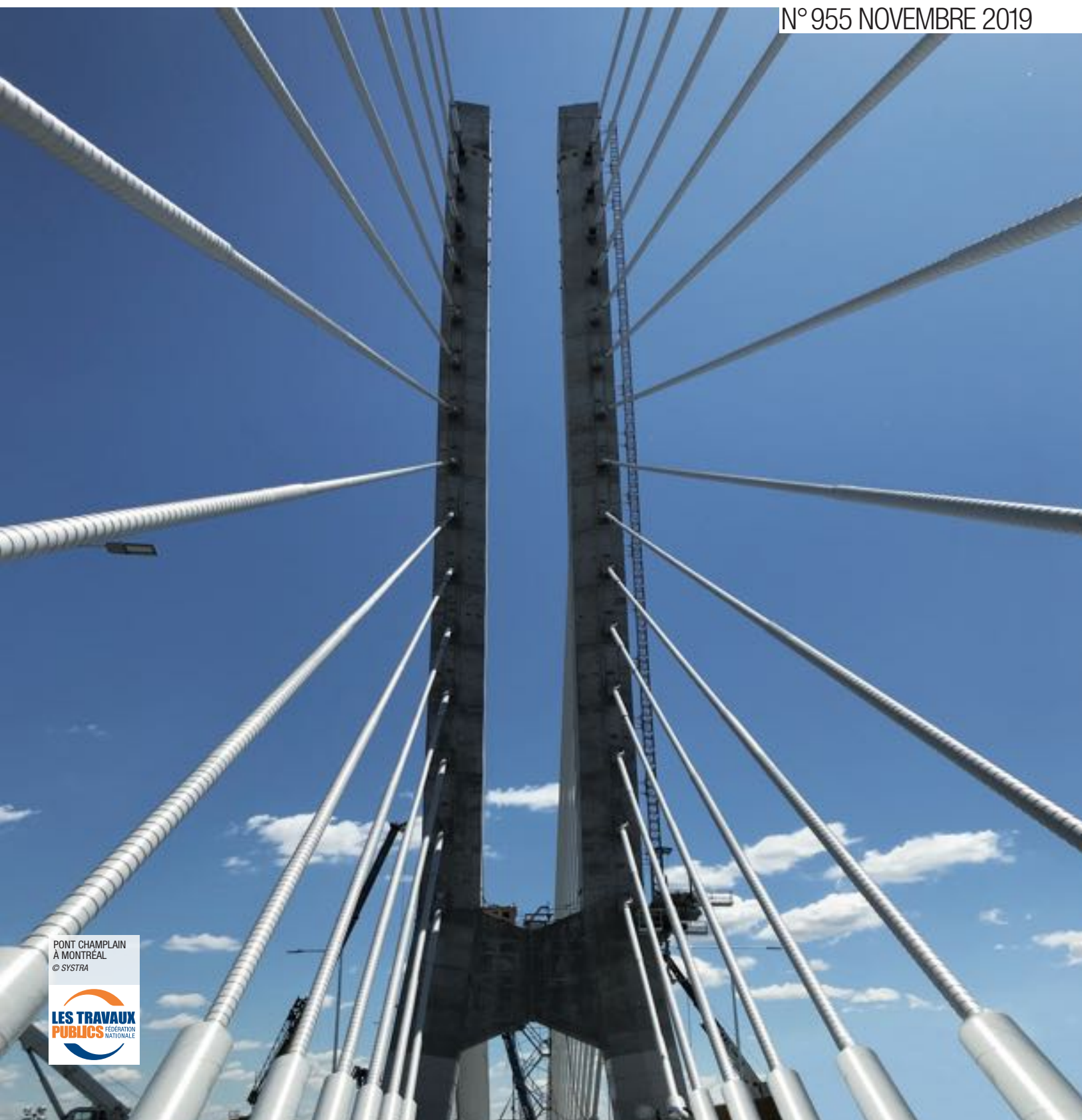


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES D'ART. REQUALIFICATION DE L'ECHANGEUR A14-A86 A NANTERRE. A75 - OUVRAGE D'ART DE LA RD212 A AUBIERE. LE PONT DE LA RIVIERE DES GALETS A LA REUNION. PASSERELLE DU POLE GARE DE CHARTRES. VIADUC DU CHARMAIX EN SAVOIE. LES VIADUCS DE LA SCYOTTE ET DE LA SAONE. IMMEUBLE EN SURPLOMB D'UN TUNNEL RER A CERGY-PONTOISE. LE PONT DE LA PALOMBE A BORDEAUX. ECHANGEUR DU QUAI D'IVRY A PARIS. UNE PASSERELLE EN ALUMINIUM SUR LE RHIN

N° 955 NOVEMBRE 2019



PONT CHAMPLAIN
À MONTRÉAL
© SYSTRA

LES TRAVAUX
PUBLICS
FÉDÉRATION
NATIONALE

Drones
BIM
Cyberattaques



Bienvenue dans un monde qui se construit autrement.

Votre environnement de travail et votre métier évoluent, vos risques aussi. SMABTP s'engage chaque jour à vos côtés, en créant de nouvelles solutions d'assurance, pour mieux protéger votre activité.

Notre métier : assurer le vôtre.



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**

www.groupe-sma.fr

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 PARIS 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), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Philippe Gotteland (Fnfp), Florent Imberty (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Léon Grosse), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quééré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Solène Sapin (Bouygues Construction) 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.com

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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).

Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

LES OUVRAGES D'ART AU FÉMININ



© DR

Pourquoi aborder la présence des femmes dans le métier des ouvrages d'art ?

Ma chance fut d'avoir fait ma carrière dans les ouvrages d'art sans jamais ressentir une discrimination ou un sexisme dans mon travail quotidien.

Les capacités ou comportements humains étant identiques entre hommes et femmes, ma réaction systématique fut le refus de la comparaison ou pire de la discrimination positive.

Mais, pourquoi ce domaine de la construction est-il réservé à une grande majorité de 90 % au genre masculin ? Filles et garçons suivent les mêmes cursus scolaires avec des résultats identiques. Malheureusement, les filles n'osent pas s'engager dans cette filière, constat déjà présent dans les écoles d'ingénieurs. Depuis 30 ans, le pourcentage de 10 % ou moins de présence féminine dans les grandes écoles a peu évolué pour atteindre un petit 15-20 % aujourd'hui. Ce bilan qui n'est malheureusement pas réservé au domaine de la construction couvre de nombreux domaines de l'ingénierie. S'agit-il de pression sociale, d'auto-censure ?

Par les bilans hommes-femmes de présence et embauches effectués régulièrement, les entreprises se félicitent de l'augmentation de femmes dans le métier. Malgré une présence féminine en augmentation en bureau d'études et sur chantiers, regardons

finement et constatons que les postes très techniques et de responsabilités restent majoritairement masculins.

À nous, femmes du métier, de faire savoir que le monde des ouvrages d'art est passionnant. Depuis des siècles, l'art de construire enthousiasme les hommes et les femmes. La France a démontré au monde entier son savoir-faire et ses compétences dans les grands ouvrages d'art. Il nous faut faire perdurer ces acquis et convaincre les plus jeunes, hommes et femmes, de poursuivre le chemin tracé.

Les relations et dialogues architecte - ingénieur, indispensables aujourd'hui dans la conception des ouvrages d'art, permettent des réalisations abouties et uniques.

Chaque objet est à la fois une création et une aventure humaine avec un site géographique, des techniques de construction spécifiques et des rencontres humaines rares. La créativité des architectes pousse les ingénieurs à sortir de leurs zones de confort, à faire preuve d'inventivité et de remises en question. De nouveaux outils et logiciels apparus pour assister les architectes - ingénieurs - projeteurs dans les calculs et le dessin, ne remplacent pas les réunions de travail animées et sujettes à discussions où chacun apporte sa pierre à l'édifice du projet.

Quelle chance de pouvoir circuler sur un ouvrage en se remémorant l'aventure vécue : la genèse et les tâtonnements de la conception, les vives discussions avec les architectes ou le client, les difficultés et prouesses techniques en travaux, mais surtout les rencontres humaines.

Femmes ingénieurs, osons afficher et valoriser nos capacités et nos talents.

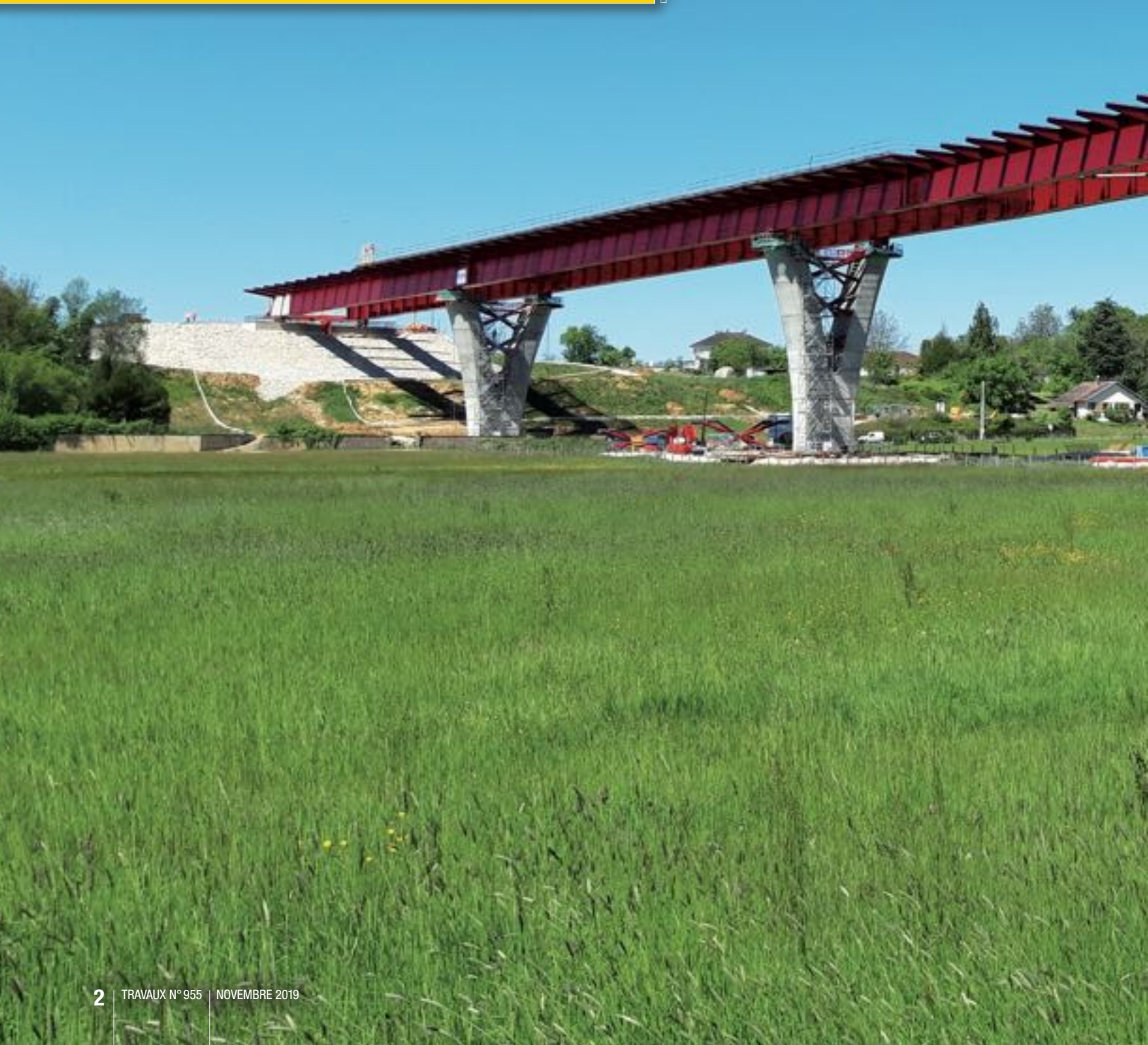
Une collègue a brillamment synthétisé nos qualités spécifiques en faisant une analogie avec une équipe féminine de football : solidarité, rigueur, moins de cinéma. Profitons de cette revue pour attirer de nouvelles vocations et à nous femmes du métier, de convaincre les jeunes filles à venir partager cette passionnante profession.

MARIE-VÉRONIQUE PÉRONDIRECTEUR ADJOINT OUVRAGES D'ART
INGEROP

OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

DEVIATION DE LA RN19 A PORT-SUR-SAONE - OUVRAGE DE LA SAONE EN COURS DE LANGAGE © EIFFAGE GC





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ

16 ENTRETIEN AVEC
CINQ INGÉNIEURES

L'INGÉNIERIE UN MÉTIER PASSIONNANT POUR NOUS LES FEMMES

22 SYNTEC-INGÉNIERIE : INFUSER L'INNOVATION
ET CONCRETISER LES IDÉES NOUVELLES

30

**REQUALIFICATION
DE L'ÉCHANGEUR A14-A86**
à Nanterre

36

**A75 - OUVRAGE D'ART
DE LA RD212**
à Aubière

44

**LE PONT DE LA RIVIÈRE
DES GALETS**
sur l'île de La Réunion

52

**LA CONSTRUCTION
DE LA PASSERELLE
DU PÔLE GARE DE
CHARTRES**

60

**RECONSTRUCTION
DU VIADUC DU CHARMAIX**
en Savoie

70

**DÉVIATION DE LA RN19
À PORT-SUR-SAÔNE**
Viaducs de la Scyotte
et de la Saône

77

**UN IMMEUBLE EN
SURPLOMB D'UN TUNNEL
RER EN EXPLOITATION**
à Cergy-Pontoise

84

**ZAC BORDEAUX-
SAINT-JEAN-BELCIER**
Pont de la Palombe

92

**RESTRUCTURATION
DE L'ÉCHANGEUR
DU QUAI D'IVRY**
sur le boulevard Périphérique
à Paris

98

**UNE PASSERELLE EN
ALUMINIUM FRANCHISSANT
LE RHIN**
entre Gambsheim et Rheinau



LA RIVIÈRE DES GALETS, EN PÉRIODE CYCLONIQUE, DÉBITE PLUS QUE LA SEINE À PARIS

DEMATHIEU BARD construit à La Réunion, sous maîtrise d'œuvre Artélia, sur des fondations Soletanche Bachy, le nouveau franchissement de la Rivière des Galets, exutoire du cirque de Mafate, fleuve impétueux en période de crue. Ce pont, sur la RN1, route la plus fréquentée de La Réunion, verra passer plus de 70 000 véhicules par jour. Il comporte deux tabliers de type bipoutre mixte (acier et béton) de 430 m de long. La charpente métallique est signée Matière. Le marché comporte 500 m d'accès. (Voir article page 44).



UN PONT ANGLAIS PRIMÉ PAR L'IABSE



© MERSEY GATEWAY CROSSINGS BOARD

Le Mersey Gateway Bridge (Angleterre), pont haubané à trois pylônes sur 1 km de long.

L'association IABSE a décerné son prix Ostra au Mersey Gateway Bridge, pont à haubans répartis sur 1 km. Il avait retenu deux autres ouvrages : un pont élargi en Espagne et un résistant aux séismes, au Japon.

Le Mersey Gateway Bridge (Angleterre) a remporté le prix de l'ouvrage d'art remarquable, décerné par l'International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) en juin.

L'Oustanding Structure Award (Ostra) 2019 récompense le 1^{er} pont en béton haubané à trois pylônes sur 1 km du Royaume-Uni. Le pylône central mesure 80 m de haut, les autres, 110 et 125 m. L'ouvrage traverse la Mersey sur 2,3 km entre Runcorn et Widnes, à l'est de Liverpool. Il se situe à 1,5 km en amont du Sylver Jubilee Bridge, pont en arc de 1961 conçu pour 8000 véhicules/jour et qui en supportait dix fois plus. Depuis l'ouverture du Mersey Gateway en octobre 2017, il est en réparation tout en restant praticable par les piétons et les cyclistes. Auparavant, la traversée se faisait par pont transbordeur (source : Wikipedia).

→ **6 millions de passages au péage**
Le pont à haubans comporte deux fois trois voies. On y accède par un péage tout comme ce sera le cas pour l'ancien pont, une fois rénové.

L'opération, lancée par le Halton Borough Council, est entre les mains d'un consortium chargé de la conception, la construction, le financement et l'entretien pendant

trente ans. Elle revient à 1,86 milliard de livres (2,06 milliards d'euros) dont 600 millions pour le terrain et la construction, auxquels s'ajoutent le coût financier, le fonctionnement et la maintenance sur toute la période. En 2018, le péage a enregistré 6 millions de passages. Conception structure : Cowi & Fhecor et

Aecom & Eptisa. Architecte : Dissing et Weitling.

→ **Élargi et renforcé**

Deux autres ouvrages étaient en compétition finale pour l'Ostra. Le Rande Strait en Galice (Espagne), franchissement de 400 m sur l'estuaire du Rande à Vigo, a reçu deux tabliers extérieurs sans interrompre le trafic (55000 véhicules/jour). L'élargissement renforce la résistance de la structure et améliore son comportement dynamique.

L'ouvrage à haubans date de 1981 et se situe sur l'autoroute Atlantique AP-9.

Les travaux se sont terminés fin 2017. Conception structurelle de l'agrandissement : MC2 Estudio de Ingenieria SL et Dr.Manuel Juliá Vilardell.

Egalement finaliste, le Mukogawa Bridge à Kobe (Japon), pont extradossé de 442 m de long, a été ouvert en février 2017. Il peut être élargi, si besoin, à 6 voies par des tabliers en cantilever au lieu des 4 actuelles.

Construit par Sumitomo Mitsui Construction (conception et entreprise), il porte une section du Shin-Meishin Expressway.

→ **Plus léger, plus résistant**

Le poids de l'ouvrage, de 35 % inférieur par rapport à un pont classique, contribue à sa résistance aux séismes.

Les deux tabliers sont de type caisson en béton précontraint. Les caissons d'une hauteur constante de 4 m ont une âme en béton fibré en forme de papillon, précontrainte par câbles inclinés. Cette conception réduit l'épaisseur des âmes à 150 mm.

Le câblage est situé entre les deux tabliers. Comme la tête de pylône est trop étroite pour un passage en selle des câbles, chaque nappe est ancrée individuellement et les deux ancrages sont reliés par un voile médian sandwich composé d'un plat métallique ancré par goujons dans deux voiles latéraux en béton. Les pylônes sont préfabriqués, assemblés sur place puis remplis de béton.

www.iabse.org,
rubrique About/awards. ■

PRIX À DES PROFESSIONNELS

À côté des ouvrages d'art remarquables, l'IABSE a remis des prix récompensant des professionnels, en juin. Le professeur danois Niels Jorgen Gimsing a reçu le prix du mérite pour sa contribution à l'ingénierie des structures pendant toute sa carrière.

L'association distingue aussi des spécialistes en exercice. Il a remis un "Early Career prize" à Robert Hällmark qui travaille à l'administration des transports suédois (Swedish Transport Administration).

Enfin, deux articles de la revue *Structural Engineering International* (IABSE) d'août 2018, se sont vus attribuer un prix.

Catégorie article technique : "Innovative Long-Term Monitoring of the Great Belt Bridge Expansion Joint Using Digital Image Correlation", de Winkler, MD Havelkykke, Danemark.

Catégorie article scientifique : "Shear Performance Mechanism Description Using Digital Image Correlation", de A. Strauss, P. Castillo, B. Krug, R. Wan-Wendner, M. Marcon, Autriche ; J. Matos, Portugal ; JR Casas, Espagne.



**Comment
protéger
une trémie
d'escalier ?**

PréventionBTP

 **En direct**

Une réponse immédiate à vos questions sécurité
et prévention grâce à nos experts OPPBTP



preventionbtpendirect.fr



PASSEZ SIMPLEMENT À LA PRÉVENTION

OPPBTP
La prévention BTP

CSNE : FINANCEMENT ÉTAT- COLLECTIVITÉS

L'État, la région Hauts-de-France et les conseils départementaux du Pas-de-Calais, du Nord, de la Somme et de l'Oise se sont mis d'accord le 4 octobre sur la répartition du financement du Canal Seine Nord Europe (CSNE). L'État verse 1,1 milliard d'euros à la société du CSNE à travers l'Agence de financement des infrastructures de transport après modification de la loi de finances 2020. Les collectivités territoriales font de même, si besoin en empruntant, considérant que le canal dynamise l'activité économique.

Rappelons que l'Union européenne paie 50 % des études et 40 % des travaux. Le projet est estimé à près de 5 milliards d'euros.

TERRITOIRES INTELLIGENTS

Nantes Métropole a reçu le grand prix Territoires intelligents de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), le 1^{er} octobre. Elle a été retenue parmi 14 projets de transformation numérique jugés suffisamment remarquables pour figurer dans la 1^{re} édition du baromètre des Smart territoires.

Le trophée "innovation" a été remis à Aix-en-Provence, le "data" à la communauté de communes Pays Haut-Val-d'Alzette (Moselle) et celui sur l'inclusion, à Grenoble-Alpes-Métropole.

SMART CITIES À L'ÎLE MAURICE

L'Île Maurice a réformé son régime juridique pour développer les infrastructures numériques. Son Smart city scheme de 2015 entend créer une quinzaine de villes intelligentes.

Le Conseil supérieur du notariat et l'ordre des Géomètres experts ont été chargés d'élaborer un nouveau cadre réglementaire de la copropriété.

RTE PLANIFIE LA MODERNISATION DU RÉSEAU DE TRANSPORT D'ICI 2035



© FAUTE IRELAND

Une interconnexion électrique de 575 km reliera Brest (Finistère) à Cork (photo, Irlande) en 2026.

La Commission européenne apporte 530 millions d'euros au projet d'interconnexion électrique entre la France et l'Irlande sur un coût estimé à 930 millions⁽¹⁾. Cette liaison de 575 km dont 500 en sous-marin est portée par Réseau de transport d'électricité (RTE) et Eirgrid, son homologue irlandais. Le Celtic Interconnector, d'une capacité de 700 MW, raccordera Brest (Finistère) à Cork (sud-est Irlande), début 2026.

→ Proportionnellement plus d'électricité

La puissance d'interconnexion en Europe va doubler d'ici 2035 de 15 GW à 30 GW, conformément au schéma décennal de développement du réseau de RTE, présenté mi-septembre.

Le projet de RTE vise à mettre en œuvre les orientations de la future programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Selon les données RTE, la part d'électricité dans la consommation finale totale d'énergie va passer de 27 % en 2020 à 37 % en 2035, en grignotant principalement celle à base de pétrole. Autrement dit, la consommation d'électricité passerait de 430 TWh à 460, sur un total de consommation d'énergie baissant de 1 600 TWh à 1 250.

RTE prévoit de dépenser 33 milliards d'euros sur quinze ans, soit 2 milliards/an au lieu du 1,3 milliard actuel. « Les nouveaux besoins ont été établis au plus juste en intégrant les possibilités de flexibilité des énergies renouvelables, écrit RTE. Ces optimisations ont permis de réduire les coûts de 10 milliards

public, RTE va enterrer des lignes. Les nouvelles lignes des réseaux de répartition seront a priori enterrées, sauf empêchement technique.

Pour les lignes existantes à renouveler, la mise en souterrain sera examinée. La solution la plus économique reste l'aérien.

RTE préconise le développement de plates-formes communes de raccordement électrique des parcs éoliens en mer.

La modernisation du réseau de transport entraîne dans son sillage celle des installations de télécommunications, indispensables à l'équilibre entre demande et production. Un millier d'automates de zone seront déployés et de nouveaux postes source sont nécessaires vers le réseau de distribution.

**Schéma RTE :
communiqué 17 septembre sur
<https://media.rte-france.com> ■**

d'euros par rapport aux précédentes estimations. »

→ **Davantage de lignes enterrées**
Pour répondre à une forte demande du

⁽¹⁾ Cf. *Travaux* n°943, juillet-août 2018, page 10.

CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES À FESSENHEIM

Le photovoltaïque se développe sur le territoire de la centrale nucléaire de Fessenheim (1 760 MW, Haut-Rhin). Douze projets ont été retenus le 26 septembre pour une puissance totale de 62,8 MW, suite à un appel d'offres en janvier. Deux autres tranches de cette consultation, soit 120 MW, sont prévues pour janvier et juillet 2020.

Projets sur www.ecologie-solidaire.gouv.fr,
communiqué du 26 septembre.



La centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin) ferme en juillet 2020.

© EDF

TROPHÉES EIFFEL : L'ACIER EN GRANDE OU PETITE DIMENSION



Médiathèque de Gand (Belgique) dont le porte-à-faux couvre une place.

Le porte-à-faux de la médiathèque Waalse Krook à Gand (Belgique) est impressionnant. L'équipement terminé en 2017 a remporté le trophée Eiffel, catégorie internationale, de Construiracrier. Il est l'œuvre de RCR Architectes (Espagne) et de Coussée & Goris Architecten (Belgique).

Le bâtiment, d'allure monumentale, est en acier y compris les rayonnages et le mobilier de la bibliothèque. Une structure fixe la torsion du bâtiment et crée un flux de relations verticales et horizontales. Le porte-à-faux couvre une place. Maîtrise d'ouvrage : cvba Waalse Krook Sogent en Stad Gent Architectes.

→ Récupération de métaux pour réemploi

Construiracrier a remis 7 autres trophées le 2 octobre pour des réalisations de 2017 et 2018⁽¹⁾.

Il a remis le trophée Innover à une association de récupération-réutilisation de métaux issus du BTP. R-Aedificare de Marseille monte une filière de réemploi des matériaux et a été assistante à maîtrise d'ouvrage pour le Mucem, Euro-méditerranée, etc. Elle a créé un cata-

logue de matériaux de déconstruction pour la construction neuve sur internet.

→ Tribune du stade de rugby d'Aurillac

Le trophée Voyager a été attribué au Syndicat mixte de la baie de Somme et

aux architectes Deprick et Maniaque pour de petits édifices en inox et en verre situés à proximité ou en extension de maisons éclésiastiques le long du canal de la Somme.

Ces sites, inoccupés depuis l'automatisation des écluses, accueillent cyclistes et plaisanciers.

La 2^e tranche de la modernisation du stade de rugby d'Aurillac (communauté d'agglomération, Cantal) a reçu le trophée Divertir (Atelier du Rouget, Simon Teyssou & associés). Une galerie en métal couronne la tribune Marathon, reconstruite. Sa structure est habillée de panneaux en forme de pointe de diamant qui accroît leur résistance. L'habillage, perforé, laisse passer la lumière.

→ Concours 2020

Autres trophées : catégorie Habiter pour le Dock G6 Radisson Blu à Bordeaux (maître d'ouvrage : Redman et Atelier d'architecture King Kong). Catégorie Franchir : passerelle Marcelle Henry (Paris 17^e, ville de Paris, Marc Mimram). Catégorie Apprendre : Lycée des métiers Léonard de Vinci (Montpellier, région Occitanie, Hellin-Sebbag architecture). Catégorie Travailler : lot 07 (Paris 17^e, Emerige, Chartier Dalix/Brénac & Gonzalez).

Les dossiers des trophées 2020 sont à remettre avant le 30 mai, et ceux du Concours acier (étudiants), avant le 17 avril. ■

⁽¹⁾ Cf. *Travaux* n°947, décembre 2018, page 11 ; n°928, décembre 2016, page 10 ; n°919, novembre 2015, page 10.



Extensions en inox et verre de maisons éclésiastiques sur le canal de la Somme.

L'IDRRIM VOIT PLUS GRAND POUR 2020

Pour ses 10 ans en 2020, l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrrim) se renouvelle. Elle veut devenir association d'utilité publique.

Deux de ses 4 axes de travail sont renommés. Ainsi la prise en compte des enjeux environnementaux devient "adaptation des infrastructures à la transition écologique, climatique, énergétique et numérique". À la promotion de l'innovation (4^e axe), est ajoutée la nécessité d'expérimenter, de partager et de capitaliser.

L'Idrrim cherche un nouveau modèle économique avec des moyens humains et financiers.

OBSERVATOIRE DU TRÈS HAUT DÉBIT

Un observatoire métropolitain du déploiement du très haut débit a été créé afin que tous bénéficient de liaisons numériques en très haut débit en 2022 en région parisienne. Il a été lancé le 26 septembre par la Métropole du Grand Paris et le Syndicat intercommunal de la périphérie de Paris pour les énergies et les réseaux de communication (Sipperec).

Cet outil doit contribuer à réduire les zones blanches, éloignées des centres, dont la connexion en très haut débit tarde du fait d'un coût élevé pour moins d'abonnés.

L'observatoire devait mettre en ligne, fin octobre, des cartes dynamiques. Grâce à elles, opérateurs et collectivités pourront coordonner leurs projets, et les utilisateurs, s'informer sur leur secteur.

DOUBLEMENT DU PONT DU LARIVOT

Le pont du Larivot sur la rivière de Cayenne (Guyane) va être doublé par un nouvel ouvrage.

Le viaduc à poutres précontraintes par post-tension de 1 225 m de long de 1976 continuera de recevoir un sens de trafic. Le nouveau pont de 1 312 m supportera les voies dans le sens Cayenne-Kourou ainsi qu'une voie cycliste et piétonne. Fin des travaux en 2023-2024.

Le franchissement entre Macouria et Matoury, près de Cayenne, se situe sur la RN1. L'ancien pont avait été réparé en 2009-2010 suite à la rupture d'une pile. Le doublement a été conçu par Lavigne-Chéron architectes et le Cerema. Il comporte un tablier mono-caisson en béton précontraint sur une vingtaine de piles.

Particularités du site : mangroves, faune et flore protégées, marée, saison des pluies, milieu corrosif pour le béton, sols très compressibles, roche support granitique, abrasive, irrégulière, etc.

Egis a remporté en septembre le marché de maîtrise d'œuvre sur cinq ans pour finaliser les études de projet sous Bim, passer les marchés de travaux et les superviser.

www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/pont-du-larivot-r683.html



© JEAN-BERNARD NAPPI/EGIS

Le nouvel ouvrage accueillera un sens de circulation.

MODÉLISER LE COMPORTEMENT DES INFRASTRUCTURES SOUS DIFFÉRENTES CONTRAINTES



© PIERRE-ALLAIN DUVILLARD

La dégradation du permafrost sur lequel est bâti le refuge des Cosmiques (3 613 m) va être étudiée dans le cadre du projet Staaf.

La fondation Ferec a distingué six recherches sur le thème "Résilience et acceptation : quels outils pour les infrastructures ?". La fondation apporte entre 30 000 et 40 000 euros par proposition retenue⁽¹⁾, soit 6 dossiers sur les 17 auditionnés. Nous en traitons 2 dans ce numéro.

Le projet Stratégies d'adaptation pour les infrastructures construites pour le permafrost dans les Alpes françaises (Staaf) répond sur la résilience. Le réchauffement climatique se manifeste en haute montagne par la dégradation du permafrost (terrains gelés en permanence). Cela déclenche des mouvements de masses rocheuses qui déstabilisent refuges et remontées mécaniques.

Staaf vise à développer la connaissance et le suivi des terrains supports. L'objectif est d'aider les gestionnaires à anticiper les déstabilisations plutôt que de s'adapter au coup par coup aux désordres.

→ Au refuge des Cosmiques à 3613 m

Au refuge des Cosmiques (3613 m, Chamonix), site principal du projet, est étudiée la distribution du permafrost (profondeur et températures) dans l'arête sur laquelle il est bâti. Les chercheurs modéliseront sa dégradation en tenant compte du refroidissement supplémentaire dû

aux pilotis (ombre et courants d'air) et de l'évolution du réchauffement.

Cette recherche fait suite à la thèse de Pierre-Allain Duvillard en géomorphologie au laboratoire Edytem (CNRS/Université Savoie-Mont-Blanc) avec le bureau d'études IMSRN⁽²⁾. Autres chercheurs impliqués : André Revil (détection du permafrost/géophysique), Florence Magnin et Jean-Yves Josnin (modélisation de la

dégradation) et Ludovic Ravel (écroulements et instabilités rocheuses).

→ Moins de capteurs de suivi

Mine BPL de l'Ifsttar se préoccupe aussi de prévoir plutôt que de subir. Le projet traite des données enregistrées sous le passage d'un TGV afin de proposer des indicateurs de suivi de l'état d'une voie ferrée. Il vient affiner les résultats de la thèse de Diana Khairallah qui avait porté sur une centaine de capteurs posés sur 3 sections de 10 m de la ligne LGV Bretagne/Pays-de-Loire. Il s'agit maintenant de réduire leur nombre.

Trois secteurs de la ligne ont été instrumentés à chaque couche de la construction de la voie. Les capteurs permettent de mesurer les accélérations verticales au sommet et à la base du ballast, les variations de température, les infiltrations d'eau, et la déflexion verticale de toute la structure.

L'accumulation des déformations même minimes finit par déformer la voie. Projet mené par Juliette Blanc (Ifsttar) et Diego Ramirez (Eiffage Infrastructures) avec SNCF Réseau et Setec.

www.fondation-ferec.fr ■



© IFSTTAR

Équipement de mesure des déformations verticales dans la couche de grave non traitée d'une voie TGV sous le passage d'un train.

⁽¹⁾ Cf. Travaux n°946, novembre 2018, page 13.

⁽²⁾ IMSRN : Ingénierie des mouvements de sol et des risques naturels.



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 [ecrire un e-mail](#)
- **Par téléphone :**
 - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
 - pour les salariés : 01.70.38.09.00



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.
Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 956 « Travaux souterrains »
- TRAVAUX n° 957 « Spécial Innovation »



Bertrand COSSON

Tél. 01 42 21 89 04

b.cosson@rive-media.fr

CENTRALE SOLAIRE SUR FRICHE

Une centrale photovoltaïque de 15 MW va être construite sur un ancien site de stockage de produits chimiques de Total, à Villers-Saint-Paul (6 500 hab., Oise). À partir de 2021, les 33 427 panneaux solaires produiront l'électricité nécessaire aux besoins de 3 200 foyers. L'installation appartient à Total Quadran. La reconversion du site industriel est opérée par Retia, autre filiale de Total. Le projet figure parmi les lauréats d'appels d'offres de l'État pour accueillir des centrales aux énergies nouvelles renouvelables sur des friches.



© TOTAL QUADRAN

Vue simulée des capteurs sur l'ancien site Total.

CAMION À HYDROGÈNE DE 300 TONNES

Un camion à hydrogène, développé par Engie et Anglo American (extraction minière), pourra transporter 300 tonnes.

L'hydrogène sera produit par une installation d'électricité solaire et stocké dans le réservoir de diesel de l'engin.

Les partenaires prévoient des essais sur le site minier de Mogalakwena Platinum Group Metals en Afrique du Sud, en 2020.

ARTELIA REPREND OPEN OCEAN

Artelia, groupe d'ingénierie en bâtiment, infrastructures, eau, environnement et industrie, a repris Open Ocean, en septembre. La société a lancé en 2015 Metocean Analytics, plateforme web d'analyse des conditions marines en tout point de la planète.

Cet apport va conforter les projets offshore du groupe.

LE BIM S'INSCRIT DANS LA DURÉE DE VIE DES RÉALISATIONS



Le Bim de la tour Hypérion en bois et nouyau béton représentera l'ouvrage tel que construit.

