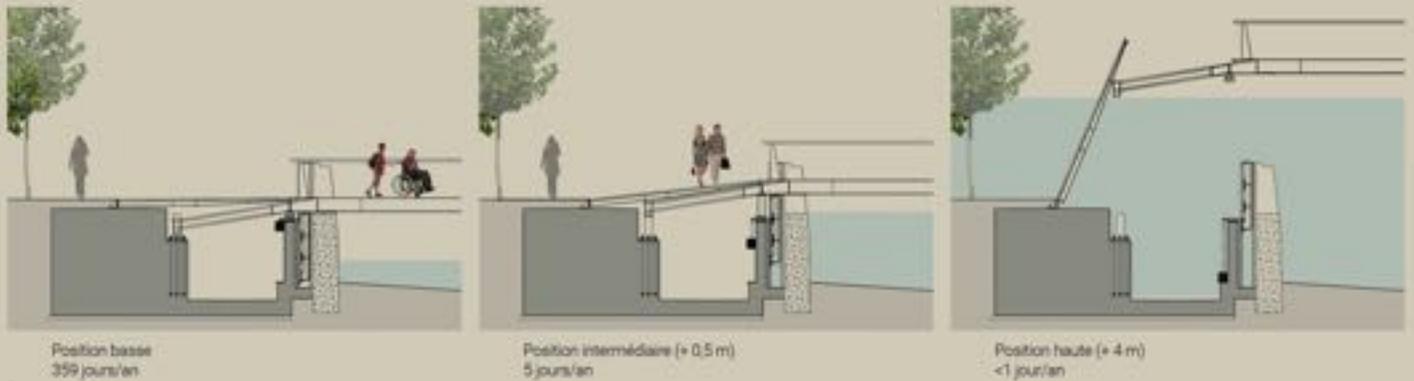


7 © EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

Si l'on réduit l'épaisseur du tablier à 40 cm, l'analyse de ces données montre que le pont ne doit plus être levé que 5 jours par an, avec une occurrence de l'ordre de 2 levages (figure 7).

De plus, notre réponse a été un pas plus loin. Nous avons en effet proposé une situation de levage intermédiaire, lors de laquelle le pont n'est levé que de 50 cm. Dans cette configuration additionnelle, le pont est rendu accessible grâce à l'apparition d'une rampe présentant 10 % de pente. Grâce à cela, le pont ne doit être levé en position haute - dite de sécurité - avec un levage de 4 m, que moins d'un jour par an (figure 8).

LES DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS DE LEVAGE DE LA PASSERELLE



8

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

8- Les différentes configurations de levage de la passerelle.

9- Vue du platelage.

10- Détails de la structure du tablier en zone courante.

11- Coupe technique de l'ouvrage.

8- Various foot-bridge raising configurations.

9- View of decking.

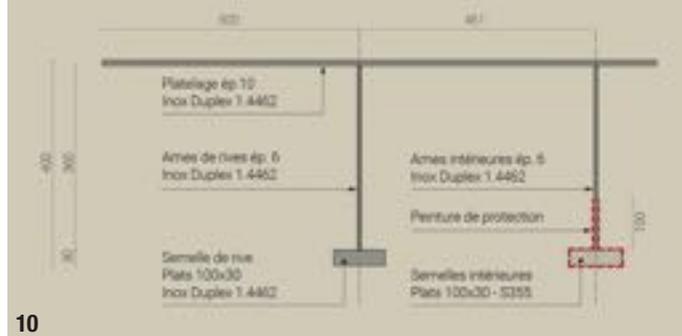
10- Details of the deck structure in a standard area.

11- Technical cross section of the bridge.



9

DÉTAILS DE LA STRUCTURE DU TABLIER EN ZONE COURANTE



10

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

En outre, la traversée se fait sans pente la majorité du temps. Un grand nombre de pèlerins ont une mobilité réduite et la procession de la traversée est donc libre. Le pont ne comporte en effet aucune pente longitudinale ni transversale.

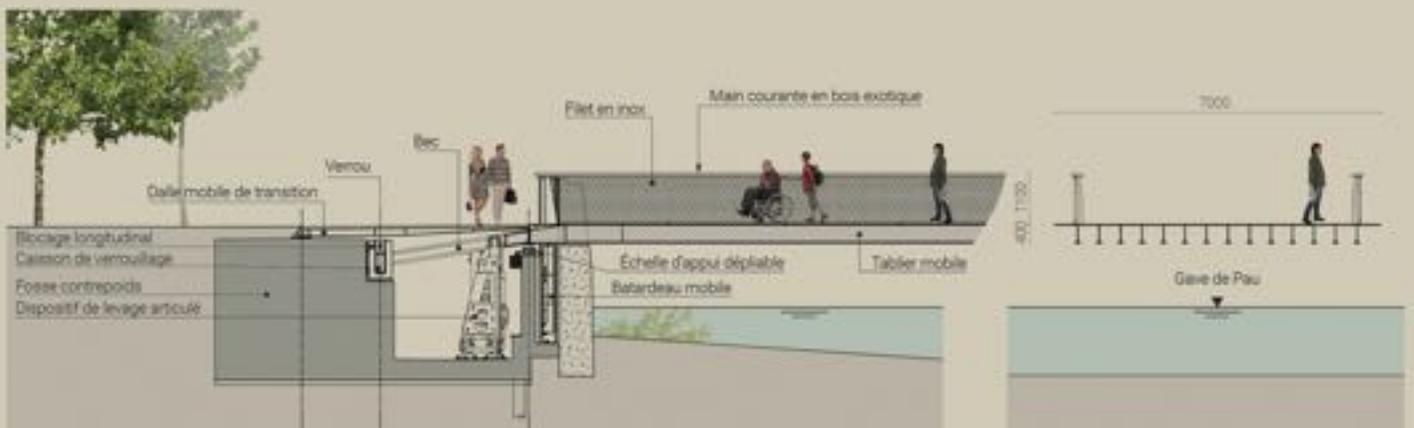
Notre réflexion minimale ne se fait pas uniquement sur la géométrie, mais également sur les matériaux. La structure est en inox Duplex. L'inox est sablé pour assurer une adhérence correcte et rendre la texture mate, noble, intégrée. De plus, le platelage est percé sur la base d'un dessin artistique aléatoire (figure 9).

Il n'y a donc aucun revêtement, aucune finition.

TECHNIQUE

Le tablier est d'un élanement sans pareil (environ 1/100°) ! Arriver à une telle finesse et un tel élanement est structurellement complexe (figure 11). La structure principale de l'ouvrage est constituée d'un grillage de poutres en acier inoxydable (figure 10). ▶

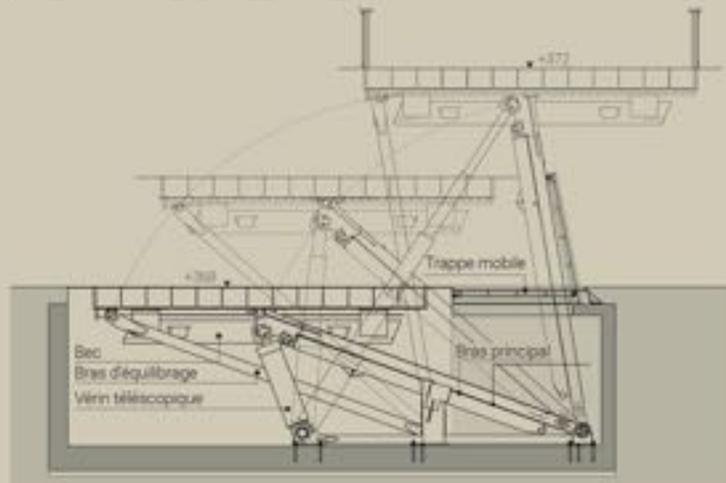
COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE



11

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

CINÉMATIQUE DU LEVAGE



12



13

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

Son épaisseur est de 40 cm pour 38,5 m de portée. Le platelage, composé d'une tôle d'inox Duplex (1.4462) de 10 mm, fortement sablée et perforée de manière aléatoire, constitue la semelle supérieure des poutres, tout ceci dans un souci d'économie de matière et en vue de réduire le poids de l'ouvrage. En effet, le coût du système de levage est plus particulièrement du vérin est directement lié à sa capacité intrinsèque.

Les âmes des poutres sont également en inox Duplex en vue d'éviter tout souci de corrosion galvanique. Leur épaisseur est de 6 mm en zone courante et 8 mm au droit des appuis. Seule la semelle inférieure extérieure est également en inox Duplex pour des raisons esthétiques. Les autres semelles inférieures sont en acier carbone classique et sont peintes.

La largeur utile de franchissement de l'ouvrage est de respectivement 6 m,

pour une largeur hors tout de 7 m (11 m et 5 m pour les deux autres futurs ouvrages). Le poids total de la passerelle est d'environ 60 t dont 35 t d'inox Duplex.

Compte tenu de la grande flexibilité de l'ouvrage, le schéma statique est double : simplement appuyé sous les charges permanentes et encasturé sous les charges variables dans le but d'augmenter la rigidité et par conséquent réduire les déformations et les

12- Cinématique du levage.

13- Vue de la passerelle en position haute et du système de levage déployé.

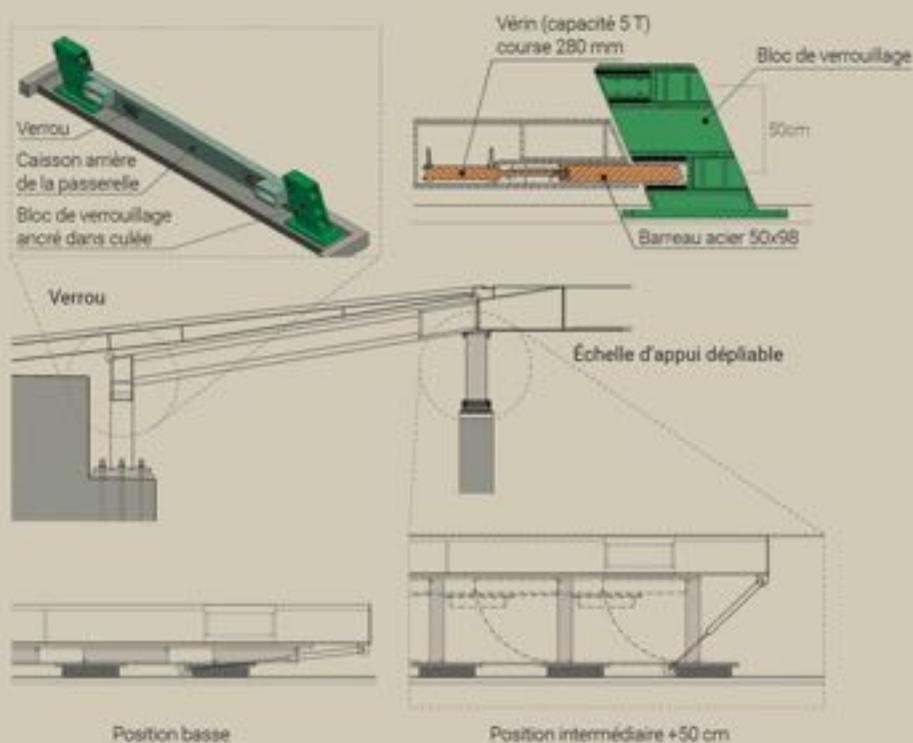
14- Détails des appuis de la passerelle.

12- Kinematic drawing of bridge raising.

13- View of the foot bridge in high position and the raising system deployed.

14- Details of foot-bridge supports.

DÉTAILS DES APPUIS DE LA PASSERELLE



14

© EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

efforts internes sous ces surcharges. Cet encastrement est assuré par un double appui du tablier sur chaque culée, qui est constitué par un prolongement de 3,2 m de la structure dans la culée (figure 14). Son extrémité est bloquée par un verrou qui assure un appui arrière. Le soulèvement de cet appui arrière est directement compensé par un contrepoids en béton à l'arrière de la culée.

SYSTÈME DE LEVAGE

Le levage de la passerelle est réalisé par deux dispositifs indépendants installés dans chacune des culées.

La cinématique du levage est basée sur la déformation d'un parallélogramme (figure 12) constitué d'un bras porteur principal à l'axe de l'ouvrage reprenant la charge, et d'un bras d'équilibrage

repreant les éventuelles dissymétries. Un vérin télescopique travaillant uniquement en compression assure le mouvement. Ce vérin a une capacité de 70 t et une course de 5,2 m. Il comporte 4 étages et a un diamètre extérieur de 430 mm.

Le bras porteur principal assure également la stabilité longitudinale de l'ouvrage en position haute par sa géométrie triangulée. En position haute (figure 13), dite de sécurité, une béquille est déployée afin de garantir la stabilité de l'ouvrage dans l'éventualité d'un incident sur le vérin. Ce bras porteur est également positionné en amont du vérin pour le protéger durant les crues. Il est par conséquent dimensionné pour la reprise de chocs d'embâcles charriés par la rivière en crue, comme par exemple des troncs d'arbre.

De plus, tout le système électromécanique (armoire de commande, groupe hydraulique, etc.) est logé dans la partie arrière de la passerelle, et reste à l'abri des eaux durant les crues.

APPUIS

La passerelle conçue peut être utilisée dans deux configurations : d'une part en position basse et d'autre part en



15 © EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES/GREISCH/PATRICK MOUSSEIGNE & MICHEL DEFOL

15, 16 & 17- Dalle de transition en position basse, en cours de levage et en position haute.

18- Vue du batardeau en rive gauche.

15, 16 & 17- Transition slab in low position, during raising and in high position.

18- Views of the cofferdam on the left bank.

position dite intermédiaire (relevée de 50 cm). Dans cette seconde configuration, une rampe d'accès à 10% apparaît et le schéma statique du double appui doit être rétabli.

La ligne d'appui en compression, localisée sur le voile avant de la culée, est réalisée par une échelle d'appui dépliable permettant d'assurer l'appui à la fois en position basse et en position intermédiaire (figure 14).

Les appuis sont réalisés par des blocs en élastomère fretté directement fixés à l'échelle d'appui. Un vérin double-effet assure le mouvement de ce dispositif.

Le blocage de l'appui arrière est assuré tant en position basse qu'intermédiaire par un verrou s'enclenchant dans un boîtier liaisonné à la culée (figure 14). Le verrou est en réalité une barre d'acier mue par vérin double effet de 5 t de capacité. Ce dispositif est logé dans le caisson arrière de la structure. La barre d'acier du verrou est poussée dans le bloc de verrouillage ancré directement dans la culée. Ce dernier est de forme trapézoïdale afin de correspondre au mouvement de la passerelle. Ce bloc de verrouillage contient deux réservations pour les deux configurations d'utilisation de l'ouvrage. Pour faciliter la maintenance, tous les éléments de ce dispositif de blocage (ensemble vérin et barre d'acier, éléments pour la réservation dans les blocs de verrouillage) sont simplement boulonnés.

DALLE DE TRANSITION

En position intermédiaire, l'ouvrage doit également être accessible. Une dalle de transition permet l'accès à la fois en position basse et en position intermédiaire. Cette dalle permet également de franchir la fosse de la culée dans laquelle est logé le système de levage. La dalle de transition s'étend sur une longueur de 5 m pour une largeur de 7 m. Elle est constituée d'une structure acier en caisson multi-alvéolé de 15 cm d'épaisseur structurelle, dont les tôles en acier sont de 4 à 6 mm d'épaisseur. Elle est recouverte de 5 cm d'hydrocarboné et chaque dalle pèse environ 8 t. En position basse, la dalle de transition est simplement appuyée à ses extrémités et ne présente aucune pente (figure 15).

En position intermédiaire, le schéma statique est conservé et la pente grimpe à 10% grâce à une charnière rotulée à son pied, qui la connecte avec la culée.

Lorsque le pont continue à s'élever, le caisson arrière de l'ouvrage, dans lequel le dispositif de verrouillage est logé, vient prendre appui sur la sous-face de la dalle de transition et la soulève progressivement (figure 16). La particularité de cette opération est que le mouvement du pont n'est pas strictement vertical mais est à la fois vertical et transversal. Dès lors, le caisson arrière et plus particulièrement son appui glissant se déporte latéralement progressivement au-delà de la dalle de transition pour, au final, en position haute, n'avoir une surface d'appui que de quelques dizaines de centimètres (figure 17).



16



17



18

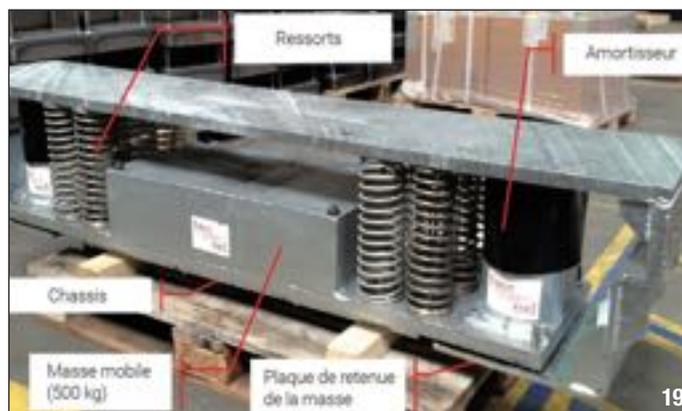
BATARDEAU MOBILE

En rive gauche, la présence de la passerelle crée une brèche dans le mur protégeant le sanctuaire des inondations pour des crues courantes.

Un batardeau mobile se levant automatiquement avec l'ouvrage par le biais d'un système de contrepoids sur poulies rétablit l'étanchéité de ce mur (figure 18). En permanence, grâce au contrepoids, le batardeau est en butée sur la passerelle. Le mouvement de la passerelle est à la fois vertical et en translation alors que celui du batardeau est uniquement vertical. Des galets de roulement entre la passerelle et le batardeau permettent d'assurer ce mouvement différentiel. Latéralement, le batardeau est guidé par des galets roulant dans un profilé inox en U.

DYNAMIQUE

De nos jours, les passerelles cyclopiétonnes deviennent de plus en plus élancées, souples et légères, avec pour conséquence une augmentation du rapport charges d'exploitation/charges permanentes. Cette tendance entraîne une plus grande sensibilité des passerelles actuelles aux vibrations sous l'effet de charges dynamiques. Les actions exercées par les piétons peuvent entraîner des phénomènes vibratoires qui ne sont généralement pas préjudiciables pour la structure mais peuvent créer



19
© GERB S.A.

une sensation d'inconfort pour l'utilisateur. Compte tenu de l'élancement exceptionnel de notre ouvrage, sa contrainte principale devient son comportement vibratoire sous les actions dynamiques engendrées par le passage des piétons. Une vérification dynamique de l'ouvrage a été réalisée conformément aux recommandations du Setra, traitant du comportement vibratoire des passerelles. Le sanctuaire de Lourdes est l'un des sites les plus visités de France avec environ 6 millions de pèlerins recensés chaque année. En haute saison, chaque jour, plus de 28 000 personnes passent devant la Grotte. Il est dès lors évident que la classe d'utilisation de l'ouvrage conformément au guide du Setra se doit d'être la plus restrictive. Cette classe correspond à une passerelle fréquemment empruntée par des foules denses comme cela pourrait être le cas en sortie de stade ou de station de métro.

19- Amortisseur dynamique accordé.

20- Détail du plâlage inox Duplex sablé et perforé aléatoirement.

21- Vue de la conception minimale du garde-corps et des équipements.

22- Détail du garde-corps.

19- Tuned dynamic damper.

20- Detail of the sanded and randomly perforated Duplex stainless steel flooring.

21- View of the minimalist design of the guard rail and appurtenances.

22- Detail of the guard rail.

Compte tenu qu'une part importante des utilisateurs a une mobilité réduite, nous devons réduire au maximum les accélérations perçues de l'ouvrage. Nous avons décidé d'offrir un confort maximum aux différents usagers en limitant les accélérations verticales à $0,5 \text{ m/s}^2$. Dans ce cas, les accélérations de la structure sont pratiquement imperceptibles.

Le premier mode propre de flexion verticale de la passerelle coïncide pratiquement avec le premier mode de torsion. Ces deux modes ont une fréquence de l'ordre de 1,7 Hz, ce qui correspond à la fréquence de marche des piétons. Les calculs dynamiques réalisés ont rapidement mis en évidence des problèmes de vibrations liés au passage de piétons.

Six amortisseurs dynamiques de 500 kg chacun (figure 19), accordés sur les deux premières fréquences propres de l'ouvrage, ont été installés à mi-portée afin d'augmenter drastiquement le taux d'amortissement de la structure. Ces amortisseurs sont efficaces pour amortir chacun des deux modes : vertical et de torsion.

La souplesse de l'ouvrage est telle que la masse d'amortisseur mise en place est plus importante que d'ordinaire. Habituellement, le rapport entre la masse modale de l'ouvrage et la masse mobile de l'amortisseur est de

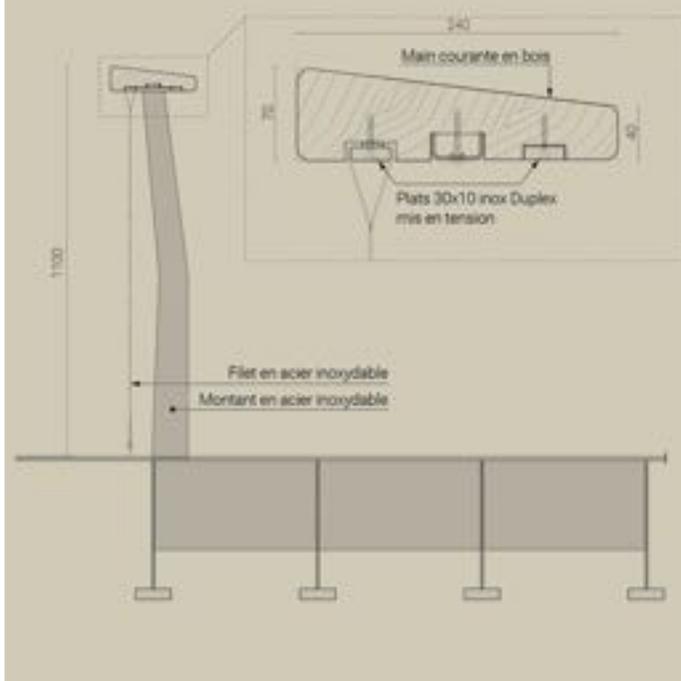


20



21

DÉTAIL DU GARDE-CORPS



22

l'ordre de 2 à 3%. Dans le cas qui nous occupe, ce rapport est de 15% pour le mode vertical et de plus de 35% pour le mode de torsion.

Ces amortisseurs ont permis d'augmenter d'un facteur 10 l'amortissement de l'ouvrage pour le mode vertical et de 30 pour le mode de torsion, permettant de réduire les accélérations sous la barre des 0,5 m/s². Ce seuil d'accélération est défini comme garantissant un confort maximal pour les usagers selon le guide du Setra.



23
© SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES

ÉQUIPEMENTS

La réflexion et la conception minimale ne portent pas uniquement sur la géométrie et sur les matériaux, mais également sur les équipements (figure 21). Comme expliqué précédemment, le platelage constitue également la semelle supérieure des poutres de la structure. Il s'agit d'une tôle d'inox Duplex de 10 mm d'épaisseur qui est sablée pour assurer une adhérence correcte et rendre la texture mate, noble, intégrée. De plus, ce platelage est percé sur la base d'un dessin artistique aléatoire (figure 20).