© JEAN-PAUL VIGUIER & ASSOCIÉS

La tour Hypérion (Bordeaux) à nouyau en béton et structure en bois de 57 m de haut, a remporté le Bim d'or 2019 décerné par *Le moniteur* et *les Cahiers techniques du bâtiment*, fin septembre. Sur cette opération qui se termine en 2021, le modèle numérique établi grâce au Bim va jusqu'à la représentation de l'ouvrage tel que construit de façon à être fiable en maintenance. Maîtrise d'ouvrage : Eiffage Immobilier ; maîtrise d'œuvre : Jean-Paul Viguier & associés ; entreprises : Eiffage Construction, Woodium (AMO) ; bureaux d'études : Setec TPI, Savare, Cesma.

La compétition a accordé des Bim d'argent à 8 autres réalisations et un coup de cœur. Ils révèlent l'avancement de la collaboration par le numérique dans les projets et son utilisation en rénovation.

→ Outils pour les artisans

Dans la catégorie Infrastructures, a été distingué le réaménagement du rond-point des Lavandes (mars 2020), près de l'Aéroport de Marseille-Provence. Un soin particulier est apporté à l'interopérabilité des modèles. Chaque métier possède un modèle indépendant. Le Bim inclut le suivi du chantier. Maîtrise d'œuvre : Egis Villes et Territoires ; bureau d'études : EGCEM ; entreprises : Bouygues Travaux Publics Régions France/Colas.

Dans les autres Bim d'argent, notons les évolutions techniques comme l'utilisation

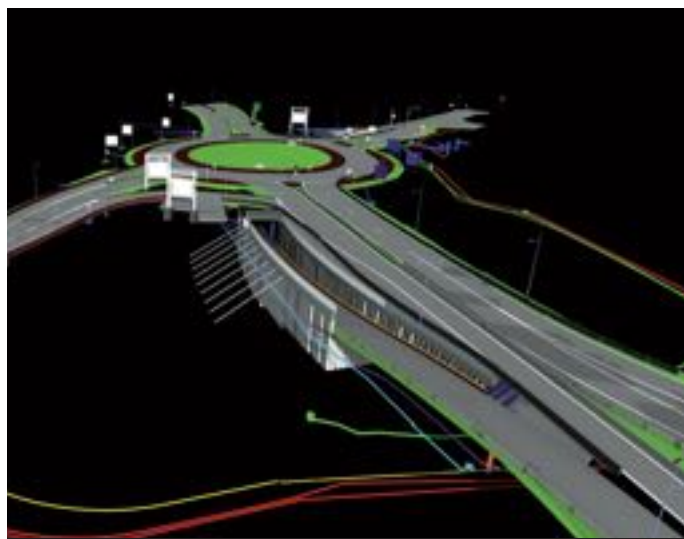
de plans 3D à partir d'un smart phone et la mise à disposition des outils aux artisans (avril 2019, bâtiments de moins de 2 000 m²).

Le Bim contribue à l'utilisation autant que possible des ouvertures existantes d'une ancienne base sous-marine de Marseille pour les réservations dans des murs de 5 m d'épaisseur (Data Center Interxion, novembre 2019).

→ **Maintenance des documents Bim**
Au siège social d'Hérault Habitat (octobre

2018), la maquette prend en compte les dossiers des ouvrages exécutés pour répondre aux besoins de l'exploitation, avec un contrat de maintenance sur ce document.

Même souci d'utiliser les documents élaborés dans le cadre d'un Bim sur un futur écoquartier à Châtenay-Malabry (Hauts-de-Seine) en cours de conception et sur les 5 ha de toiture du Musée du Louvre (Paris) relevés au laser en 3D (coup de cœur). ■



Dans le réaménagement de ce rond-point près de l'aéroport d'Aix-Marseille, le Bim inclut le suivi du chantier.

© EGIS/STOA/EGCEM/BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS/COLAS

RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID : DES INSTALLATIONS À DÉVELOPPER



© BRUNO MAUREYS/MÉDAP

Les jonctions entre tuyaux seront réalisées avec soin à l'installation d'un réseau de chaleur. Ici, chantier du réseau Vésuve par le Smédar sur le Grand-Quevilly et le Petit-Quevilly, en banlieue de Rouen (Seine-Maritime, 2012).

Le gouvernement veut multiplier par 5 les quantités de chaleur et de froid renouvelables ou de récupération en 2030 par rapport à 2012. Pour y parvenir, il s'appuie en grande partie sur les réseaux urbains de chaleur. Un groupe de travail réuni de mars à juillet 2019 a fait des propositions en ce sens. Le ministère de la Transition écologique en a tiré 25 décisions le 7 octobre.

Sept actions portent sur l'attractivité des réseaux grâce à plus de communication et en incluant le froid dans les réseaux existants, etc. Sept autres visent à accroître la part des énergies renouvelables dans leur alimentation dont la géothermie et la récupération de chaleur industrielle perdue. Six doivent rendre les réseaux moins coûteux grâce, notamment, à nouvelles mesures du Fonds chaleur. Trois portent sur les droits de consommateurs et deux abordent la recherche et le développement.

→ Points faibles les plus courants

Par ailleurs, les élus locaux et les entreprises réunis dans l'association Amorce et le Cerema, tous deux membres du groupe de travail sur les réseaux, avaient publié en février, une enquête sur 140 réseaux de chaleur existants.

Ce document de 47 pages, gratuit, entre dans le détail des dégradations les plus courantes (forages géothermiques exclus). Il développe les origines possibles, fournit des méthodes de diagnostic et donne des

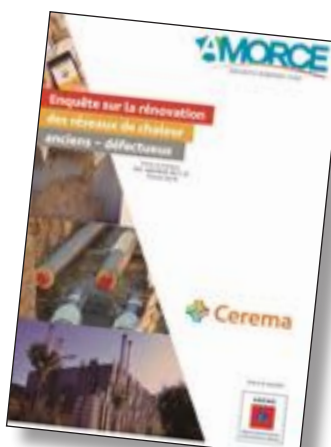
exemples de travaux effectués. Il s'appuie sur des retours d'expériences.

Citons les points faibles que sont les jonctions entre tuyaux, leurs supports de fixation, et les raisons de désordre : excès de débit, courants vagabonds, dilatation, etc.

→ Prévoir leur évolution

Sur les 410 réseaux de l'enquête, près de la moitié date d'avant 1980 pour leurs premières boucles.

L'ouvrage souligne qu'un réseau de chaleur doit être accompagné d'un schéma directeur de façon à prévoir les besoins futurs et les énergies mobilisables. Ajoutons : introduire du froid pour la climatisation. ■



Enquête approfondie des réseaux de chaleur existants.

© CEREMA



En 2022, le Grand-Reims (Marne) aura remplacé le charbon par le bois dans la centrale du réseau urbain de chaleur.

© ALEXANDRE DUJOUTIER

AMÉNAGER LES ROUTES À FORTE PENTE

La direction des infrastructures du ministère de la Transition écologique a publié en août le Guide technique d'aménagement des fortes pentes.

L'ouvrage de 67 pages est signé de Claude Chanet de la direction territoriale Sud-Ouest du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement avec l'aide de la direction Est. Ce travail a été enclenché après la chute de 15 m d'un car dans la côte de Laffrey (Isère) qui avait fait 26 morts en 2007. L'ouvrage donne le mode de calcul d'une forte pente. Elle se définit par un dénivelé de 130 m à plus de 3% sur "une certaine longueur".

Le guide recommande un diagnostic afin, notamment, de vérifier si la perception de la pente permet au conducteur d'adapter son comportement et si l'infrastructure respecte les règles de l'art.

Dans le neuf et en l'absence d'itinéraire alternatif, il explique comment dimensionner une voie de détresse dans laquelle un véhicule sans freins pourra s'engager jusqu'à un lit d'arrêt ou une échappatoire. Il conseille des récupérations en virage, des zones d'arrêt, des voies pour véhicules lents qui évitent les collisions arrière. Les dispositifs de retenue ne seront pas systématiques.

Le guide remplace celui sur la signalisation des descentes et les notes du Sctra n°45 et 52, et complète les Ictaal (conditions techniques des autoroutes de liaison) et l'ARP (aménagement routes principales).



GUIDE DE 67 PAGES © CEREMA

BÉTON RÉUTILISÉ À 100% DANS UN PARC

Le béton des allées du parc des Chanteraines (Hauts-de-Seine) a été réutilisé sur place dans le cadre du réaménagement de l'espace vert, d'où une économie de matière première et de transport. Les 90 hectares, inaugurés en 1978, s'étendent sur Gennevilliers et Villeneuve-la-Garenne, et appartiennent au conseil départemental.

Les allées avaient été refaites en 1990 en béton fibré. Les gravats de leur démolition ont été concassés et criblés sur place par un engin mobile. Gravillons et granulats ont été réemployés en sous-couches et accotements de voirie du parc, en ballast pour la petite voie de train, en gabions pour élever des murs ou dans du béton.

Les aires de jeux et les allées piétonnes ont été recouvertes de béton drainant laissant percoler la pluie vers des noues végétalisées. Des pentes entraînent l'eau dans des drains en direction des zones humides.

Le parc abrite désormais une vraie ferme avec des animaux, un potager et un verger. Des sternes pierregarins viennent s'y reproduire tous les ans.



Mur en gabion contenant les gros morceaux de béton.

ALLUVIO : DÉMARCHE RÉGIONALE POUR VALORISER LES SÉDIMENTS



Rivières et canaux doivent être dragués pour acheminer 12 millions de tonnes de marchandises par an dans les Hauts-de-France.

© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

« La quasi totalité des sédiments du bassin Nord/Pas-de-Calais ne présente aucun risque pour l'environnement ou la santé, conclut Alluvio dans son bilan 2016-2019 sur les sédiments fluviaux, publié le 1^{er} octobre. Pour 90 % du linéaire (NDLR : 681 km de voie d'eau navigable), le classement en catégorie non dangereux/non inertes est confirmé⁽¹⁾. Moins de 1 % présente des sédiments considérés comme dangereux, et le reste sont des inertes. »

Chaque année, 100 000 à 200 000 m³ sont extraits pour garantir le fonctionnement des voies d'eau qui acheminent 12 millions de tonnes de marchandises par an (2015). Les péniches à grand gabarit (> 3 500 tonnes) doivent y transiter dans la perspective du Canal Seine Nord Europe.

→ La moitié du volume dans 8 biefs

Alluvio est une démarche pour mettre en place des actions de valorisation des sédiments en Hauts-de-France. Elle réunit des comités territoriaux regroupant

tous les acteurs. Elle est financée par la Région, Voies navigables de France, l'Agence de l'eau Artois-Picardie et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. La Dreal apporte son expertise. Elle a démarré en septembre 2016 par un état des lieux.

L'année 2017 a été consacrée à l'estimation des gisements de sédiments et à la réduction des apports. À cette occasion, a été révélé que la moitié du volume se concentrait sur 8 des 118 biefs étudiés. Ce sont donc des sites prioritaires où réduire les apports.

→ 5 346 sources

Diminuer la quantité de sédiments qui se déposent passe par les pratiques anti-érosion des sols, des berges, etc. ainsi que la limitation des rejets en rivière que ce soit de source agricole, industrielle, de stations d'épuration, etc. En 2007, VNF avait identifié 5 346 sources de sédiments.

En 2018, les partenaires d>Alluvio ont cherché à créer de nouvelles filières, notamment à travers les projets Sédima-

tériaux (cf. *Travaux* n°954, octobre 2019). La démarche débouche aujourd'hui sur la réutilisation des sédiments, en recherchant des débouchés et en se penchant sur les conditions d'approvisionnement.

→ Contribution à la biodiversité

VNF dispose de 183 sites de stockage et de transit dans la région, soit 30 millions de mètres cubes. Soixante-seize sont devenus des espaces naturels propices à la biodiversité. Les sédiments servent aussi à enrichir des terres agricoles ou les sols de friches.

Sera également étudié dans quelle mesure le dragage améliore la qualité de l'eau.

www.alluvio.net,
rubrique actualités ■

⁽¹⁾ Déchets non dangereux et non inertes : recyclables (papier, verre, bois, etc.), organiques (biodegradables), combustibles ou mélangés (stockage).
Déchets inertes : sans décomposition, ni combustion, ni réaction physique ou chimique (béton, tuiles, déblais).

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 11 DÉCEMBRE

Nouvelles normes européennes de terrassement

Lieu : Marseille

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

• 12 DÉCEMBRE

Journée technique Certificats d'économie d'énergie

Lieu : Paris

www.atee.fr

• 28 AU 30 JANVIER

Assises européennes de la transition énergétique

Lieu : Bordeaux

www.ademe.fr

• 4 AU 6 FÉVRIER

Euromaritime

Lieu : Marseille

www.euromaritime.fr

• 5 ET 6 FÉVRIER

Learning Technologies France

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

www.learningtechnologiesfrance.com

• 6 FÉVRIER

Colloque du Syndicat des énergies renouvelables

Lieu : Paris (Unesco)

www.colloque-ser.fr

• 19 FÉVRIER

Fascicule 74 (2018) CCTG construction et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie

Lieu : Paris

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

• 24 ET 25 MARS

Reconvertir les friches polluées

Lieu : Paris (Porte Maillot)

www.ademe.fr

• 31 MARS ET 1^{er} AVRIL

Bim World

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

www.bim-w.com

• 27 AVRIL AU 1^{er} MAI

Conférence géothermie

Lieu : Reykjavik (Islande)

www.geothermal-energy.org

FORMATIONS

• 9 DÉCEMBRE

AU 14 OCTOBRE 2020

Certificat chef de projet Bim

Lieu : Paris

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

• 9 AU 11 DÉCEMBRE

Interaction sol-structure :

enjeux conceptuels

et mise en œuvre

Lieu : Paris

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

• 11 AU 13 DÉCEMBRE

Aménagement fluviaux :

digues et berges

Lieu : Paris

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

• 6 ET 7 FÉVRIER

Dimensions juridiques du Bim

Lieu : Paris

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

• 17 AU 19 MARS

Techniques d'excavation et de soutènement en site urbain

Lieu : Paris

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

NOMINATIONS

EDF :

Alain Morvan est nommé directeur du projet de l'EPR de Flamanville (Manche). Il remplace Laurent Thieffry passé directeur industriel à la direction ingénierie et projets Nouveau nucléaire.

EPA PARIS-SACLAY :

Alexandra Espinosa est nommée directrice de projets de la Zac du quartier du Moulon.

RTE :

Sophie Moreau-Follenfant rejoint le groupe Réseau de transport d'électricité en tant que directrice générale adjointe chargée des ressources humaines.



terrasol



setec

L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée

www.terrasol.com



INGÉNIERIE

» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise

FORMATIONS

Développement, Assistance technique «

LOGICIELS

Terrasol est un leader reconnu dans le domaine de l'ingénierie géotechnique, en France comme à l'étranger.

Parmi nos références récentes en France : Grand Paris Express, Port de Brest, Suivi long terme du Viaduc de Millau, Liaison ferroviaire Lyon-Turin, Pont-Rail d'Agde, Projet Cigéo, Kourou Ariane 6, Projet Lyon Part-Dieu...

Et à l'étranger : Réservoirs Al-Zour, 4ème pont à Abidjan, Ligne à Grand Vitesse HS2, TransGambia Bridge, Pénétrante de Tizi Ouzou, TER de Dakar, Aéroport des Maldives, Usine de valorisation des déchets de Sharjah...

	<p>Paris</p> <p>Tél : +33 (0)1 82 51 52 00 Fax : +33 (0)1 82 51 52 99 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Lyon</p> <p>Tél : +33 (0)4 27 85 49 35 Fax : +33 (0)4 27 85 49 36 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Maroc</p> <p>Tél : +212 (0)51 25 53 89 Fax : +212 (0)529 03 64 00 Email : tarik.elmalki@setec.com</p>	<p>Tunisie</p> <p>Tél : +276 71 23 63 14 Fax : +256 71 75 32 88 Email : info@terrasol.com.tn</p>
---	---	--	--	---



© MARC MONTAGNON

L'INGÉNIERIE

UN MÉTIER PASSIONNANT POUR NOUS LES FEMMES

Concilier réalisation de projets exceptionnels avec épanouissement personnel, telle est la promesse formulée par cinq femmes, ingénieures, membres du comité de rédaction de Travaux et passionnées par leur métier. Leur point commun ? Avoir fait le choix de s'engager dans une profession conforme à leurs valeurs et à leurs attentes : être utiles à la croissance des territoires et à leurs habitants et participer activement à la transition écologique tout en favorisant leur développement individuel : variété des ouvrages, richesse des échanges avec les différents acteurs de la construction, évolution continue de la technologie et des méthodes et surtout reconnaissance de leur expertise. Leur slogan : n'hésitez pas à nous rejoindre ! **Entretien avec Érica Calatozzo (Systra), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Solène Sapin (Bouygues Travaux Publics), Nastaran Vivan (Artelia).** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



ENEZ NOUS REJOINDRE

Vous qui entrez en école d'ingénieur, vous qui avez un bon bagage scientifique, de la créativité et une formation multidisciplinaire qui vous permet d'être agile dans le développement de concepts et la solution des problèmes.

Plutôt que d'aller coder des algorithmes pour contribuer aux spéculations financières ou de développer des applications pour smartphones, ne voulez-vous pas contribuer à améliorer les conditions de vie et de confort d'une population qui ne cesse d'augmenter et qui a besoin de transports en commun, d'infrastructures de désenclavement et de franchissement ?

L'ingénieur crée des objets qui facilitent la vie et c'est une grande satisfaction, pour toutes les personnes impliquées, de les utiliser et de les voir.

Le Génie Civil est un métier très ouvert et qui offre aux femmes de très belles carrières, en expertise ou en pilotage de projet ou en management d'équipe, sur chantier ou en bureau d'études. Nous en sommes toutes les cinq la preuve. Rejoignez-nous !

Le métier d'ingénieur dans les Travaux Publics, comment l'idée vous est-elle venue de l'exercer ?

Claude Le Quééré : Pour ma part, en école d'ingénieur, j'hésitais entre la recherche en physique et la mécanique des structures. Finalement, sans doute inspirée par les réalisations de ma mère qui exerçait son métier dans les Travaux Publics, et désireuse de projets concrets, je suis passée au Génie Civil dès 22 ans avec l'envie très précise de construire des ponts. Rien ne m'a fait dévier depuis.

Solène Sapin : J'ai choisi de me diriger vers le Génie Civil dès la fin de la prépa, en intégrant une école d'ingénieur qui proposait cette option. Je voulais exercer un métier concret, qui me permette de voir la réalisation de mon travail, et un métier utile aux autres.

Les Travaux Publics répondent parfaitement à ces deux attentes puisque l'on voit ce que l'on construit, et que les ouvrages réalisés sont au service du développement des territoires, des transports... J'ai d'ailleurs certainement été influencée dans ce choix par mon père qui est passionné de ponts et travaillait dans le domaine autoroutier.

Véronique Mauvisseau : Le métier de bâtir des infrastructures est la concrétisation d'une envie d'enfance de raccourcir les trajets. Ma grand-mère habitant un village de montagne, je me demandais souvent pourquoi on n'avait pas construit un pont pour franchir la vallée, et ainsi arriver plus vite, plutôt que d'en faire le tour.

Puis, j'ai choisi un cursus de "prépa" technique qui correspondait mieux à mes goûts qu'une "classique", avec les séances d'atelier et de fabrication

permettant de concrétiser des pièces conçues sur papier. C'est ainsi que j'ai intégré une formation permettant de réaliser des ponts.

Nastaran Vivan : Mon oncle était architecte et je crois qu'il m'a transmis le goût de l'architecture et du Génie Civil. L'évènement qui m'a convaincu de mon intérêt pour ce métier, était la construction d'une route de désenclavement d'un village isolé dans le cadre d'une opération humanitaire. J'étais très jeune mais j'ai mesuré alors

l'amélioration que cette liaison a apportée à la vie des villageois. Enfin, pendant ma scolarité, mes capacités étant meilleures en mathématiques qu'en dessin, j'ai très rapidement décidé, bien avant le bac, de faire du Génie Civil, plutôt que de l'architecture.

Érica Calatizzo : Au lycée, j'avais des facilités en mathématiques et je m'imaginai poursuivre dans cette voie. Toutefois, après l'obtention de mon baccalauréat, j'ai plutôt choisi de m'orienter vers une école d'ingénieur afin d'accéder à des domaines me semblant plus concrets.

J'ai sans aucun doute été également influencée par mon père, lui-même ingénieur en mécanique.

Après de premières années généralistes, mon attrait pour les ouvrages d'art m'a entraînée vers une spécialisation en Génie Civil.

Connaissant la réputation de la France dans le domaine des ponts, j'ai complété ma formation initiale en Italie, dont je suis originaire, par le mastère spécialisé Génie Civil/Ouvrages d'art à l'École des Ponts et Chaussées. Depuis, je suis en France où j'exerce ce métier qui me passionne.

Qu'est-ce qui motive dans le métier d'ingénieur dans les Travaux Publics ?

Nastaran Vivan : Nous avons un métier passionnant dans lequel nous créons des objets en partant de rien sinon d'une feuille blanche. Nous prenons en considération l'ensemble des contraintes d'un cahier des charges en créant un objet qui réponde au mieux aux impératifs. C'est un métier concret car on participe à la conception puis à la réalisation d'un objet, c'est-à-dire que l'on voit sortir de terre ce que l'on a créé. ▶

1- De gauche à droite : Nastaran Vivan, Véronique Mauvisseau, Solène Sapin, Érica Calatizzo, Claude Le Quééré.

2- Le pont Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah au Koweït, d'une longueur totale de 48,5 km, y compris les ouvrages d'accès.

3- Les importantes installations de chantier du pont Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah.

4- Le viaduc routier de Chambal au Rajasthan, long de 1100 m, premier ouvrage haubané à suspension axiale construit en Inde.

5- Le viaduc des Trois Bassins à La Réunion : un voilier de béton voguant sur la ravine.

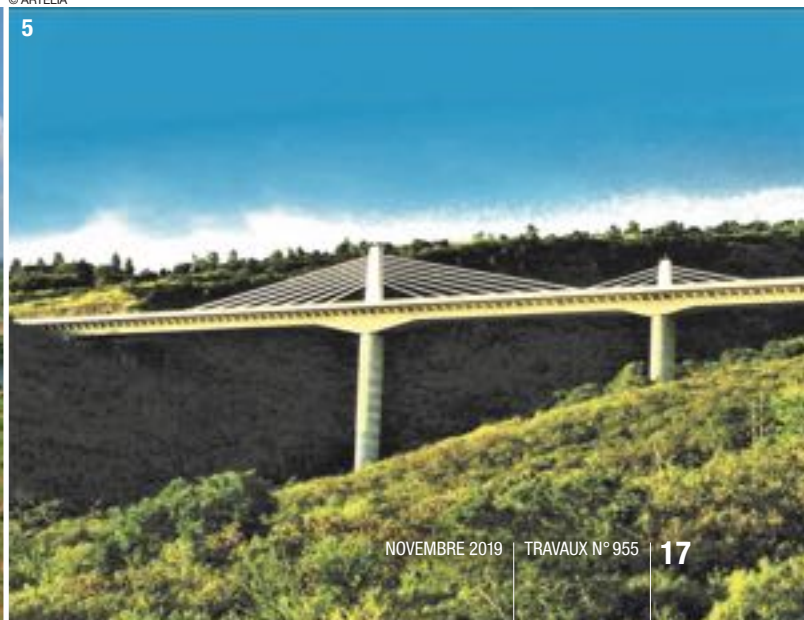
© SYSTRA

4



© ARTELIA

5





6

ÉRICA CALATOZZO : PARCOURS

Érica Calatizzo est ingénieur en Génie Civil de l'Université de Florence (Italie), 2007 et titulaire du Mastère spécialisé " Génie Civil et Ouvrages d'Art " de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (Paris), 2009.

Elle est actuellement responsable d'études Ouvrages d'art et Structures à la direction technique, département Viaducs Ponts et Passerelles de Sysstra Paris.

© MARC MONTAGNON



7

CLAUDE LE QUÉRÉ : PARCOURS

Claude Le Quéré est ingénieur de l'École Polytechnique (2000) et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (2005). Elle est actuellement Responsable Expertises et Grands Ouvrages au sein d'Egis Ouvrages d'Art. Elle pilote et dirige des projets d'ouvrages d'art non courants et exceptionnels, en France et à l'International : ponts à haubans, suspendus, ponts en arc et bowstrings.

Ce qui est également très intéressant, dans les Travaux Publics, c'est que chaque projet est différent tant en ce qui concerne le site, que l'ensemble des exigences et les données fonctionnelles, ce qui équivaut à créer chaque fois, à partir de nos connaissances, un objet différent que l'on peut assimiler à un prototype.

Claude Le Quéré : Ce métier, nous le vivons toutes les cinq avec passion et nous en recevons beaucoup de gratifications personnelles. C'est un métier dont on n'a jamais fait le tour. Il permet d'apprendre et d'évoluer à tout âge et de mobiliser en permanence nos

capacités d'analyse, de résolution des problèmes, de créativité et d'innovation. Logiquement, c'est aussi un métier où l'on ne s'ennuie jamais.

Enfin, contrairement à d'autres métiers, le Génie Civil est un métier où l'on n'est jamais "périmé" tant est grande la diversité des projets, des situations et des rôles que l'on peut jouer.

Érica Calatizzo : Cette profession nous propose en permanence une large variété de situations nécessitant une forte capacité d'adaptation.

Au gré des projets, ce métier nous permet de nous confronter à de nombreuses problématiques dont la réso-

6- Érica Calatizzo (Sysstra).

7- Claude Le Quéré (Egis).

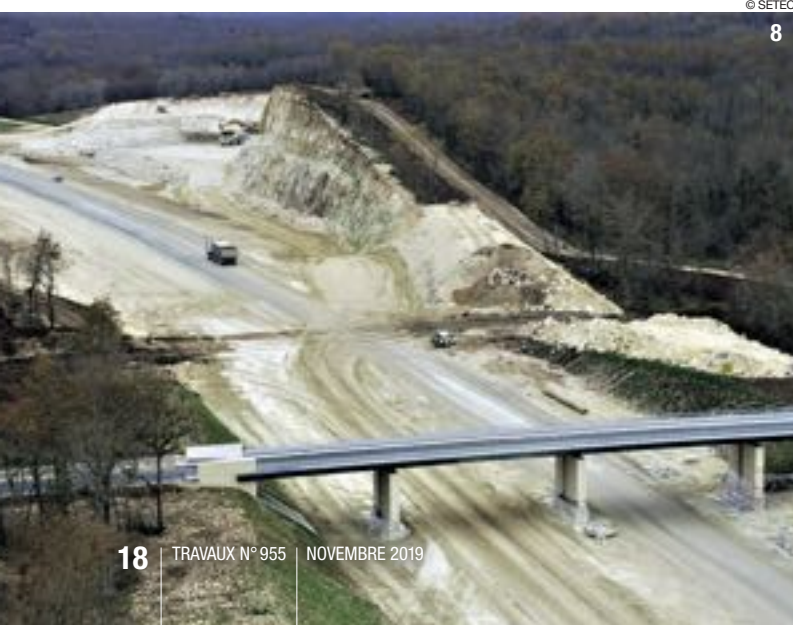
8- Passage supérieur sur le contournement de Périgueux par l'autoroute A89.

9- Le Stade Vélodrome de Marseille à l'issue de son agrandissement.

lution requiert de fortes connaissances techniques, un esprit d'analyse et de synthèse allié à une certaine créativité, enrichi de la rencontre et de l'expérience de personnalités passionnantes. Il permet également une ouverture sur le monde en laissant l'opportunité de participer à des projets à l'international, dans des contextes et environnements très variés, au contact de clients et d'équipes multiculturelles.

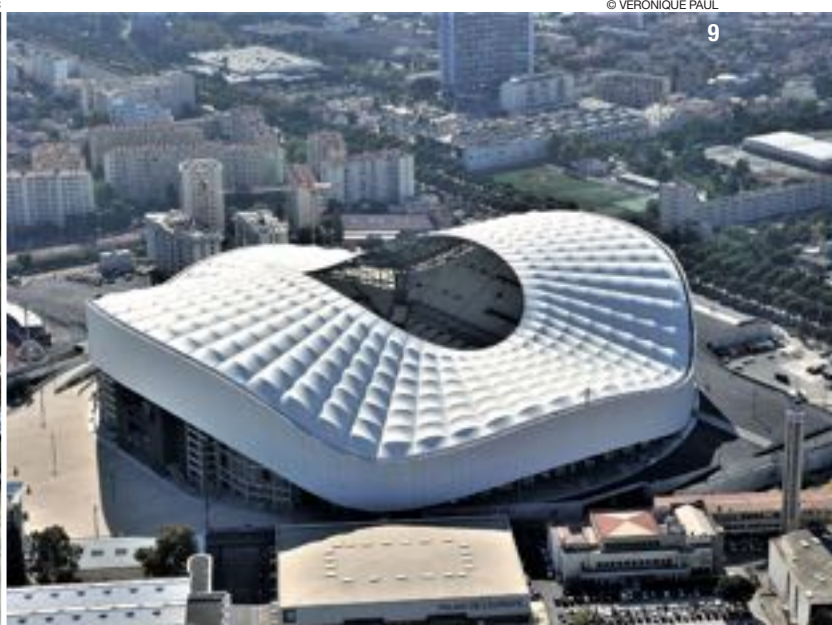
Solène Sapin : Ce métier est un métier de contact, d'échange.

En bureau d'études d'entreprise, nous abordons les projets aux différents stades de leur développement, de la



© SETEC

8



© VÉRONIQUE PAUL

9



10

VÉRONIQUE MAUVISSEAU : PARCOURS

Véronique Mauvisseau est ingénieure de l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS, 1983) et du Centre des Hautes Études en Béton Précontraint (CHEBAP, 1984). Elle est actuellement Directrice du Pôle Ouvrages et Structures d'Ingerop, constitué d'une soixantaine de collaborateurs travaillant sur des projets de ponts, de tunnels, de canaux, composantes d'infrastructures de transport ou routières.

© MARC MONTIGNON



11

SOLÈNE SAPIN : PARCOURS

Solène Sapin est ingénieure de l'École Centrale de Nantes (ECN) option Génie Civil et Environnement (2001) et titulaire d'un DESS CAAE (2002) de l'IAE de Paris. Elle est actuellement Chef de Service Etudes au sein du Bureau d'Études de Bouygues Travaux Publics. Elle pilote des études de structures aux différents stades des projets dans les domaines des ouvrages d'art, des travaux souterrains, du gros génie Civil...

conception à l'exécution, et à chaque phase nous travaillons en lien avec des équipes différentes tant en interne avec les commerciaux, les Méthodes ou les équipes Travaux, qu'en externe avec la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage...

Nous sommes au service des chantiers, pour intégrer dans les études les méthodes de construction, pour répondre aux problématiques au cours de la vie d'un projet, pour définir ensemble des solutions qui satisfont à la fois les contraintes de réalisation et les contraintes structurelles. Chaque projet et chaque équipe sont uniques,

10- Véronique Mauvisseau (Ingerop).

11- Solène Sapin (Bouygues Travaux Publics).

12- L'un des chantiers terrestres réalisés dans le cadre de l'extension sur la mer du port de Calais 2015.

13- Le chantier de l'échangeur du Quai d'Ivry à Paris, dans le 13^e arrondissement.

ce qui fait progresser techniquement et humainement à chaque fois.

Véronique Mauvisseau : Peut-être faudrait-il insister aussi sur le fait que le métier d'ingénieur Génie Civil évolue en permanence, et qu'il s'accorde aux mouvements sociétaux de son temps. Ainsi, il participe désormais à la transition écologique dans laquelle il s'est engagé à l'instar de bien d'autres disciplines.

Nous participons à la création d'infrastructures neuves telles que les routes, les transports ferrés, les barrages, les ouvrages d'art, les ports permettant le développement local et régional mais

nous remplaçons et entretenons aussi des infrastructures existantes.

La conservation du patrimoine, la réutilisation des matériaux ou l'utilisation de matériaux nouveaux (imprimante 3D) sont des problématiques d'actualité qui motivent les ingénieurs à faire évoluer leurs méthodes de conception.

Comment percevez-vous la place des femmes dans l'univers des Travaux Publics ?

Véronique Mauvisseau : Dans les années 1980, la présence féminine était assez faible, aussi bien dans les écoles d'ingénieur que dans les entreprises. ▷

© GROUPEMENT CONSTRUCTEUR CALAIS PORT 2015

12



© ARTELIA

13



Ceci peut expliquer qu'aujourd'hui peu d'entre elles occupent des postes de direction. Si la proportion a augmenté pour passer à 35% environ, il ne se dessine pas d'orientation vers une plus grande représentativité aux postes de direction.

Nastaran Vivan : Cela tient peut-être aussi au fait que nous faisons preuve de trop de discrétion parce que nous ne souhaitons pas être mises en avant pour la seule raison que nous sommes des femmes. Il faut néanmoins des actions, car nous sommes convaincues qu'il faut inciter des jeunes femmes à nous rejoindre.

Quels sont dans votre carrière les deux projets auxquels vous avez collaboré et dont vous êtes particulièrement fières d'avoir contribué à la réalisation ?

Claude Le Quéré : Je citerai tout d'abord le pont haubané sur l'Oued Bouregreg - devenu depuis pont Mohamed VI - qui constitue, avec ses pylônes aux formes si particulières, la porte architecturale du contournement autoroutier de Rabat au Maroc.

L'une de mes satisfactions est d'avoir participé à la totalité des études d'exécution de ce pont. Cela a été un jalon important dans ma carrière.

Le second ouvrage serait le pont Citadelle à Strasbourg, un pont tramway avec un tablier courbe porté par un grand arc qui l'enjambe.

Cet ouvrage d'art a été salué pour "son élégante simplicité, son originalité et sa lisibilité" et a reçu le Grand prix national de l'ingénierie 2016.

Ce projet a été l'occasion de prendre conscience de la puissance de la conception en 3D mais également de la richesse des échanges entre ingénieurs et architectes.



© MARC MONTAGNON

NASTARAN VIVAN : PARCOURS

Nastaran Vivan est ingénieur en Génie Civil et Urbanisme de l'INSA de Lyon (1986) et diplômée de l'École Nationale des Ponts et Chaussées en Master Ouvrages d'art (1987). En tant que Directrice Métier Génie Civil chez Artelia, elle anime les compétences et les expertises dans ce domaine. Elle intervient également en expertise et en direction de projets.

Solène Sapin : Je citerai d'abord la reconfiguration du Stade Vélodrome de Marseille. Ouvrage emblématique, le Stade Vélodrome est resté en exploitation tout au long du chantier consistant en son agrandissement et la création d'une couverture au-dessus des tribunes. Petite incursion dans le monde du bâtiment, ce projet m'a permis de mieux comprendre ce domaine à la fois proche et pourtant différent des Travaux Publics.

Le second est le projet d'extension en mer du Port de Calais (Calais Port 2015) sur lequel j'étais en charge des études de quatre ouvrages d'art participant au réaménagement des

infrastructures terrestres, de la phase conception à la phase réalisation. C'est une grande satisfaction d'avoir suivi ces ouvrages du début à la fin, expérience très complète et formatrice.