Ces perforations ont deux objectifs ; d'une part, elles servent un enjeu architectural et, d'autre part, elles permettent l'évacuation des eaux de pluie car l'ouvrage ne présente aucune pente. Une attention particulière a été portée

23- Levage de la passerelle lors de la crue de juin 2018.

23- Raising the foot bridge during the June 2018 flood.

à la dimension des trous (maximum 10 mm de largeur) afin d'éviter que les roues des fauteuils roulants s'y bloquent et que les cannes passent au travers. De plus, la densité de ces percements est directement liée au diagramme de moment de l'ouvrage : au centre, où les contraintes sont maximales, la densité de perforation est la plus faible. Au droit

médières, soit une portée de 12,5 m environ entre montants.

Pour franchir une telle portée, la main-courante en bois ne peut se porter seule. Elle est donc posée sur deux plats en inox Duplex tendus (15 t par garde-corps) (figure 22). Un filet constitué de câbles en acier inoxydable tissés de 1,5 mm prévenant les chutes offre une grande transparence, pour ne former écran ni pour les usagers de la passerelle, ni depuis les rives.

CONCLUSION

Les trois passerelles constituent un ensemble d'ingénierie exceptionnel au sein du site très particulier du Sanctuaire Notre-Dame de Lourdes.

Avec un impact minimal sur le paysage, en combinaison avec un haut niveau de confort pour leurs usagers, la conception se veut humble et simple, en dépit de la complexité des nombreux mécanismes.

La philosophie de conception de l'approche minimaliste a conduit à un résultat cohérent, intégré et exceptionnel. Enfin, l'efficacité du système mobile a été prouvée lors des dernières fortes intempéries en juin 2018 (figure 23). □

QUELQUES CHIFFRES

ÉLANCEMENT DU TABLIER : 1/96

POIDS TOTAL DU TABLIER : 60 t dont 35 t d'inox Duplex 1.4462

HAUTEUR DE LEVAGE : 4 m

COÛT : 4,6 millions d'euros (3 ouvrages) - 1,6 millions d'euros (pont de l'espace Grotte) dont 400 000 euros pour le système électromécanique

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Sanctuaire Notre-Dame de Lourdes

GROUPEMENT : Eiffage Construction Midi Pyrénées / Greisch / Patrick Mousseigne & Michel Defol :

- Architecture : Greisch
- Stabilité : Greisch
- Collaboration architecture : Patrick Mousseigne - architecte
- Entreprise générale : Eiffage Construction Midi Pyrénées

SOUS-TRAITANTS :

- Système électromécanique : Mécamont Hydro
- Amortisseurs : Gerb S.A.

ABSTRACT

MOVABLE STAINLESS STEEL FOOT BRIDGES CROSSING GAVE DE PAU RIVER ON THE SITE OF THE SANCTUARY OF OUR LADY OF LOURDES

C. PEIGNEUX, BUREAU GREISCH - F. ZUCCA, BUREAU GREISCH - P. MOUSSEIGNE, SCPA MOUSSEIGNE & DEFOL/ARCHITECTES ASSOCIÉS - J.-M. PRADIER, EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES - S. MAYSOUNAVE, SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES

The foot bridges crossing the Gave de Pau River on the site of the Sanctuary of Our Lady of Lourdes are moveable bridges designed as part of a Design and Build contest. The design approach is intended to be modest and sober. The structure has an exceptional slenderness ratio (about 1/100) and a simple design, both from a geometric viewpoint and due to the materials used. Duplex stainless steel was chosen for the structure and decking, owing to its excellent mechanical properties and durability. The deck has no finishing, and is covered with no surfacing. □

PASARELAS MÓVILES DE ACERO INOXIDABLE QUE CRUZAN EL RÍO GAVE DE PAU, EN EL EMPLAZAMIENTO DEL SANCTUARIO DE NUESTRA SEÑORA DE LOURDES

C. PEIGNEUX, BUREAU GREISCH - F. ZUCCA, BUREAU GREISCH - P. MOUSSEIGNE, SCPA MOUSSEIGNE & DEFOL/ARCHITECTES ASSOCIÉS - J.-M. PRADIER, EIFFAGE CONSTRUCTION MIDI PYRÉNÉES - S. MAYSOUNAVE, SANCTUAIRE NOTRE-DAME DE LOURDES

Las pasarelas que cruzan el Gave de Pau, en el emplazamiento del Santuario de Nuestra Señora de Lourdes, son puentes móviles diseñados en el marco de un concurso de diseño-realización. El enfoque del diseño pretende ser modesto y sobrio. La estructura presenta una esbeltez sin igual (1/100 aproximadamente) y un diseño simple, tanto desde el punto de vista geográfico como por los materiales utilizados. Se ha optado por el acero inoxidable dúplex para la estructura y el enrejado debido a sus excelentes propiedades mecánicas y su durabilidad. El tablero, sin acabado, no dispone de ningún revestimiento. □



1
© NGE

ÉCHANGEUR DE NOGENT-SUR-MARNE - PASSAGE SUPÉRIEUR SUR A4

AUTEURS : DANIEL DE MATTEIS, DIRECTEUR DU PROJET MAÎTRISE D'OUVRAGE, DIRIF - JULIEN RIEDBERGER, DIRECTION DE PROJET MAÎTRISE D'ŒUVRE, ARTELIA - THOMAS LAVIGNE, ARCHITECTE, LAVIGNE CHERON - ROBERT DUBOIS, DIRECTEUR, BAUDIN CHATEAUNEUF - ARNAUD DIDION, DIRECTEUR TRAVAUX, NGE

L'ÉCHANGEUR DE NOGENT-SUR-MARNE, À L'EST DE LA RÉGION PARISIENNE, EST TRÈS CONNU DES USAGERS DES AUTOURUTES A4 ET A86 ET DES COMMUNES LIMITROPHES EN RAISON DU TRAFIC TRÈS DENSE QUE CE POINT D'ÉCHANGE ENGENDRE. CE PASSAGE SUPÉRIEUR A ÉTÉ RÉALISÉ DANS LE CADRE DE LA REFORTE DE L'ÉCHANGEUR. L'ARTICLE MET EN AVANT L'ENSEMBLE DES CONTRAINTES QUI ONT CONDUIT AUX SOLUTIONS PROPOSÉES AUSSI BIEN AU NIVEAU DE L'OUVRAGE DÉFINITIF QUE DES MODES DE CONSTRUCTION.

HISTORIQUE DE L'OPÉRATION DE NOGENT-SUR-MARNE

Le carrefour du pont de Nogent est un important nœud autoroutier entre l'A4 et l'A86. Situé dans le Val-de-Marne, à cheval sur Nogent et Champigny, il comporte un pont sur la Marne qui était historiquement un simple franchissement de ce cours d'eau mais qui est progressivement devenu un composant important de ce carrefour.

À la fin des années 80, un grand tunnel sous-fluvial composé de tronçons en

béton préfabriqués posés dans le lit mineur de la Marne a été construit pour écouler les flux de véhicules venant de Créteil par l'A86 et se rendant vers le nord par l'A86 et vice versa.

Au milieu des années 90, différents aménagements ont été imaginés pour augmenter la capacité du pont franchissant la Marne mais aussi et surtout pour augmenter la capacité de la partie de l'A4 située entre Saint-Maurice et Nogent. Celle-ci supporte en effet à la fois le trafic de l'A4 et celui de l'A86,

ce qui lui vaut son nom de tronc commun A4/A86.

Ces projets n'ont toutefois pas abouti, soit en raison de leur coût, soit en raison de l'opposition des riverains.

Le trafic routier continuant à augmenter, des aménagements visant à fluidifier le trafic dans ce secteur ont été imaginés et mis en œuvre par la DDE 94, alors exploitante de ce carrefour. C'est dans ce contexte qu'est apparue la circulation à gauche sur le pont au-dessus de l'A4, solution qui devait permettre un

**1- PSA4 porté
par les chariots
automoteurs
avant transport.**

**1- PSA4 carried
by self-propelled
trucks before
transport.**

meilleur écoulement du trafic entre le nord et l'est de l'Île-de-France et qui a duré jusqu'à l'été 2018. C'est également dans ce contexte qu'ont été créées les deux voies auxiliaires à la jonction entre l'A4 et l'A86, voies qui désignent l'utilisation des BAU comme voies supplémentaires lorsque le contexte le justifie.

La figure 2 montre l'organisation des circulations qui a été en vigueur entre la mise en service du tunnel sous la Marne et la mise en service de l'aménagement objet du présent article. Au début des années 2000, l'idée de réaliser une bretelle directe (donc sans feux) entre le nord et l'est a émergé, accompagnée de l'autre idée qu'il fallait également renforcer les protections acoustiques dans ce secteur et offrir aux nombreux pro-

meneurs la possibilité de traverser la Marne de manière plus confortable et sécurisée qu'en utilisant les trottoirs du pont existant.

Le schéma en figure 3 montre la nouvelle organisation des circulations de ce projet ainsi que les principaux ouvrages d'art à construire.

L'avant-projet sommaire a été approuvé en septembre 2013 et l'arrêté préfectoral de DUP a été obtenu en avril 2014. L'arrêté préfectoral AU IOTA a été obtenu en mars 2017 et le dossier PROJET a été approuvé en janvier 2018.

En raison de l'encombrement du site mais aussi des contraintes budgétaires, les travaux, estimés à 41 millions d'euros TTC et inscrits au CPER 2015/2020, ont été scindés en deux phases :

→ Une première phase (2017/2019) portant sur la réorganisation des circulations routières ;

→ Une seconde phase (2019/2021) portant d'une part sur la nouvelle passerelle sur la Marne et d'autre part sur certaines protections acoustiques à construire le long de la RN486 et sur le bord Nord de l'A4.

La suite du présent article ne porte que sur la première phase de travaux et plus précisément sur le nouveau passage supérieur à tablier mixte acier-béton qui permet à la nouvelle bretelle d'entrée vers Paris de franchir l'A4.

ARCHITECTURE DES OUVRAGES D'ART

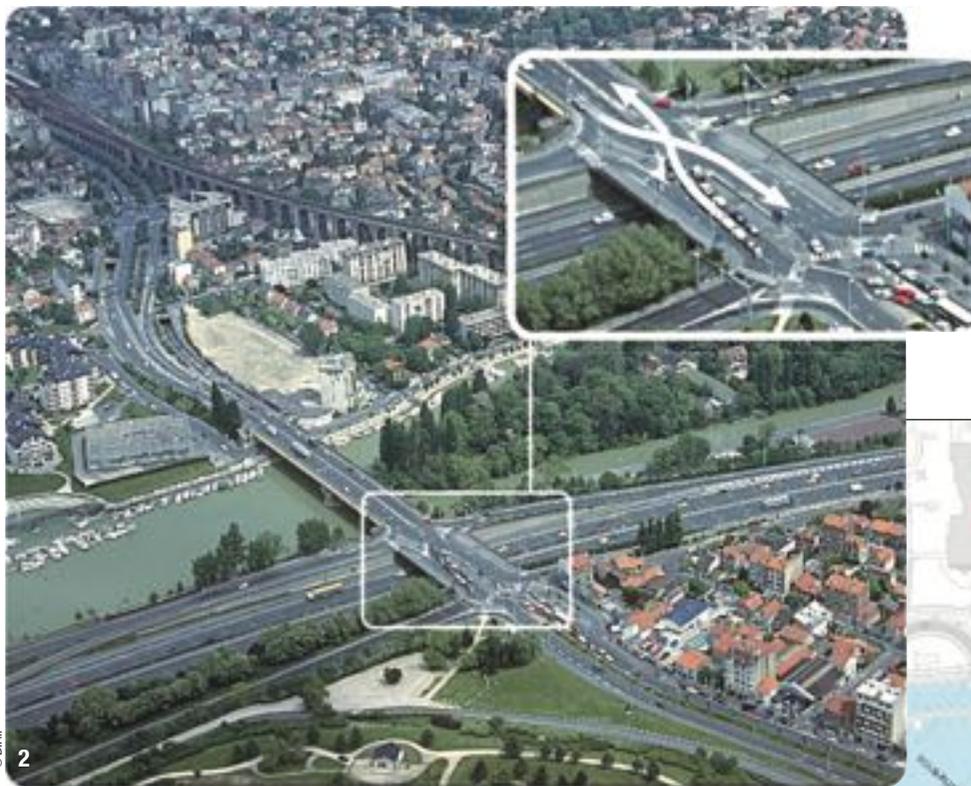
Le travail de l'architecte commence par l'analyse du site, de son histoire, de sa

culture. Il faut repérer les points forts du paysage : la Marne, ses berges, l'île aux Loups, l'immense viaduc ferroviaire de Nogent-sur-Marne en arrière-plan, le parc du Tremblay à Champigny-sur-Marne (figure 4).