Véronique Mauvisseau : La réalisation la plus marquante de ma carrière a été la réparation du Tunnel sous la Manche, suite à l'incendie de septembre 2008, aventure couronnée par le 2^e Grand Prix de l'ingénierie 2010. L'incendie a endommagé la voûte en béton sur une longueur de 760 mètres du tube Nord et 2 kilomètres d'équipements à 11 kilomètres du portail France. Une centaine de personnes ont travaillé sur le chantier tournant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Cette réalisation en un temps record de 4 mois n'a pu être possible que grâce à un travail d'équipe pluridisciplinaire et une motivation à tous les niveaux.

L'autre projet majeur, qui a occupé 10 ans de ma vie professionnelle, est la maîtrise d'œuvre de 73 kilomètres de l'autoroute A89 dans le contournement de Périgueux. Commencée en 1997 par une visite de site, la mission s'est conclue en 2007 par la mise en service du dernier tronçon après avoir conçu, réalisé les dossiers et accompagné la construction d'une grande diversité d'ouvrages : ponts, viaduc, tunnel, carrières à combler.

Nastaran Vivan : L'ouvrage des Trois Bassins sur la Route des Tamarins dans l'île de la Réunion est un des projets qui m'ont marquée le plus. Il s'agit d'un ouvrage franchissant une très belle ravine, particulièrement visible de la route côtière. Le viaduc conçu pour franchir cette ravine est un ouvrage en béton à précontrainte extradosée, très élégant, dont l'architecture est l'œuvre de Strates. L'ouvrage a été réalisé par la méthode des encorbellements suc-



© DIADES

15

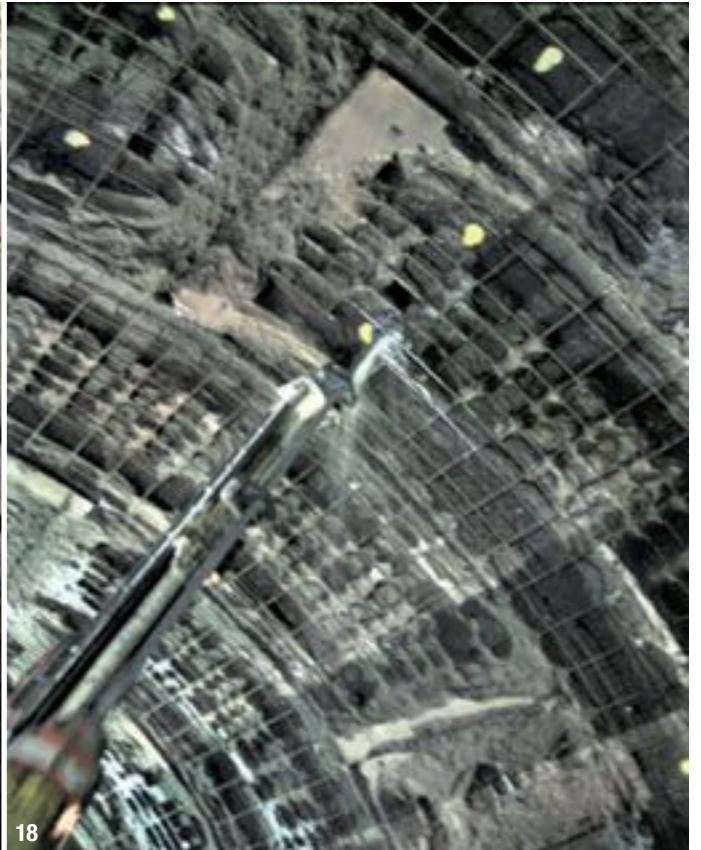


© MARC MONTAGNON

16



© SETEC
17



18

cessifs avec la mise en œuvre de différentes familles de câbles précontraints. Le second projet que j'aimerais mettre en évidence est l'échangeur du quai d'Ivry à Paris dans le 13^e arrondissement. Cet échangeur, réalisé avec la collaboration des architectes Yves Lion pour la partie urbaine et Marc Mimram pour les ouvrages d'art, a été entièrement redessiné pour être moins consommateur de terrain ainsi que pour créer une liaison effective entre Paris et Ivry.

Au-delà du volet technique des ouvrages réalisés, le point marquant de ce

17- Le Tunnel sous la Manche après l'incendie de septembre 2009.

18- Détail du parement endommagé du Tunnel sous la Manche : les aciers sont apparents.

19- Les deux demi-arcs du pont Citadelle sont sollicités de manière identique, "comme une balançoire".

projet est son phasage car, pour sa réalisation, le périphérique parisien a été dévié, permettant ainsi de construire les ouvrages, plus conséquents, à ciel ouvert et non pas en souterrain.

Érica Calatizzo : Il m'en vient deux à l'esprit : le projet Sheikh Jaber Al-Hamad Al-Sabah Causeway au Koweït et le pont de Chambal au Rajasthan, en Inde.

Le premier, a été inauguré en mai 2019 et relie la capitale koweïtienne à Subiyah. Il s'agit d'un des viaducs maritimes autoroutiers les plus longs au monde qui mesure 36 kilomètres.

Le second, inauguré en 2017, est un pont routier qui comprend une travée haubanée de 350 mètres de portée avec suspension axiale. Il s'agit du premier ouvrage de ce type en Inde. Ces deux projets ambitieux et de grande ampleur, pour lesquels j'ai pu participer à la phase des études d'exécution, ont marqué profondément ma vie professionnelle.

Extrêmement riches d'enseignements, ils ont été très formateurs d'un point de vue technique comme humain.

Leur mise en service a été une grande satisfaction. □

© EGIS

19





SYNTEC-INGÉNIERIE INFUSER L'INNOVATION ET CONCRÉTISER LES IDÉES NOUVELLES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

À LA SUITE DE L'EFFONDREMENT DU PONT MORANDI À GÈNES ET DE LA PUBLICATION EN AOÛT 2018 DE L'AUDIT EXTERNE DU RÉSEAU NATIONAL ROUTIER FRANÇAIS RÉALISÉ POUR LE GOUVERNEMENT, LE SÉNAT A LANCÉ EN OCTOBRE 2018 UNE MISSION D'INFORMATION RELATIVE À LA SÉCURITÉ DES PONTS. SYNTEC-INGÉNIERIE A SOUHAITÉ CONTRIBUER AU DÉBAT ET FAIRE PART DE SES PROPOSITIONS POUR NOURRIR LES TRAVAUX DE LA COMMISSION DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DU SÉNAT EN CHARGE DE LA MISSION. PAUL GALONNIER, PRÉSIDENT DU BUREAU "INFRASTRUCTURES" DE SYNTEC-INGÉNIERIE, DÉTAILLE LES PROPOSITIONS DU SYNDICAT SUR CE SUJET, APRÈS UN RAPPEL SYNTHÉTIQUE DES MISSIONS ET DES ACTIONS DE CETTE ORGANISATION PROFESSIONNELLE. MISE EN LUMIÈRE D'UNE PROFESSION QUI BRILLE, TROP SOUVENT, PAR SA DISCRÉTION.

Avec près de 400 entreprises adhérentes et 13 délégations régionales, Syntec-Ingénierie est la fédération professionnelle de l'ingénierie.

Présentes tout au long du cycle de vie d'un ouvrage, les entreprises d'ingénierie pilotent les projets dans des secteurs très variés comme le bâtiment, les infrastructures, l'industrie, l'environnement, le ferroviaire, l'eau, l'énergie, l'aéronautique, l'automobile ou encore la chimie.

Les entreprises d'ingénierie interviennent à tous les niveaux (expertises, Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO), conception et maîtrise d'œuvre des ouvrages, etc.), comme à tous les stades du cycle de vie d'un ouvrage d'art : en surveillance et en inspection des ouvrages existants, afin de détecter les situations favorisant la dégradation des structures, en auscultation et en instrumentation des ponts existants pour établir un suivi du vieillissement et des pathologies associées, en vérification

1- Détail des câbles de suspente du pont Champlain à Montréal (Systra).

des performances des structures et matériaux divers (béton, acier, maçonnerie), mais également en réhabilitation et renforcement.

Garantes des solutions techniques, elles concrétisent les idées nouvelles qui répondent aux défis et modes de vie de demain : infrastructures connectées, smart building, industrie du futur, ville durable...

DES IDÉES NOUVELLES POUR LA CONSTRUCTION ET POUR L'INDUSTRIE

Infrastructures multimodales, bâtiments à énergie positive, usines connectées, voitures autonomes... Avant d'être construits, tous ces projets qui façon-

nent notre quotidien ont été imaginés et conçus par des professionnels de l'ingénierie.

« Leur mission, indique Paul Galonnier : mettre au point les solutions technologiques les plus performantes, rentables et durables tout au long du cycle de vie des ouvrages (études, conseil, management, assistance...). Fortes de leur indépendance, les entreprises d'ingénierie accompagnent leurs clients publics et privés dans les transitions écologique, énergétique et technologique. Elles infusent l'innovation dans tous les secteurs d'activité (aéronautique, digital, aviation, chimie, construction, etc.) ».

Leur activité s'exerce aussi bien en France qu'à l'international :

- 75 % des établissements sont implantés en régions ;
- 31 % du CA est réalisé à l'export ;
- 15 % des ingénieurs diplômés travaillent à l'étranger ;
- 312 000 salariés dont 91 % en CDI ;
- 50 000 à 60 000 recrutements par an partout en France ;

→ 27 000 créations nettes d'emploi sont prévues sur 2018-2021 ;

→ 6,2 % du chiffre d'affaires est consacré à la recherche et au développement.

Leurs fonctions et leurs tailles reflètent parfaitement la diversité de la profession à laquelle elles appartiennent :

- 80 % de TPE et PME ;
- 20 % d'ETI et grands groupes ;
- 46 % dans la construction ;
- 36 % dans l'industrie et le conseil en technologie ;
- 18 % dans les tests, essais et contrôle.

« Pour la partie construction, Syntec-Ingénierie se présente ainsi, précise Paul Galonnier, comme un syndicat regroupant des entreprises de toutes tailles réalisant pour l'essentiel des missions de maîtrise d'œuvre, pour toutes sortes d'aménagements (routes, autoroutes, ouvrages d'art, voies ferrées, espaces publics, transports en commun en site propre, bâtiments publics ou d'habitations, usines diverses, ▷

tous les réseaux, ...) mais aussi l'inspection, la pathologie et la maîtrise d'œuvre de réparation de tous ces ouvrages y compris évidemment les ouvrages d'art, en France et à l'étranger. Nos sociétés sont sollicitées par des maîtres d'ouvrage dans le cadre de l'entretien de leur patrimoine qu'il s'agisse d'analyse, de diagnostic et de réparation. Nous sommes un syndicat qui défend, anime et fournit des services à la profession. Notre rôle est aussi d'interpeller les Pouvoirs Publics et d'intervenir auprès de la représentation nationale lors de l'écriture des lois qui nous concernent. Nous représentons aussi la profession lors des négociations avec les partenaires sociaux et en particulier les syndicats représentatifs des salariés. Notre champ d'intervention est tous les domaines de la construction et de l'industrie mais uniquement dans le cadre de la fourniture de prestations intellectuelles ».

À cet effet, Syntec-Ingénierie est organisé en bureaux.

Quatre bureaux sont chargés du pôle construction : bâtiment, infrastructures, géotechnique, environnement et biodiversité. Deux bureaux sont affectés au pôle industrie : industrie et énergie, ingénierie et conseil en technologie.

OUVRAGES D'ART : TROIS TYPES D'ACTIONS

L'effondrement du pont Morandi à Gênes le 14 août 2018 a suscité une vive émotion et relancé les débats sur l'état du patrimoine des ouvrages d'art en France, vingt ans après la catastrophe du tunnel du Mont Blanc, le 24 mars 1999.



2

PAUL GALONNIER : PARCOURS

Paul Galonnier est ingénieur de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE 1977-1980) et titulaire d'un DESS de l'Université de Lyon III (Administration des entreprises (1994-1995).

Il passe dans un premier temps une dizaine d'années dans l'administration, d'abord au CETE puis à la Direction Départementale de l'Équipement du Rhône jusqu'en 1991.

A cette date, il change radicalement de parcours : il quitte l'Administration et entre chez Seralp Infrastructure, filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations, dont il est nommé Directeur général en 1992 puis Président-Directeur Général en 1997.

Seralp Infrastructure devient filiale d'Egis en 1995.

En 1999, il devient Président Directeur Général de Présents, également filiale d'Egis, tout en demeurant Président de Seralp Infrastructure.

En 2002, Paul Galonnier organise la reprise de Présents avec ses salariés et crée Presite, groupe d'ingénierie indépendant de plus de 120 salariés, composé de Présents, société assurant des missions de Coordination Sécurité protection de la santé et de Situdes, société de maîtrise d'œuvre en infrastructures.

Parallèlement à ses fonctions "opérationnelles" comme patron de sociétés, Paul Galonnier est administrateur de l'IDRRIM et président du cluster Indura (Infrastructure durable en Auvergne Rhône Alpes) depuis 2017, administrateur de Syntec Ingénierie et président de son bureau Infrastructure depuis 2015.

Il est également depuis 2018 membre du Comex (représentant de la fédération Syntec) au sein du Medef Auvergne Rhône-Alpes.

Sujet d'inquiétude pour les Français, l'état des ponts constitue avant tout un enjeu majeur de sécurité pour les usagers. Des solutions existent pour l'évaluer comme le précise Paul Galonnier : « Une première inspection d'abord visuelle met en évidence des désordres dont il faut diagnostiquer la cause, leur gravité - sont-ils superficiels ou profonds - et, à partir de là, les types de réparations qu'il faut entreprendre pour arriver, de la façon la plus économique et la moins pénalisante possible pour les usagers et l'environnement, à assurer la sécurité du fonctionnement et la pérennité de l'ouvrage. Si la prise en charge des désordres est réalisée au moment opportun, nous pourrions redonner une nouvelle vie à l'ouvrage, et donc éviter que la situation ne dégénère jusqu'à la ruine, ce qui s'est passé sur le pont de Gênes ». Afin d'évaluer les modalités de surveillance et d'entretien des ponts gérés

2- Paul Galonnier, président du bureau "Infrastructures" de Syntec Ingénierie.

3- Pare-blocs et paravalanche de Montalever à Val Thorens, Savoie (BG : MOE complète).

4- Passerelle sur gare au Cannet-des-Maures, dans le Var (BG : MOE complète).



3
© BG



4
© BG

par l'État et par les collectivités territoriales, la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable a créé, le 3 octobre 2018, une mission d'information dédiée à la sécurité des ponts.

À l'issue de ses travaux, la mission d'information dresse plusieurs constats inquiétants s'agissant de la gestion des ponts en France :

- Le nombre exact de ponts routiers en France n'est pas connu ;
- Au moins 25 000 ponts sont en mauvais état structurel et posent des problèmes de sécurité et de disponibilité pour les usagers ;
- La dégradation des ponts s'explique par le vieillissement du patrimoine ainsi que par un sous-investissement chronique dans l'entretien de ces ouvrages ;
- Le problème est plus inquiétant encore s'agissant des communes et des intercommunalités qui, pour certaines, méconnaissent l'état de leurs ponts voire parfois leur existence et leur nombre, ne sont pas équipées pour en assurer la gestion et se heurtent à d'importantes difficultés financières pour les entretenir.

Pour répondre à ces enjeux, la mission recommande trois types d'actions :

- 1-** Mettre en place un "plan Marshall" pour les ponts visant à porter le montant des moyens consacrés par l'État à l'entretien de ses ouvrages d'art à 120 millions d'euros par an dès 2020 et à créer un fonds d'aide aux collectivités territoriales doté de 130 millions d'euros par an pendant dix ans, soit 1,3 milliard d'euros au total ;

SYNTEC-INGÉNIERIE : DES EXPERTISES MULTI-SECTEURS

Fort de ses 400 entreprises adhérentes, Syntec Ingénierie réalise des expertises dans tous les secteurs d'activité économique.

ENVIRONNEMENT - BIODIVERSITÉ : études sur la biodiversité, préconisation de mesures compensatoires, évaluation environnementale...

INDUSTRIE & ÉNERGIE : optimisation des chaînes de production, maximisation des performances énergétiques, robotisation des usines, maintenance prédictive...

BÂTIMENT : conception, contrôle et maintenance d'ouvrages intelligents, autosuffisants, HQE, conçus sous Building Information Modeling (BIM)...

CONSEIL EN TECHNOLOGIES : innovations produits, améliorations systèmes...

GÉOTECHNIQUE : prévention des risques sismiques, valorisation énergétique...

INFRASTRUCTURES : conception, contrôle et maintenance de réseaux ferrés, aéronautiques ou encore autoroutiers, interventions en faveur de la multimodalité et des mobilités connectées...

- 2-** Sortir d'une culture de l'urgence au profit d'une gestion patrimoniale des ponts en créant des outils pour améliorer la connaissance et le suivi des ponts, et en investissant davan-

tage dans les actions préventives à travers la mise en place d'une programmation pluriannuelle des travaux ;

- 3-** Apporter une offre d'ingénierie aux collectivités territoriales en aidant les petites collectivités à définir des procédures adaptées de surveillance et d'entretien de leurs ponts, en recréant une ingénierie territoriale accessible, et en favorisant la mutualisation de la gestion des ponts au niveau départemental ou intercommunal.

« C'est le grand principe sur lequel nous insistons chez Syntec-Ingénierie, ajoute Paul Galonnier. Nos ouvrages ont une valeur patrimoniale dont n'ont pas toujours conscience nos maîtres

d'ouvrage publics : valeur financière à reconstruction mais aussi valeur d'usage car, les contraintes qu'ils subissent sont généralement supérieures à celles imaginées lors de leur construction (trafic, climat, pollution, ...). Qu'il s'agisse d'un pont, d'une route ou de tout type d'infrastructure, leur bon entretien est essentiel pour préserver notre patrimoine commun.

Ce que nous souhaitons, c'est faire prendre conscience à nos maîtres d'ouvrage, quelle que soit leur taille, de l'importance du patrimoine qu'ils doivent maintenir en état de marche ». « C'est d'ailleurs ce que nous mettons en place au niveau de l'IDRRIM⁽¹⁾, dont Syntec Ingénierie est adhérent : proposer des stratégies et des méthodes aux maîtres d'ouvrage, en fonction des budgets disponibles, pour choisir de la façon à la fois la plus efficace possible et la plus économique, les travaux à réaliser. Une Région, un Département, une collectivité territoriale ou une intercommunalité, doivent avoir une vision globale de leur patrimoine et être en mesure de dégager des moyens de façon intelligente pour, d'abord, préserver ce patrimoine, et ensuite, en maintenant les usages dans les meilleures conditions de confort et de sécurité ».

RENFORCER LA CONNAISSANCE DES OUVRAGES D'ART

Dotée d'une voirie de plus d'un million de km, la France est l'un des pays qui dispose du réseau routier le plus dense d'Europe, dont 98 % est géré par les collectivités territoriales. Grâce à cet acquis, la France se hisse dans le peloton de tête des pays les plus attractifs d'Europe, ▷

5- Troisième pont sur le Bosphore en Turquie.

6- Pont Jacques Chaban-Delmas à Bordeaux (TP GC, GTM Sud, Vinci Construction, Cimolai, Egis, Lavigne & Chéron architectes).



5

© EGIS



6

© LAVIGNE & CHÉRON ARCHITECTES

mais elle doit en revanche faire face à un enjeu de régénération de ses réseaux existants et de gestion patrimoniale de ses ouvrages d'art qui se dégradent, dans un contexte budgétaire de plus en plus contraint.

« Ainsi, si cette question renvoie à la nécessité d'assurer un entretien régulier des ouvrages d'art, indique Paul Galonnier, qui garantit un bon niveau de service aux usagers, elle sous-tend un autre sujet prioritaire, celui du recensement exhaustif des ponts et de leur état, et de la sauvegarde des données existantes sur ces ouvrages. Outre les nombreux rapports et audits externes qui ont permis de mettre en exergue l'évolution de l'état des ouvrages d'art, il nous semble indispensable que la puissance publique se dote :

→ D'une part, d'outils de recensement et de suivi communs à l'ensemble des gestionnaires de ponts, afin de recueillir les dossiers des ouvrages (archives extrêmement précieuses

INDURA : ACCÉLÉRATEUR D'INNOVATION

Le cluster Indura Auvergne - Rhône-Alpes rassemble plus d'une centaine d'acteurs économiques, techniques et scientifiques issus du monde des infrastructures de transport et de l'énergie autour d'un objectif commun : développer ensemble des solutions innovantes répondant aux enjeux sociétaux et environnementaux actuels.

Créé fin 2009 par 22 membres fondateurs et labellisé "cluster" par la Région en décembre 2014, Indura est un accélérateur du processus d'innovation en faveur d'infrastructures toujours plus performantes, résilientes et économes.

Sa vocation : construire des infrastructures durables pour répondre aux besoins des territoires et de la collectivité grâce à la recherche et à l'innovation.

et souvent perdues au fil de la vie de l'ouvrage) et les rapports d'inspection, et d'être en capacité d'évaluer l'état de certains ponts ;

→ D'autre part, d'une structure nationale qui puisse consolider ces données pour évaluer l'état général des ponts ; l'Observatoire national de la

route (ONR) créé récemment pour mesurer l'état des réseaux routiers français et son évolution, et animé par l'IDRRIM, a toute sa place pour poursuivre cet objectif ».

Enfin, comme le propose la charte d'engagement de l'ONR⁽²⁾, il est important que les données recueillies (données

statiques et dynamiques) puissent être accessibles au plus grand nombre, pour qualifier l'état du patrimoine auprès des décideurs comme du citoyen, et stimuler le cas échéant l'émergence de nouveaux services à l'utilisateur comme aux maîtres d'ouvrage, pour rationaliser la gestion patrimoniale des ponts.

HIÉRARCHISER LES PONTS

Outre l'état des ponts qui est classé suivant un niveau de réparation nécessaire et de degré d'urgence d'intervention, il est indispensable d'établir une hiérarchisation des ouvrages d'art suivant une méthodologie, qui pourrait s'inspirer de celle utilisée dans le cadre de l'évaluation du risque sismique des ouvrages existants du réseau routier.

« Cette évaluation classe les ponts au moyen de trois indicateurs, indique Paul Galonnier : l'aléa sismique (probabilité physique d'un séisme en un point donné), leur vulnérabilité structurelle intrinsèque (caractéristiques du pont),



7- Couverture de la rocade dans le cœur de ville Angers Maine (Atelier Grether/Phytolab et SCE).

8- Gare Pont-de-Sèvres sur le tronçon T3A du Grand Paris Express (Ingerop : MOE complète).

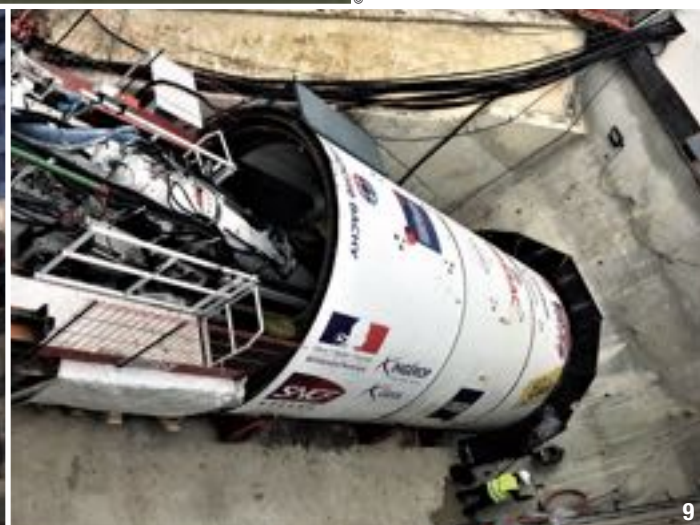
9- Tunnelier pour mise en sécurité d'un tunnel ferroviaire à Meudon (Ingerop : MOE complète).

7 © EIFFAGE



8

© INGEROP



9

© INGEROP



10

© LAVIGNE ARCHITECTE

et l'importance de l'ouvrage dans le réseau (gravité de la ruine de l'ouvrage, importance socio-économique)».

Cette hiérarchisation d'intervention serait ainsi basée sur ces deux derniers points et sur les méthodes de détermination liées déjà existantes, pouvant être actualisées : l'état structurel de l'ouvrage (classement IQOA) et son importance dans le réseau, en suivant la même méthode que pour le risque sismique. Cette méthodologie, déjà éprouvée, pourrait permettre d'établir une priorisation des ponts à étudier/entretenir/réparer en urgence.

SENSIBILISER LES MAÎTRES D'OUVRAGE

Le défaut d'entretien à titre préventif des ouvrages d'art est de nature à générer un surcoût que les maîtres d'ouvrage doivent mieux appréhender. Pour ce faire, il paraît important de sensibiliser les collectivités territo-

10- Viaduc de la Mayenne sur la déviation de Château Gontier, Mayenne (SCE Architecture et Ouvrage d'Art).

11- Place Jean Jaurès à Marseille (Sitetudes).

12- Boulevard Urbain Sud de Marseille (Ingerop : MOE complète).

riales à la gestion patrimoniale des ouvrages d'art, notamment à travers un travail de pédagogie sur les nécessaires actions préventives à engager. À ce titre, l'ingénierie propose une palette de services, qui ont fait leurs preuves, à l'étranger comme au niveau national. La définition du principe de réparation

est une phase très importante à ne pas occulter. À partir du diagnostic, l'ingénierie définit les réparations (de degré d'importance variable) et le calendrier d'intervention en collaboration avec le maître d'ouvrage (adéquation urgence/coût/budget). Le passage direct du diagnostic (voire de l'inspection seulement) aux travaux est plus rapide, mais comporte des risques de cadrage des travaux à effectuer et ne permet pas de phaser les dépenses. Le découpage en sous-opérations est moins économique, mais il permet de conserver le patrimoine en s'adaptant au plus près aux contraintes des finances publiques.

FAVORISER UNE VRAIE POLITIQUE D'ENTRETIEN

« L'un des objectifs de Syntec-Ingénierie, poursuit-il, est aussi de faciliter le recours à une politique d'entretien des ouvrages d'art pour les collectivités territoriales ne disposant pas de

ressources financières suffisantes ». Certaines communes peuvent ne pas disposer des capacités financières pour réaliser les investissements nécessaires à la réparation ou à l'entretien d'un pont dont elles ont la responsabilité. La loi du 8 juillet 2014 et son décret d'application du 10 mars 2017 ont permis de répartir les charges d'entretien des ouvrages d'art liés aux infrastructures de transport, notamment pour les collectivités disposant d'un potentiel fiscal de moins de 10 millions d'euros. « On pourrait aller plus loin, ajoute Paul Galonnier, en incitant les collectivités territoriales à mutualiser leurs dépenses d'investissement pour la maintenance de leur pont, en ayant recours aux groupements de commande, à l'échelle intercommunale ou départementale, qui leur permettent ainsi de réaliser des économies sur leurs politiques d'entretien et de mobiliser de bonnes compétences ».



11

© GUINTOLI



12

© INGEROP



13

© SYSTRA

GARANTIR DURABLEMENT LA SÉCURITÉ DES PONTS

La transition numérique est une opportunité pour la gestion des ouvrages d'art, qu'il s'agisse de développer de nouveaux matériaux pour garantir la pérennité des ouvrages, d'utiliser les nouveaux outils BIM et SIG pour mieux connaître et cartographier les ouvrages, de mettre en place des outils d'instrumentation ou d'analyse des données numériques "big data" pour surveiller leur comportement structurel, de développer de nouveaux services "smart" à la disposition des usagers et des maîtres d'ouvrage.

Les sociétés d'ingénierie sont au cœur de ce processus d'innovation-recherche, en partenariat avec les acteurs publics du secteur qui sont leurs interlocuteurs de référence. Elles sont disponibles pour nouer de nouveaux partenariats dans ce domaine. Il est nécessaire que les maîtres d'ouvrage puissent accompagner cette innovation, notamment au travers des critères d'attribution des marchés de conception et de travaux, en mettant en avant le sujet des modalités et coûts de maintenance et d'entretien ultérieurs des ouvrages.

DE BIM FOR VALUE (B4V) ...

Dans un tout autre domaine - celui du bâtiment - mais qui relève lui aussi des

sociétés d'ingénierie et des entreprises, le lancement de BIM For Value (B4V) illustre bien leur démarche novatrice. BIM For Value (B4V) a été élaboré par Syntec-Ingénierie avec six organisations professionnelles (CINOV, CNOA, EGF-BTP, FEDENE, FSIF et SBA) afin de définir un cadre de référence qui identifie l'ensemble des cas d'usage pour les différents cycles de vie d'un projet "construction" de la phase de programmation et de conception, en

13- Pont Champlain à Montréal, Canada (Systra).

passant par la construction jusqu'à celle d'exploitation et maintenance. Le premier cadre de référence des usages du BIM est désormais à la disposition de tous les professionnels du bâtiment.

Libre d'accès et destiné à tous les acteurs de la maîtrise d'ouvrage, de la conception, de la construction et de l'exploitation-maintenance, le cadre de référence B4V est le guide d'utilisation pour créer de la valeur avec la maquette numérique. L'émergence de la maquette numérique dans le bâtiment a fait naître des espoirs en termes de création de valeur.

B4V vient aujourd'hui préciser comment le BIM peut accroître la performance économique du projet, améliorer la maîtrise des délais, contribuer à une meilleure maîtrise des risques, renforcer la qualité environnementale du projet, amener de meilleurs services aux usagers et favoriser une meilleure appropriation du projet.

S'appuyant sur ces bénéfices, il offre un cadre aux maîtres d'ouvrage pour exprimer leurs attentes et les guider dans la contractualisation avec l'ensemble des intervenants. Une méthode propose ainsi de choisir les usages du BIM mis en œuvre tout au long de la vie du projet (programmation, conception, construction, exploitation, maintenance). Il apporte des solutions adaptées aux professionnels selon leur niveau de maturité en BIM, qu'ils soient architectes, ingénieurs, artisans, entreprises, exploitants, pour répondre aux attentes du maître d'ouvrage.

L'IDRRIM EN BREF

L'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) fédère l'ensemble des acteurs publics et privés de la communauté des infrastructures de transport. Plateforme d'échanges, il a vocation à répondre aux problématiques de ses adhérents, à concevoir des documents de référence et promouvoir le savoir-faire français à l'international. Créé en 2010, l'IDRRIM propose un espace de réflexion et d'actions pour co-produire et partager un référentiel commun constitué de normes, de bonnes pratiques et règles de l'art, d'outils méthodologiques.

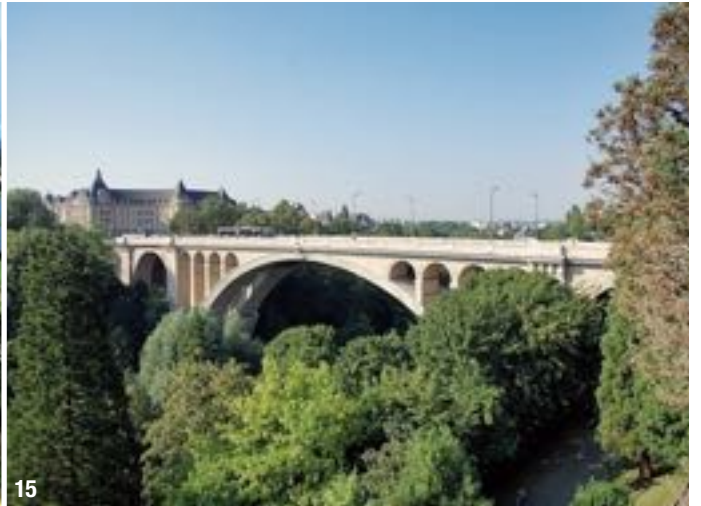
Lieu de convergence et d'échanges, l'Institut a pour objectif de répondre de manière homogène à des problématiques techniques ou stratégiques et de faire évoluer les patrimoines d'infrastructures et d'espaces publics vers une conception et une gestion durables ainsi qu'une plus grande optimisation de leur utilisation.

Avec ses 50 membres représentatifs des secteurs publics et privés et la mobilisation permanente de plus de 300 personnes au sein de ses 9 comités opérationnels, l'IDRRIM représente aujourd'hui un véritable label de confiance et de fiabilité pour tous ses partenaires.



14

© VINCI PHOTO LIBRARY



15

© BG

Le cadre de référence leur permet ainsi de s'organiser, de mieux collaborer entre eux, et surtout de progresser dans leur pratique du BIM.

Utilisable gratuitement, B4V peut être mis en œuvre sur tout projet de bâtiment (tertiaire, résidentiel, industriel, hospitalier...), quelle que soit sa taille.

... À MINnD

Alors que BIM for Value concerne exclusivement le bâtiment, son équivalent pour les infrastructures est en cours de réalisation dans le cadre du projet MINnD auquel Syntec Ingénierie est associé.

Lancé en 2014, le Projet National de recherche MINnD ("Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables" -

14- Pont de l'Atlantique, 3^e pont sur le canal de Panama (Systra).

15- Réhabilitation du pont Adolphe à Luxembourg Ville (BG).

16- Tunnel de la Croix Rousse à Lyon (Egis).

www.minnd.fr) s'est concentré sur la structuration des informations utilisées pour modéliser les infrastructures dans leurs phases de conception, de construction et d'exploitation. Il s'agit là d'une démarche unique en Europe.

NOTRE DAME DE PARIS : DES EXPERTISES POUR LA RECONSTRUCTION

Bien qu'il ne s'agisse pas stricto sensu d'un ouvrage d'art, mais d'un monument hautement symbolique du patrimoine architectural français, il aurait été dommage de ne pas mentionner dans ce reportage l'implication de Syntec-Ingénierie dans les expertises réalisées pour la reconstruction de Notre Dame de Paris.

Rappelons que, le 15 avril 2019, la cathédrale de Paris était la proie d'un spectaculaire incendie endommageant la plus grande partie du bâtiment.