Le projet de Nogent-sur-Marne comprend un ensemble d'ouvrages qui participe au fonctionnement du nouvel échangeur : franchissement de l'autoroute, passerelle paysagère, écrans acoustiques, aménagement paysager, future passerelle sur la Marne parallèle au pont existant.

L'architecte a pris le parti de la douceur et de la sobriété pour apaiser cet échangeur routier dans le paysage. Pas de structures maniérées pour marquer son passage, au contraire, il faut savoir s'effacer, tout en proposant une architecture soignée et bien intégrée et en favorisant des matériaux naturels de qualité comme la pierre sur les longs murs de soutènements.

Le thème de l'eau a été travaillé, pour faire référence à la Marne. Ce thème se retrouve dans le motif aquatique des écrans acoustiques en béton de bois. Pour le pont de l'A4, une simple ligne horizontale a été choisie, dont la teinte "végétale" s'inscrit dans la dominante du parc et des îles. Il ne fallait pas perturber les perspectives sur le pont ferroviaire avec des superstructures trop imposantes (figure 5).



© DIRIF

2- Vue aérienne avant travaux.
3- Plan après travaux.

2- Aerial view before works.
3- Drawing after works.



© DIRIF



4

© LAVIGNE CHERON

Une pile élégante et dynamique, construite dans le terre-plein central de l'autoroute, comme une main ouverte, vient porter subtilement la structure (figure 6).

Les culées et la rampe d'accès courbe de l'ouvrage sont animés de matrices bois et équipés d'écrans acoustiques en forme de vague qui font écho à la Marne. La matrice donne une texture naturelle qui anime les murs et joue avec la lumière. Une partie du béton de la rampe de l'ouvrage est teintée en vert pour adoucir l'impact visuel de l'ouvrage dans le paysage, et le fondre dans l'environnement végétal.

CONCEPTION TECHNIQUE DE L'OUVRAGE D'ART

Le passage supérieur sur l'A4 permet le franchissement de la nouvelle bretelle A2 d'entrée sur l'A4W (vers Paris) et il crée une liaison entre le giratoire côté Champigny et l'A4W en se prolongeant par un ouvrage cadre posé sur le

tunnel sous-fluvial. L'ouvrage cadre est nécessaire pour ne pas surcharger le tunnel existant avec le poids des remblais nécessaires à ce franchissement. L'ouvrage franchit les 2X3 voies de l'A4, ainsi que les BAU avec un biais de 70 degrés environ. Le gabarit à respecter est de 5 m.

Plusieurs solutions ont été explorées en phase conception :

- Bow-string mono-travée sans appui intermédiaire ;
- Pont bi-poutre-latérale en double travée.

La solution bow-string, a été jugée inadaptée en terme de coût et d'insertion architecturale. Le biais étant également une complexité forte pour ce type d'ouvrage.

La solution bi-poutre initiée en AVP avec des hauteurs de 3 m constantes a été optimisée avec des bi-caissons de 2,2 m de haut et un hourdis en poutrelle enrobée améliorant la finesse du tablier pour une meilleure insertion paysagère.

4- Vue depuis la passerelle franchissant l'Autoroute A4.

5- Modélisation 3D de l'ouvrage franchissant l'A4.

4- View from the foot bridge crossing the A4 motorway.

5- 3D model of the structure crossing the A4.

grutage ont été écartées en raison du manque d'emprise et des limitations de charge sur l'ouvrage d'accès au tunnel sous-fluvial existant.

Il a été retenu comme solution pour le franchissement un passage supérieur comportant 2 travées, pour une longueur totale d'environ 63 m.

Le tablier est du type structure à poutres latérales en caissons métalliques dans le sens longitudinal et à profilés métalliques enrobés dans du béton dans le sens transversal.

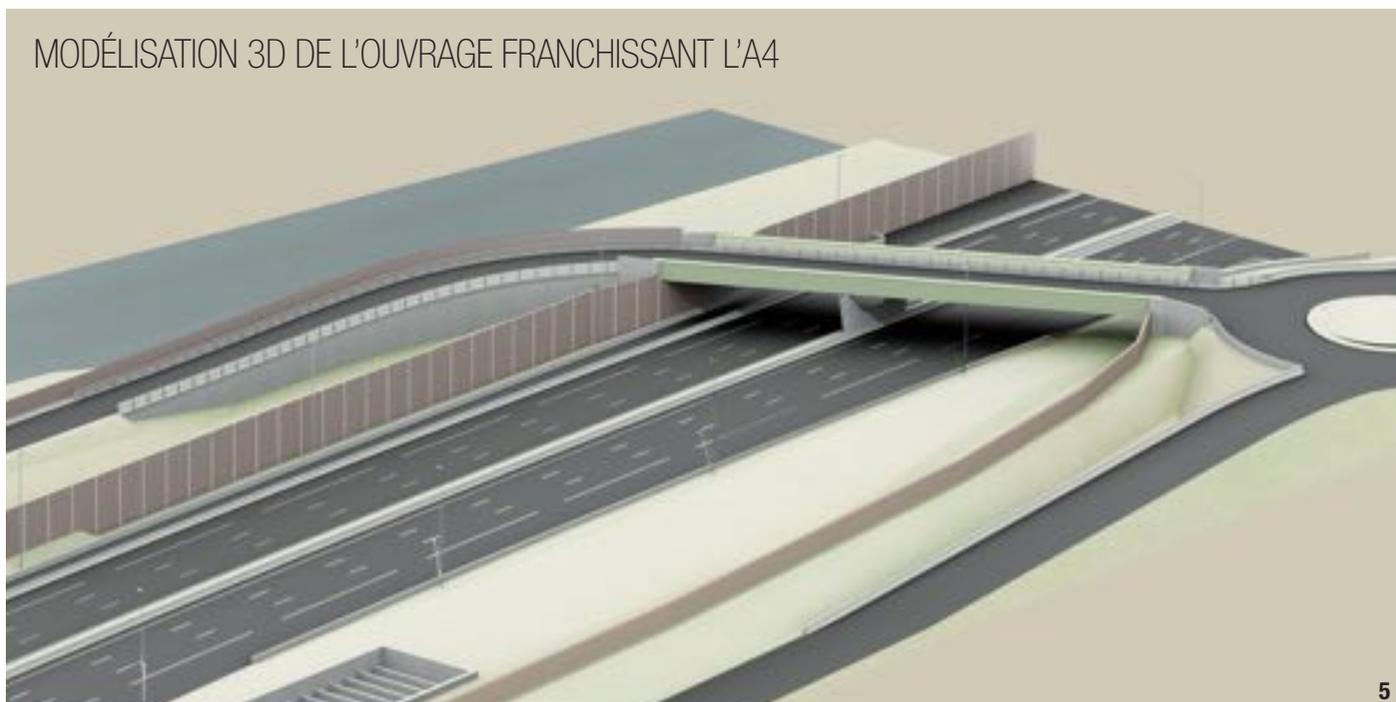
Le tracé en plan de l'ouvrage est bordé par deux courbes (rayon et clothoïde) de part et d'autre lui permettant de s'inscrire dans un "S" en plan. Compte tenu du tracé en plan de la voirie, l'axe du tablier est rectiligne mais l'implantation de la chaussée n'est pas fixe transversalement. L'ensemble de ces données se traduit par deux passages de service de largeur variable.

En partie courante, la répartition est la suivante :

D'autres solutions structurelles type pont mixte ne s'adaptait pas au profil en long des chaussées, impliquant de remonter trop fortement le nivellement de la rampe côté A4W et le giratoire côté Sud pour garantir le gabarit sous l'ouvrage.

À noter également que, dès la conception, les mises en œuvre par lançage ou

MODÉLISATION 3D DE L'OUVRAGE FRANCHISSANT L'A4



5

© LAVIGNE CHERON



© LAVIGNE CHERON
6

- Passage de service de gauche : 0,70 m ;
- Dispositif de retenue niveau H2 : 0,55 + 0,10 m ;
- BDG : 1,00 m ;
- Chaussée : 3,50 m ;
- BAU : 2,50 m ;
- Dispositif de retenue niveau H2 : 0,55 + 0,10 m ;
- Passage de service de droite : 0,80 m ;

La largeur totale est de 9,80 m.

Les poutres latérales étant inclinées, la largeur hors tout du tablier est de : $1,10 + 10,30 + 1,10 = 12,50$ m. Compte tenu des contraintes liées, d'une part, au profil en long qui nécessitait de réduire au maximum le niveau du franchissement et, d'autre part, les portées de l'ouvrage et le biais des appuis, une solution à poutres latérales a été choisie à la conception.

Ce type d'ouvrage a également l'avantage de pouvoir être préfabriqué en large partie en usine, transporté et posé avec des contraintes limitées (dans le temps) vis-à-vis de l'exploitation de A4.

FABRICATION ET TRANSPORT DE L'OUVRAGE

Malgré un aspect relativement simple, la principale difficulté de la réalisation de l'ossature métallique est liée à la géométrie particulièrement compliquée du tablier.

En effet :

- Le tracé en plan rectiligne de la chaussée sur l'ouvrage est encadré à chaque extrémité par des clothoïdes de sens contraires ;
- Le profil en travers du tablier varie de +2,5 % à -3,58 % ;

6- Photo de la pile et du tablier en cours de chantier.

7- Marbre de reconstitution.

6- Photo of the pier and the deck during the site works.

7- Reconstruction surface plate.

→ L'ouvrage est biais, avec des angles différents sur les trois appuis (63,11° sur C2 et P1 et 80,04° sur C0) ;

→ Sa largeur est variable aux extrémités pour permettre l'amorce des virages évoqués ci-dessus. Pour cela le caisson latéral de la file Sud-ouest présente deux cassures angulaires aux approches des culées ;

→ Les poutres-caissons latérales sont inclinées sur la verticale.

De plus la reprise des efforts dans les entretoises sur appuis a conduit à des épaisseurs importantes nécessitant la conception d'assemblages complexes à l'intérieur des caissons et la création d'une amorce d'entretoise pour permettre la réalisation du joint soudé sur chantier.

Pour des raisons d'accessibilité et de sécurité pendant les opérations de reconstitution, les caissons ont été fabriqués " couchés " sur l'âme intérieure. Pour la poutre-caisson Sud-ouest cela a conduit à la réalisation d'un marbre important s'élevant jusqu'à près de 4 m au-dessus du sol (figure 7).

La cinématique de reconstitution était la suivante :

→ Soudure des moignons des entretoises sur appui sur les semelles inférieures ;

→ Pose et réglage de l'âme intérieure ;

→ Soudure des diaphragmes sur l'âme ;

→ Pose et soudure de la semelle inférieure équipée des amorces sur l'âme et les diaphragmes ;

→ Pose et soudure de l'âme extérieure sur la semelle inférieure et les diaphragmes ;

→ Pose et soudure des semelles supérieures sur les âmes.

Les semelles inférieures venant fermer le caisson en dernière phase, et compte tenu de l'impossibilité d'accéder à l'intérieur des caissons, les diaphragmes ne sont donc pas soudés sur la semelle supérieure.