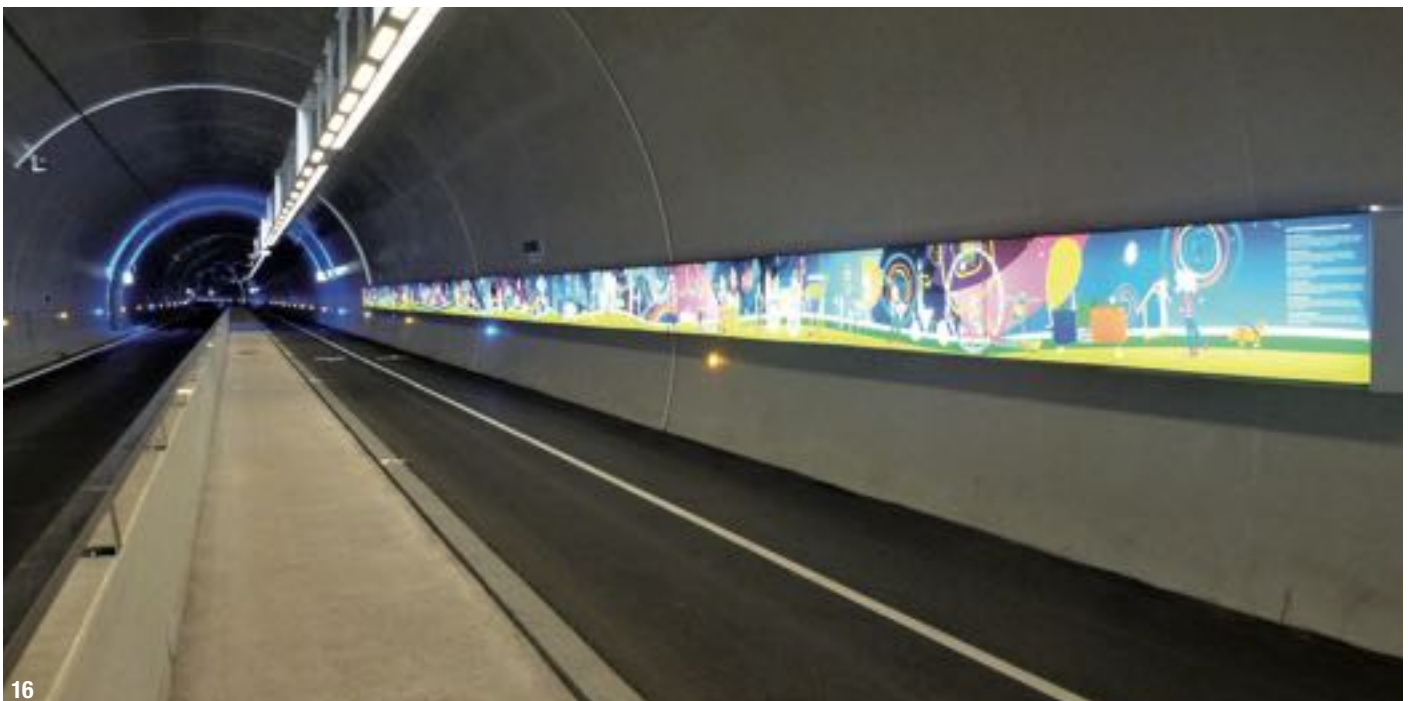
Syntec-Ingénierie et ses entreprises adhérentes ont manifesté leur souhait d'une implication concrète dans la grande cause nationale que représente

la réhabilitation de cet élément patrimonial d'importance majeure.

Ils ont proposé de mobiliser l'expertise et le savoir-faire des équipes de ses adhérents en matière d'infrastructures, de bâtiment, de modélisation de structures, de matériaux et de mise en place de dispositifs contractuels ou de techniques spécifiques. Pour cela, un appel à candidatures a été lancé auprès des équipes des adhérents de Syntec-Ingénierie, aboutissant à plusieurs propositions. Syntec-Ingénierie a pris soin de rencontrer les interlocuteurs désignés par les pouvoirs publics pour la gestion de ce chantier d'envergure. □

1- **IDRRIM** : Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité.

2- **ONR** : Observatoire National de la Route.



16

© EGIS - SÉBASTIEN FOURNIER



1a

© EIFFAGE GC

REQUALIFICATION DE L'ÉCHANGEUR A14-A86 NANTERRE - HAUTS-DE-SEINE

AUTEURS : JEAN-LOUIS REVEILLOUX, DIRECTEUR TRAVAUX, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - GUILLAUME BERGER, RESPONSABLE DU MARCHÉ B5, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - VINCENT GORRE, RESPONSABLE DU MARCHÉ ACP, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE

AVEC UN TRAFIC D'ENVIRON 100 000 VÉHICULES PAR JOUR, L'ÉCHANGEUR A14-A86 EST UN SITE QUE DE NOMBREUX FRANCILIENS CONNAISSENT EN TRAVAUX DEPUIS 25 ANS. L'ÉTAT RÉALISE EN CE MOMENT CE QUI POURRAIT ÊTRE LA DERNIÈRE ÉTAPE DE L'OPÉRATION : L'ENFOUISSEMENT DE LA BRETELLE B5 ET LE RÉTABLISSEMENT DE L'AVENUE DE LA COMMUNE DE PARIS. L'OBJECTIF DES COFINANCEURS EST DE PERMETTRE L'AMÉNAGEMENT DU CENTRE DE L'ÉCHANGEUR EN QUARTIER URBAIN DANS LA CONTINUITÉ DES TERRASSES DE NANTERRE ET DU PARC DU CHEMIN DE L'ÎLE.

LE CONTEXTE DU PROJET

Mis en service à partir de 2003, l'échangeur A14-A86 sur la commune de Nanterre (92) est une zone d'échanges structurante du réseau routier francilien dans les liaisons nord/sud et ouest/est. Il se prolonge vers le tunnel de Nanterre - La Défense au sud et vers la tranchée couverte de l'A86 à l'ouest. Il comporte 5 bretelles⁽¹⁾ d'échanges couvertes, aux trajectoires circulaires et inscrites dans un diamètre de 240 m, se répartissant sur trois niveaux souterrains. L'échangeur a vu ses premiers travaux lancés en 1994 (déclaration d'utilité publique en 1992), il s'agit du premier échangeur en Europe conçu entièrement souterrain (figures 1a & 1b).

La présente opération menée par la Direction des Routes Île-de-France (DiRIF) consiste à enfouir la bretelle B550, dernière bretelle encore aérienne. Celle-ci permet la liaison depuis l'A14 ouest vers l'A86 nord, elle sera nommée "B5".

L'opération prévoit également d'aménager la sortie de l'A14 Ouest sur l'Avenue de la Commune de Paris (bretelle B640) ainsi que de redresser le tracé de l'avenue de la Commune de Paris (nommée "ACP") dans sa position originelle, c'est-à-dire parallèle à l'A86. Les objectifs de l'opération sont multiples : il s'agit surtout d'améliorer le cadre de vie des riverains en réduisant les nuisances sonores et visuelles, d'assurer une meilleure intégration

1a- Vue générale du chantier zone Ouest.

1a- General view of the West area of the site.

urbaine du réseau routier national et de permettre un aménagement en surface de l'échangeur.

Les phases antérieures du projet ont fait l'objet de l'article "L'échangeur A14-A86 à Nanterre, un projet complexe majeur dans un environnement urbain dense", publié dans la revue *Travaux* n°751 de mars 1999.

L'ENFOUISSEMENT DE LA BRETELLE B5

UNE CONCEPTION DANS LA DURÉE

Dès la déclaration d'utilité publique, l'échangeur a été conçu dans sa globalité et toutes les bretelles ont alors été définies, avec un niveau de définition de type faisabilité, du point de vue de la géométrie routière. Les études de structure se sont ensuite échelonnées en suivant le phasage de réalisation de l'ouvrage : l'A14, l'A86, la bretelle B1, etc. La dernière phase de travaux réalisée sur l'échangeur date du début des années 2000 avec la mise en service des bretelles B3 et B4 (figure 2). Le projet d'enfouissement de la bretelle B5 a fait l'objet d'un appel d'offre de maîtrise d'œuvre en 2010.

La mission confiée à Ingérop démarrait avec les études de niveau Projet qui faisait suite à un dossier d'Avant-Projet Sommaire réalisé en 2001. La première tâche du maître d'œuvre a été d'actualiser de nombreux pans de la conception puisque qu'entre 2001 et 2010 il y avait eu de nombreuses évolutions réglementaires qu'il fallait prendre en considération dans le dossier Projet. Les deux évolutions principales ont été la publication de l'Instruction technique relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels routiers, d'une part, et la sortie des Eurocodes, d'autre part.

Les pièces graphiques du dossier Projet (remis au maître d'ouvrage en 2011) ont naturellement été réalisées avec les outils traditionnels de dessin par ordinateur. Les nombreux détails réalisés sur les pièces graphiques ont permis de mettre en évidence un défaut de conception datant de 2001 : le cadre de la bretelle B3 émergeait dans la chaussée de B5. Il a donc fallu modifier le profil en long de la bretelle pour échapper à cette structure.

Dans le Dossier de Consultation des Entreprises (remis en 2017), le maître d'œuvre avait mis en avant la complexité géométrique du projet, aussi les entreprises ont-elles toutes fait le choix, dès leur offre, de travailler en BIM. Au cours de la période de préparation, les nombreuses archives de l'échangeur ont donc été modélisées de sorte à intégrer de la façon la plus fine possible les structures existantes



© PHILIPPE GUIGNARD/AIR-IMAGES.NET

1b- Vue aérienne de l'échangeur : continuité des terrasses de l'Arche de la Défense.

2- Géométrie de l'échangeur à sa conception.

1b- Aerial view of the interchange: continuity of the Arche de la Défense terraces.
2- Geometry of the interchange in the design stage.

dans les études d'exécution. Ce choix s'est avéré pertinent par la suite puisque plusieurs *clashes* sont encore apparus au démarrage des études.

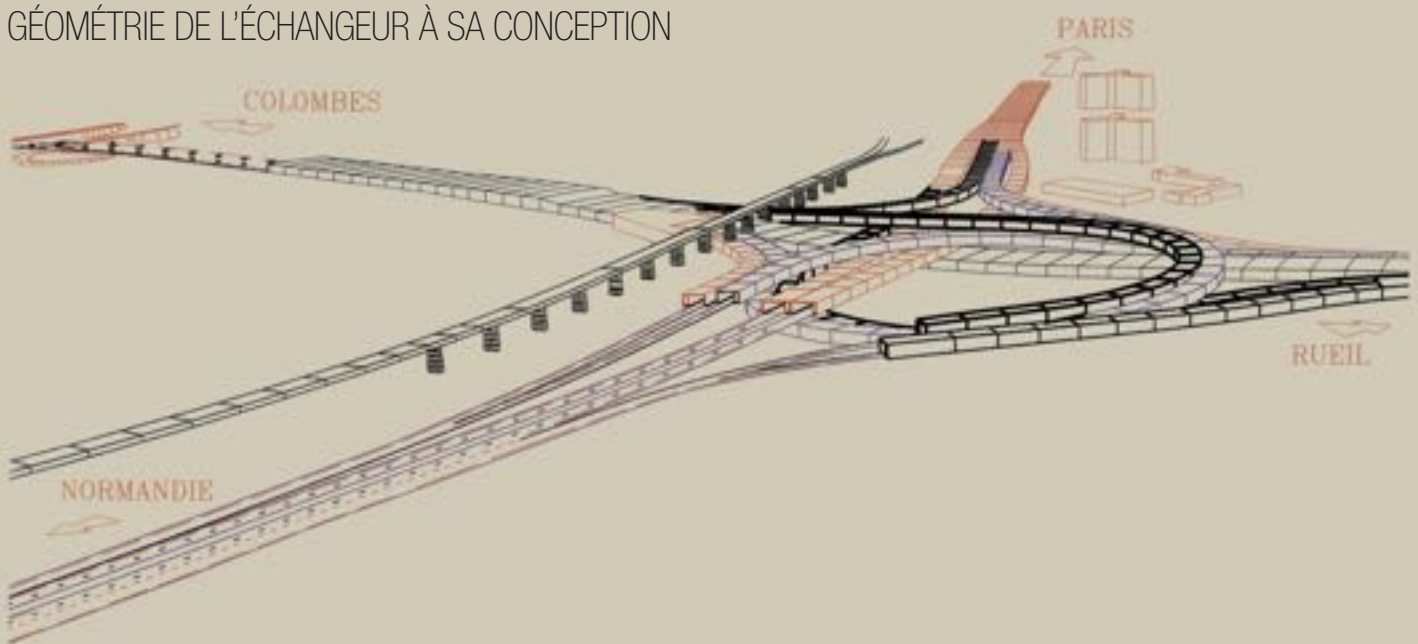
UNE STRUCTURE AUX MULTIPLES INTERFACES

La structure de la bretelle B5 est relativement simple puisqu'il s'agit d'un cadre en béton armé constitué d'un espace routier d'environ 8,00 m de large et d'une gaine latérale de 2,00 m de large. Cette gaine est elle-même divisée en deux volumes : le volume supérieur servant à l'extraction de l'air vicié et le volume inférieur

utilisé pour le soufflage de l'air neuf. La complexité du projet est due au fait que cette structure est posée sur de nombreuses structures existantes. Sur les 470 m de cadre à réaliser, les structures de la bretelle B5 s'appuient successivement sur les structures de B3, de B1, de l'A86, de l'A14W, de l'A14Y et encore de B1. De plus, il faut noter que, sur 240 m, le piédroit droit de B5 est un prolongement du piédroit gauche de B3. Il faut enfin intégrer que chaque ouvrage existant a sa propre variation de profil en long et de dévers transversal. C'est cette succession de cas singuliers qui est à l'origine de la complexité géométrique évoquée ci-dessus (figure 3).

D'un point de vue structure, il a fallu retrouver les notes de calcul des structures inférieures pour vérifier qu'elles prévoyaient bien les descentes de charges des structures futures. Dans la majorité des cas, il n'y a pas eu de mauvaise surprise sur ce sujet. Une analyse approfondie de ces documents a également permis de retrouver la façon dont les structures de B5 avaient été prises en compte : calcul du piédroit en poutre-voile, présence d'un joint de dilatation lors du passage d'une structure à une autre, etc. On a même pu mettre en évidence les dispositions constructives conservatoires mises en œuvre pour B5. Ainsi, certaines structures prévoyaient des manchons en attente ; d'autres avaient anticipé la mise en œuvre des armatures de liaison (figure 4). ▷

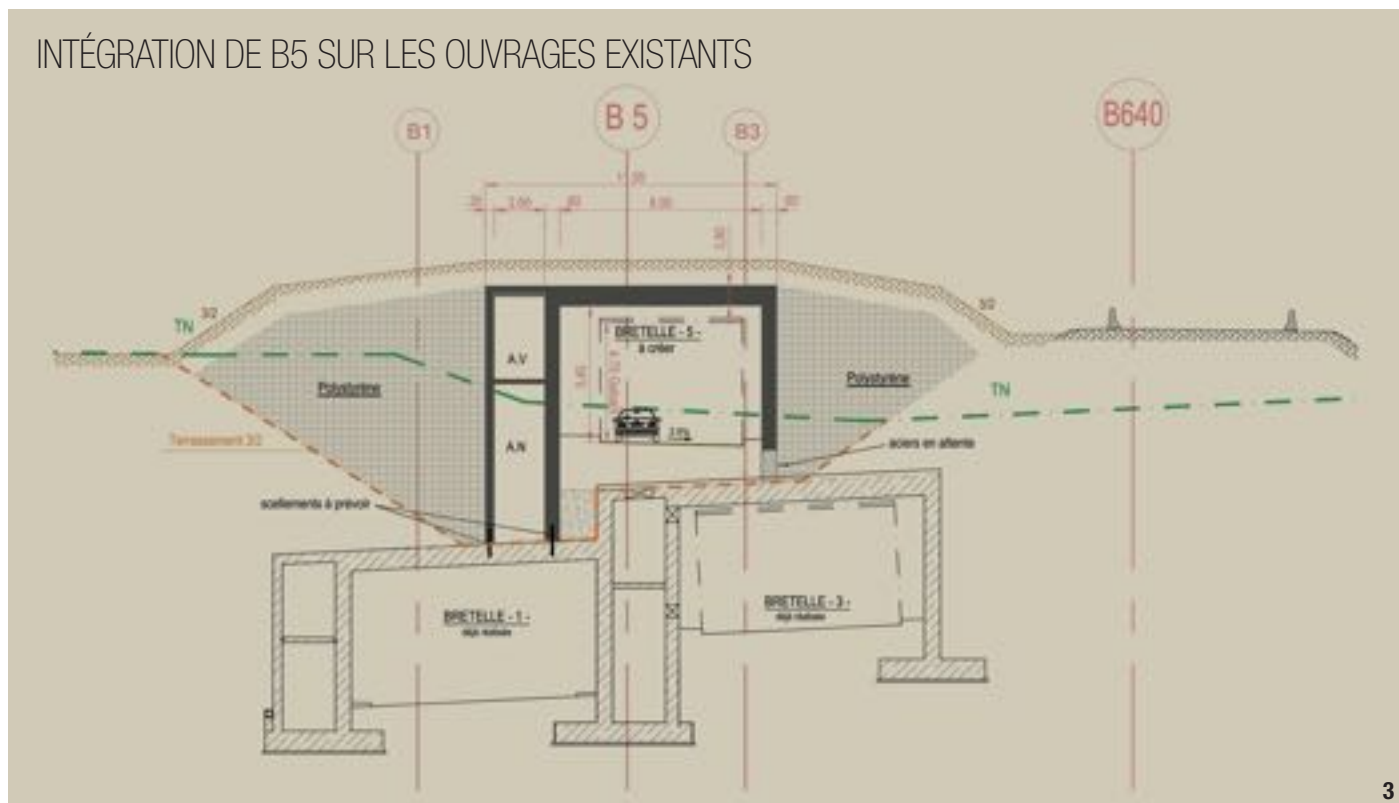
GÉOMÉTRIE DE L'ÉCHANGEUR À SA CONCEPTION



2

© INGÉROP

INTÉGRATION DE B5 SUR LES OUVRAGES EXISTANTS



3

Du fait de l'évolution réglementaire sur le comportement au feu des tunnels routiers, il a été nécessaire de prévoir la mise en place d'une protection au feu rapportée sur les structures existantes. Pour les nouvelles structures, le maître d'ouvrage a souhaité recourir à un béton à fibres de polypropylène permettant de limiter l'écaillage à 3 cm sous un feu HCM⁽²⁾ d'une durée de 120 minutes. À l'issue du processus de validation réalisé via des essais de convenance exécutés au Cerib, il a été retenu une formulation contenant 1,5 kg de fibres par mètre cube de béton.

pour pouvoir, par la suite, raccorder le futur réseau incendie de B5. Cette difficulté d'intégration des équipements dans un système existant apparaît physiquement sur le terrain (ainsi, par exemple, le raccordement des câbles électriques nécessite de mettre au point un phasage particulier d'intervention) et virtuellement dans les logiciels de supervision (avec, par exemple, l'intégration de la GTC⁽⁶⁾ de la bretelle B5 à la GTC de l'ensemble de l'ouvrage).

Il est intéressant de rappeler que, dans le cadre du vaste projet de moderni-

3- Intégration de B5 sur les ouvrages existants.
4- Aciers doux en attente sur l'A86 et aciers HA sur B3.

3- Integration of B5 into the existing structures.
4- Mild steel bars on standby on the A86 and high-adhesive-strength steels on B3.

sation des tunnels routiers d'Île-de-France, le tunnel de Nanterre - La Défense a été l'objet de deux importants chantiers de mise en sécurité de ses équipements en 2008 (marchés transversaux) et 2010 (marchés spécifiques).

Ces projets avaient anticipé l'arrivée prochaine de la bretelle B5 et avaient ainsi pris certaines mesures conservatoires comme une réserve de capacité dans le bilan de puissance de l'installation HT. Ces dispositions ont permis d'éviter des travaux de requalification des installations existantes.

DE MÊME POUR LES ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ DU TUNNEL

Les équipements du tunnel présentent une caractéristique similaire d'interface complexe : ils doivent, eux aussi, s'intégrer dans l'ouvrage existant du tunnel de Nanterre - La Défense. Ainsi, la boucle haute tension de la bretelle est intégrée dans la boucle de l'échangeur (de même pour tous les autres réseaux : RTHD⁽³⁾, RAU⁽⁴⁾, etc.). Là aussi, une analyse approfondie des archives de l'échangeur (jumelée à de nombreuses visites de l'ouvrage !) ont permis de retrouver certaines mesures conservatoires prises dans les phases antérieures de travaux. Par exemple, lors de la réalisation du réseau incendie des bretelles B3 et B4, la mise en place de brides en attente avait été anticipée



4



5

© INGÉROP



6a

© EIFFAGE GC

LE RÉTABLISSEMENT DE L'AVENUE DE LA COMMUNE DE PARIS

Une fois la bretelle B5 mise en service, il est alors possible de déposer l'ouvrage de franchissement de l'avenue de la Commune de Paris (ACP) par la bretelle B550 alors désaffectée. Cette opération permet de modifier le tracé de l'avenue de la Commune de Paris jusqu'alors bloqué par cet ouvrage. Le rétablissement de l'ACP sur son tracé historique parallèle à l'A86 permet de libérer la surface de l'échangeur d'emprises routières et donc d'envisager la construction d'un nouveau quartier à Nanterre. Le projet d'aménagement de ce quartier sera mené par l'Établissement Public d'Aménagement de Paris - La Défense.

5- Remblai en polystyrène expansé.

6a- Piste de chantier entre amorces de voiles.

6b- Amorces des voiles zone Est.

5- Expanded polystyrene backfill.

6a- Worksite path between starting sections of walls.

6b- Starting sections of walls in East area.

LE PROJET PAYSAGER

Lors de la conception initiale de l'échangeur, au début des années 1990, un projet paysager simpliste avait été mis au point, dont l'objectif principal était de reconstituer un terrain naturel le plus horizontal possible à la cote 32,00 NGF. Cette cote avait été retenue car elle était celle du nivellement historique du terrain à cet endroit. Seulement cette cote ne permettait pas d'enfouir toutes les structures de l'échangeur. Ainsi, sur les reconstitutions jointes au dossier de DUP, on voit que les structures de B5 émergeaient sur toute la partie Ouest du projet. De même, on voit que le rétablissement de l'avenue de la Commune de Paris était envisagé en viaduc de façon à pouvoir franchir les structures de la bretelle B7.

Au démarrage du projet d'enfouissement de la bretelle B5, le maître d'ouvrage, en concertation avec l'Établissement de Paris - La Défense (Epld), a modifié le projet paysager. Il n'était plus envisageable de voir des structures émerger du terrain ; il fallait toutes les faire disparaître ! Certaines zones du projet voyaient donc leur nivellement rehaussé de 32,00 NGF à 34,50 NGF. Cette modification d'hypothèse n'était pas tant gênante pour les nouvelles structures directement dimensionnées avec la bonne hypothèse que pour les structures existantes dimensionnées avec l'ancienne hypothèse. Les calculs ont montré que les structures de la zone Ouest n'étaient pas capables de reprendre les efforts dus à cette hypothèse modifiée.

Il a alors été envisagé de mettre en œuvre des remblais allégés sur les structures de B3 et B1 de sorte à limiter les efforts se reportant sur les structures inférieures. Cette solution technique est simple à mettre en œuvre et présente l'avantage d'être facilement adaptable aux besoins réels du projet paysager en cours de mise au point par l'Epld (figure 5).

LA PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT

Le dossier d'utilité publique étant assez ancien, le maître d'ouvrage a souhaité actualiser l'état initial environnemental du site. Laissé en friche entre chaque phase de travaux, ce site a été colonisé par de nombreuses espèces animales et végétales. Parmi les espèces recensées, la Renouée du Japon est assurément la plante invasive la plus délicate à traiter. Il a été envisagé deux solutions pour lutter contre cette espèce : l'enfouissement à très grande profondeur et l'incinération.



6b

© GÉRARD ROLLANDO



7a

© GÉRARD ROLLANDO

Pour limiter au maximum les risques de repousse d'une part et les risques de dispersion au cours d'un transport sur le chantier, l'entreprise a finalement retenu la solution d'incinération. Cette solution permet également de moins perturber le cadencement linéaire des travaux. Le marché prévoit une clause d'insertion par l'activité économique. Cette clause est très représentative puisque sur la totalité de l'opération les titulaires des marchés B5 et ACP doivent compatibiliser pas moins de 22000 heures de travail d'insertion, ce qui représente approximativement six personnes à temps plein pendant toute la durée du chantier !

Le caractère très urbain du projet (le site est entouré des quartiers Hoche, Rathelot et Papeteries) a dicté certaines méthodes de travail. Pour récupérer les aciers en attente noyés dans du gros béton, Ingérop avait imaginé recourir à de l'hydrodémolition afin de ne pas abîmer les aciers. Lors de la réalisation du plot d'essai, le résultat obtenu était positif : les aciers étaient comme neufs. Malheureusement, les acteurs ont réalisé que ce procédé n'était pas compatible avec les exigences de limitation des nuisances sonores du chantier. Eiffage Génie-Civil est donc revenu à un procédé plus standard de type BRH.

LES TRAVAUX

En phase Réalisation, les complexités géométriques de la bretelle ont nécessité de mettre au point une méthodo-

logie de travaux détaillée. Les altitudes très variables des appuis se sont avérées être une difficulté importante de la phase terrassement. Comment disposer d'une piste permettant de franchir ces dénivelés tout en permettant la construction des appuis ? Pour résoudre ce problème, Eiffage Génie-Civil a eu l'idée de réaliser une première levée des piédroits de façon anticipée. Cette

**7a & 7b-
Réalisation
des facettes
du cadre.**

**7a & 7b-
Execution of
facets of the
frame.**

première levée présentait le double avantage de permettre, dans un premier temps, d'installer rapidement une piste de chantier dans le cadre et, dans un deuxième temps, de réaliser l'ensemble des piédroits selon une hauteur quasiment constante (figures 6a & 6b). Le deuxième sujet délicat du chantier du point de vue des méthodes était la réalisation du long voile courbe (piédroit



7b

© GÉRARD ROLLANDO



8a
© GÉRARD ROLLANDO



8b
© GÉRARD ROLLANDO

gauche du cadre). Alors que le maître d'œuvre avait conçu un voile parfaitement courbe pour pouvoir facilement récupérer les aciers en attente en pied de piédroit, Eiffage Génie-Civil a opté pour un voile à facette. Ce choix venait perturber la récupération des aciers puisque ceux-ci ne se trouvaient alors plus dans l'axe des voiles. Eiffage a alors mis à profit la première levée des piédroits pour récupérer les aciers (figures 7a & 7b).

8a- Aciers en attente pour la réalisation de la traverse.

8b- Table coffrante de la traverse.

8a- Steel bars on standby for execution of the cross member.

8b- Casting table for cross member.

Il est intéressant de noter que, fait rare en travaux publics, Eiffage a opté pour des moyens de levage fixes. Au démarrage du chantier ont donc été installées sur le site cinq grues à tour permettant de couvrir l'ensemble du linéaire de la bretelle. Ce choix, combiné au recours à deux tables coffrantes de 26 t à hauteur, largeur et devers réglables, pour la réalisation des traverses du cadre (une pour la zone Ouest et une pour la zone Est), présente l'avantage de bien maîtriser les cadences de travaux (figures 8a & 8b). □

⁽¹⁾ La numérotation des bretelles est la suivante : **B1** va de A14-Paris vers A86-Rueil-Malmaison ; **B2** va de A14-Paris vers A86-Colombes ; **B3** va de A86-Colombes vers A14-Paris ; **B4** va de A86-Colombes vers A14-Normandie ; **B5** va de A14-Normandie vers A86-Colombes ; **B6** va de A14-Normandie vers A86-Rueil-Malmaison ; **B7** va de A86-Rueil-Malmaison vers A14-Normandie et **B8** va de A86-Rueil-Malmaison vers A14-Paris.

⁽²⁾ **HCM** : HydroCarbure Majorée : courbe température-temps enveloppe de tous les incendies rencontrés en tunnel, et à ce titre maximal.

⁽³⁾ **RTHD** : Réseau Très Haut Débit.

⁽⁴⁾ **RAU** : Réseau d'Appel d'Urgence.

⁽⁵⁾ **GTC** : Gestion Technique Centralisée.

PRINCIPALES DIMENSIONS ET QUANTITÉS

DIMENSIONS DE L'OUVRAGE

LARGEUR DU CADRE : 8 m pour l'espace trafic et 2 m pour la gaine de ventilation

LONGUEUR DU TUNNEL : 550 m dont 470 m de couverture neuve et 80 m de couverture existante

CHAUSSÉE : 825 m de linéaire constituant une surface de 6500 m²

COMPOSANTS DE L'OUVRAGE

BÉTON : 15 500 m³

ACIER : 1 950 000 kg

DÉBLAIS : 60 000 m³ dont 15 000 m³ mis en stock

REMBLAIS (terre + remblai allégé) : 80 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : DRIEA

COFINANCEURS : État (26,6%), Région Île-de-France (26,6%), Établissement Public Paris - La Défense (31,2%), Département des Hauts-de-Seine (13,9%), Ville de Nanterre (1,7%)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingérop Conseil et Ingénierie

GROUPEMENT EN CHARGE DE L'ENFOUISSEMENT DE B5 :

Eiffage Génie Civil (mandataire), Eiffage Génie-Civil Réseaux, Eiffage Energie, Eiffage Thermie, Clemessy

GROUPEMENT EN CHARGE DU RÉTABLISSEMENT DE ACP :

Watelet Travaux Publics (mandataire), Eurovia, Segex, Ineo Infrastructures

ABSTRACT

RENOVATION OF THE A14-A86 INTERCHANGE, NANTERRE - HAUTS-DE-SEINE

JEAN-LOUIS REVEILLOUX, INGÉROP - GUILLAUME BERGER, INGÉROP - VINCENT GORRE, INGÉROP

The major difficulty of the project to place underground the B5 slip road of the A14-A86 interchange and restore the Commune de Paris avenue in Nanterre is that it comes within an extremely complex structure in service, the Nanterre - La Défense tunnel. This difficulty is on several levels. On the design level: definition of structural geometry, integration of safety equipment into the existing system, etc. On the execution level: development of an execution methodology adapted to the structure's geometry, allowance for the existing environment, etc. On completion of this project, the waste land in the centre of the interchange (about 15,000 m²) could be developed as a city district. □

RECALIFICACIÓN DEL INTERCAMBIADOR A14-A86 NANTERRE - DPTO. ALTOS DEL SENA (FRANCIA)

JEAN-LOUIS REVEILLOUX, INGÉROP - GUILLAUME BERGER, INGÉROP - VINCENT GORRE, INGÉROP

La principal dificultad del proyecto de soterramiento de la vía de acceso B5 del intercambiador A14-A86 y de restablecimiento de la avenida de la Commune de Paris en Nanterre es que se inscribe en el marco de una construcción en servicio y eminentemente compleja: el túnel de Nanterre - La Défense. Esta dificultad se expresa en distintos planos. En el plano del diseño: definición de la geometría de la obra, integración de los equipos de seguridad en el sistema existente, etc. En el plano de la realización: creación de una metodología de realización adaptada a la geometría de la obra, respeto del entorno existente, etc. Al término de este proyecto, los terrenos situados en el centro del intercambiador (unos 15.000 m²) podrán rehabilitarse como barrio de la ciudad. □

A75 - OUVRAGE D'ART DE LA RD212 À AUBIÈRE

AUTEURS : ARNAUD DUCROUX, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CLÉMENT DECRENISSE, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - ÉTIENNE DEPALLE, CHEF DE PROJET DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE ÉTUDES, ARCADIS - GÉRALD DURAND, CHARGÉ DE PROJET, GAGNE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

L'ÉLARGISSEMENT À 2X3 VOIES DE L'AUTOROUTE A75 ENGAGÉ PAR APRR SUR UN TRONÇON DE 10,5 km AU DROIT DE CLERMONT-FERRAND, NÉCESSITE LA RECONFIGURATION DE PLUSIEURS OUVRAGES D'ART DONT CELUI DE LA RD212 À AUBIÈRE DANS LE PUY-DE-DÔME. LA TECHNIQUE DE CONSTRUCTION UTILISÉE POUR CET OUVRAGE PAR LE GROUPEMENT EIFFAGE GÉNIE CIVIL/GAGNE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE/ARCADIS, EST CELLE DE LA PRÉFABRICATION DU TABLIER SUR UNE AIRE SITUÉE À 500 M DU SITE, PUIS SON TRANSFERT À L'AIDE DE TRANSPORTEURS MODULAIRES AUTOPROPULSÉS.



1

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

CONTEXTE DE L'OPÉRATION

L'ouvrage de la RD212 s'inscrit dans le cadre du plan de relance autoroutier et plus particulièrement dans le cadre de la mission confiée par l'État à Aprr afin de reprendre l'exploitation et mettre à 2x3 voies l'autoroute A75, entre la jonction avec l'A71 à Clermont-Ferrand et l'échangeur de Saint-Amant-Tallende (n°5), situé sur la commune du Crest. La longueur totale du tronçon d'A75 concerné est de 10,5 km (figure 2).

La section concernée par l'élargissement à 2x3 voies accueille un trafic en constante augmentation (jusqu'à 80000 véhicules/jour) et des difficultés de circulation importantes sont enregistrées, notamment aux heures de pointe le matin et le soir. Ces difficultés sont aggravées lors des grands chassés-croisés des vacances d'été. Les objectifs de l'élargissement sont d'améliorer la fluidité, de renforcer la sécurité, tout en préservant l'environnement.

1- Déplacement du tablier du pont sur l'autoroute vers ses culées en attente.

1- Moving the bridge deck over the motorway to its waiting abutments.

Compte-tenu du profil actuel de l'autoroute et de la faible largeur du terre-plein central, les nouvelles voies sont construites à l'extérieur, juste à côté des 2 voies existantes. 15 ouvrages d'art sont concernés par l'élargissement à 2x3 voies dont 6 ponts supérieurs, ce qui constitue un défi technique pour la gestion des circulations locales. L'ouvrage d'art de la RD212 se situe sur la commune d'Aubières et permet de relier les communes de Cournon-

d'Auvergne et Aubière. L'implantation des piles de l'ancien passage supérieur de la RD212 était incompatible avec une reconfiguration à 2x3 voies. Aprr a décidé de lancer un dialogue compétitif qui s'est déroulé de février à juin 2018, et qui avait pour objectif d'étudier et de chiffrer deux solutions d'ouvrage : une solution d'ouvrage neuf et une solution de réhabilitation d'ouvrage existant. C'est finalement la solution de l'ouvrage neuf proposée par le groupement Eiffage Génie Civil/Gagne Construction Métallique/Arcadis, qui a été retenue par Aprr à l'issue du dialogue compétitif. Le marché a été notifié durant le dernier trimestre 2018 pour une durée de 12 mois y compris la période de préparation de 2 mois. L'ouvrage a fait l'objet d'une Étude Préliminaire d'Ouvrage d'Art dans le cadre du dialogue compétitif, puis d'une phase PRO et d'une phase EXE.

PRÉSENTATION DES CONTRAINTES DU SITE

Les contraintes du site sont multiples. Les principales sont décrites ci-après. Tout d'abord, l'environnement de l'ouvrage est fortement urbanisé avec la présence de concessionnaires automobiles et de magasins jouxtant l'ouvrage et, dans un périmètre plus large, la présence de nombreux commerces.

Du fait de la nature des activités exercées par les sociétés implantées à proximité de l'ouvrage, un accès leur a été assuré durant toute la durée du chantier. De plus, les parcelles sur les-



© PHOTOTHÈQUE APRR

2- Carte de situation.
3- Perspective maquette BIM.

2- Location map.
3- Perspective view of BIM model.

quelles sont implantées les différentes sociétés sont déjà très occupées par celles-ci (stock de véhicules ou de matériels, parking pour les clients, etc.). Par conséquent, l'élargissement des emprises foncières définitives de l'ouvrage n'a pas été possible et les emprises temporaires durant le chantier ont été très restreintes. La RD212 reçoit également un trafic important, ce qui a conduit Aprr à

limiter le nombre de jours de coupure à 9 jours au total, afin de réduire au maximum la gêne occasionnée aux usagers. L'A75 connaît également un trafic conséquent, c'est pourquoi Aprr a limité le nombre de nuits de coupure à 20 nuits pour l'ensemble des ouvrages. La coupure ponctuelle de la RD212 et de l'A75 a nécessité la mise en place de déviations provisoires locales en relation avec la préfecture du Puy-de-Dôme.

La présence de nombreux réseaux sur le tablier de l'ouvrage existant et sur la plateforme autoroutière est également une contrainte majeure. En effet le tablier supporte, notamment, deux conduites d'eau potable (600 mm et 150 mm de diamètre), de nombreux réseaux de télécommunication y compris la fibre optique, un réseau de gaz de 110 mm de diamètre et des réseaux d'éclairage public. L'A75 comporte quant à elle un réseau de fibre optique longue distance au niveau du terre-plein central et un réseau d'eaux usées au niveau de la culée Ouest de l'ouvrage existant.

La contrainte liée à l'A75 réside également dans le tirant d'air de 4,85 m à dégager sous le tablier de l'ouvrage et dans l'effort de choc de véhicules de 500 kN à considérer sur le tablier.

Par ailleurs, conformément au décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, l'ouvrage est situé en zone de sismicité 3 "modérée".



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

Enfin, concernant la géotechnique, la couche porteuse composée de marnes raides est présente à environ 5 à 7 m de profondeur sous la plateforme autoroutière, ce qui constitue une contrainte forte pour les fondations de l'ouvrage.

CONCEPTION DE L'OUVRAGE

La conception du nouvel ouvrage de la RD212 a tout d'abord été guidée par l'épaisseur et la largeur du tablier de l'ouvrage existant. En effet l'ouvrage existant mesure 17,85 m de largeur et comporte un tablier en béton précon-

trait de 0,54 m d'épaisseur au niveau du toit. Cet élanement transversal très important a conduit rapidement le groupement à proposer à Aprr un tablier à poutrelles enrobées. L'élanement final retenu pour les poutrelles est de L/35 (figures 3 et 4).

Contrairement à l'ouvrage existant qui comportait trois piles intermédiaires, le groupement a orienté la conception dans le but de s'affranchir d'un appui intermédiaire. Le choix d'un ouvrage isostatique a permis de réduire considérablement les travaux à effectuer sur

4- Coupe longitudinale de l'ouvrage.

5- Coupe transversale fonctionnelle.

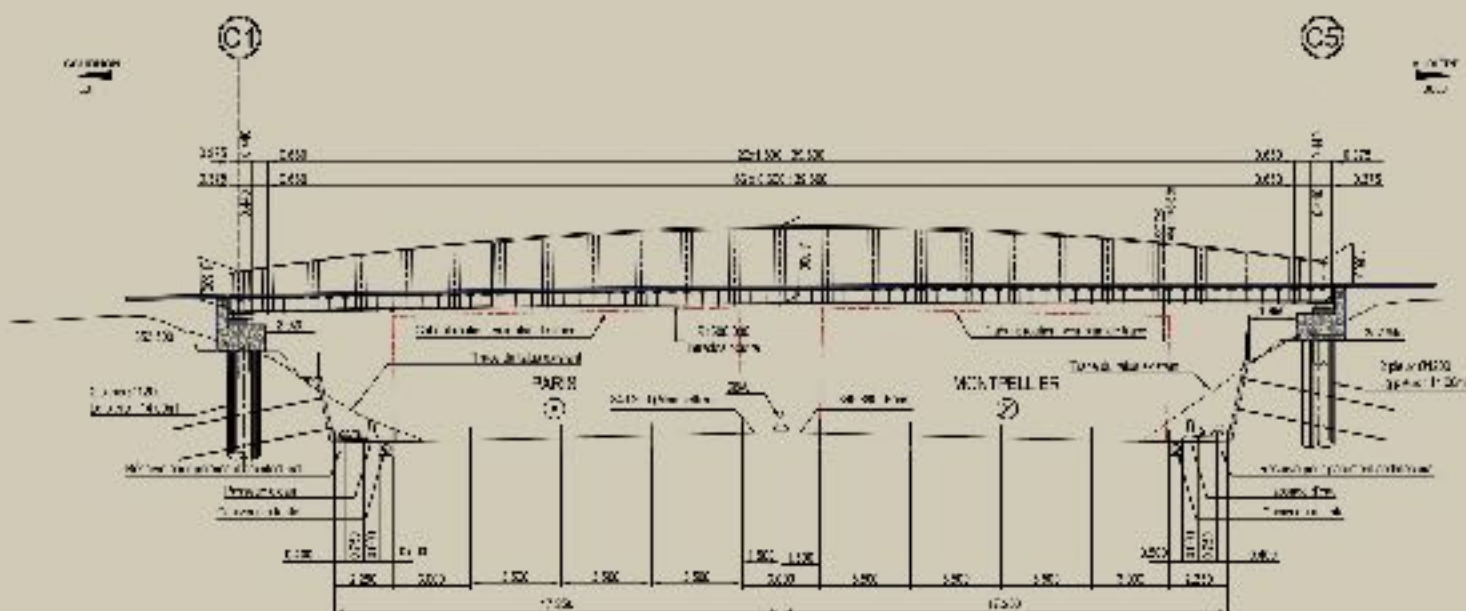
4- Longitudinal section of the structure.

5- Functional cross section.

la plateforme autoroutière en exploitation. Les seules interventions restantes ont consisté à réaliser les parois clouées permettant l'insertion de la 3^e voie dans chaque sens de circulation. Ensuite, les travaux de démolition de l'ouvrage existant puis de pose du nouveau tablier ont été réalisés sous coupure de l'A75 durant le weekend du 20/09/19 au 22/09/19.

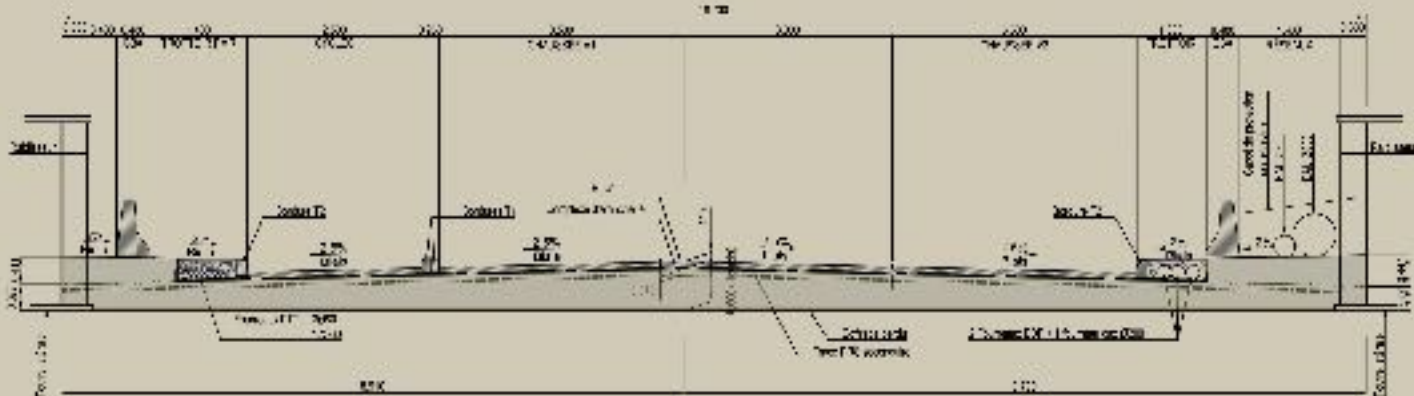
Le choix de la structure longitudinale de l'ouvrage a ensuite été guidé par les contraintes de raccordement de la RD212 au droit des entrées de chaque

COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE



4

COUPE TRANSVERSALE FONCTIONNELLE



5

riverain présent immédiatement après les extrémités de l'ouvrage. Le manque d'espace a conduit à retenir une structure extradossée afin de rehausser le moins possible le profil en long de l'ouvrage. Un tablier à poutres latérales de près de 42 m de portée s'est rapidement imposé, afin de franchir la brèche constituée par les 2x3 voies de l'A75. Le profil en long de l'ouvrage a été calé de telle sorte qu'il respecte le tirant d'air imposé par l'A75 en tenant compte de la flèche du tablier sous charges d'exploitation (40 mm) et de la tolérance de réalisation du tablier (50 mm). L'écartement des poutres est de 1/14 à mi-portée. Afin d'affiner l'ouvrage, les poutres ont une hauteur variable comprise entre 1,60 m au droit des culées et 3,00 m à mi-travée.

La réutilisation des culées existantes a également été un axe de conception, afin de limiter l'impact sur l'exploitation de la RD212 et afin d'optimiser le coût de l'ouvrage. Par conséquent, il a été décidé de conserver les culées existantes pour retenir les terres des remblais d'accès à l'ouvrage. À cet effet, un rehaussement des garde-grève d'environ 0,20 m a été réalisé. De plus les poutres latérales ont été appuyées sur des chevêtres neufs fondés sur pieux, indépendants des culées existantes. Par ailleurs les culées existantes



6
© PHOTOTHÈQUE GAGNE

6- Montage de la charpente en usine.

7- Montage de la charpente sur site.

6- Frame assembly in factory.

7- Frame assembly on site.

servent tout de même à supporter un appui intermédiaire en bout de tablier afin de limiter la flèche transversale sous charges d'exploitation au droit des joints de chaussée. Ainsi la grande majorité des charges transite par les chevêtres neufs.

Les butées de sécurité imposées pour les ouvrages en zone sismique sont constituées des garde-grèves dans le sens longitudinal de l'ouvrage. Dans le sens transversal, les appareils d'appui ont été dimensionnés avec un coefficient de fiabilité de 1,5 afin de s'affran-

chir de butées de sécurité dans cette direction conformément aux Eurocodes. L'ensemble de la conception de l'ouvrage a été menée avec le processus BIM. Le logiciel Civil3D a permis de modéliser l'A75 avec ses talus et les parois clouées, et toute la voirie de la RD212. Les profils en travers édités pour la RD212 et l'A75 ont permis de gérer toutes les interfaces techniques du projet. De plus le tablier et les culées ont été modélisés avec le logiciel Revit. Enfin les deux maquettes ont été assemblées avec InfraWorks afin de s'assurer de la cohérence globale du projet, et afin d'établir quelques perspectives.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ET DES TRAVAUX

LE TABLIER DE L'OUVRAGE

La coupe fonctionnelle

Le tablier de l'ouvrage supporte trois voies de circulation et une piste cyclable. Il comporte également deux trottoirs et plusieurs réseaux dont un réseau de gaz et deux réseaux d'eau potable de gros diamètre (600 mm pour le plus gros). Afin de maintenir ces réseaux en service pendant la déconstruction de l'ouvrage existant et pendant la pose du futur ouvrage, il a été nécessaire de mettre en place un portique provisoire (figure 5). ▷



© PHOTOTHÈQUE GAGNE
7



8

© PHOTO THEQUE ARCADIS

La sécurité des usagers est assurée par des GBA implantées sur les deux rives du tablier. Elles sont surmontées d'une lisse pour le confort des piétons qui empruntent les trottoirs.

Le montage de la charpente et la réalisation du hourdis en béton

Du fait de la conception de l'ouvrage et plus spécifiquement le principe d'un tablier à poutrelles enrobées porté par des poutres latérales métalliques, les études ont été menées étroitement entre les membres du groupement. Ces dernières ont conduit à l'emploi d'aciers de nuance S355 mais aussi S460. La géométrie de l'ouvrage, tant lon-

gitudinale que transversale a, quant à elle, conduit à l'emploi exclusif de tôles. L'ensemble de l'ossature métallique a été préfabriqué dans les ateliers Gagne CM du Puy-en-Velay (figure 6). 4 éléments de poutres principales de plus de 40 t chacun ont été débités, assemblés, peints puis transportés par convoi exceptionnel jusqu'au chantier. 71 poutres transversales de 19 m de longueur et 3 t unitaire ont suivi le même parcours.

Les poutres ont été mises en place sur la plateforme d'assemblage à l'aide de deux grues. Les entretoises principales (27 sur 71) ont été réparties,

8- Bétonnage du hourdis.
9- Transfert du tablier.

8- Slab concreting.
9- Deck transfer.

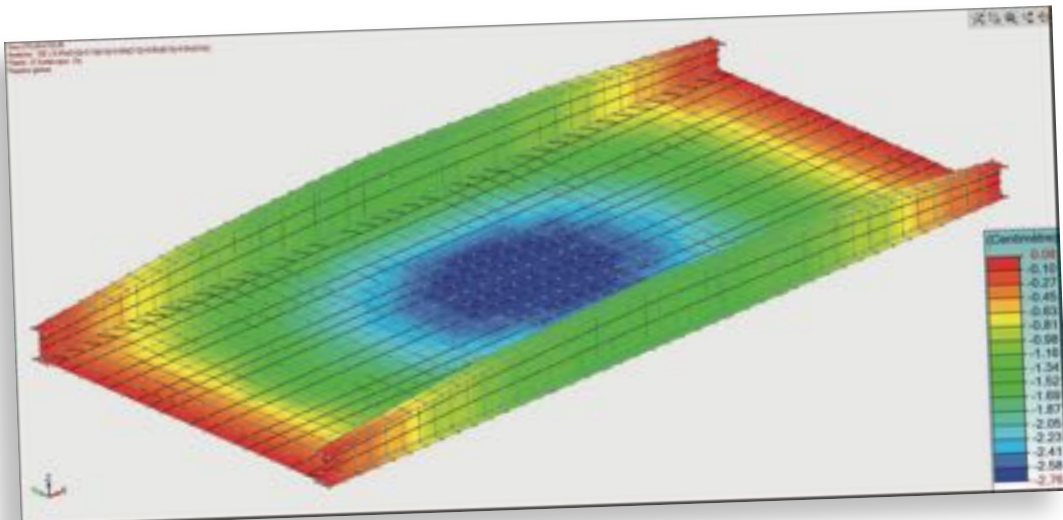
puis l'ensemble a été réglé avec une précision millimétrique afin de restituer un ouvrage au plus proche de la géométrie souhaitée. Les déformations longitudinales mais également

transversales liées aux fortes rotations en phase de bétonnage ont été prises en compte. Ces éléments ont ensuite été soudés selon le procédé Innershield (procédé 114 : soudage à l'arc avec fil électrode fourré sans gaz). Les entretoises secondaires (44 sur 71) ont ensuite été mises en place puis solidarifiées par boulonnage, boulons à serrage contrôlé de type "HR". Pour finir, la protection anticorrosion a été appliquée sur toutes les zones de soudure chantier suivi d'un voile de finition sur l'ensemble de la structure, ceci afin d'obtenir le rendu le plus homogène possible (figure 7).



9

© PHOTO THEQUE ARCADIS



10 © PHOTOTHÈQUE ARCADIS

Après assemblage, l'ouvrage a été mis en place sur appuis provisoires de 1,80 m de haut et 400 t de capacité chacun pour permettre le bétonnage du tablier et la prise en charge par les SPMT (Self Propelled Modular Transporter).

La réalisation du hourdis en béton d'un volume total de 380 m³ se dé-

10- Modélisation du tablier.

11- Chevêtres des culées.

10- Deck modelling.

11- Abutment pier caps.

compose en deux phases (figure 8) :

→ La première phase consiste à couler toute la surface du tablier sur une hauteur maximale de 15 cm à l'aide de deux pompes. Le volume de cette première phase représente 120 m³ et permet d'assurer la stabilité des poutrelles vis-à-vis du déversement.

→ La deuxième phase consiste à couler toute la surface du tablier sur toute sa hauteur. Le profil en toit du hourdis varie de 35 cm à 60 cm. Le volume de cette deuxième phase représente 260 m³ coulés à l'aide de deux pompes.

Le transfert du tablier et sa pose

La première opération consiste à démolir le tablier existant et ses piles à l'aide de pelleuses équipées de broyeurs hydrauliques.

Ensuite le futur tablier est vériné à 5 m de hauteur au-dessus du sol sur l'aire de préfabrication. Pour cela 4 vérins de 600 t sont utilisés, afin de lever le tablier de 1550 t. Ensuite les deux files de modules SPMT sont positionnées sous le tablier, afin de le prendre en charge. La charge moyenne répartie par les 192 roues des SPMT est de 11,5 t/m² et la pente maximale admise est de 3%.

Les glissières de l'A75 sont ensuite déposées au début de la coupure de circulation, afin de permettre l'entrée des SPMT sur la plateforme autoroutière. ▷



© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

11

Le tablier est ensuite transporté sur une distance d'environ 450 m, équipé de ses quatre appareils d'appui suspendus sous celui-ci (figure 9).

Le tablier est ensuite posé sur quatre groupes de trois vérins de 150 t chacun, afin d'être positionné précisément. Les plaques métalliques inférieures des appareils d'appui sont ensuite scellées dans leurs bossages, puis les vérins sont retirés.

Les trottoirs et l'étanchéité du tablier sont réalisés avant la pose du tablier sur ses appuis définitifs. À l'inverse, l'enrobé et les glissières GBA sont réalisés une fois le tablier en place.

Enfin les épreuves de l'ouvrage ont été réalisées avant la réouverture de la RD212. Pour définir la flèche du tablier, un modèle aux éléments finis a été établi avec Advance Design afin de quantifier l'impact de l'encastrement partiel entre le hourdis et les deux poutres latérales (figure 10). La flèche des deux poutres

latérales principales avec encastrement partiel est de 14 mm alors qu'elle est de 24 mm en négligeant la rigidité du hourdis.

LES CULÉES ET LES RAMPES D'ACCÈS À L'OUVRAGE

Les chevêtres sur pieux

Chaque nouvelle culée, située de part et d'autre des culées existantes, est composée d'un pieu de 1,20 m de diamètre, surmonté d'un chevêtre de 2,00 m de largeur et 1,85 m de profondeur. Des garde-grèves sont réalisés dans le prolongement du garde-grève de chaque culée existante. Pour finir, les garde-grèves existants sont réhaussés de 16 cm afin de libérer un espace minimum de la même valeur entre la sous-face du tablier et la surface des chevêtres existants (figure 11).

Le forage des quatre pieux de 1,20 m de diamètre contre l'ouvrage existant, depuis les parkings des commerces à

proximité, est une opération délicate. En effet, la foreuse pesant 80 t avec son mât de plus de 20 m de hauteur, doit s'implanter dans des espaces très restreints pour réduire au maximum l'impact sur les activités commerciales de la zone.

L'encombrement de la foreuse a engendré des opérations de sciage de certaines parties du tablier existant, notamment les corniches. Pour des raisons de sécurité des usagers de la RD212 et pour un gain de surface de stockage du matériel, la voie Sud de la RD212 sur la longueur de l'ouvrage a été neutralisée.

Les rampes

Le profil en long du tablier est constitué d'une parabole de 1500 m de rayon qui est le rayon minimal autorisé par la réglementation en vigueur. Cette parabole couplée à des pentes d'environ 3% aux extrémités de l'ouvrage, permet de limiter l'emprise du projet pour se raccorder au plus vite à la route RD212 existante.

Les GBA présentes sur le tablier sont ensuite prolongées en sortie d'ouvrage afin d'assurer la sécurité des usagers.

LES ÉQUIPEMENTS ET LES PAROIS CLOUÉES

Les joints de chaussée

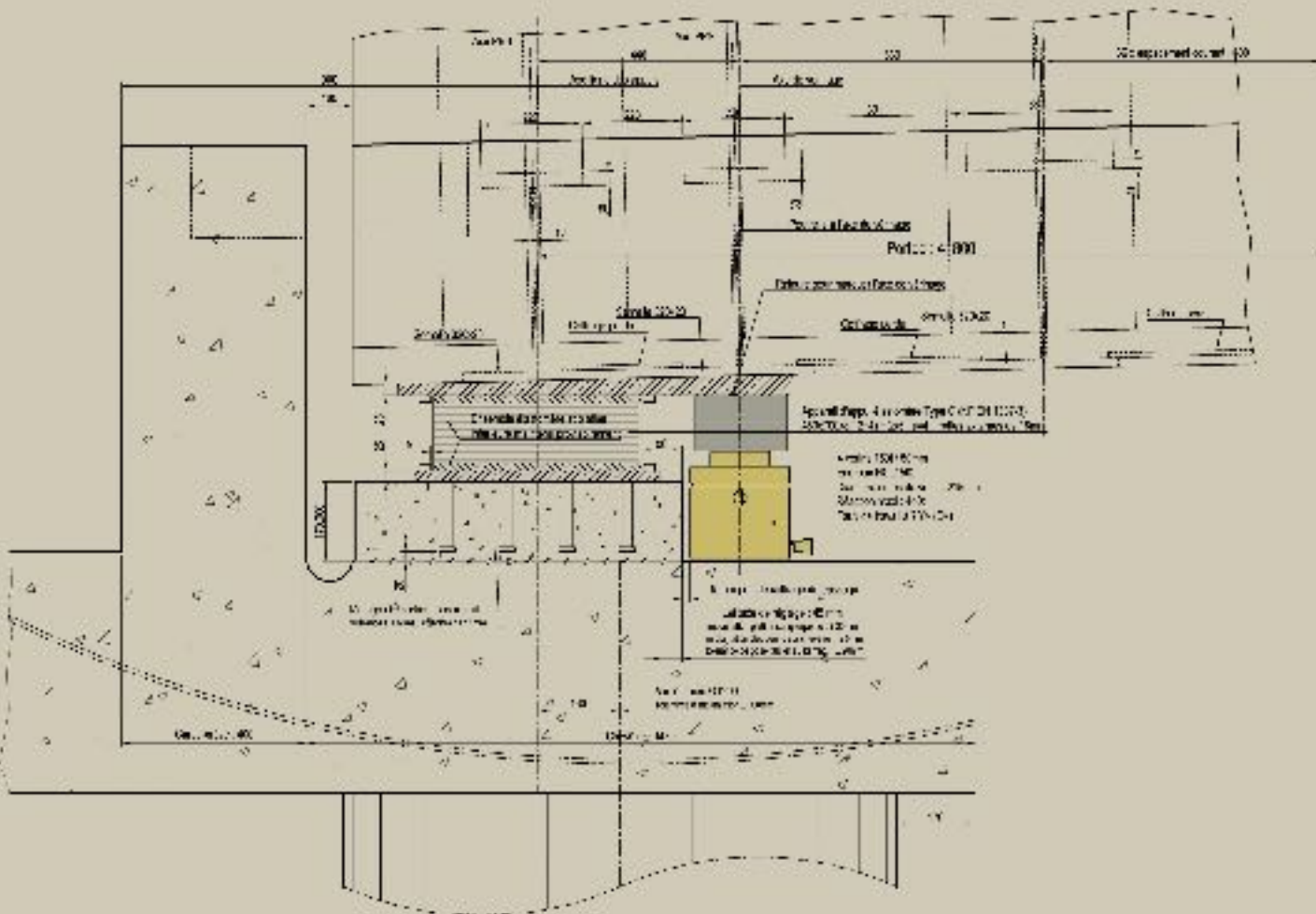
Les joints de chaussées sont réalisés par demi-tablier afin d'assurer la continuité de la circulation de la RD212 après l'opération de pose de l'ouvrage.

Le type de joint posé est un joint cantilever Freyssinet Wd 110.

12- Coupe détaillée des appareils d'appui.

12- Detailed section of support systems.

COUPE DÉTAILLÉE DES APPAREILS D'APPUI



Les appareils d'appui

Les appareils d'appui sont en élastomère fretté : 450 mm x 700 mm x 8(12+4) + 2x6 ; e=4. Leur forte hauteur leur confère une grande souplesse, qui conduit à une fréquence propre horizontale du tablier de 0,40 Hz. Ceci permet d'optimiser les efforts sismiques provenant du tablier (figure 12).

De plus, la transmission des efforts horizontaux du tablier jusqu'au pieux est assurée par la mise en place de taquets métalliques fixés en partie supérieure sur la cale biaise de la charpente et en partie inférieure sur une tôle ancrée par goujons. Les taquets viennent encadrer chaque appareil d'appui au contact des deux frettes métalliques externes solitaires de l'élastomère.

Les parois clouées

Les parois clouées ont été implantées suffisamment loin de la plateforme autoroutière, de sorte à permettre un éventuel habillage ultérieur de celles-ci

13- Parois clouées.

13- Soil-nailed walls.

et pour dégager un espace de 0,75 m entre les parois et les GBA en rives des bandes d'arrêt d'urgence de l'A75. Ces contraintes ont conduit à des parois de 2,50 m à 3,30 m de hauteur (figure 13).

Les parois clouées d'une surface de 170 m² par sens de circulation, sont réalisées dans des remblais très hétérogènes. Au total 890 m de clous auto-forants d'une section équivalente à des barres HA32 et près de 5 t de treillis soudés ont été mis en place. Les parois ont été réalisées en deux passes successives de terrassement avec soutènement en béton projeté par voie sèche. □



13

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

PRINCIPALES QUANTITÉS

COÛT DES TRAVAUX : 3,84 millions d'euros

DURÉE DES TRAVAUX : 12 mois

DIMENSIONS : 41,80 m de portée et 19,80 m de largeur totale

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE :

- **Tablier :**
 - Poids total du tablier mis en place par Spmt : 1 550 t
 - Poids total de charpente : 380 t
 - Volume de béton du hourdis : 380 m³
 - Poids d'armatures du hourdis : 39 t soit un ratio moyen de 105 kg/m³
- **Culées :**
 - Pieux de diamètre 1 200 mm : 56 m au total
 - Volume total de béton : 130 m³
 - Poids total d'armatures : 23 t
- **Parois clouées :** 350 m² et 890 ml de clous HA32
- **Plateforme provisoire d'assemblage du tablier :** 13 000 m² et 8 000 m³ de remblais

INTERVENANTS DU PROJET

CONCÉDANT : l'État

CONCESSIONNAIRE : Aprr

ENTREPRISES : Eiffage Génie Civil / Gagne Construction Métallique

MAÎTRE D'ŒUVRE - ÉTUDES : Arcadis

MAÎTRE D'ŒUVRE - SUIVI DES TRAVAUX : Egis / Setec

ÉTUDES D'EXÉCUTION :

- Génie civil et poutrelles transversales : Arcadis
- Poutres métalliques latérales : Gagne Construction Métallique

ÉTUDES DE MÉTHODES :

- Génie Civil et pose de l'ouvrage : Eiffage Génie Civil
- Charpente métallique : Gagne Construction Métallique

SOUS-TRAITANTS PRINCIPAUX :

- Pieux : Soletanche Bachy
- Transport du tablier : Mammoet
- Déconstruction de l'ouvrage existant : Chastagner
- Parois clouées : Pyramid
- Anticorrosion : G+A (Atelier) et So.Faps (Chantier)

FOURNISSEURS PRINCIPAUX :

- Acier de charpente : Dillinger
- Armatures du hourdis : Cepaba
- Appareils d'appui : Freyssinet
- Portique provisoire des réseaux : Locapal

ABSTRACT

A75 - BRIDGE OVER THE RD212 ROAD AT AUBIERE

ARNAUD DUCROUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CLÉMENT DECRENISSE, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - ÉTIENNE DEPALLE, ARCADIS - GÉRALD DURAND, GAGNE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

For widening of the A75 motorway to a three-lane dual carriageway, undertaken by Aprr on a 10.5 km section at the level of Clermont-Ferrand, several bridges have to be reconfigured, including that over the RD212 road at Aubière in the Puy-de-Dôme region. The construction technique used for this structure by the consortium formed by Eiffage Génie Civil, Gagne Construction Métallique and Arcadis is deck precasting on an area 500 metres from the site, then transfer of the deck using self-propelled modular carriers. Work on this bridge started in January 2019 and will be completed in November 2019, the overall objective of the operation being commissioning of the A75 as a three-lane dual carriageway in 2021. □

A75 - OBRA DE FÁBRICA DE LA RD212 EN AUBIERE

ARNAUD DUCROUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CLÉMENT DECRENISSE, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - ÉTIENNE DEPALLE, ARCADIS - GÉRALD DURAND, GAGNE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

El ensanchamiento a 2x3 carriles de la autopista A75 iniciado por APRR en un tramo de 10,5 km frente a Clermont-Ferrand precisa la reconfiguración de varias obras de fábrica, entre las cuales aquella de la RD212 de Aubière, en el departamento de Puy-de-Dôme. La técnica de construcción utilizada para esta obra por el consorcio Eiffage Génie Civil / Gagne Construction Métallique / Arcadis es la prefabricación del tablero en un área situada a 500 m del emplazamiento y su traslado mediante transportadores modulares autopropulsados. La realización de esta obra de fábrica, iniciada en enero de 2019, terminará en noviembre de 2019, con un objetivo global siendo la puesta en servicio de la A75 con 2x3 carriles en 2021. □



© DEMATHIEU BARD

LE PONT DE LA RIVIÈRE DES GALETS SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION

AUTEURS : BORIS TOULOUSE, DIRECTEUR DE PROJET, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - SERGE BON, RESPONSABLE MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - THOMAS BILLY, INGÉNIEUR TRAVAUX, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - THOMAS KAVAJ, CHEF DE SERVICE ETN NORD, RÉGION RÉUNION

LE NOUVEAU FRANCHISSEMENT DE LA RIVIÈRE DES GALETS EST ACTUELLEMENT EN COURS DE CONSTRUCTION SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION. APRÈS SA MISE EN SERVICE, IL PERMETTRA DE SÉCURISER ET FLUIDIFIER LE TRAFIC ROUTIER DE PLUS DE 70 000 VÉHICULES PAR JOUR SUR UN DES AXES ROUTIERS LES PLUS FRÉQUENTÉS DE LA RÉUNION, LA RN1. LE PROJET PRÉVOIT LA RÉALISATION D'UN NOUVEL OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PAR 2 TABLIERS DE TYPE BIPOUTRE MIXTE (STRUCTURE ACIER ET BÉTON). LE MONTANT DU MARCHÉ EST DE L'ORDRE DE 70 MILLIONS D'EUROS HORS TAXES POUR UNE DURÉE PRÉVISIONNELLE DE 54 MOIS.

DESCRIPTION DU PROJET

Entre la commune du Port et celle de Saint-Paul, à La Réunion, un nouveau pont est en construction au-dessus de la Rivière des Galets. Cet ouvrage s'insère entre les deux ouvrages existants distants d'une cinquantaine de mètres, un pont cage métallique à l'amont construit en 1939 et un pont en béton précontraint à l'aval construit en 1975.

Actuellement, les automobilistes circulent sur l'ouvrage métallique, dans le sens sud/nord, et sur l'ouvrage en structure béton dans le sens nord/sud. L'ouvrage métallique présente une largeur faible (2 voies réduites de 2,5 m, pas de bande d'arrêt d'urgence ni de bande dérasée à droite) imposant une vitesse limitée à 70 km/h. L'état de vétusté de ce pont et le nombre important de véhi-

1- Charpente du premier tablier.

1- Structure of the first deck.

cules circulant sur cette partie de l'île créent un goulot d'étranglement et des rétentions de trafic sur la RN1 vers Saint-Denis. À noter également

que, compte tenu du gabarit des voies, les poids lourds sont interdits sur cet ouvrage leur imposant un détour par l'axe mixte, franchissement de la rivière plus en aval.

Le projet répond à des enjeux multiples. Les ouvrages actuels sont vétustes et non dimensionnés pour résister aux phénomènes climatiques majeurs (cyclones et crues importants) car fondés superficiellement.



© DEMATHIEU BARD
2

La Rivière des Galets est une des rivières les plus importantes de l'île de La Réunion car elle draine les eaux de tout le cirque de Mafate, d'une superficie supérieure à 100 km². Ainsi, son débit très faible en période d'étiage peut devenir très important en cas de fortes pluies ou de cyclone tropical. Son débit, en cas de crue centennale, est ainsi estimé à 3400 m³/s (supérieur à celui de la Seine à Paris). En cas de crue, le débit important associé à des vitesses pouvant atteindre 16 m/s génère d'importants

2- Vue générale du projet avec les anciens ponts de part et d'autre des nouveaux tabliers.

3- Pile terminée.

2- General view of the project with the old bridges on either side of the new decks.

3- Completed pier.

phénomènes d'affouillement dans le lit, ainsi qu'un transport solide conséquent (estimé jusqu'à un dixième du débit liquide) avec des blocs charriés de grande dimension mais aussi des blocs en suspension jusqu'à 26 cm de diamètre, pouvant impacter les appuis des ouvrages.

En outre, le gabarit des voies n'est pas conforme à la réglementation, obligeant à une réduction de vitesse et une limitation de trafic sur le pont métallique. Ce dernier supporte, par ailleurs, une infrastructure majeure d'adduction

d'eau pour les communes du Port et de la Possession. Le projet a donc essentiellement un objectif de sécurisation et de fluidification de la traversée de la Rivière des Galets.

Ainsi, la Région Réunion a lancé mi-2016 un appel d'offre pour le projet de construction d'un nouveau franchissement. L'ouvrage a une longueur de 430 m supportant 3 voies de circulation dans chaque sens et il est complété par une voie douce côté aval pour les cyclistes et les piétons. Cet ouvrage est constitué de 2 tabliers mixtes et de 6 appuis (2 culées et 4 piles en rivière). Le projet est complété par la réalisation de deux bassins de récupération et de traitement des eaux de surface, un en rive gauche et l'autre en rive droite. Enfin, le projet prévoit également le réaménagement des voiries de raccordement sur 500 m de part et d'autre de l'ouvrage et la refonte des bretelles d'accès et de sortie de l'échangeur tout proche du Sacré-Coeur.

Après mise en service du nouvel ouvrage, le pont en métal historique sera déconstruit. Celui-ci, situé en amont, présente en effet un risque majeur sur les nouvelles structures en cas de ruine. L'ouvrage en béton sera, quant à lui, désaffecté (figure 2).

LES ENJEUX DU CHANTIER

En termes d'environnement, le chantier doit intégrer et gérer de nombreuses contraintes, comme la proximité du périmètre de protection rapprochée de captages d'eau potable, la présence d'espèces protégées (dont une colonie de chiroptères qui nichent dans le pont en béton actuel), la sensibilité de la faune aquatique de la rivière. La Rivière des Galets constitue, en outre, un corridor écologique majeur de passage des oiseaux marins endémiques de La Réunion, dont les pétrels de Barau, espèce fortement sensible à la lumière.

L'autre contrainte majeure réside dans le climat capricieux de l'île, qui limite grandement les interventions dans le lit de la rivière pendant la période cyclonique, du 15 novembre au 30 avril. Il a fallu ainsi mettre en place un dispositif de surveillance des crues, avec des alertes automatisées, pour assurer la sécurité des personnels et évacuer le matériel si nécessaire.

Le nouveau franchissement de la Rivière des Galets sera mis en circulation pour la fin de l'année 2020.

CONCEPTION

La conception du projet a été réalisée par le bureau d'études Artelia.



© DEMATHIEU BARD
3



4

© DEMATHIEU BARD

Elle a dû intégrer les nombreuses contraintes du site, dont principalement la grande mobilité altimétrique du lit de la rivière, ainsi que son débit et son transport solide, et aussi l'exiguïté du site contraint entre les deux ouvrages de la RN1 en service et très proche d'un échangeur dénivelé important pour la commune de Port. Sans oublier toutes les contraintes environnementales du site, en particulier celles liées à la faune et la présence de captages d'eau à proximité.