Par contre, pour respecter les critères de fatigue, les soudures des mouchoirs en vis-à-vis des semelles supérieures des entretoises principales nécessitent des soudures interpénétrées importantes.

Les poutres-caissons ont été transportées sur site en 3 tronçons chacune (figure 8).

L'inclinaison des caissons sur la verticale a nécessité des dispositions particulières pour assurer l'équilibre des colis pendant le transport.

Sur chantier les caissons ont été déchargés à la grue sur l'aire d'assemblage, réglés et soudés (figure 9). Pour la réalisation des joints de caisson, des trappes ont été réservées dans les âmes intérieures pour permettre la reprise envers des soudures. Elles sont ensuite refermées avec des soudures interpénétrées sur lattes.

Après achèvement de l'ossature et réalisation du hourdis béton, le tablier est mis à disposition pour la mise en place sur l'autoroute (figure 10).



7

© BAUDIN CHATEAUNEUF

MISE EN PLACE DU PASSAGE SUPÉRIEUR DE L'A4

Le projet d'aménagement du pont de Nogent prévoit la préfabrication de l'ouvrage métallique aux abords de l'autoroute A4 direction Paris, puis un transport du tablier dans sa position définitive à l'aide de chariots automoteurs (figure 1).

PRÉPARATION DE LA ZONE DE PRÉFABRICATION ET DE ROULAGE DE L'OUVRAGE

Le tablier du passage supérieur sur l'A4 est assemblé dans un délaissé à proximité directe de son emplacement définitif. La zone a dû être entièrement terrassée et une partie du sous-sol a dû être substituée. La purge du sol en place permet d'obtenir une portance suffisante et sécuritaire vis-à-vis de la proximité de la sous-fluviale de l'A86 intérieure, des efforts engendrés par l'ouvrage en cours de montage et des chariots automoteurs nécessaires au transport.

En raison des efforts induits par l'ouvrage sur les environnants, la masse du colis a été limitée à 650 t. Cette masse correspond à la charpente métallique et à un tiers du hourdis en béton.

Les deux tiers restants sont réalisés après mise en place définitive.

Des dalles en béton sont nécessaires sous chacun des appuis définitifs du pont métallique. En effet, des calages provisoires sont prévus pour l'assem-



8

© BAUDIN CHATEAUNEUF

blage de la charpente et une zone doit être réservée au positionnement des vérins. Les vérins permettront d'élever l'ouvrage à 6 m du sol de manière à ce que les chariots automoteurs puissent s'insérer sous l'ouvrage en vue du portage.

Le plan de roulage du colis ne doit pas présenter de pente longitudinale supérieure à 3 %, valeur qui dépend essentiellement du nombre d'essieux sur une même ligne de chariots.

Ainsi, la jonction entre la zone de préfabrication et l'autoroute a nécessité des aménagements et protections lourdes particulières : ponts lourds, démolitions, remblais et enrobés complémentaires. De la même manière, les glissières en béton du terre-plein central ont été démolies et la plateforme renforcée pour permettre le cheminement des chariots sur les deux sens de l'autoroute.

PRÉPARATION DES APPUIS

L'ouvrage métallique est vrillé en fonction des courbes d'entrée et de sortie de la chaussée sur le pont. La pente transversale est donc inversée au droit des culées. La différence altimétrique

des appareils d'appui est compensée par la hauteur du bossage en béton. La capacité de vérinage des chariots automoteurs étant limitée, il est donc nécessaire de ferrailer les bossages après positionnement définitif du pont. En effet, les aciers et l'ouvrage seraient en conflit lors du transport si cette adaptation n'avait pas été envisagée.

8- Tronçon en attente de chargement et sur les remorques.

9- Déchargement des tronçons au chantier.

8- Section pending loading and on trailers.

9- Unloading sections on site.

TRANSPORT DU PONT

Lors du transport, la position altimétrique relative du colis doit être constante.

Les essieux des chariots automoteurs sont équipés de vérins qui permettent d'absorber les défauts naturels du chemin de roulement (dévers et pentes). La connaissance topographique de ce dernier permet de définir la capacité restante de vérinage après que l'ouvrage a été positionné définitivement en plan.



9

© BAUDIN CHATEAUNEUF



© BAUDIN CHATEAUNEUF 10

À l'issue, le colis est donc abaissé de quelques centimètres et déposé sur des vérins "double effet" positionnés sur les bossages d'appui. Les chariots sont alors retirés.

L'ouvrage est transporté en plan en 45 minutes puis est finement positionné sur appuis en une heure.

FINITIONS

Les bossages sont ferrailés puis coulés en béton.

Les vérins sont relaxés et l'ouvrage est en place.

10- Tablier terminé en attente de mise en place.

10- Completed deck pending installation.

→ De confirmer le fonctionnement de l'ouvrage en termes de portance ;

→ De vérifier que le fonctionnement mécanique de l'ouvrage sous charge est conforme à sa modélisation de calcul ;

→ De constituer un des éléments de l'état de référence de l'ouvrage qui peut s'avérer indispensable à l'établissement du diagnostic, en cas de problèmes ultérieurs.

La position des camions sur le tablier lors des différents cas de charge a été respectée.

L'évolution de la température ambiante n'a pas eu d'influence significative sur le comportement de l'ouvrage.

Les pré-chargements n'ont pas révélé de déformation résiduelle ($\Delta \leq 0,8$ mm) pouvant traduire un éventuel tassement ou un dysfonctionnement des appuis.

Les flèches mesurées lors des chargements statiques représentent de 35 à 70% des valeurs théoriques.

Les déplacements résiduels mesurés lorsque l'ouvrage a été déchargé sont tout à fait acceptables.

Les essais par poids roulant et les essais de freinage n'ont pas mis en évidence de dysfonctionnement de la structure. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ACIER POUR OSSATURE MÉTALLIQUE : 315 000 kg

PRÉPARATION DE SURFACE ET PROTECTION ANTICORROSION PAR PEINTURE : 1 585 m²

PRÉDALLE DU TABLIER : 615 m²

ARMATURES DE LA DALLE : 64 000 kg

FONDACTIONS PROFONDES DIAMÈTRE 1 200 mm : 175 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE :

État DRIEA-IF / DMR Est, Conseil Départemental 94

ASSISTANTS MAÎTRE D'OUVRAGE :

DIOA (AMO Ouvrages d'art), CEREMA (AMO tracé, assainissement, géotechnique, reconnaissances de structures), DI Est (audit de l'estimation), DIET (AMO équipements dynamiques, de sécurité et signalisation),

MAÎTRISE D'ŒUVRE JUSQUE AVANT-PROJET-SOMMAIRE :

Ingerop - Outside - Renaud Meyer - Charles Morris - Antoine Reynaud

MAÎTRISE D'ŒUVRE COMPLÈTE :

Artelia - Cabinet Lavigne Cheron - Signes Paysage

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

Nge Génie Civil SAS - Guintoli SAS - Baudin Châteauneuf SA

CONTRÔLES EXTÉRIEURS TRAVAUX : Fit, Rincent TP, Cerema

ABSTRACT

NOGENT SUR MARNE INTERCHANGE - OVERPASS OVER THE A4

DANIEL DE MATTEIS, DIRIF/SMR/DMR EST - JULIEN RIEDBERGER, ARTELIA - THOMAS LAVIGNE, LAVIGNE CHERON - ROBERT DUBOIS, BAUDIN CHATEAUNEUF - ARNAUD DIDION, NGE

The overpass constructed over the A4 motorway is part of a Nogent interchange renovation project performed under a state contract. This structure was the subject of complex studies in the past few years. Its design takes into account numerous geometric, architectural and structural constraints. Construction of the overpass must also take into account its location on the heavily trafficked A4 motorway near the Nogent Bridge, a major interchange on the Paris region's eastern road network. The structure was manufactured in factory, transported and then installed in one night on the motorway closed to traffic for the circumstance. □

INTERCAMBIADOR DE NOGENT SUR MARNE - PASO SUPERIOR SOBRE LA A4

DANIEL DE MATTEIS, DIRIF/SMR/DMR EST - JULIEN RIEDBERGER, ARTELIA - THOMAS LAVIGNE, LAVIGNE CHERON - ROBERT DUBOIS, BAUDIN CHATEAUNEUF - ARNAUD DIDION, NGE

El paso superior realizado sobre la autopista A4 forma parte de un proyecto de rehabilitación del intercambiador de Nogent, impulsado por la administración pública. Desde hace varios años esta construcción ha sido objeto de complejos estudios. Su diseño tiene en cuenta múltiples factores geométricos, arquitectónicos y estructurales. Asimismo, la obra debe incluir una construcción sobre la autopista A4, muy frecuentada y próxima al puente de Nogent, un nodo importante de la red Este de la región de París. De este modo, la construcción se ha realizado en la fábrica, y seguidamente se ha transportado e instalado durante una noche sobre la autopista, cerrada al tráfico para la ocasión. □

RENFORCEMENT DU VIADUC DE CAREÏ SUD SUR L'AUTOROUTE A8

AUTEURS : LUCIE DARRÉS, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, VINCI AUTOROUTES RÉSEAU ESCOTA - FRÉDÉRIC MENUÉL, DIRECTEUR ADJOINT, EGIS JMI - MICHEL RIPERT, EXPERT RENFORCEMENT OA, VSL FRANCE - LAURENT MONDACA, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, VSL FRANCE - CYRIL COTTEY, INGÉNIEUR OA CONFIRMÉ, COGECI

LES VIADUCS DE CAREÏ FONT PARTIE D'UNE SÉRIE DES NEUF VIADUCS CAISSONS PRÉCONTRAINTS DE LA SECTION LA TURBIE / FRONTIÈRE ITALIENNE DE L'AUTOROUTE A8, AYANT FAIT L'OBJET D'UN PRINCIPE D'EXÉCUTION COMMUN PAR LE GROUPEMENT GTM/BOUSSIRON AU COURS DES ANNÉES 1967-1969. À CE JOUR, TROIS TABLIERS ONT DÉJÀ FAIT L'OBJET DE TRAVAUX DE RENFORCEMENT : CABROLLES SUD, PALA NORD ET SAINTE-AGNÈS SUD. L'ARTICLE DÉCRIT LES OPÉRATIONS DE RENFORCEMENT DU VIADUC DE CAREÏ SUD, QUI MIXENT PRÉCONTRAINTÉ ADDITIONNELLE ET COMPOSITES CARBONE, ET QUI SE DÉROULENT ACTUELLEMENT DANS UN CONTEXTE GÉOMÉTRIQUE TRÈS CONTRAINT ET SOUS CIRCULATION.



PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le franchissement de la rivière et de la vallée du Careï (figure 1) par l'autoroute A8 à Menton est constitué de deux tabliers indépendants (un tablier pour chaque sens de circulation), séparés par un vide variant de 0,12 m à 15 m pour raccordement aux tunnels (figure 2). Au droit du viaduc, le profil en long de l'autoroute comporte une pente d'environ 4 % descendante de la France vers l'Italie et un tracé courbe.

Le viaduc est composé de 2 tabliers successifs divisés en 11 travées (figure 3) :

→ Tablier Ouest (côté Nice) : 39,87 m - 49,84 m - 49,83 m - 49,80 m - 49,75 m.

→ Tablier Est (côté Italie) : 49,63 m - 49,42 m - 49,51 m - 49,56 m - 39,67 m - 39,71 m.

Le tablier Ouest est encastré sur la culée C0 et le tablier Est encastré sur la culée C11. Les deux tabliers sont attelés par 6 paires de câbles de pré-

1- Viaducs de Careï.

1- Careï viaducts.

contrainte équipés d'amortisseurs. L'ouvrage est pourvu d'un joint de chaussée à peigne sur le sommet de la pile P5.

TABLIERS

Les deux tabliers sont constitués de poutres mono-caisson en béton précon-

traint de hauteur constante et d'inertie variable par variation de l'épaisseur de l'âme.

Le caisson présente un élanement courant et confortable au 1/16°.

Les dimensions de la poutre-caisson sont les suivantes :

→ Hourdis supérieur de largeur 5,5 m + encorbellements de 2,19 m et 2,36 m, et d'épaisseur variable : 22 cm en traverse, 20 cm en encorbellement et 40 cm au niveau des goussets ;

VUE EN PLAN GÉNÉRALE

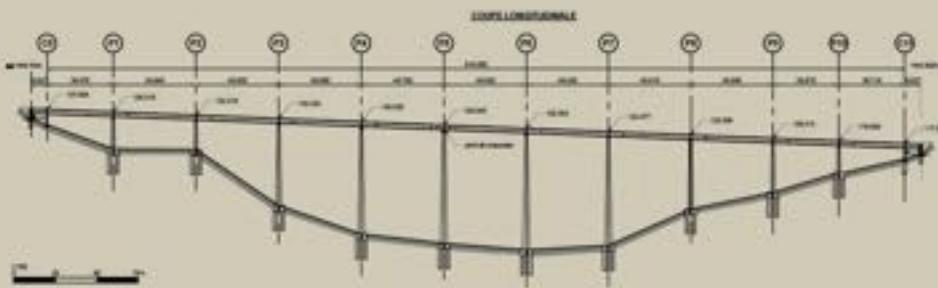


- 2- Vue en plan générale.
- 3- Coupe longitudinale.
- 4- Vue en perspective du modèle sur l'about C0 : barres modélisant le caisson et câbles de précontrainte.

- 2- General plan view.
- 3- Longitudinal section.
- 4- Perspective view of the model on the C0 end piece: bars modelling the box section and prestressing cables.

© ESCOTA
2

COUPE LONGITUDINALE

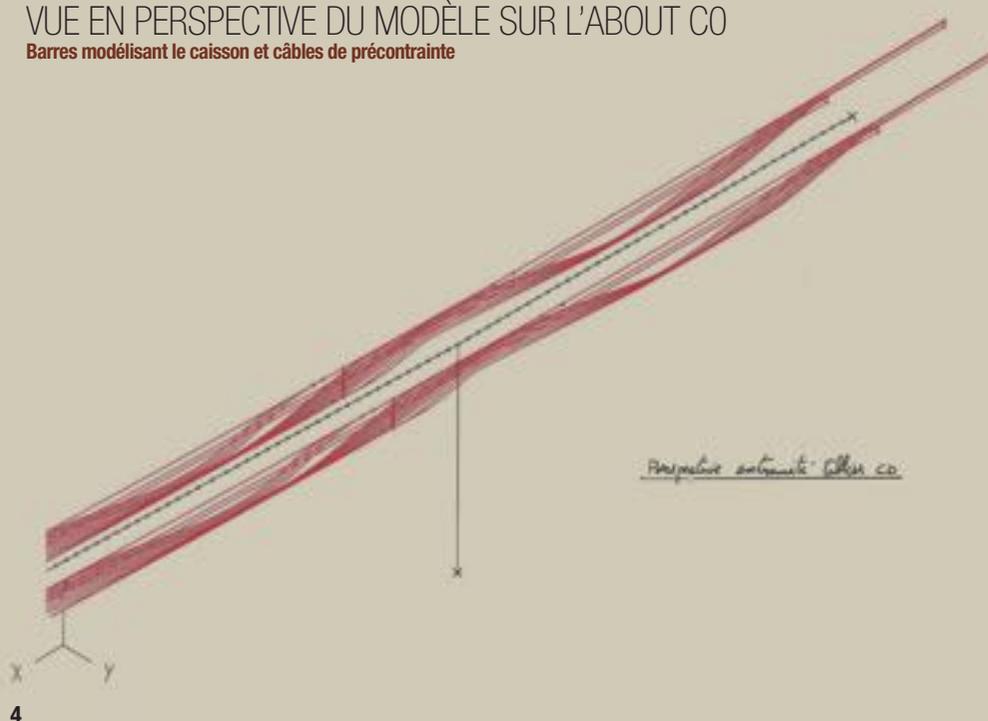


- Âmes de hauteur 2,8 m, et d'épaisseur variable (de 30 cm en section courante à 75 cm sur les piles et culées) ;
- Hourdis inférieur de largeur 5,5 m et d'épaisseur 16 cm, avec une surépaisseur sur appuis pour compenser le dévers et avoir une prise d'appui horizontale au niveau des piles.

© ESCOTA
3

VUE EN PERSPECTIVE DU MODÈLE SUR L'ABOUT C0

Barres modélisant le caisson et câbles de précontrainte



APPUIS

Les piles ont des semelles de 3 m d'épaisseur, reposant sur quatre puits (\varnothing 2 m), une section en H, avec une largeur transversale de 5,5 m hors tout et un voile central de 20 cm. Les âmes latérales ont 50 cm d'épaisseur et une largeur en tête de 1,8 m pour P5 et 1,4 m pour les autres piles, la largeur au pied étant fonction du fruit de 2% et de la hauteur de la pile (entre 14,7 m pour P10 et 68,9 m pour P6). Les piles sont coiffées d'un chevêtre de 1,20 m de hauteur supportant les appareils d'appui en béton de type "joint Freyssinet" (sauf sur P5 où le tablier Est est sur appareils d'appui néoprène). Les culées sont constituées d'un mur avant, servant d'appui au tablier, et d'un mur arrière jouant le rôle de contrepoids et de hauteur variable en fonction du terrain. Les deux murs sont reliés par des voiles pour la transmission des efforts horizontaux.

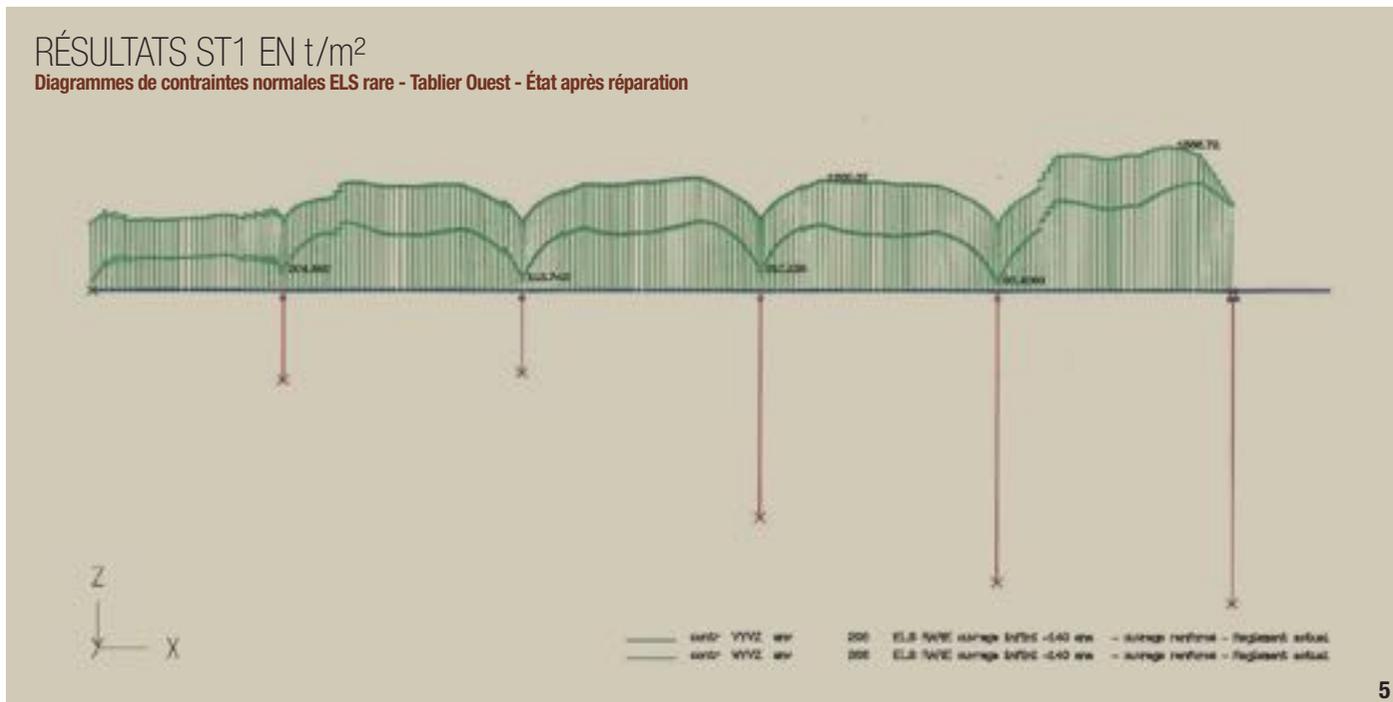
PRÉCONTRAINTÉ D'ORIGINE

Coulé par travée entière à l'aide d'un cintre auto-lanceur, le caisson est précontraint sur toute la longueur de l'ouvrage avec raboutage de continuité des câbles d'une travée à l'autre. ▷

© COGECI
4

RÉSULTATS ST1 EN t/m²

Diagrammes de contraintes normales ELS rare - Tablier Ouest - État après réparation



5

Il y a 11 tronçons, d'où un joint de dilatation et 9 joints de construction où la précontrainte est couplée à 100%. Chaque voussoir a été coulé en 2 phases : le hourdis inférieur puis le hourdis supérieur et les âmes, avec une reprise de bétonnage horizontale. Les procédés de précontrainte longitudinale de cet ouvrage ont été choisis parmi les procédés disponibles à l'époque : le SEEE et le BBR-B. Ces deux procédés ont été utilisés : dans le tablier Ouest, c'est le procédé SEEE type F7-500 par câbles 7 T13 qui a été pris, avec 27 câbles par âme ; dans le tablier Est, c'est le procédé de précontrainte BBR-B par des câbles composés de 30 phi 7 (fils ronds et lisses Ø 7 mm de classe III) qui a été retenu, avec 14 câbles par âme.

La précontrainte est concentrée dans les âmes et dans les goussets supérieurs et inférieurs. Au niveau des extrémités, les câbles de précontrainte des tabliers sont tirés et ancrés dans les murs arrière des culées et au niveau de l'appui P5.

INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES INSPECTIONS

Les inspections périodiques effectuées conformément à ITSEOA (Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art) ont conduit la direction de la maîtrise d'ouvrage d'Escota, exploitant du réseau autoroutier, à lancer des travaux de renforcement du viaduc de Careï Sud.

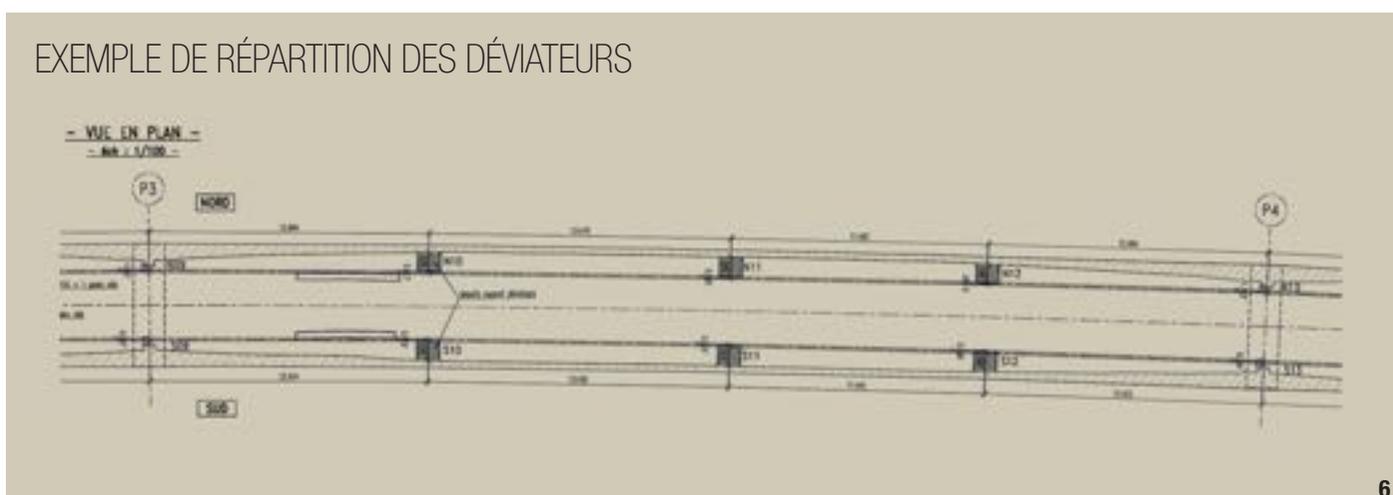
5- Résultats ST1 en t/m² - Diagrammes de contraintes normales ELS rare - Tablier Ouest - État après réparation. 6- Exemple de répartition des déviateurs.