Afin de répondre aux contraintes liées à l'abaissement généralisé du lit de la Rivière des Galets et d'intégrer l'évolution du lit du cours d'eau pendant les phénomènes les plus intenses (affouillements localisés, respiration des fonds, anti-dunes...), des fondations profondes ont dû être prévues.

Les culées et les piles sont ainsi fondées sur des barrettes de section 2,80 m x 1,50 m avec des profondeurs de 20 m sous les culées et de 30 à 35 m sous les semelles de piles. Il y a 4 barrettes par culée et 8 par pile.

En outre, afin de disposer d'une structure résistante aux chocs de blocs charriés pendant les crues, des chemisages métalliques ont été prévus autour des premiers mètres des barrettes et un béton sacrificiel a été mis en œuvre sur les barrettes et les fûts de piles. Enfin, la structure de type bipoutre mixte représente celle qui permettait de répondre à l'ensemble des contraintes du site (hauteur d'eau importante en



4- Pile terminée au premier plan et chevêtre en cours de ferrailage à l'arrière-plan.
5- Chevêtre en cours de ferrailage.

4- Completed pier in the foreground and pier cap receiving reinforcing bars in the background.
5- Pier cap during reinforcement.

crue, inaccessibilité du lit de la rivière pendant les périodes cycloniques, impossibilité de haubaner du fait de la présence des espèces d'oiseaux protégées et du faible recul avec les ouvrages en rive, nécessité de raccorder l'ouvrage à la RN1 passant sous l'échangeur dénivelé du Sacré-Cœur en conservant une pente longitudinale acceptable).

RÉALISATION PRÉPARATION DES TRAVAUX IN SITU

Afin de répondre à l'arrêté préfectoral relatif aux contraintes environnementales, des aménagements peu communs pour ce type de travaux ont été réalisés.



6

© DEMATHIEU BARD

En raison de l'exiguïté du site de travaux, les installations principales n'ont pu être implantées à proximité immédiate du chantier. Elles ont été érigées en aval du chantier sur la rive droite de la rivière, ceci permettant de réaliser un accès au chantier le long de la berge, déconnecté du réseau routier très chargé aux heures de pointe.

Cette piste d'accès des installations au site des travaux, traversant le périmètre de protection rapprochée de deux captages d'eau, a été revêtue, hors rivière, d'un enduit bicouche avec récupération

6- Charpente du premier tablier en cours de lancement.

7- Charpente du second tablier en cours de lancement.

6- Structure of the first deck undergoing launching.

7- Structure of the second deck undergoing launching.

des eaux de ruissellement dans une cunette étanche afin d'empêcher une éventuelle pollution accidentelle de ces sites sensibles.

Ensuite, pour la réalisation des travaux de fondations, les plateformes de travail des bennes à câbles et de l'Hydrofraise ont été réalisées en enrobés avec, en périphérie, un muret en agglos permettant d'éviter toute dispersion de bentonite dans le lit de la rivière.

Dans le cadre de la gestion des crues et pour maintenir l'écoulement de la Rivière des Galets, un chenal a été

réalisé dans le lit de la rivière permettant de maîtriser l'écoulement de l'eau jusqu'à un débit de 200 m³/s (correspondant à une crue biennale). Pour franchir ce chenal, un ouvrage provisoire a été réalisé.

Suite à la saison cyclonique 2017-2018 particulièrement intense en événements, ces aménagements ont dû être refaits.

LES FONDATIONS

Ces fondations ont été réalisées à travers un matériau alluvionnaire de granulométrie hétérogène et dans du tuf ou coulée boueuse, matériau plus cohésif. Les techniques employées pour la réalisation ont été la benne à câble pour la partie alluvionnaire (avec usage complémentaire de trépan) et l'Hydrofraise dans les matériaux plus cohésifs, avec de meilleurs rendements. Les travaux ont été réalisés d'août 2017 à avril 2018.

Les travaux de fondations ont déjà fait l'objet d'un article dans le numéro 942 de la revue.

LES APPUIS

En rive, les barrettes sont coiffées par des culées de 33,20 m x 5,00 m et 2,45 m de haut, ayant chacune 4 bossages et 4 butées antisismiques (La Réunion est classée en zone de sismicité faible).

La culée rive gauche est fondée dans la coulée boueuse, considérée non affouillable.



7

© DEMATHIEU BARD

Elle a été positionnée une quinzaine de mètres en recul de la berge, pour tenir compte de l'abaissement prévisible du lit (estimé à 15 m à moyen terme) et du recul limité de la berge qui pourra l'accompagner. La culée rive droite est, quant à elle, fondée dans les alluvions. Afin de la protéger des risques d'affouillement, une paroi moulée a été réalisée.

Dans le lit de la rivière, chaque pile est constituée de deux fûts circulaires supportant le chevêtre. Ces fûts reposent sur des semelles de piles octogonales, fondées chacune sur quatre barrettes. Ces semelles, de hauteur 4,65 m et de diamètre 8,60 m, sont réalisées en 2 phases, la partie octogonale droite, en contact avec les attentes des fondations puis la partie octogonale conique, à l'aide d'un coffrage bois sur mesure dans laquelle sont insérées les attentes pour les fûts.

Chaque fût, d'une hauteur variable entre 10 et 11 m et de diamètre constant de 3,30 m, a été bétonné en une seule levée dans un coffrage qui a été fabriqué sur mesure en bois et métal. Les cages d'armature des fûts d'un poids de 16 t ont été préfabriquées puis mises en œuvre sur les attentes des semelles.

Puis le chevêtre est coulé, en forme de coque de bateau de 33 m de long, 4 m de large et 3,50 m de haut, représentant le plus gros élément bétonné en une fois. Enfin, quatre bossages et quatre butées antisismiques sont réalisés sur ce chevêtre pour accueillir les deux tabliers bipoutres de l'ouvrage (figures 3, 4 et 5).

Les piles sont réalisées par l'intermédiaire de coffrages en bois spécifiques réalisés sur mesure pour les besoins du chantier.

Les chevêtres sont réalisés par l'intermédiaire d'un étalement composé de



8 © DEMATHIEU BARD

tours SL40 qui supportent des profilés métalliques puis des plateaux coffrants. Cela permet la création d'une plateforme de travail recevant les coffrages pour les faces verticales ainsi que les coffres en bois pour le coffrage de la sous-face du chevêtre.

Le ferrailage est réalisé en place par l'intermédiaire d'éléments préfabriqués sur le site des travaux.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente représente un poids total de métal de 4700 t, réparti en 2x2 PRS en "I" de hauteur 3,60 m, liées par des pièces de pont. De part et d'autre, des consoles élargissent le tablier.

Cette double charpente reliera les rives droite et gauche de la Rivière des Galets, en prenant appui sur les

8- Pose des prédalles du premier tablier.

9- Prédalles du premier tablier posées.

10- Hourdis bétonné du premier tablier.

8- Placing the precast slabs of the first deck.

9- Precast slabs of the first deck after placing.

10- Concreted top slab of the first deck.

2 culées d'extrémité et les 4 chevêtres en rivière.

Sous le tablier amont, en partie aval, une passerelle technique permettra l'accès aux réseaux qui seront positionnés sur supports ou suspendus aux consoles (figures 1, 6 et 7).

HOURDIS DU TABLIER

Il est composé de 2 tabliers indépendants de 430 m de long, d'une largeur 13,05 m à l'amont et d'une largeur de 16,35 m à l'aval, plus large pour accueillir une voie "douce" pour les piétons et les cyclistes.

Le tablier se compose de 812 prédalles, préfabriquées sur chantier, d'épaisseur 0,12 m et d'une dalle de compression de hauteur variable 0,15 à 0,18 m. Les prédalles du tablier



9

© DEMATHIEU BARD



10

© DEMATHIEU BARD



11

© DEMATHIEU BARD



12

© DEMATHIEU BARD

amont sont posées depuis le lit de la rivière à l'aide de grues mobiles. Celles du tablier aval, seront posées depuis le tablier amont, également à l'aide de grues mobiles.

Le tablier recevra des équipements de sécurité (BN1 et barrières de niveau H3) et d'assainissement (corniches caniveaux en alu).

Entre les 2 tabliers, un supportage sous capot permettra le passage des réseaux secs (figures 8, 9 et 10).

OUVRAGES PÉRIPHÉRIQUES :

Bassins de traitement des eaux de surface

En rive droite, un bassin avec filtre à sable est réalisé pour traiter les eaux de la moitié du pont et les voies jusqu'à 500 m côté Saint-Denis. Les dimensions de ce bassin sont 34 m x 16 m pour 6 m de haut.

En rive gauche, un bassin de 66 m x 6 m pour 3,80 m de haut, traitera les eaux de surface de l'autre moitié du tablier et des voies sur 500 m côté Saint-Paul.

Un réseau de caniveaux continus et de canalisations en PEHD de diamètre 400 à 1 000 mm permettra la collecte et le transit des eaux pluviales jusqu'aux

11- Vue générale de la rive droite.

12- Bassin de la rive droite en cours de réalisation.

11- General view of right bank.

12- Right-bank basin work in progress.

bassins et après traitement, jusqu'à la rivière (figures 11 et 12).

Aménagements de surface

Le projet prévoit également, outre la réalisation du nouvel ouvrage, la reconfiguration routière de la RN1 sur 500 m de part et d'autre du pont, ainsi que les bretelles d'accès et de sortie côté rive droite.

Ces travaux consistent en un simple reprofilage de certaines surfaces, la reprise de couches d'enrobés plus importantes et la réalisation de structures de chaussées neuves. Ces tra-

vaux seront réalisés soit de jour sous circulation avec balisage, soit de nuit sous coupure du trafic avec différentes phases de déviations.

Ces aménagements seront complétés par du marquage au sol, de la signalisation verticale et des équipements d'informations lumineux. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Région Réunion

MAÎTRISE D'ŒUVRE CONCEPTION : Artelia

MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : Région Réunion

GROUPEMENT CONJOINT D'ENTREPRISES (mandataire Demathieu Bard) :

- Fondations profondes : Soletanche Bachy
- Génie Civil : Demathieu Bard Construction / Gtoi (Colas)
- Charpente métallique : Matière
- Terrassements et aménagements : Demathieu Bard Construction / Gtoi (Colas)

PRINCIPALES QUANTITÉS

QUELQUES ÉLÉMENTS CHIFFRÉS :

- 13 800 m³ de béton de structure
- 2 900 t d'acier HA
- 4 700 t de charpente métallique
- 6 600 m³ de barrettes (fondations)
- 3 100 m³ de paroi moulée (protection)
- 200 000 m³ de déblais/remblais
- 10 000 t d'enrobés EME
- 7 000 t d'enrobés BBME
- 2 500 t d'enrobés BBTM

ABSTRACT

THE BRIDGE OVER THE GALETS RIVER ON REUNION ISLAND

BORIS TOULOUSE, DEMATHIEU BARD - SERGE BON, DEMATHIEU BARD - THOMAS BILLY, DEMATHIEU BARD - THOMAS KAWAJ, RÉGION RÉUNION

The new Galets River crossing is currently undergoing construction on Reunion Island. When in service, it will be able to improve the safety and fluidity of the road traffic of more than 70,000 vehicles each day on one of the busiest trunk roads of Reunion Island, the RN1. The project provides for the construction of a new river crossing structure of two composite double-girder decks (steel and concrete structure). The contract, worth approximately €70 million excluding tax, is scheduled over 54 months. □

EL PUENTE SOBRE EL RÍO GALETS EN LA ISLA DE LA REUNIÓN

BORIS TOULOUSE, DEMATHIEU BARD - SERGE BON, DEMATHIEU BARD - THOMAS BILLY, DEMATHIEU BARD - THOMAS KAWAJ, RÉGION RÉUNION

El nuevo cruce del río Galets está actualmente en construcción en la isla de La Reunión. Cuando entre en servicio, garantizará y descongestionará el tráfico de más de 70.000 vehículos al día en uno de los ejes viales más concurridos de La Reunión, la RN1. El proyecto prevé la realización de una nueva obra de cruce mediante 2 tableros de tipo doble viga mixta (estructura de acero y hormigón). El importe del contrato asciende a unos 70 millones de euros antes de impuestos, con una duración prevista de 54 meses. □

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. ————— •



© LAVIGNE CHERON
1

LA CONSTRUCTION DE LA PASSERELLE DU PÔLE GARE DE CHARTRES

AUTEURS : GEOFFREY BOULANGER, CHEF DU PROJET, BOUYGUES TP / RÉGIONS FRANCE - ANNE SCHWARTZ, INGÉNIEUR, DIRECTION TECHNIQUE PÔLE MÉTAL, BOUYGUES TP / RÉGIONS FRANCE - THOMAS LAVIGNE, ARCHITECTE, LAVIGNE CHERON - MICHEL PAGES, DIRECTEUR, SECOA - STÉPHANE DE GAIL, CHEF DE PROJET, SECOA

UNE GÉOMÉTRIE FINE ET COURBE, UNE TECHNICITÉ ASSOCIANT OUVRAGE D'ART ET BÂTIMENT, UN PLANNING MINUTÉ EN ENVIRONNEMENT FERROVIAIRE, UNE COVISIBILITÉ AVEC UN MONUMENT HISTORIQUE CLASSÉ PATRIMOINE MONDIAL DE L'UNESCO, TELS ONT ÉTÉ LES PRINCIPAUX DÉFIS DU PROJET DE CONSTRUCTION DE LA PASSERELLE DU PÔLE GARE DE CHARTRES.

PRÉSENTATION DU PROJET

Ce projet est un ensemble constitué de deux ouvrages métalliques indépendants reposant sur des appuis communs (figure 1) :

- L'ouvrage "passerelle" permettant le lien entre la place Pierre Sénard (au sud, côté gare) et la future plateforme intermodale (côté Nord) ;
- L'ouvrage "estacade" permettant le lien entre la passerelle et les quais de la gare. Cet ouvrage, recouvert d'une verrière, abrite les équipements d'accès aux quais (ascenseurs, composteurs).

CHOIX DU CONCEPT ARCHITECTURAL

L'ouvrage a été conçu par les architectes Thomas Lavigne et Cecilia Amor Mahia au sein de l'agence Lavigne Cheron. Voici un résumé des grandes lignes du parti architectural qui ont guidé la conception.

La conception s'appuie sur l'analyse du site, du territoire, de l'histoire et de la culture de la ville. Le résultat est un projet unique inscrit au cœur de la ville de Chartres et du projet de pôle gare. La ville, c'est la cathédrale, apothéose du Gothique, majestueuse, qui domine

1- Vue générale de la passerelle - Photomontage.

1- General view of the foot bridge - Photomontage.

la Beauce depuis son éperon rocheux - le Karn.
Ville de lumière et de parfum, proche de Paris, elle est idéalement localisée dans le territoire.

La gare, au cœur de la cité, c'est la ville en mouvement de demain. C'est un nouveau quartier - habitat, commerces, bureaux - un pôle d'échange multimodal, un complexe culturel et sportif. La passerelle, c'est le lien, la couture urbaine qui gomme le faisceau de voies ferrées. C'est aussi l'accès aux quais et aux trains... c'est un voyage.

Ville de tradition, sanctuaire convoité du chemin de Saint Jacques de Compostelle en Galice, et ville de projet tournée vers l'avenir, Chartres porte en elle tous les atouts d'un développement durable et harmonieux.



© LAVIGNE CHERON
2

Seule émerge la Cathédrale à Chartres, c'est pourquoi, le projet repose avec humilité sur l'horizontalité des lignes. Le défi architectural, dans le contexte de cette ville unique, c'est la recherche de la simplicité, de l'élégance, sans oublier l'émotion.

La passerelle est un chemin à traverser, une expérience sensorielle, un lieu de vie. Plus qu'un pont, c'est un espace public, large prolongement du parvis du pôle d'échange et de la salle culturelle et sportive.

Elle est le lien urbain attendu entre Mainvilliers et le centre-ville de Chartres, et s'intègre naturellement et en douceur dans l'aménagement du pôle imaginé par les architectes et urbanistes de l'agence Garcia et Diaz. Elle a été conçue comme un belvédère qui offre un parcours fluide et dyna-

mique, ouvert sur le nouveau quartier et la Cathédrale. Son tracé courbe en partie offre des vues toujours changeantes sur le paysage urbain.

2- Vue depuis le pont Casanova - Photomontage.

3- La passerelle et l'estacade, telle une feuille de papier.

2- View from Casanova Bridge - Photomontage.

3- The foot bridge and viaduct, like a sheet of paper.

Le projet de passerelle repose sur la simplicité du dessin, le minimalisme et l'émotion architecturale.

Grace à la finesse du tablier, la passerelle se perçoit comme un simple trait horizontal flottant au-dessus des voies. Le tablier de 60 cm d'épaisseur pour 7,50 m de large est un simple caisson de section rectangulaire surmonté d'un écran de verre faisant office de protections caténaïres. Ce même tablier semble se dérouler pour descendre naturellement sur le parvis de la gare. L'accès sur le parvis est direct, lisible et positionné à mi-distance du bâtiment voyageur et des futurs îlots bâtis du projet urbain. Des arbres de part et d'autres de l'escalier monumental de 7 m de large marquent l'entrée de la passerelle (figure 2). L'estacade elle, se juxtapose à la pro-

menade, elle représente le voyage et le passage d'un monde à un autre. C'est la porte de la cité qui marque l'entrée du sanctuaire. Elle est totalement couverte.

Telle une feuille de papier, le tablier de la passerelle se replie pour envelopper l'estacade et son mobilier (figure 3). La couverture cadre ainsi les vues sur les quais et sur le ballet ininterrompu des trains.

Structurellement indépendantes, la passerelle et l'estacade forment ainsi une architecture unique.

La forme oblongue de la couverture fait écho à l'architecture futuriste de la salle culturelle et sportive du pôle.

L'architecture de l'ouvrage d'art est ainsi faite de courbes libres à la fois en plan et en élévation, ce qui donne une belle harmonie à l'ensemble. ▷

LA PASSERELLE ET L'ESTACADE, TELLE UNE FEUILLE DE PAPIER



© LAVIGNE CHERON
3



© SECOA



5

© SECOA



6

© SECOA

LES APPUIS

La conception des appuis intègre le risque de choc sur les piles. Ils sont ainsi constitués de voiles (interrompues en leur milieu pour permettre l'insertion des ascenseurs) encastrés sur une semelle de fondation continue fondée sur micropieux de diamètre 200 mm. La conception en semelle unique pour chacune des piles permet d'avoir une répartition optimisée sur l'ensemble des micropieux de l'effort de choc du train, en particulier pour l'effort longitudinal. Les quantités de micropieux par appuis sont :

- Culée Nord : 8 unités et 123 m de longueur cumulée ;
- Pile P3 : 26 unités et 320 m de longueur cumulée ;
- Pile P2 : 30 unités et 348 m de longueur cumulée ;

→ Pile P1 : 24 unités et 320 m de longueur cumulée ;

→ Culée Sud : 21 unités et 315 m de longueur cumulée.

La culée Nord conserve le même principe structurel que les piles (figure 4). La culée Sud assure quant à elle plusieurs fonctions : appui du tablier de la passerelle, escalier de liaison avec le parvis ainsi que local technique regroupant sanitaires et installations techniques (figure 5). Un ascenseur est également disposé côté gare, contre la culée. Enfin, les fondations de la culée Sud permettent le pontage d'un collecteur enterré.

LES TABLIERS

Les tabliers de la passerelle et de l'estacade sont constitués chacun d'un caisson métallique (acier de nuance S355)

4- Vue de l'appui P1 et de la culée Nord.
5- Culée Sud en construction.

6- Assemblage du caisson de l'estacade en usine.

7- Schéma statique de la passerelle.

8- Appareil d'appui anti-soulèvement.

4- View of support P1 and the North abutment.

5- South abutment under construction.

6- Assembly of the viaduct box section in factory.

7- Static diagram of foot bridge.

8- Hold-down support system.

de faible épaisseur (60 cm), fermé, étanche et non visitable (les parties intérieures des caissons ne sont pas revêtues de peinture anticorrosion). La largeur de la passerelle est de 7,5 m, celle de l'estacade est variable de 8 à 13 m.

Les caissons sont constitués de semelles (épaisseur minimale : 14 mm) raidies, d'âmes latérales et intermédiaires, et de diaphragmes (figure 6). Du nord vers le sud, les portées de la passerelle sont : 14,86 m – 12,60 m – 14,66 m – 23,83 m. Un amortisseur dynamique accordé est prévu pour améliorer le comportement vibratoire de la passerelle dans la grande travée de rive vis-à-vis des vibrations verticales. Son installation sera confirmée après les épreuves dynamiques. Le tracé en plan de la passerelle com-

SCHÉMA STATIQUE DE LA PASSERELLE



7

© SECOA



8

© SECOA



© SECOA
9

porte une zone courbe entre la pile P2 et la culée Nord (les appuis sont numérotés du nord vers le sud). Le rayon de courbure en plan est $R = 49,70$ m. Le profil en long de la passerelle comporte une pente descendante à 2% vers chaque culée avec un raccordement circulaire en partie centrale. Transversalement, la passerelle est pentée à 1%. La passerelle respecte

9- Vue de l'estacade depuis la culée Sud.

10- Micropieux sur les quais.

9- View of the viaduct from the South abutment.

10- Micropiles on platforms.

ainsi les conditions d'un cheminement pour Personnes à Mobilité Réduite (PMR).

Les portées de l'estacade sont : 12,60 m – 14,66 m. La partie Nord de l'estacade suit la courbure en plan de la passerelle.

En élévation, le tablier de l'estacade s'arrondit aux extrémités pour amorcer la forme courbe de la verrière.

Transversalement, le tablier de l'estacade est penté à 1% vers la passerelle, sa toiture étant, quant à elle, pentée à 3,5% (correspondant à un angle de 2° imposé par le verre).

L'estacade est donc un objet géométrique complexe, comportant des courbures dans plusieurs plans et des faces non parallèles (figure 9).

LES APPAREILS D'APPUI

Le tablier de l'estacade repose sur les appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui néoprène.

Le tablier de la passerelle repose sur des appareils d'appui à pot : deux appareils d'appui sur les piles P2 et P3 et sur un appui unique sur la pile P1 (figure 7).

La légèreté de l'ouvrage, la distribution des portées imposées par la position des quais ainsi que la présence d'un appui unique sur la pile P1 ont nécessité le recours à des appareils d'appui anti-soulèvement (figure 8).

LES ÉQUIPEMENTS DE L'OUVRAGE

Les principaux équipements de l'ouvrage sont : ▷



© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE & MARC JOSSE PHOTOGRAPHIE
10



11

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE & MARC JOSSE PHOTOGRAPHIE

- Les dispositifs de sécurité latéraux de la passerelle comportant des écrans de verre avec une double lisse. La hauteur des écrans correspondant à la valeur réglementaire de 1,80 m au-dessus du niveau de l'extrados. Les lisses comportent un dispositif d'éclairage (barreau de leds).
- Les dispositifs de fermeture entre les escaliers d'accès au quai et l'estacade (volets roulants).
- Le système de tasseaux brise-soleil prévu en sous-face de la verrière.
- Le revêtement extérieur des murs latéraux de l'escalier (culée creuse côté Sud), réalisé avec un parement en pierres naturelles issues de la carrière de Souppes-sur-Loing.

LE VERRE

Les éléments en verre de la passerelle sont constitués de vitrages feuilletés de sécurité.

Pour les garde-corps, un système de verre pincé a été retenu.

Pour la verrière de l'estacade (figure 9), les vitrages (plans et courbes) sont maintenus sur leurs quatre côtés. Ils reposent sur un réseau de solives et traverses, les solives étant fixées aux deux caissons métalliques de

rive. L'ensemble "caissons de rive + solives + portiques" recrée ainsi une poutre échelle horizontale permettant de se passer de contreventement dans le plan de la toiture.

La conception des éléments de verre a intégré les questions de maintenance :

**11- Fouille blindée pour semelle.
12- Ferrailage semelle.**

**11- Lined excavation for foundation slab.
12- Foundation slab reinforcement.**



12

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE

- L'entretien de la surface intérieure de la verrière peut s'effectuer directement depuis le plancher de l'estacade depuis un échafaudage mobile.
- L'entretien de la surface extérieure de la verrière peut être réalisé à la perche depuis une nacelle araignée disposée sur la passerelle.
- Pour l'inspection et le nettoyage du chéneau (en rive de la toiture de l'estacade côté passerelle) : cet élément est visitable depuis un échafaudage mobile ou gazelle depuis la passerelle.
- En cas de casse sur un vitrage de la verrière, le système d'appui des vitrages sur quatre côtés et la nature du vitrage permettent d'éviter son dévêissement de ses feuillures et sa chute sur le public. Il est ainsi possible de laisser un vitrage cassé le temps de la prochaine Interruption caténaire programmée. Une sécurisation de la zone sous le vitrage avec interdiction d'accès au public reste néanmoins nécessaire.
- Pour les ascenseurs d'accès aux quais, les gaines sont prévues en verre parclôsé sur quatre côtés avec remplacement des verres depuis l'intérieur, pour limiter les impacts sur les quais.

Les vitrages des garde-corps et les vitrages courbes de la verrière sont dotés d'un motif obtenu par sérigraphie.

LES LIAISONS VERTICALES

Un escalier métallique et un ascenseur sont disposés au centre de chaque quai afin de permettre la liaison entre quais et estacade.

Pour le quai côté Nord, ces équipements ne pourront toutefois être mis en place qu'après des travaux d'élargissement du quai (les charpentes métalliques sont par ailleurs dimensionnées dans l'éventualité d'un repositionnement ultérieur de la pile à l'axe du futur quai élargi).

RÉALISATION DE L'OUVRAGE

PLANNING

Les travaux sont réalisés sur une période de 16 mois qui correspond à la fabrication et l'assemblage de la charpente, la préfabrication des piles et escaliers et l'exécution des culées hors emprises ferroviaires.

Les travaux sur site sont concentrés sur cinq week-ends et trente nuits. C'est le temps de travail autorisé dans les emprises ferroviaires sous interruption de trafic et coupure des caténaires et qui se décompose comme suit :



13

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE & MARC JOSSE PHOTOGRAPHIE

13- Coques préfabriquées de fût de pile.

14- Dépose échafaudages.

15- Quai fini.

13- Precast shells of pier shaft.

14- Dismantling scaffolding.

15- Finished platform.

au milieu des quais et trois week-ends pour la pose des charpentes principales, des ossatures secondaires support de la verrière et des superstructures.

RÉALISATION DES MICROPIEUX

Un préterrassement sur 30 cm est au préalable réalisé afin de pouvoir canaliser et récupérer les fluides de forage sans rejet sur les quais lors des opérations de forage (figure 10).

Afin de tenir le planning serré de réalisation des micropieux sur les quais, 2 machines travaillent en 3 postes de 8h lors des 2 week-ends de coupure ferroviaire. Pas moins de 6 équipes de foreurs sont mobilisées pour ces opérations, soit 24 personnes au total.

RÉALISATION DES PILES

Le planning de réalisation des piles exécutées par Bouygues Travaux Publics Régions France est le suivant :

→ 15 nuits pour la réalisation en simultané des piles P1 & P2 (quais D & C) ;

→ 15 nuits pour la réalisation de la pile P3 (quai B).

Les 2 premières nuits sont consacrées au terrassement, blindage par panneaux type Krings, recépage des micropieux et béton de propreté (figure 11). Dans ce même temps, est approvisionné sur les quais l'ensemble des armatures de la semelle.

On enchaîne ensuite par le ferrailage des semelles à la fois de jour et au cours de la 3^e nuit (figure 12).

Le bétonnage de la semelle est réalisé lors de la 4^e nuit à l'aide d'une pompe située hors de l'emprise ferroviaire.

La 5^e nuit est réservée au retrait des panneaux de blindage, au remblaiement sur le pourtour de la semelle ainsi qu'à l'acheminement d'échafaudages auto stables entourant les futurs fûts des piles. ▷



14

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE



15

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE



16

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE

De la 6^e à la 13^e nuit sont réalisés les fûts de piles. Pour ces élévations, on a opté pour la solution de coques préfabriquées en béton armé servant de coffrage perdu pour le coulage (figure 13). Cette solution permet un gain de temps et d'encombrement par rapport à l'utilisation classique de banches de coffrage. Durant ces nuits, on alterne donc les phases :

- Mise en œuvre du ferrailage préfabriqué ;
- Mise en œuvre des coques préfabriquées ;
- Bétonnage des coques.

Pour une pile, composée de 2 fûts, c'est un total de 6 coques préfabriquées qui est mis en œuvre.

Les 14^e et 15^e nuits sont réservées au retrait des échafaudages (figure 14) et à la reconstitution des enrobés du quai (figure 15).

RÉALISATION DE LA CHARPENTE

Les tronçons des tabliers métalliques ont été réalisés dans l'usine de Techno Métal Industrie à Seilles en Belgique, soit 5 tronçons de 10 à 20 t pour l'estacade et 6 tronçons de 20 à 30 t pour la passerelle.

L'entreprise de charpente métallique a également fabriqué la structure porteuse principale de la toiture de l'estacade, réalisée en poutres-caissons courbes.

Les tronçons ont ensuite été assemblés sur site sur une plateforme coté

culée Nord. L'intégralité des travaux de soudure et de traitement anticorrosion a ainsi été exécutée hors emprises ferroviaires, permettant la reconstitution complète des trois ensembles - passerelle, estacade et escaliers - avant les opérations de levage.

Le bureau d'études Greisch a mené l'ensemble des études d'exécution de l'ouvrage. Un soin particulier a été apporté à la compatibilité des déforma-

16- Maquette Tekla post traitée sur le logiciel Twin Motion. 17- Grutage de la passerelle.

16- Tekla model post-processed on the Twin Motion software. 17- Crane handling of foot bridge.

tions entre les charpentes principales, l'ossature secondaire et la couverture en verre.

Les éléments supports de la verrière ont été implantés en absolu sur la structure porteuse après la réalisation d'un levé topographique et le contrôle de la géométrie de la charpente. Cette étape a permis de fiabiliser la mise en œuvre sous avis technique des éléments de verre courbe lors des ITC (Interruption



17

© BOUYGUES TP - RÉGIONS FRANCE



18

© SECOA

Temporaire des Circulations ferroviaires) par l'entreprise MtechBuild.

Les interfaces entre la charpente métallique, les élévations du génie civil et les superstructures sont gérées par l'échange de maquettes numériques 3D (BIM niveau 2) et elles ont été pilotées sous le logiciel Tekla par Bouygues Travaux Publics Régions France (figure 16).

L'ensemble des réseaux est intégré à l'intérieur des structures caisson des tabliers et de la toiture grâce à des tubes inox soudés étanches.

L'étanchéité de la charpente est un système d'étanchéité liquide (SEL), mis en place sans mécanisation pour éviter toutes projections sur les écrans en verre.

GRUTAGE

Afin minimiser les interventions dans le milieu ferroviaire, chacun des ouvrages a été gruté en un seul élément, équipé de ses appareils d'appui et des ossa-

tures secondaires, mais sans les éléments de verre de la verrière ni les garde-corps.

La mise en place de la passerelle et de l'estacade a nécessité la mobilisation d'une grue à chenille d'une capacité nominale de 650 t, dans sa configuration avec super lift équipé de 325 t de contrepoids (figures 17 et 18).

Après le réglage et nivellement des tabliers, les escaliers d'accès aux quais et les pylônes d'ascenseurs puis l'ensemble des structures en verre de la toiture de l'estacade et des garde-corps ont été posés durant les coupures réservées. □

18- Grutage de l'estacade.

18- Crane handling of viaduct.

PRINCIPALES QUANTITÉS

CHARPENTE : 320 t

BÉTON : 550 m³

MICROPIEUX : 109 u et 1 426 m de longueur cumulée

VERRIÈRE : 400 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION COMPOSÉ DE :

Bouygues Travaux Publics Régions France / Architecture Et Ouvrages D'Art / Secoa (groupe Artelia) / CB économie

MAÎTRE D'OUVRAGE : Chartres Aménagement pour le compte de la Ville de Chartres

ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : Antea

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

ÉTUDES EXÉCUTION : Bureau Greisch

FONDATIONS : Tppo et Capsol

CHARPENTE MÉTALLIQUE : Techno Métal Industrie

SUPERSTRUCTURES : Mtechbuild

ÉTUDES VERRIÈRE : Rfr (groupe Artelia)

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF FOOT BRIDGE FOR THE CHARTRES STATION HUB

GEOFFREY BOULANGER, BOUYGUES TP - ANNE SCHWARTZ, BOUYGUES TP - THOMAS LAVIGNE, LAVIGNE CHERON - MICHEL PAGES, SECOA - STÉPHANE DE GAIL, SECOA

The foot bridge project for the Chartres station hub comprises two steel structures resting on shared supports: the foot bridge structure linking two districts of the city, and the viaduct structure connecting the station platforms. The latter structure is covered with a glass roof having a complex shape due to its numerous curves. To execute these structures, the authorised work time in the enclosed railway area was extremely limited. Prefabrication was therefore used as much as possible, and each of the two structures was hoisted by crane above the tracks in a single piece. □

LA CONSTRUCCIÓN DE LA PASARELA DEL EJE DE LA ESTACIÓN DE CHARTRES

GEOFFREY BOULANGER, BOUYGUES TP - ANNE SCHWARTZ, BOUYGUES TP - THOMAS LAVIGNE, LAVIGNE CHERON - MICHEL PAGES, SECOA - STÉPHANE DE GAIL, SECOA

El proyecto de la pasarela del eje de la estación de Chartres consta de dos estructuras metálicas sustentadas sobre apoyos comunes: la estructura de pasarela que une dos barrios de la ciudad y la estructura de muelle que permite la conexión con los andenes de la estación. Esta última estructura está recubierta por una cristalera de geometría compleja para responder a sus múltiples curvas. Para realizar estas obras, el tiempo de trabajo autorizado en el recinto ferroviario fue extremadamente limitado. Es por ello que se recurrió tanto como fue posible a la prefabricación, y las dos estructuras se instalaron sobre las vías como un único elemento mediante una grúa. □



© EGIS

RECONSTRUCTION DU VIADUC DU CHARMAIX EN SAVOIE

AUTEURS : PATRICE ADIER, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS OUVRAGES D'ART - REYNALD KERROMEN, CHEF DE PROJET OA, EGIS OUVRAGES D'ART - OLIVIER VIRET, DIRECTEUR DE TRAVAUX, BOUYGUES TP RF - JÉRÔME GUILPIN, INGÉNIEUR TRAVAUX, MATIERE - NICOLAS MICHE, DIRECTEUR TECHNIQUE, SFTRF

FONDÉ DANS UNE ZONE D'ÉBOULIS SOUMISE À GLISSEMENT LENT MAIS CONTINU, LE NOUVEAU VIADUC DU CHARMAIX EST CONÇU POUR PERMETTRE LE RECALAGE DE SON TABLIER SUR SES APPUIS POUR UNE DURÉE DE 100 ANS AU FIL DE L'ÉVOLUTION DU GLISSEMENT. LE PRÉSENT ARTICLE PRÉCISE LES PARTICULARITÉS DE CETTE CONCEPTION INHABITUELLE ET FAIT LE POINT SUR L'AVANCEMENT DE LA CONSTRUCTION.

CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Construit en 1976-77 à 1 100 m d'altitude, le viaduc du Charmaix permet à l'autoroute de la Maurienne de franchir la brèche du torrent du Charmaix pour rejoindre l'entrée française du tunnel du Fréjus distante de 2 km. Long de 346,14 m cet ouvrage de type VIPP présente 9 travées isostatiques attelées par le hourdis 3 travées par 3 travées (figure 1).

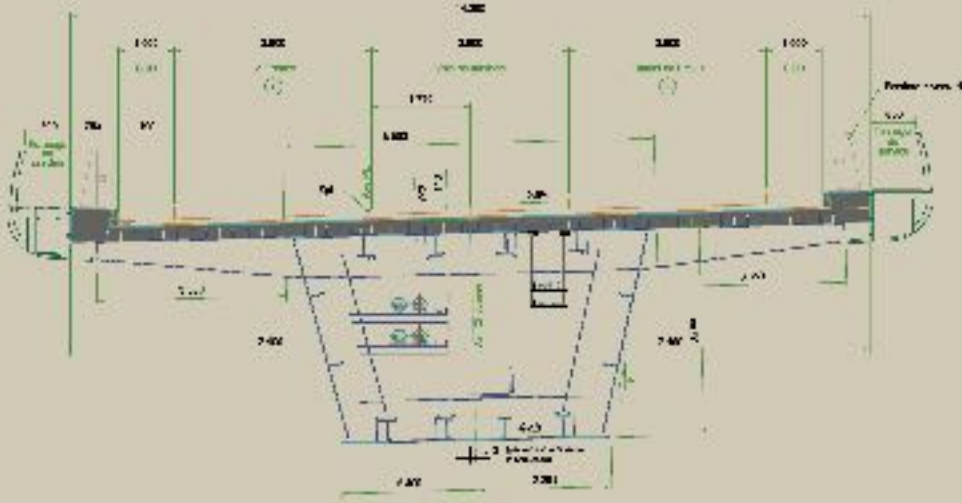
Peu après son achèvement, des éclatements de béton en abouts de poutres sont constatés, témoignant du déplacement de ses appuis sous l'effet d'un glissement des versants encadrant le torrent du Charmaix, que les moyens de l'époque n'avaient pas permis d'appréhender. Pour y faire face, une solution originale de réparation a été élaborée par Jean Tonello consistant, après avoir dissocié les piles de leurs semelles, en l'aménagement en pied de piles d'un

1- Site du viaduc du Charmaix existant en 2013.

1- Site of the Charmaix viaduct existing in 2013.

dispositif de manœuvre suivant 3 directions permettant, au gré de l'évolution du glissement, de recalcr les piles au plus proche de leur position initiale. Cette réparation devait amener l'ouvrage jusqu'à l'horizon 2030, cependant le passage de la ligne THT Savoie-Piémont (320 kV) dans l'ouvrage en 2020 conduit le maître d'ouvrage à anticiper la construction d'un nouveau viaduc, conçu pour s'adapter au déplacement des versants.

COUPE TRANSVERSALE DU NOUVEAU VIADUC



© EGIS 2

DONNÉES FONCTIONNELLES DU NOUVEAU VIADUC

Le nouveau viaduc conserve les 3 voies de circulation de l'existant avec 1 voie montante, 1 voie descendante et une voie centrale neutralisée. La largeur de chaussée est cependant augmentée en conformité avec la réglementation actuelle, portant celle-ci de 11,0 m à 12,5 m (figure 2).

2- Coupe transversale du nouveau viaduc.
3- Vue en plan - implantation du nouvel ouvrage.

2- Cross section of the new viaduct.
3- Plan view - location of the new structure.

L'assainissement est également amélioré, une collecte des eaux de ruissellement dans une corniche caniveau et la création de bassins aux pieds des culées, permettant de gérer la pollution chronique et une pollution accidentelle, feront place au rejet direct dans le torrent du Charmaix.

Le nouveau viaduc est dimensionné aux Eurocodes, en intégrant le passage de convois exceptionnels de

272 t et de convois militaires type PEB. Les 4 câbles de la ligne THT Savoie-Piémont passeront sous fourreaux à l'intérieur du tablier. Des analyses d'impact thermique ont été réalisées et un cas de charge thermique particulier a été introduit pour la justification du tablier vis-à-vis de la température de fonctionnement des câbles.

CONTRAINTES D'IMPLANTATION DU NOUVEL OUVRAGE

La liaison autoroutière internationale ne pouvant être interrompue, le viaduc existant ne sera déconstruit qu'après la mise en service du nouveau viaduc. De fait, le nouveau pont est construit en parallèle de l'existant côté montagne (figure 3) avec pour conséquences :

- D'importants déblais et confortements de talus à réaliser à proximité de la circulation ;
- Un nouvel ouvrage inscrit sur un rayon de courbure de 400 m.

DONNÉES DU GLISSEMENT

Depuis la mise en évidence du glissement, le site du Charmaix et le viaduc existant sont l'objet d'une lourde instrumentation : topographie, inclinométrie, piézométrie.

40 années d'observations et de suivi ont donc été analysées par les géotechniciens de la maîtrise d'œuvre ▷

VUE EN PLAN - IMPLANTATION DU NOUVEL OUVRAGE

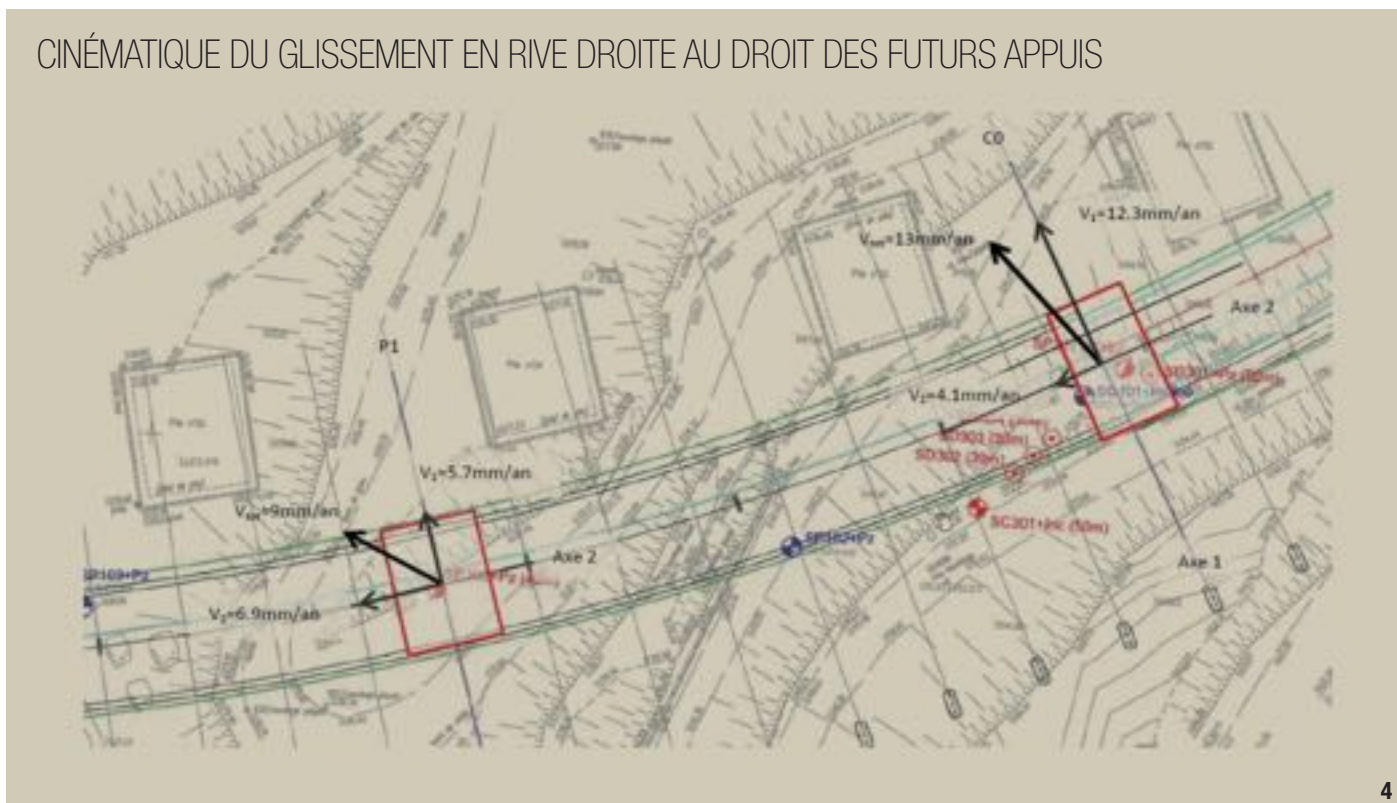


A, B, C, D : sur axe d'implantation du tracé
P1, P2 : sur axes principaux des piles

	X	Y
A	989 030 864	6 480 878 791
B	989 012 871	6 480 887 144
C	989 720 520	6 480 982 278
D	989 804 010	6 480 912 784
P1	989 012 800	6 480 985 701
P2	989 728 364	6 480 981 008
C-max	989 018 380	6 481 287 102

© EGIS 3

CINÉMATIQUE DU GLISSEMENT EN RIVE DROITE AU DROIT DES FUTURS APPUIS



4

pour évaluer les caractéristiques du glissement et projeter, sur la base de ces données historiques, les déplacements qui pourraient être attendus au droit des appuis sur les 100 ans à venir. Les 3 opérations de recalage conduites sur l'existant de 1987 à 2003 ont conduit à déplacer les piles jusqu'à 38 cm en cumulé, ce qui donne une idée du phénomène en jeu. L'exploitation de ces données a permis de poser les constats suivants :

- L'activité du glissement demeure 40 ans après la construction,

le phénomène est permanent et irrémédiable (le déplacement maximum cumulé en rive droite, s'il n'y avait pas eu de recalage, atteindrait 55 cm après 40 ans) ;

- La vitesse de glissement fluctue de 1 à 2 cm/an s'activant en période de fonte de neige, dans des terrains qui sont le siège de fortes circulations d'eau ;
- En rive droite, une forte épaisseur de moraine (40-50 m) où se superposent plusieurs plans de glissement, superposition à l'origine

4- Cinématique du glissement en rive droite au droit des futurs appuis.

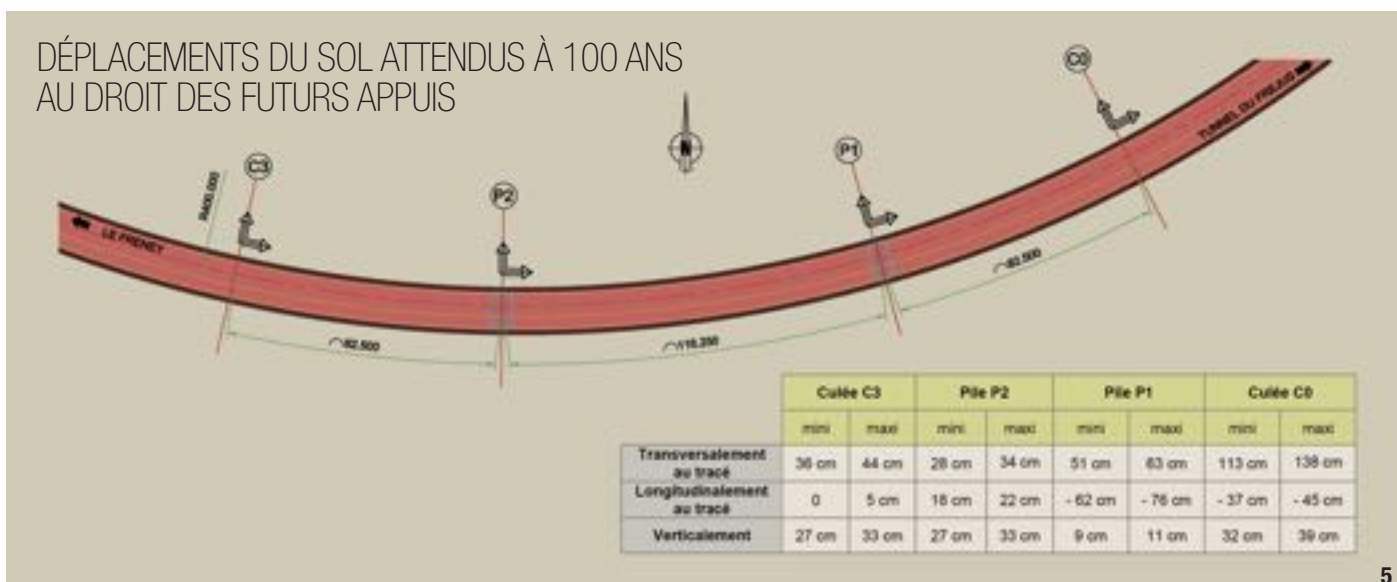
5- Déplacements du sol attendus à 100 ans au droit des futurs appuis.

4- Kinematic drawing of right-bank slippage at the level of the future supports.
5- Expected soil movements over 100 years at the level of the future supports.

des déplacements plus importants constatés sur ce versant ;

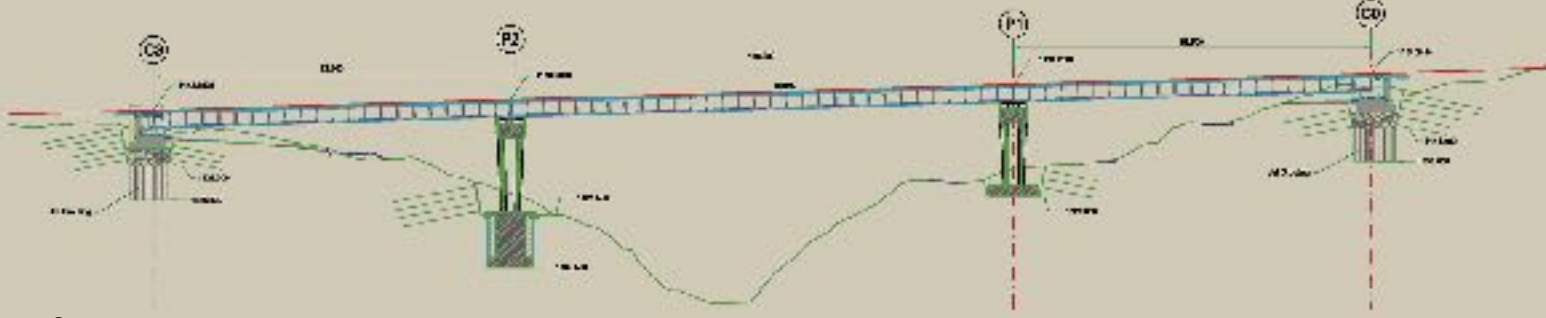
- En rive gauche, une épaisseur de moraines moindre (10-20 m) avec un plan de glissement correspondant à l'interface moraine/schistes. La figure 4 donne un exemple de la cinématique du glissement en rive droite au droit des futurs appuis. Ainsi, pour une durée de 100 ans, correspondant à la durée de vie requise de l'ouvrage, les mouvements de terrain prévus au droit de chacun des appuis sont présentés sur la figure 5.

DÉPLACEMENTS DU SOL ATTENDUS À 100 ANS AU DROIT DES FUTURS APPUIS



5

COUPE LONGITUDINALE DU NOUVEAU VIADUC



6

© EGIS

NOUVEAU VIADUC ET GLISSEMENT

L'épaisseur de la moraine et la profondeur des plans de glissement en voie droite ne permettent pas d'envisager une solution classique consistant à isoler l'appui de la masse de sol en mouvement par des coques en béton. Se poserait en outre la question du traitement des raccordements entre des culées fixes et des accès entraînés par le glissement.

Ce contexte a conduit le maître d'œuvre à développer une conception de pont dont les appuis "dérivent" avec un

6- Coupe longitudinale du nouveau viaduc.

7- Dimensions des bossages - Cheminement du tablier sur ses piles.

6- Longitudinal section of the new viaduct.

7- Dimensions of anchor blocks - Deck layout on its piers.

tablier "repositionnable" sur sa géométrie initiale. Ce parti pris est décliné comme suit :

- Un nombre d'appuis réduit, pour limiter le nombre de points de manœuvre ;
- De grandes portées et un tablier en caisson mixte pour la souplesse et une meilleure accommodation aux déformations imposées, afin de limiter la périodicité des recalages dans le temps ;
- Des appareils d'appui en élastomère fretté, pour bénéficier également de leur capacité de déformation.

Ces dispositions conduisent à un viaduc de 281,25 m se décomposant en 3 travées de 82,5 m / 116,25 m / 82,5 m (figure 6).

Au fil du temps, sous l'action du glissement, les déplacements des appuis évoluent et se répartissent au prorata des raideurs des piles, des appareils d'appui, du tablier. Ils sont compensés par la déformation du tablier et par la distorsion des appareils d'appui.

Une fois la limite en distorsion d'un couple d'appareils d'appui atteinte, un recalage du tablier sera effectué. À la différence du viaduc existant, les opérations seront réalisées en têtes de piles et non à leurs bases.

Suivant la cinématique de la figure 5, le glissement se traduit en plan par un rapprochement des culées et un tablier se refermant sur sa courbure.

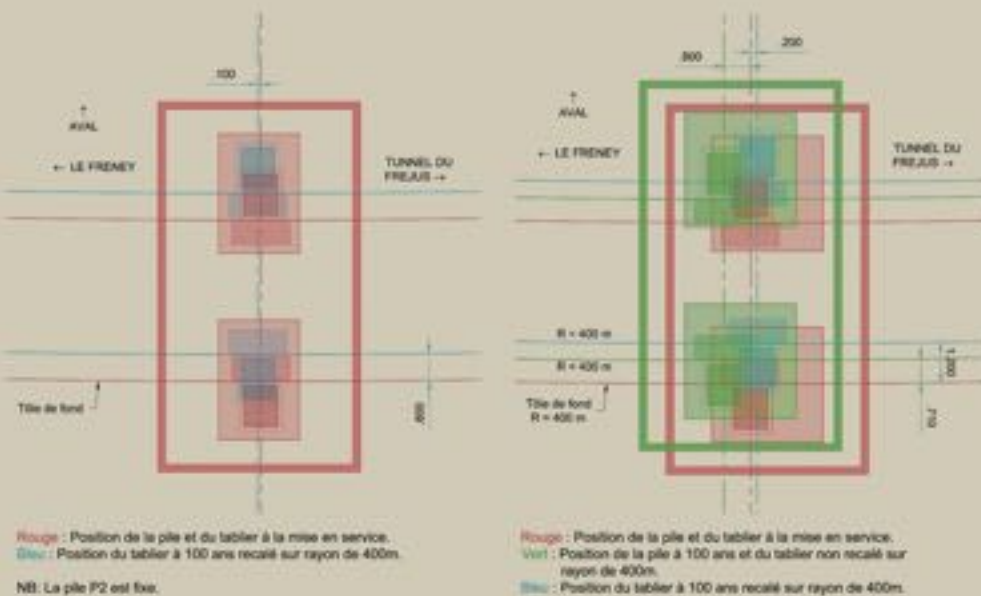
Vis-à-vis du rapprochement des culées qui à 100 ans pourraient se rapprocher de 1,30 m les dispositions suivantes sont prévues :

- Surdimensionnement de l'ouverture des joints de chaussée dont le réglage initial intégrera un rapprochement à 30 ans des culées ;
- Casquettes de garde-grève des culées de dimensions augmentées pour permettre leur sciage au remplacement des joints ;
- Aménagement du caisson pour permettre son déplacement longitudinal.

Vis-à-vis du cintrage du tablier, les opérations de recalage consisteront à restituer le rayon de courbure initial du tablier à partir de la position déplacée des culées ce qui se traduira sur les piles par un déplacement du tablier vers l'aval. Ce fonctionnement atypique nécessite des appareils d'appui, des bossages et des têtes d'appui présentant des dimensions compatibles avec l'exploitation de l'ouvrage dans le glissement pendant 100 ans, comme le montre la figure 7.

DIMENSIONS DES BOSSAGES

Cheminement du tablier sur ses piles



	Culée C3		Pile P2		Pile P1		Culée C0	
	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.
Dimension des appareils d'appuis	0,70 m	1,00 m	1,00 m	1,20 m	1,00 m	1,20 m	0,70 m	1,00 m
Dimension des bossages d'appuis	2,70 m	2,95 m	2,40 m	3,55 m	3,30 m	3,40 m	2,70 m	2,95 m

7

Lors des manœuvres de recalage, le tablier sera bridé transversalement sur ses appuis, soulevé pour relaxer les appareils d'appui, puis déplacé sur son nouvel axe (rayon de 400 m passant par l'axe des culées), puis reposé sur ses appareils d'appuis repositionnés. Le dispositif de recalage est dimensionné pour des opérations de recalage tous les 10 ans impliquant des recalages de l'ordre de 15 cm par appui, le point limitant étant les appareils d'appui qui doivent assurer leur fonction (y compris sous séisme) tout en étant distordus par le glissement. En altimétrie, les écarts altimétriques entre appuis induits par le glissement sont gérés par l'introduction d'une dénivellation d'appui initiale de 30 cm sur piles qui pourra, le cas échéant, être complétée lors des recalages par l'insertion ou le retrait de cales biaisées. La possible rotation des semelles est également prise en compte dans la justification de l'ouvrage sous forme d'une imperfection géométrique en tête de pile.

AUTRES POINTS DE CONCEPTION ET CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

PROGRAMMATION

Situés en altitude, les travaux sont rythmés par les saisons hivernales pendant lesquelles les conditions climatiques rendent difficiles l'accès au chantier et la réalisation de certains travaux (figure 8).

La viabilité hivernale de l'autoroute interdit également le maintien d'une voie chantier le long de la zone de travaux de mi-novembre à début avril.

De fait la reconstruction du viaduc s'inscrit dans la durée, 6 saisons de travaux sont nécessaires :

→ **2016** (lancement des travaux mi-juin) : pistes d'accès, rétablissement

de pistes existantes, terrassements et parois clouées ;

→ **2017** : fin des appuis et parois en rive droite, poursuite des travaux de parois clouées en rive gauche ;

→ **2018** : fin des parois en rive gauche et des appuis en rive gauche, début du montage sur site du caisson métallique ;

→ **2019** : poursuite des travaux de charpente ;

→ **2020** : fin des travaux de charpente, hourdis, chaussées et équipements, basculement de circulation sur la nouvelle infrastructure ;

8- Contexte hivernal du site.

9- Paroi rive gauche en cours de travaux.

10- Culée C0, voir en particulier taille des bossages.

8- Winter environment of the site.

9- Left-bank wall during works.

10- Abutment C0. See in particular the size of anchor blocks.

→ **2021** : déconstruction du viaduc existant, finalisation des travaux d'assainissement et remodelages du site.

LES OUVRAGES DE RACCORDEMENT

Les raccords du tracé du nouveau viaduc à l'autoroute sont enchâssés dans le versant, ils conduisent à la réalisation de 30 000 m³ de déblais et 3 500 m² de parois clouées atteignant 15 m de hauteur, avec des clous de 10 à 26 m et des drains subhorizontaux de 40 m.





© EGIS

11a



11b



11c

11- Puits de la pile P2.
12- Outil coffrant des piles.

11- Shaft of pier P2.
12- Formwork for piers.

Dans le contexte d'instabilité de versants du site, ces travaux ont fait l'objet d'une instrumentation et d'un suivi particulier : topographie, inclinomètres manuels et automatiques, tiltmètres, extensomètres et clous extensométriques, afin de détecter, au jour le jour, tout mouvement anormal et d'adapter en conséquence les méthodes.

Le raccordement en rive droite a été réalisé par passes de terrassement de 2 m de hauteur, les clous étant forés classiquement au marteau fond de trou à l'air.

En rive gauche, suite à plusieurs accélérations des vitesses de glissement, des dispositions particulières ont dû être testées (marteau hors trou à l'air, puis à l'eau) pour aboutir finalement à la méthodologie suivante : limitation de la hauteur des passes, terrassement par plots de 12 m, pianotage, forage au marteau fond de trou à l'eau au lieu de l'air, afin de ne pas "vériner" le terrain à l'interface moraines / schistes (figure 9).



© EGIS / BOUYGUES

12a



12b



© EGIS / BOUYGUES

12c



12d

LES CULÉES

Les culées projetées consistent en un chevêtre sur semelle de 3 m d'épaisseur totale assis sur un massif en jet grouting constitué de colonnes de jet grouting de 80 cm de diamètre et de hauteur variant de 6,5 m à 12,5 m. Ces massifs de jet permettent de limiter la hauteur de fouille et de répartir les charges du nouvel ouvrage sur un horizon de meilleures caractéristiques sans impacter l'équilibre des fondations du viaduc existant.

Pour obtenir le diamètre requis, les colonnes ont été réalisées, après des planches d'essais, par la technique du mono-jet précédé par un pré-découpage à l'eau pour la culée rive droite, au coulis de ciment faiblement dosé pour la culée rive gauche.

Côté vallée, les culées sont prolongées par des murs en VSOL® jusqu'à retrouver le terrain naturel.

La figure 10 montre la culée C0, avec une bonne vision de la taille atypique des bossages.



13a



13b



13c

LES PILES

Les piles sont fondées superficiellement. La topographie relativement plane au droit de la pile P1 a permis de projeter une semelle de dimensions 10,75 m x 12,25 m fondée dans la moraine.

Au contraire, la pile P2 implantée à flanc de relief à forte pente a imposé de projeter une semelle ancrée au rocher sain trouvé à environ 12 m de profondeur. Cette fondation a été réalisée suivant la technique du puits marocain. Contrairement aux autres appuis, la pile P2 est donc fixe. Aussi afin de soustraire l'embase souterraine de la pile du sol l'enveloppant, un vide annulaire de 1 m est ménagé entre le corps de pile et les viroles du puits, permettant à celles-ci de se déplacer sous l'effet de glissement sans solliciter la pile. Le diamètre du puits réalisé est de 10,50 m, s'élargissant en patte d'éléphant au niveau de la semelle

pour atteindre 11,65 m (figure 11). En élévation, les proportions atypiques au regard de la section du tablier sont à relier aux prévisions de déplacements du tablier sur ses bossages d'appuis et aux opérations de recalage qui s'y dérouleront. La surface du sommier recevant les bossages de tête atteint ainsi près de 70 m² pour une emprise à la base inférieure à 25 m². Les cheminements du tablier prévus en tête d'appuis conduisent à une majoration des surfaces de diffusion des efforts se traduisant par un ferrailage conséquent de 45 t d'armatures par sommier. Les piles ont un profil s'évasant de façon régulière, elles ont été réalisées avec le même outil coffrant évolutif à chaque levée. Spécifiquement étudié et fabriqué pour l'ouvrage (figure 12), il a permis la réalisation de levées de 3,70 m de hauteur intégrant toutes les singularités architecturales : Élargissement continu du fût selon des

inclinaisons différentes sur les 4 faces, profond défoncé sur chaque face dont la profondeur et la largeur s'accroissent en montant, avec en fond un matriage type roche.

LE CAISSON

Le caisson présente une hauteur de 3,70 m, une semelle inférieure de 4,80 m et une semelle supérieure de 6,60 m. Le recours à un caisson fermé a été retenu par le maître d'œuvre pour permettre le lançage en courbe sur une portée de 100 m et un rayon de 400 m, ce qu'un caisson ouvert n'aurait pas permis. La tôle de fond présente une épaisseur variant de 25 à 70 mm, l'épaisseur de la tôle de fermeture varie de 25 à 45 mm, celle des âmes de 22 à 32 mm. Les tronçons sur pile sont réalisés en acier S460. Des diaphragmes espacés de 3,75 m assurent le maintien de la forme de la section transversale, ils sont prolongés

13- Vue générale de la charpente en cours d'assemblage sur la plateforme - Intérieur du caisson - Livraison d'éléments - à noter les raidisseurs pour "patch loading" en cours de lançage.

13a- Assemblage des 1^{ers} tronçons avec abri chauffé.

13b- Intérieur du caisson - à noter raidisseurs de "patch loading" vis-à-vis du lançage.

13c- Livraison tronçons du 2^e lançage poids unitaires des éléments 55 à 68 t.

13- General view of the frame undergoing assembly on the platform - Interior of box section - Delivery of components - note the stiffeners for patch loading during launching.

13a- Assembly of the first sections with heated shelter.

13b- Interior of box section - note patch loading stiffeners for launching.

13c- Delivery of sections for second launching, unit weight of components 55 to 68 tonnes.

14- Appareux de lancement - 3^e lançage.

14a- Début de la 3^e phase de lancement, caisson sur P2.

14b- Accostage sur la palée PP1, accostage sur la pile P2 - PP1 : 100 m, avant-bec de 60 m.

14c- Palée PP1 butonnée à la pile P1, accostage de l'avant-bec sur P1, fin du 3^e lançage.

14- Launching equipment - Third launching.

14a- Start of third launching phase, box section on P2.

14b- Landing on bent PP1, P2 pier-PP1 distance: 100 m, 60-m launching nose.

14c- Bent PP1 stayed on pier P1, landing of launching nose on P1, end of third launching.



© EGIS 14a



© EGIS 14b



14c
© EGIS

par des consoles pour limiter l'épaisseur de hourdis à 25 cm. Au droit des appuis de larges oreilles permettent d'assoir le tablier et de bien répartir les charges entre appareils d'appui intérieurs et extérieurs à la courbure.

Pour permettre leur transport depuis l'usine Matière de Bagnac/Célé (15), le caisson est décomposé en 14 tronçons de 15,0 à 25,0 m, chaque tronçon étant subdivisé transversalement en trois éléments.

Les trois joints longitudinaux sont réalisés sur site en tout ou partie à l'aide de chariots de soudage autorisant des cadences de soudage supérieures aux procédés manuels. La figure 13 illustre les conditions d'assemblage.

La protection anticorrosion des faces extérieures est réalisée par un complexe ACQPA répondant à la classe d'exposition C5Ma, l'intérieur du caisson est peint avec un complexe répondant à la classe d'exposition C4

LE LANÇAGE

La proximité de la circulation autoroutière induit les contraintes suivantes :

→ La plateforme de raccordement a été augmentée de 5 m côté versant pour permettre la circulation de matériel de levage le long du caisson en cours d'assemblage, cette sur-largeur prévue au projet sera mise à profit pour créer un refuge à l'entrée du viaduc.

→ Coincée entre le versant et la chaussée circulée, la plateforme disponible ne permet pas l'assemblage de plus de 70 m de caisson. La mise en place nécessitera donc cinq cycles d'assemblages et lançages.

→ Pour la même raison de proximité, le niveau altimétrique de la plateforme de lancement ne peut être très différent du niveau fini de la chaussée circulée, cela conduit à lancer le caisson près de 6 m au-dessus de sa position définitive, demandant la mise en œuvre d'imposants appareux de lancement (figure 14), ainsi que la réalisation d'une importante opération de descente du caisson après lançage.

La portée principale de 116,25 m, le rayon de 400 m du tablier et la profondeur de la brèche nécessitent pour le lançage un avant-bec de 60 m et l'installation d'une palée métallique de 22,60 m de hauteur devant la pile P1, au plus près du versant, pour ramener la portée de lançage à 100 m. Cette palée est butonnée par quatre tubes Ø 609 à la pile P1 pour en particulier limiter l'emprise de la fondation de la palée. ▷



Le lancement est réalisé en montant à 3% suivant le profil en long du tracé, sur patins en téflon avec contrôle en continu de l'effort de traction.

Le frottement pris en compte pour justifier les ouvrages est de 5% pour un effort mesuré à ce jour n'ayant pas excédé 3%.

Liées au site, les études de lancement prennent en compte pour les phases d'arrêt une charge de neige de 460 kg/m² et un vent de 80 km/h.

La capacité des chaises varie de 450 t à 900 t (pile P2).

Les phases de lancement sont réalisées sous couverture météo pour une vitesse de vent de 60 km/h maximum.

CONCLUSION

Le nouveau viaduc du Charmaix répond, dans sa conception, à la gageure de relier deux versants se rapprochant de 1 à 2 cm/an pour une durée de vie de 100 ans.

14d- Vue de la plateforme en cours de lancement.

14e- Accostage sur P1.

14d- View of the platform during launching.

14e- Landing on P1.

Au-delà de cet enjeu clé, l'opération apportera également des améliorations significatives en termes d'intégration :

- La collecte des eaux de ruissellement et leur traitement permettront de supprimer les rejets directs dans le torrent du Charmaix ;
- La transparence du nouveau viaduc va ré-ouvrir la vue sur les versants et le Charmaix depuis la vallée. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE UTILE DU TABLIER : 3 500 m²

TONNAGE CAISSON : 2 000 t

VOLUME DE BÉTON : 5 660 m³

TONNAGE FERRAILLAGE PASSIF - VIADUC ET APPUIS : 800 t

DÉBLAIS : 30 000 m³

CLOUS : 22 000 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société française du tunnel routier du Fréjus

MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis Structures & Environnement

ARCHITECTE : Cabinet Strates

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR :

- Bouygues Travaux Publics Région France (mandataire / parois clouées / génie civil / équipements)
- Matière (caisson métallique)
- Benedetti Guelpa (pistes / terrassements / assainissement / chaussée)
- Despe Demolizioni Speciali (déconstruction)

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE CHARMAIX VIADUCT IN THE SAVOY REGION

PATRICE ADIER, EGIS - REYNALD KERROMEN, EGIS - OLIVIER VIRET, BOUYGUES TP - JÉRÔME GUILPIN, MATIERE - NICOLAS MICHE, SFTRF

The Charmaix viaduct on the Maurienne motorway was built at the end of the 1970s. It is supported on foundations in moraine. Not long after it was completed, damage appeared on its deck, testifying to the slippage activity of slopes not very well analysed by the reconnaissance techniques available at that time. In the 1980s, it underwent an original repair operation, developed by J. Tonello, enabling a realignment of the supports for a period of 40 to 50 years. As the repair work comes closer to the end of its service lifetime, and with the "Savoy-Piedmont" EHV line due to pass over the structure in the future, the client Sfrf decided to bring forward the construction of a new structure. This new viaduct is designed to adapt to ground movements over a lifetime of 100 years, during which movements of up to about 1.50 metres are expected. □

RECONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO DE CHARMAIX, EN SABOYA

PATRICE ADIER, EGIS - REYNALD KERROMEN, EGIS - OLIVIER VIRET, BOUYGUES TP - JÉRÔME GUILPIN, MATIERE - NICOLAS MICHE, SFTRF

El viaducto de Charmaix que cruza la autopista de la Maurienne fue construido a finales de los años 70, sustentado sobre morrena. Poco después de su finalización, aparecieron problemas en el tablero que revelaban la actividad de un deslizamiento de vertientes mal estudiado por los técnicos de reconocimiento de la época. Durante los años 80, fue objeto de una reparación original, diseñada por J. Tonello, que permitió reforzar los apoyos para darles una vida útil de 40 a 50 años. La cercanía de este límite funcional de la reparación y el futuro paso sobre la obra de la línea THT Saboya-Piemonte han llevado a Sfrf, responsable del proyecto, a anticipar la construcción de un nuevo viaducto, diseñado para adaptarse a los movimientos del terreno y con una vida útil de 100 años, durante la cual se prevén desplazamientos del orden de los 1,50 m. □



C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr



1
© EIFFAGE GC

DÉVIATION DE LA RN19 À PORT-SUR-SAÔNE - VIADUCS DE LA SCYOTTE ET DE LA SAÔNE

AUTEURS : LIONEL BOGNER, RESPONSABLE BET, EIFFAGE MÉTAL - BRICE LHUILLIER, CONDUCTEUR TRAVAUX PRINCIPAL, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - VALENTIN MEYER, INGÉNIEUR D'AFFAIRES, EIFFAGE MÉTAL - LUDOVIC PICARD, CHEF DE SECTEUR OUVRAGES D'ART, EIFFAGE/BIEP

LES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA SCYOTTE ET DE LA SAÔNE S'INSCRIVENT DANS LE CADRE DE LA DÉVIATION DE LA RN19 À PORT-SUR-SAÔNE (70). CES DEUX VIADUCS SONT SIMILAIRES DANS LEUR CONCEPTION, AVEC UN TABLIER DE TYPE BIPOUTRES MIXTES À PIÈCES DE PONT (LARGEUR 21,70 m) DE 98 m DE PORTÉE MAXIMUM ET DES PILES EN "Y" D'ENVIRON 25 m DE HAUTEUR DONT LES BRANCHES SONT RELIÉES PAR UN SYSTÈME DE CONTREVENTEMENT MÉTALLIQUE EN FORME DE CROIX DE SAINT-ANDRÉ. DES SUJÉTIONS D'ÉTUDES ET DE TRAVAUX SONT LIÉES NOTAMMENT À LA CONCEPTION DE CES PILES ET AUX GRANDES DIMENSIONS DU TABLIER.