5- ST1 results in t/m² - Normal stress diagrams of rare SLS - Western deck - State after repairs. 6- Example of deviator distribution.

INVESTIGATIONS ET ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES

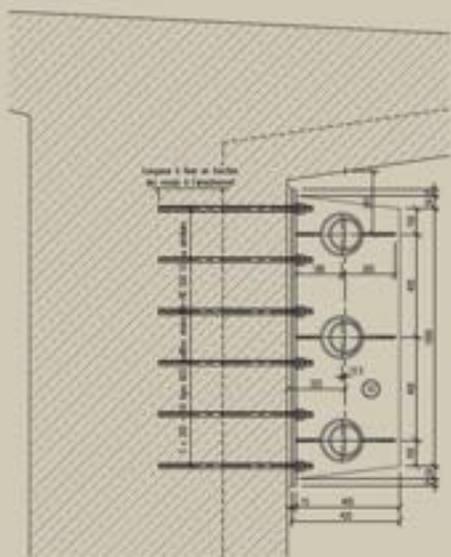
Afin de cerner les travaux de renforcement, un diagnostic précis de l'état de l'ouvrage est entrepris par Escota. Ainsi, des investigations physiques ont été réalisées sur le viaduc de Careï pour vérifier la présence des différentes armatures de précontrainte, vérifier l'état d'injection des gaines et la qualité du coulis, vérifier l'état de conservation des torons (corrosion, ruptures...), caractériser la tension dans les câbles de précontrainte (essais au tournevis et essais à l'arbalète) et caractériser l'état du béton par des essais sur le béton issu de carotte de prélèvement. Les épreuves de chargement réalisées ont permis de mieux appréhender le fonctionnement dans l'état actuel de

EXEMPLE DE RÉPARTITION DES DÉVIATEURS



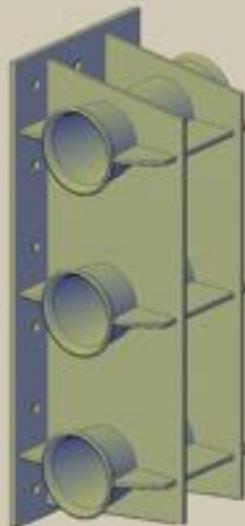
6

COUPE TRANSVERSALE du caisson sur déviateur sur pile



7a

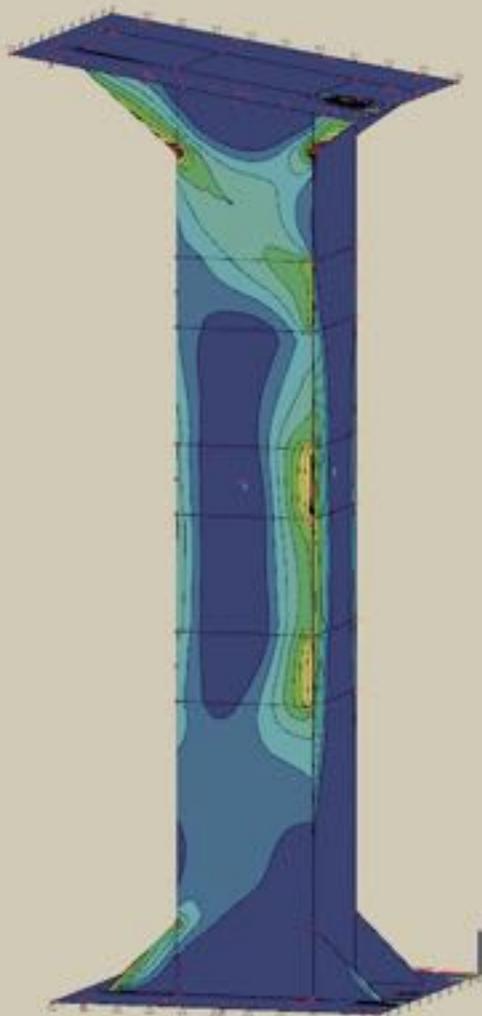
VUE EN PERSPECTIVE du déviateur sur pile



7b

RÉSULTATS SCIA

Cartographies de contraintes normales / Profilé et platines



8

7a- Coupe transversale du caisson sur déviateur sur pile.

7b- Vue en perspective du déviateur sur pile.

8- Résultats SCIA / Cartographies de contraintes normales / Profilé et platines.

7a- Cross section of box section on deviator on pier.

7b- Perspective view of the deviator on pier.

8- SCIA results / Normal stress maps / Profiles and plates.

l'ouvrage et ont mis en évidence un comportement globalement réversible de l'ouvrage mais l'absence de fonctionnement monolithique des sections pathologiques, avec défaut de transmission des efforts de traction et de compression par le béton dans le hourdis inférieur.

Un premier recalcul complet du tablier a été effectué selon les règlements en vigueur, et en faisant l'hypothèse d'un tablier continu.

Un second calcul a été mené, en intégrant les tensions résiduelles mesurées sur la précontrainte et les poids constatés de superstructures après auscultations radar et carottages.

Ces calculs ont permis de quantifier les décompressions des zones des joints en combinaisons fréquentes (correspondant sensiblement aux situations courantes d'exploitation) et de dimensionner la précontrainte additionnelle nécessaire.

LE VIADUC EST UN GÎTE POUR PLUSIEURS ESPÈCES D'OISEAUX ET DE CHIROP-TÈRES

Une étude environnementale a été effectuée par un bureau d'études spécialisé en phase projet. Elle a mis en exergue la présence d'espèces patrimoniales, d'oiseaux notamment, utilisant comme gîte et lieu de reproduction le viaduc, ainsi que de chiroptères. Ainsi des mesures spécifiques ont été mises en œuvre.

Des interventions préventives ont été réalisées par des écologues pour éviter la colonisation des zones à proximité directe des travaux.

Le marché de travaux contient des prescriptions visant à réduire les nuisances des travaux en la matière (dispositif spécifique, modalités d'accès aux zones de travaux, ...).

Un suivi environnemental du chantier est assuré pour vérifier sa bonne mise en œuvre.

LES TRAVAUX À MENER

Le marché de travaux comprend :

- L'injection des neuf joints de construction afin de remettre à zéro l'état de contraintes au droit de ces joints ;
- Les travaux préparatoires, études d'exécution et de méthodes, épreuves, visites et investigations nécessaires à l'exécution des travaux ci-après ;
- Le renforcement par un câblage additionnel de précontrainte extérieure au béton, mis en place à l'intérieur du caisson ;
- La mise en place des dispositifs et accessoires permettant la pose ultérieure d'une deuxième phase de renforcement par précontrainte additionnelle (pose hors marché et qui sera différée) ;
- L'injection des neuf joints de construction du tablier ;
- La réparation des épaufrures et des aciers apparents (ragréages) du tablier ;



9

© BYTPRF - VSL FRANCE

- Le vérinage et le changement des appareils d'appui de la pile P5 ;
- Les travaux de renforcements par matériaux composites sur les caissons et en tête de piles.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION ET DE MÉTHODES

ÉTUDE DE FLEXION LONGITUDINALE

L'étude de flexion longitudinale a été réalisée à l'aide du logiciel ST1 du Cerema au moyen d'une modélisation filaire 3D de l'ouvrage. L'ensemble de la précontrainte, câblage existant et câblage additionnel, a été modélisé. Les effets différés du béton (retrait, fluage) et de la précontrainte (pertes par relaxation) ainsi que le phasage

de construction d'époque ont été intégrés au moyen d'un "calcul de fluage scientifique". La courbure de l'ouvrage ainsi que les piles ont été modélisées (figure 4).

Le dimensionnement de la précontrainte longitudinale du tablier a été conduit selon les critères du BPEL 1991 révisé 99, avec les modalités suivantes :

- Vérification en classe I pour les zones des joints de construction et des fissures décomprimées sous charges d'exploitation en travée ;
- Vérification en classe II ailleurs.

L'allure des résultats de l'étude de flexion longitudinale est fournie sur la figure 5. Elle a confirmé la précontrainte additionnelle extérieure suivante prévue à l'APROA : dans chaque tablier

9- Déviateurs métalliques.

10- Ferrailage d'un massif d'ancrage.

11- Coffrage d'un massif d'ancrage.

12- Massif d'ancrage achevé.

9- Steel deviators.

10- Reinforcement of an anchoring foundation.

11- Formwork for an anchoring foundation.

12- Completed anchoring foundation.

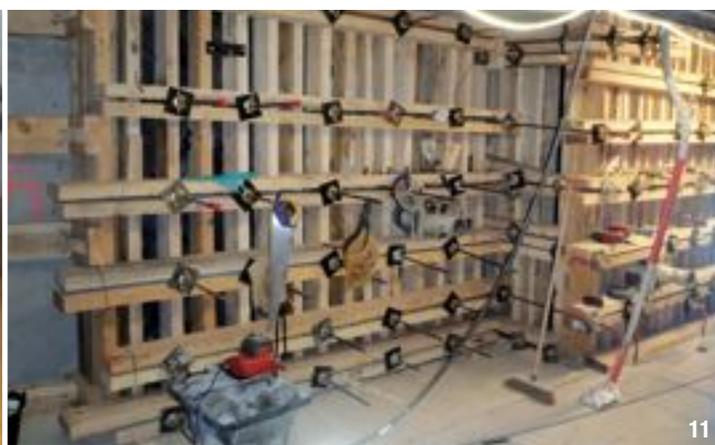
4 câbles 22T15S filants de la culée à la pile P5, de tracé rectiligne.

ÉTUDE DES DÉVIATEURS MÉTALLIQUES

Bien que le tracé de précontrainte soit rectiligne, du fait de la géométrie complexe de l'ouvrage (courbures en plan et en élévation), des déviateurs métalliques sont nécessaires sur toute la longueur de l'ouvrage pour maintenir les câbles dans leur position théorique. Les câbles ainsi déviés exercent une force au droit de chaque déviateur. La composante principale de cette force de déviation est horizontale et est orientée transversalement vers le centre de courbure de l'ouvrage. On notera que les déviateurs situés sur l'âme Nord du



10



11

© BYTPRF - VSL FRANCE



12

© BYTPRF - VSL FRANCE



13

13- Renfort par tissus carbone dans le caisson.
14a- Plateforme de travail sur P5.
14b- Trémie pour approvisionnements.

13- Strengthening with carbon fabrics in the box section.
14a- Work platform on P5.
14b- Shaft for supplies.

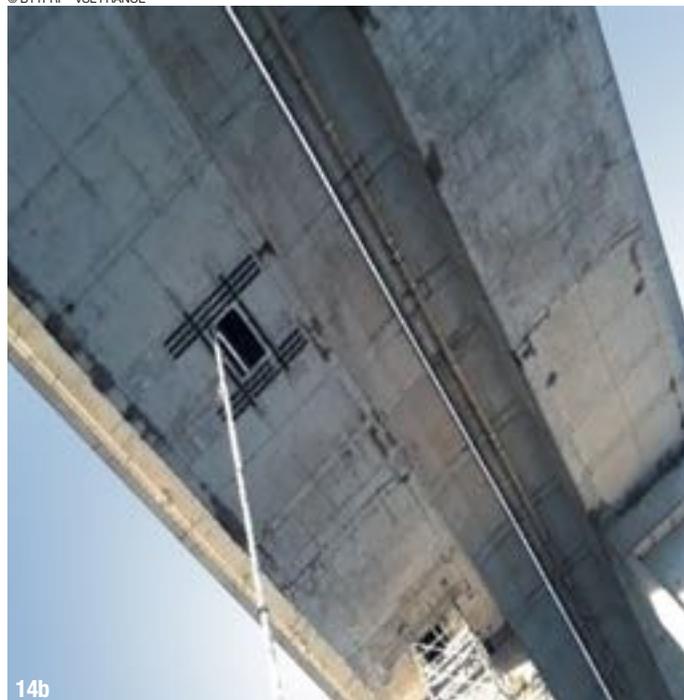
caisson (extérieure à la courbure) équilibrent un effort de traction alors que ceux situés sur l'âme Sud (intérieure à la courbure) équilibrent un effort de compression. Cette différence de fonctionnement a conduit à proposer deux familles de déviateurs, une famille pour chaque âme, présentant des spécificités au niveau de leur raidissage et de leur ancrage.

De manière à limiter l'effort de déviation sur chaque déviateur et à optimiser le dimensionnement de leur ancrage, un nombre de 3 déviateurs par travée et 1 déviateur sur pile a été retenu (voir exemple de répartition sur la travée 4 du tablier Ouest sur la figure 6). Une étude fine de réglage transversal de chaque déviateur a été menée afin

d'uniformiser les déviations angulaires et d'optimiser le dimensionnement. Cette étude de réglage a été réalisée de manière analytique au moyen d'un outil interne développé spécifiquement par Cogeci pour l'opération. Les déviateurs sont composés d'un châssis métallique de déviation constitué de 3 tubes cintrés aux extrémités et soudés sur un système de tôles de raidissage verticales et horizontales.

Pour les déviateurs sur pile, les châssis sont ancrés directement dans les entretoises béton au moyen de tiges filetées scellées à la résine (figures 7a et 7b). Pour les déviateurs en travée, les châssis sont bridés au moyen de tiges précontraintes sur des profilés de section tubulaire carrée, ancrés au niveau de leurs platines d'extrémité dans les hourdis supérieur et inférieur du caisson (figure 9).

© BYTPRF - VSL FRANCE



14b



14a

L'étude des déviateurs a été menée au moyen de modèles Éléments Finis réalisés sur le logiciel SCIA (figure 8). Un possible défaut d'implantation (ou d'orientation) des déviateurs a été considéré, en supposant que l'effort provenant des câbles pouvait s'appliquer de manière excentrée dans les tubes cintrés, générant ainsi un couple de torsion parasite dans la pièce. Pour la justification des platines d'ancrage du profilé, le décollement des platines a été considéré au moyen d'appuis non-linéaires (ressorts surfaciques ne travaillant qu'en compression). Enfin, le voilement des parois du tube du profilé a également fait l'objet d'une justification spécifique basée sur la méthode des coefficients d'amplification critiques.

LES MÉTHODES ET LES TRAVAUX

LA PRÉCONTRAINTÉ ADDITIONNELLE

Le principe retenu est celui d'une précontrainte remplaçable par câbles contenus à l'intérieur de gaines PEHD injectées à la cire pétrolière :

- 2 paires de 2 câbles 22T15S de 240 m de long pour le tablier Ouest ;
- 2 paires de 2 câbles 22T15S de 280 m de long pour le tablier Est ;
- 2 réservations sont prévues dans les massifs et déviateurs pour un éventuel renforcement complémentaire ultérieur.

Le système de précontrainte utilisé est le système Vsl type GC 6-22. Les câbles sont déviés sur piles et en travées par l'intermédiaire de déviateurs métalliques (figures 7 et 9). Les gaines en PEHD ont été posées à l'avancement et raccordées entre elles par manchons électrosoudables. Des dispositifs de maintien provisoire des gaines PEHD de type "chaînettes" ont été mis en œuvre pour permettre le soutien des gaines et les opérations d'enfilage des torons. Les câbles sont ancrés aux extrémités du tablier (C0 et C11) et sur la pile P5 dans des massifs d'ancrage cloués au caisson grâce à une précontrainte transversale horizontale. Au total, 288 barres de diamètre 50 mm et 32 mm ont été nécessaires pour assurer la bonne transmission des efforts. La préparation de surface de contact entre l'ouvrage existant et les massifs est réalisée par scarification du béton obtenue par hydrodémolition manuelle à la lance (2500 bars).

Cette technique présente l'avantage de ne pas être traumatisante pour la structure existante.

Les massifs d'ancrages, fortement ferrillés, ont été réalisés en béton auto-plaçant coulé à la pompe à béton. L'ensemble du ferrillage a été monté sur place avec des contraintes géométriques complexes liées à la densité du ferrillage, la position des gaines de précontrainte additionnelle et de clouage et la position des aciers passifs scellés (figure 10). Les coffrages des massifs ont également été spécialement conçus pour permettre le passage des tiges de maintien et pour reprendre la poussée du béton auto-plaçant. Ils sont montés en place et constitués de bastinges et d'une peau en contreplaqué (figures 11 et 12).

LE RENFORCEMENT PAR FIBRES DE CARBONE

Pour assurer le transfert des efforts de compression apportés par la précontrainte de renfort depuis les âmes vers les hourdis supérieur et inférieur, des bandes de fibres de carbone sont mises en œuvre. Ce renforcement est appliqué suivant le procédé V2C+ de Vsl France. Le système est constitué de tissu C-Sheet 240 en plusieurs bandes de 3 couches (figure 13). La pose est réalisée par les CARC (Chargés d'Application des Renforcements Composites) de l'entreprise.

REMPACEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Le remplacement des appareils d'appui de la pile P5 a nécessité un vérinage se limitant à un simple transfert de charge avec maintien de la circulation autoroutière.

Un renforcement préalable du chevêtre, par application de matériaux composites en bordure du chevêtre, s'est avéré nécessaire pour diffuser correctement les efforts. Le vérinage a été effectué sous la responsabilité du COV

(Chargé des Opérations de Vérinage).

INJECTION DES FISSURES

L'ensemble des fissures transversales au niveau des joints de construction ont été injectées à basse pression à l'aide

d'un pot à pression et d'une résine époxydique permettant de redonner du monolithisme à la structure.

LES ACCÈS

La configuration de l'ouvrage a nécessité la mise en place deux accès distincts depuis l'intrados de l'ouvrage : un accès dédié aux compagnons par l'utilisation d'une sapine d'accès et un accès pour l'acheminement des matériels et matériaux à l'intérieur du caisson (figure 14a).

Ces deux accès ont été réalisés en créant par sciage des trémies en sous-face du caisson. Ces trappes ont nécessité un renforcement périphérique par matériaux composites avant ouverture.

Au total, plus de 100 t de colis ont été transférés depuis le sol pour réaliser la précontrainte, les massifs et les déviateurs dans le tablier. Les câbles de précontrainte ont également été enfilés depuis le sol en passant par les trémies.

Un palan électrique suspendu au hourdis supérieur permet l'approvisionnement du chantier en matériel et matériaux à l'intérieur du caisson.

Les déchets sont évacués du caisson par le même palan.

Le remplacement des appareils d'appui de la pile P5 associé au renforcement du chevêtre par fibre de carbone a nécessité la réalisation d'une plateforme de travail hissée à 70 m de haut (figure 14b).

Cette méthodologie a fortement limité l'impact des travaux pour les usagers de la plateforme autoroutière. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

PRÉCONTRAINTE PAR CÂBLES POUR ARMATURES 22T15S : 55 000 kg

PROTECTION DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE À LA CIRE PÉTROLIÈRE : 17 m³

PRÉCONTRAINTE PAR BARRES : 172 barres Ø 50 mm / 116 barres Ø 32 mm

SCELLEMENTS D'ARMATURES PASSIVES : 6 100 u

CHARPENTE MÉTALLIQUE POUR DÉVIATEURS DE LA PRÉCONTRAINTE : 45 000 kg

FIBRE DE CARBONE : 360 m²

INJECTION DE FISSURE : 380 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes - Réseau Escota

MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION & VISA : Egis Jmi

MAÎTRE D'ŒUVRE SUIVI TRAVAUX : Artelia

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Cerema

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bouygues Travaux Publics Régions France / Vsl France

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS & FOURNISSEURS

BUREAU D'ÉTUDES : Cogeci

FOURNISSEUR BAP : Emt

HYDRODÉCAPAGE : Thp

CAROTTAGES - SCIAGE : Fora Sdd

ARMATURES : Welbond

CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : Metal Job

ABSTRACT

STRENGTHENING THE CAREÏ SOUTH VIADUCT OVER THE A8 MOTORWAY

LUCIE DARRÉS, VINCI AUTOROUTES RÉSEAU ESCOTA - FRÉDÉRIC MENUÉL, EGIS JMI - MICHEL RIPERT, VSL FRANCE - LAURENT MONDACA, VSL FRANCE - CYRIL COTTEY, COGECI

The Careï South viaduct is a prestressed concrete box section built in 1969. Escota and its project manager Egis have started the following strengthening operations:

- Additional prestressing with anchoring foundations at the ends and stress deviators on the span and on piers, to restore acceptable stresses in the box section;
- Carbon reinforcements inside the box section, to reinforce the webs against shear forces;
- Segment crack and joint grouting, to restore the structure's monolithic nature;
- Replacement of P5 pier support systems.

The strengthening project is therefore special in that it combines various types of strengthening used in a confined environment, with limited access. The teams of VSL France, a prestressing specialist company with ASQPE certification for implementing prestressing by cables and bars, performed all the installation works. □

REFUERZO DEL VIADUCTO DE CAREÏ SUD EN LA AUTOPISTA A8

LUCIE DARRÉS, VINCI AUTOROUTES RÉSEAU ESCOTA - FRÉDÉRIC MENUÉL, EGIS JMI - MICHEL RIPERT, VSL FRANCE - LAURENT MONDACA, VSL FRANCE - CYRIL COTTEY, COGECI

El viaducto de Careï Sud es un cajón de hormigón pretensado construido en 1969. Escota y su director de obra Egis han impulsado las operaciones de refuerzo siguientes:

- Pretensado adicional con bloques de anclaje en los extremos y desviadores en la luz y en los pilotes para restablecer las tensiones admisibles en el cajón;
- Refuerzos de carbono en el interior del cajón para consolidar los núcleos contra el esfuerzo cortante;
- Inyección de las fisuras y las juntas de dodela para recuperar el monolitismo de la estructura;
- Sustitución de los equipos de apoyo del pilote P5.

La obra de refuerzo presenta así la particularidad de combinar distintos tipos de refuerzos, aplicados en un entorno confinado con accesos limitados. Los equipos de VSL France, empresa especializada en pretensado y certificada ASQPE para la instalación del pretensado mediante cables o barras, se han encargado del conjunto de la ejecución. □



**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ

PRÉVOYANCE

RETRAITE

ÉPARGNE

ASSURANCES

ACTION SOCIALE

VACANCES

 **PRO BTP**
GROUPE

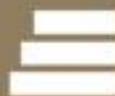
Engineering a Better Solution

Depuis 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr



Déviations de Montagnac
sur la RD613 (34)

Ouvrages de soutènements en remblai renforcé
parement minéral en retour d'un ouvrage d'art selon
une configuration en terrasses et en arc de cercles.

Terramesh® minéral : 1300 m²