CONTEXTE GÉNÉRAL - PRÉSENTATION DES OUVRAGES

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les ouvrages de franchissement de la Scyotte (OA8) et de la Saône (OA3) s'inscrivent dans le cadre de la déviation de la RN19 à Port-Sur-Saône (70) (figure 1). Le projet de déviation de Port-sur-Saône s'inscrit dans un programme global

d'aménagement progressif de la RN19 entre Langres et Delle en itinéraire à haut niveau de service (2 x 2 voies).

PRÉSENTATION DES OUVRAGES

Le viaduc de la Scyotte est destiné à permettre le franchissement du vallon de la Scyotte (affluent de la Saône) par la future RN19. Il a une longueur totale de 192,50 m correspondant :

**1- Ouvrage
de la Saône
en cours de
lançage.**

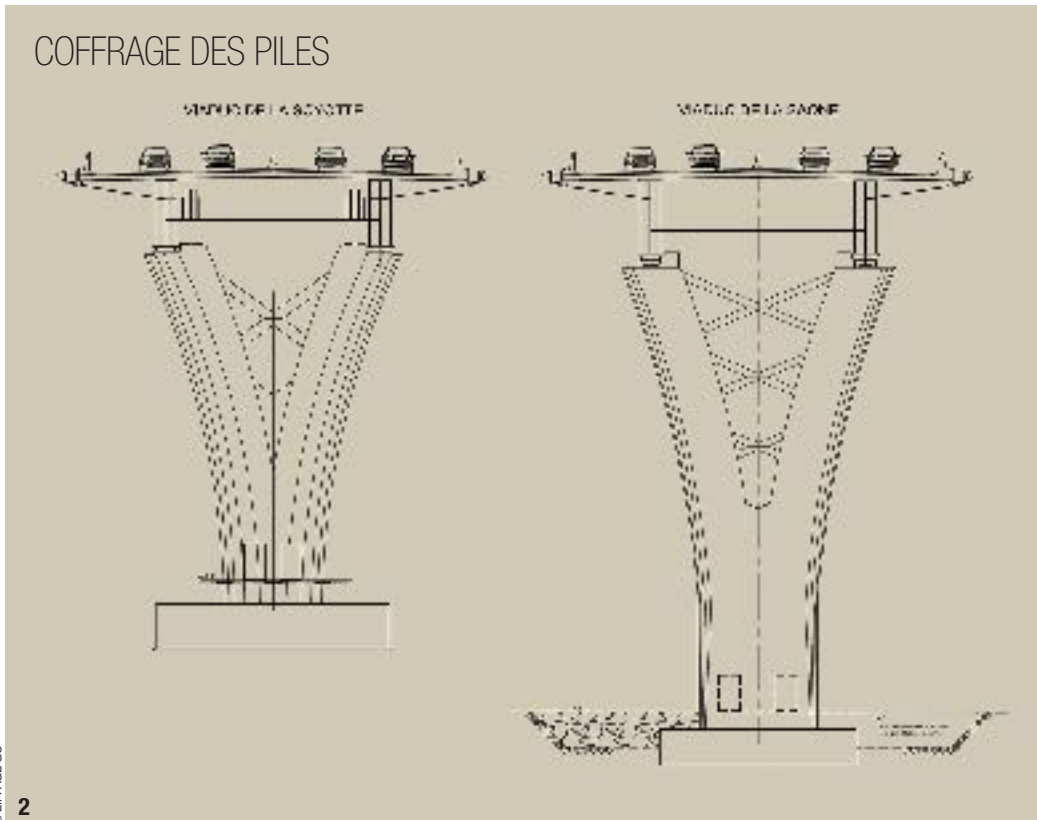
**1- Saône
viaduc
undergoing
launching.**

→ À une longueur entre axe des appuis sur culées de 190,00 m ;
→ Et à deux abouts de tablier de 1,25 m chacun.

Il est constitué de trois travées continues dont les portées valent : 57,00 m - 76,00 m - 57,00 m. Son tracé en plan est rectiligne.

Le viaduc de la Saône est destiné à permettre le franchissement de la vallée

COFFRAGE DES PILES



© EIFFAGE GC
2

de la Saône par la future RN 19. Outre la rivière, le viaduc franchit également la RD 56 (travée n°2) et la RD 20 en rive gauche de la Saône (travée n°7). Le viaduc a une longueur totale de 607,00 m correspondant :

- À une longueur entre axe des appuis sur culées de 604,50 m ;
- Et à deux abouts de tablier de 1,25 m chacun.

Il est constitué de huit travées continues dont les portées valent : 58,5 m - 5x78,0 m - 97,5 m - 58,5 m. Son tracé en plan présente une courbe de rayon 1800 m.

Dans les deux cas le tablier a une ossature mixte acier-béton de type "bipoutres" à pièces de pont et consoles espacées en moyenne d'environ 3,80 m. La largeur totale du hourdis est de 21,70 m et son épaisseur moyenne est de 26 cm.

Pour le viaduc de la Scyotte, le hourdis est constitué de dalles préfabriquées toute épaisseur qui sont clavées au droit des semelles supérieures des poutres principales et des pièces de pont. Pour le viaduc de la Saône, compte tenu de la longueur et de sa courbure, le hourdis est coulé en place à l'équipage mobile.

Tous les appareils d'appui sont en élastomère fretté, sauf sur les culées du viaduc de la Saône où il s'agit d'appuis à pot unidirectionnels (glissants dans

2- Coffrage des piles.

3- Coupe sur batardeau de la pile P3.

2- Pier formwork.

3- Cross section on cofferdam of pier P3.

le sens longitudinal) pour 2 d'entre eux et multidirectionnels pour les 2 autres. Les culées C0 et C3 du viaduc de la Scyotte et la culée C0 du viaduc de la Saône sont fondées sur 2 files de pieux Ø 1 000 de longueur variable. La culée C8 du viaduc de la Saône est fondée superficiellement.

Les piles sont constituées d'un fût creux elliptique, de section variable, qui se divise en deux branches suivant

une poutre parabolique pour supporter les poutres principales du tablier. À la jonction avec la semelle, la longueur du fût de pile est de 6,623 m et la largeur est variable suivant les piles (environ 2,5 à 2,6 m).

Les deux branches sont reliées en tête par des tirants métalliques en forme de croix de Saint-André, situées dans le plan moyen de la pile pour le viaduc de la Scyotte, et tridimensionnelles dans le cas du viaduc de la Saône (figure 2).

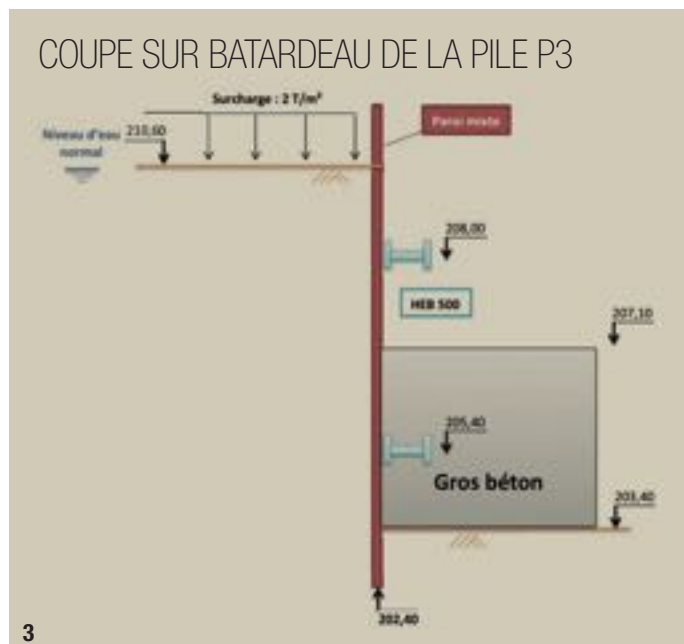
ÉTUDES D'EXÉCUTION FONDATEMENTS

Pour les piles, le contexte géologique est marqué par la présence de calcaire sain, mais présentant des risques de karsts, dont le toit se situe à une profondeur variant entre 3 et 8 m par rapport au niveau de la berge. Il est surmonté d'une couche de calcaire plus ou moins fracturé et de limons argileux jusqu'à la surface. Ainsi, il a été choisi de fonder les piles par semelles superficielles posées sur une couche de gros béton d'épaisseur variable, permettant d'atteindre le calcaire sain. Cette conception a nécessité la réalisation de batardeaux de palplanche dont la profondeur pouvait donc atteindre 8 m. En premier lieu, un programme de sondages de reconnaissance a été mis au point, consistant en la réalisation de 4 forages destructifs afin de repérer la présence éventuelle de karsts et mieux évaluer le niveau de la limite entre le calcaire sain et le calcaire fracturé, ainsi que 4 autres forages destructifs pour un essai de pompage et la pose de piézomètres.

Étant donnée la difficulté qu'il y a à ficher correctement les palplanches dans le substratum calcaire, le mode constructif retenu est de créer un *combi-wall*. Ainsi, les tubes permettent l'ancrage du batardeau en pied après forage et battage.

Le calcul du batardeau a dû prendre en compte une butée de pied très limitée et, pour la pile P3, P5 et P6, un niveau intermédiaire de cadres de butonnage a dû être mis en place car les tubes n'étaient pas suffisamment enfoncés dans le sol (figure 3).

Par ailleurs, du fait du caractère variable de la limite entre le calcaire fracturé et le calcaire sain et l'impossibilité d'obtenir une étanchéité fiable à l'interface palplanches/sol rocheux, il a été nécessaire de réaliser de manière systématique des injections de pied de batardeau afin de combler les vides intergranulaires du sol et les fractures de la roche.



3
© EIFFAGE GC

Les culées, à l'exception de la culée C8 du viaduc de la Saône, ont été fondées sur pieux ancrés dans le calcaire sain. Pour repérer la position du toit du substratum, il a été réalisé un sondage destructif à l'emplacement de chaque pieu. Ces sondages ont permis de constater, pour une même culée, une grande variabilité de niveau du substratum. Compte tenu de la très grande dureté du rocher, il s'est avéré impossible d'uniformiser la longueur des pieux. Ainsi, pour la culée C0 du viaduc de la Scyotte, cette longueur varie entre 11,90 m et 23,20 m.

PILES

L'élément clé de chacune des piles est son système de contreventement métallique des branches en forme de croix de Saint-André.

Dans le cas du viaduc de la Scyotte, ce contreventement est constitué d'une croix unique située dans le plan moyen de la pile, fait de tubes métalliques de 600 mm de diamètre pénétrant dans le béton et s'ancrant à celui-ci au moyen

de goujons soudés en périphérie du tube. Le fût de la pile et les branches étant creux, le marché prévoyait des bossages internes pour la réalisation des ancrages des tubes (figure 4).

Cette conception ne permettait pas de concevoir un relevage direct des efforts importants transmis par les tubes (jusqu'à 1150 t en traction à l'État Limite Ultime) vers l'extérieur de la branche. Il aurait été nécessaire de refermer complètement le diaphragme, ce qui aurait rendu inaccessible la partie supérieure. Ainsi, compte tenu des difficultés prévisibles dans la conception du ferrailage, il a été proposé à la maîtrise d'œuvre de remplir complètement les branches. Cette proposition a été validée après vérification du fait que le supplément de poids apporté en partie haute de la pile n'altérerait pas de manière trop sensible le comportement sismique de la structure.

Dans le cas du viaduc de la Saône, ce contreventement est tridimensionnel car les tubes sont dédoublés pour aller s'ancrer directement dans les parois

latérales des branches. Il est situé sur 3 niveaux du fait de la plus grande hauteur des piles. Les tubes sont ancrés dans le béton au moyen de platines cruciformes (figure 5).

Cette conception permet une meilleure répartition des efforts (traction maximum de 350 t dans chaque tube). De fait il n'a pas été jugé nécessaire de modifier l'équarrissage des branches qui sont donc restées creuses. Le ferrailage passif au droit des ancrages est néanmoins très dense, avec la mise en œuvre de cavaliers entourant les files de goujons et la réalisation de percements dans les platines permettant le passage des aciers verticaux et horizontaux qui, dans cette zone, font également fonction de diffusion de l'effort dans leurs plans respectifs.

Dans les deux cas, les calculs des efforts ont été réalisés au moyen de modèles de calcul simples à base d'éléments de barres et d'excentrement rigides en utilisant le logiciel Sofistik. Un modèle global de l'ouvrage avec le tablier et l'ensemble des piles a été réalisé pour l'étude sismique. La détermination des ferrillages est issue de calculs de flexion pour les branches et le fût et de calcul locaux en bielle-tirant pour la liaison entre les

4- Contreventement des piles du viaduc de la Scyotte.

5- Contreventement des piles du viaduc de la Saône.

6- Géométrie des croix de Saint-André.

4- Wind bracing for the piers of the Scyotte viaduct.

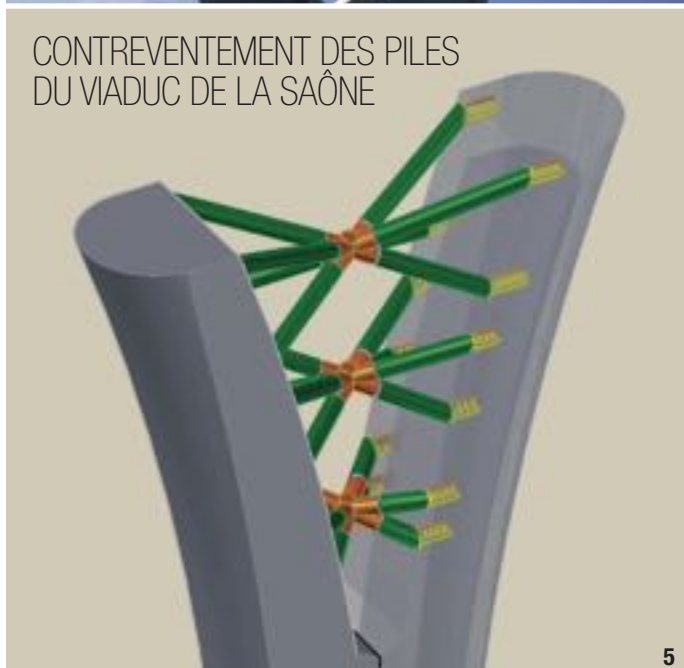
5- Wind bracing for the piers of the Saône viaduct.

6- Shape of Saint Andrew's crosses.



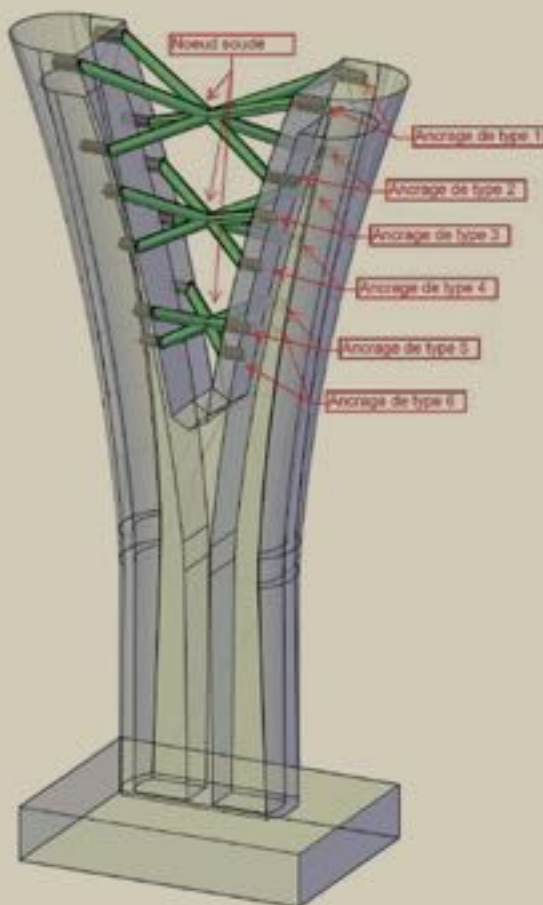
4

CONTREVENTEMENT DES PILES DU VIADUC DE LA SAÔNE



5

GÉOMÉTRIE DES CROIX DE SAINT-ANDRÉ

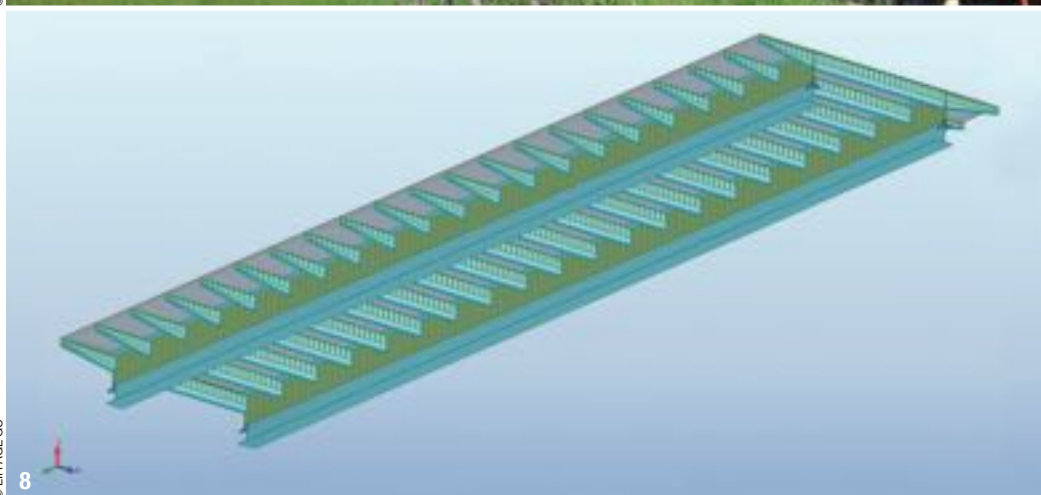


6

© EIFFAGE MÉTAL



© EIFFAGE METAL



© EIFFAGE GC

contreventements et la structure béton. Dans le cas du viaduc de la Scyotte, la justification du contreventement unique n'a pas présenté de difficulté majeure, le seul point sensible aura été le nœud de croisement où la diffusion des efforts est réalisée par l'ajout d'un raidissage en croix, les tubes étant sollicités en permanence en traction.

Dans le cas du viaduc de la Saône, la justification des croix a demandé une analyse plus poussée, en effet du fait de la géométrie et des épaisseurs des voiles des piles chaque niveau de piles présente des caractéristiques géométriques et des sollicitations différentes (figure 6).

Grace à la modélisation 3D réalisée sous Catia, il a été possible de définir précisément les surfaces concomi-

tantes entre les différents tubes afin de déterminer les cordons de soudures adéquats pour chaque surface de contact entre tubes et, en parallèle, de définir les découpes type "gueule de loup" en extrémités des tubes en

7- Contreventement.

8- Modèle de calcul du hourdis.

7- Wind bracing.

8- Deck section design calculation model.

adéquation avec les moyens de productions (angle de chanfrein maxi et mini des commande numériques).

CULÉES

La culée C0 de chaque ouvrage a servi de massif de réaction du treuil pour le lançage de la charpente. Pour le viaduc de la Scyotte, cela représentait un effort horizontal maximum de l'ordre de 180 t. le sommier de culée a pu être justifié avec les aciers dimensionnés pour le service, sans nécessité de renfort particulier.

Dans le cas du viaduc de la Saône, de longueur bien plus importante et lancé avec une partie de ferrailage passif de la dalle embarqué, l'effort peut atteindre localement 440 t et nécessiter des renforts locaux.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

Les études d'exécution de la charpente métallique ont été réalisées avec le logiciel Mixtebridge, avec une modélisation filaire 2D, et n'ont pas montré de point singulier par rapport aux estimations du DCE.

Dans le cas du viaduc de la Saône, du fait des grandes travées, les études de montages ont démontré la nécessité de renforcer certains panneaux d'âme par des raidisseurs horizontaux au vu des réactions de lançage, ainsi qu'un contreventement provisoire au niveau du porte-à-faux avant (46 m) pour garantir l'accostage sur la plus grande travée (figure 7).

HOUDIS BÉTON

L'épaisseur des hourdis est constante à 25 cm avec des renormis d'épaisseur variable au droit des pièces de pont et des poutres principales.

La justification du hourdis a été faite au moyen d'un modèle de calcul global représentant une travée complète combinant des éléments de barres pour la poutraison métallique et des éléments de coque épaisse pour la dalle (figure 8).

Pour le viaduc de la Scyotte, le hourdis est réalisé par éléments préfabriqués pleine épaisseur.

Dans le sens longitudinal, les éléments portent entre pièces de pont, soit une longueur de 3,35 m.

Pour le viaduc de la Saône, le hourdis est coulé en place à l'équipage mobile.

Pour éviter les opérations de grutage sur site, la mise en place des cages d'armatures est réalisée à l'avancement, préalablement à chaque lançage.

Les cages d'armatures doivent présenter une rigidité suffisante pour supporter leur propre poids sur 3,50 m de portée sans présenter une flèche excessive qui rendrait impossible l'amenée du coffrage. Elles ont donc été rigidifiées par la mise en œuvre de poutrelles métalliques de chaînage constituées de barres filantes et cadres HA soudés entre eux.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

CHRONOLOGIE

Viaduc de la Scyotte

Les travaux ont démarré en février 2017 par la construction des pistes de chantier. La réalisation des piles a démarré en mars 2017. Le hourdis béton a été réalisé à partir du mois de novembre 2017. La préfabrication des dalles du hourdis s'est faite sur chantier (figure 9).

Viaduc de la Saône

Les travaux ont démarré en novembre 2017 par la construction des pistes de chantier. À partir de janvier 2018 les travaux de fondations avec notamment la réalisation des batardeaux. La réalisation des piles a démarré en mars 2018. Le hourdis béton sera réalisé à partir du mois d'avril 2020 (figure 10).

FONDATIONS

Des pieux forés tubés définitifs ont été réalisés sous les appuis des culées C0 et C3 du viaduc de la Scyotte et de la culée C0 du viaduc de la Saône. Des injections de sol permettent de combler les vides avant de venir construire une semelle de fondation sur les piles P1 et P2 du viaduc de la Scyotte et sur la culée C8 du viaduc de la Saône.

Les piles du viaduc de la Saône sont fondées superficiellement. Les fouilles sont terrassées jusqu'à l'atteinte du sol rocheux, un gros béton de remplissage est coulé pour rattraper les différences de niveau. Certaines piles, dans la zone humide, (Pile P2 à P6) ont nécessité la mise en place d'un blindage afin de venir effectuer le terrassement à l'intérieur.

Les pieux de diamètre 1 000 et de profondeur de 15 à 25 m ont été réalisés par l'entreprise Durmeyer (sous-traitant d'Eiffage génie civil). Les pieux sont forés à l'aide d'une foreuse Bauer BG 20.

Les tubes sont laissés dans le sol de manière définitive afin de servir de coffrage et d'éviter des pertes importantes de béton dans les sols karstiques.

Les fondations sous les piles - Aléas karstiques sur la pile P5

Lors de la réalisation des terrassements à l'intérieur du batardeau de la pile P5, il a été constaté des venues d'eau importantes par le fond de fouille ne permettant pas une mise au sec. Ces arrivées d'eau sont alimentées, pour l'essentiel, par des fractures subverticales et des conduits d'origine karstique. L'intégrité mécanique du sol a été remise en cause et l'entreprise a proposé une solution de confortement du sol par injection de coulis. Les travaux d'injection ont été réalisés et le cheminement normal des travaux a pu reprendre.

APPUIS

Les culées des deux ouvrages sont des radiers de 2,00 m d'épaisseur. Ils ont été coffrés à l'aide de banches métalliques après réalisation d'un béton de propreté. Un garde-grève et deux murs en retour sont réalisés après lançage.



9
© EIFFAGE GC

Les piles sont réalisées avec un coffrage métallique conçu sur mesure pour le viaduc de la Saône. Deux outils ont été fabriqués afin de réaliser le fût et les branches de manière indépendantes. Les plans de ferrailage des piles ont été optimisés afin de permettre la pré-fabrication dans un gabarit pendant le réglage du coffrage. Ensuite les cages d'armatures sont posées dans le coffrage à l'aide de la grue et sont éclissées entre elles.

9- Vue du viaduc de la Scyotte.

10- Vue d'ensemble viaduc de la Saône.

9- View of the Scyotte viaduct.

10- Overall view of the Saône viaduct.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

Les charpentes métalliques des 2 ouvrages sont issues de l'usine alsacienne de Lauterbourg, spécialisée en fabrication de ponts et ouvrages d'art. La difficulté majeure en termes de fabrication résidait dans le nœud central des croix de Saint-André des piles. Des procédures spécifiques ont été élaborées pour s'assurer de la conformité géométrique et des soudures de ce dernier (figure 11).

La charpente du viaduc de la Scyotte a été livrée sur chantier en 8 tronçons (soit 16 poutres) de 19 à 30 m de longueur. La poutre la plus lourde livrée sur chantier pesait 62 t.

Celle du viaduc de la Saône est, quant à elle, découpée en 24 tronçons (soit 48 poutres) de 19 à 31 m de longueur. La poutre la plus lourde livrée sur chantier pèse 83 t.

Des convois exceptionnels par la largeur ont également été nécessaires pour transporter les croix de Saint-André des piles (figure 12).

Pour ces convois exceptionnels, 2 jours de transport sont nécessaires pour rallier Port-sur-Saône depuis Lauterbourg. Sur site, le viaduc de la Scyotte a été assemblé par soudure en 3 phases distinctes, chacune ponctuée d'un lançage. La spécificité de ces lançages résidait dans la nécessité d'inverser le sens des patins de glissement en téflon, afin de permettre le glissement entre ces derniers et les chaises de



10
© EIFFAGE GC



lançage plutôt qu'avec la charpente métallique. En effet, un coefficient de frottement réduit n'est pas atteignable pour les charpentes en acier autopatinnable qui sont par définition non revêtue de protection anticorrosion et donc très rugueuses.

Le viaduc de la Saône est, quant à lui, mis en place grâce à 5 lançages. Les cages d'armatures du tablier sont mises en place au préalable sur plateforme et embarquées avec la charpente lors des lançages. Lors du dernier lançage, le dispositif de traction est constitué d'un mouflage en 12 brins qui permet de réduire l'effort au brin à 17,4 t malgré un effort total de traction de 209 t.

HOURDIS EN BÉTON

Le hourdis du viaduc de la Scyotte a été réalisé par éléments préfabriqués pleine

épaisseur posés dans leur totalité à la grue avant clavage au droit des pièces de pont.

Le démarrage des travaux de réalisation du hourdis du viaduc de la

11- Croix de Saint-André inférieure en cours de fabrication.
12- Transport des croix de Saint-André.

11- Lower Saint Andrew's cross during manufacturing.
12- Transporting the Saint Andrew's crosses.

Saône est prévu au printemps 2020. Le tablier sera en béton armé. Le ferrailage est préfabriqué sur gabarit et posé sur la charpente au fur et à mesure de l'assemblage. L'ouvrage est ensuite lancé.

Une fois tous les lançages réalisés et la charpente mise sur appuis provisoires, le bétonnage du tablier pourra commencer.

Le bétonnage se fera par plots délimités par les pièces de pont (différents des plots d'armatures), ils sont au nombre de 53. En effet, les plots sont basés sur l'espacement entre les dispositifs

de retenue H3, ainsi le gabarit est identique pour tous les éléments. Classiquement, les plots situés à l'aplomb des piles seront exécutés en dernier, permettant de limiter les efforts de traction et la fissuration du béton.

CONCLUSION

Le viaduc de la Scyotte est achevé et est actuellement utilisé pour le cheminement des engins de terrassement. Le tablier du viaduc de la Saône est en cours de lançage. La mise en service de la déviation est prévue dans le courant de l'année 2020. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire - DREAL Bourgogne Franche-Comté

MAÎTRE D'ŒUVRE : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire - SIR Alsace Franche-Comté (DIR Est)

ENTREPRISES : Eiffage GC (titulaire) - Eiffage Métal - Biep (Études)

PRINCIPALES QUANTITÉS

VIADUC DE LA SAÔNE

ACIER DE STRUCTURE : 4 050 t

BÉTON ARMÉ : 9 300 m³

ARMATURES : 1 500 t

COÛT DES TRAVAUX : 20,6 millions € HT

VIADUC DE LA SCYOTTE

ACIER DE STRUCTURE AUTOPATINABLE : 1 200 t

BÉTON ARMÉ : 2 700 m³

ARMATURES : 500 t

COÛT DES TRAVAUX : 6,2 millions € HT

ABSTRACT

RN19 DIVERSION AT PORT-SUR-SAONE - SCYOTTE AND SAONE VIADUCTS

LIONEL BOGNER, EIFFAGE MÉTAL - BRICE LHUILLIER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - VALENTIN MEYER, EIFFAGE MÉTAL - LUDOVIC PICARD, EIFFAGE/BIEP

The Scyotte and Saône viaducts are of the composite double-girder type with very wide crosspieces (21.70 m) and have a maximum span of 98 m. They incorporate "Y" piers about 25 metres high, the arms of which are connected by a metallic wind bracing system in the form of a Saint Andrew's cross, which notably engendered major design engineering and work requirements. □

DESVÍO DE LA RN19 EN PORT-SUR-SAONE - VIADUCTOS DE LA SCYOTTE Y DE LA SAONE

LIONEL BOGNER, EIFFAGE MÉTAL - BRICE LHUILLIER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - VALENTIN MEYER, EIFFAGE MÉTAL - LUDOVIC PICARD, EIFFAGE/BIEP

Las obras sobre el río Scyotte y el Saône son de tipo doble viga mixta con viguetas transversales de gran anchura (21,70 m) y de 98 m de longitud máxima. Disponen de pilotes en Y de unos 25 m de altura, cuyas ramas están unidas mediante un sistema de arrostramiento metálico en forma de cruz de San Andrés, lo que ha supuesto importantes complicaciones durante los estudios y las obras. □

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | | | | |
|-------|---|-------|---|-------|---|
| 940 x | 1 | 945 x | 1 | 950 x | 1 |
| 941 x | 1 | 946 x | 1 | 951 x | 1 |
| 942 x | 1 | 947 x | 1 | 952 x | 1 |
| 943 x | 1 | 948 x | 1 | 953 x | 1 |
| 944 x | 1 | 949 x | 1 | 954 x | 1 |

Soit un montant total de :
_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour nos abonnés à la 20^e édition, le prix de vente de la revue est de 15,20 € TTC par numéro.)

Chaque numéro de la revue est livré gratuitement à domicile. Pour bénéficier de cette offre, il est nécessaire de fournir une adresse postale complète et précise. Les abonnés à la revue sont informés que la revue est livrée en France uniquement. Les commandes sont traitées par Com et Com. Les commandes sont traitées par Com et Com. Les commandes sont traitées par Com et Com. Les commandes sont traitées par Com et Com.

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal _____ Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Nierd de ne pas communiquer ma adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM1 EVIDENCE**

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM1 EVIDENCE

- Je régle à réception de la lecture
 Je souhaite recevoir une facture accusée

_____, signature et/ou tampon professionnel



1

© AGENCE SCAU ARCHITECTURE

UN IMMEUBLE EN SURPLOMB D'UN TUNNEL RER EN EXPLOITATION À CERGY-PONTOISE

AUTEUR : RÉMI DE GAVOTY, INGÉNIEUR STRUCTURE CHEF DE PROJET, ARCADIS

PROFITANT DE L'APPEL D'AIR CRÉÉ PAR LES TRAVAUX DU GRAND PARIS, L'AGGLOMÉRATION DE CERGY-PONTOISE EST LE THÉÂTRE DE NOUVELLES OPÉRATIONS DE CONSTRUCTION. DANS UN CONTEXTE URBAIN DENSE, LA RÉALISATION D'UN IMMEUBLE-PONT SUR L'ÎLOT VERGER DE LA ZAC GRAND CENTRE EST EN COURS. POUR CE NOUVEAU BÂTIMENT DE BUREAUX, DES DISPOSITIONS DE CONCEPTIONS SPÉCIFIQUES ONT GUIDÉ LE PROJET DE LA CONCEPTION À SON EXÉCUTION. PLUS QU'UNE PROUESSE TECHNIQUE, IL S'AGIT D'ADAPTER L'ACTE DE CONSTRUIRE AUX CONTRAINTES DES HYPERCENTRES EN CONSTANTE MUTATION.

LA SITUATION

Depuis quelques années, l'agglomération de Cergy mise sur son capital attractif. Pôle d'activité principal du secteur de la confluence entre la Seine et l'Oise avec l'horizon du Canal Seine-Nord d'une part, gare terminus sur l'axe transilien Cergy-Pontoise/la Défense/Paris du projet du Grand Paris d'autre part, l'agglomération compte bien

1- Perspective du bâtiment-pont de l'îlot Verger, tranche 1.

1- Perspective view of the Verger city block building-bridge, work phase 1.

profiter de ces deux tremplins pour asseoir et accroître son rayonnement local. Manifestation directe de ce nouvel essor économique et de ce gain en visibilité, Cergy attire à nouveau le secteur privé de la promotion. Parmi eux, Scv Adim Paris Île-de-France Réalisations construit actuellement un immeuble de bureaux sur l'îlot Verger de la Zac Grand Centre (figure 1).

Située à proximité d'un axe autoroutier majeur et à quelques minutes de Paris en train, Cergy est l'une des 5 villes nouvelles bâties en Île-de-France à partir des années 1970. Son hypercentre s'est ainsi construit autour de la gare RER, point de connexion principal entre Cergy et Paris. Toute la journée et à quelques minutes d'intervalle, les trains inondent de voyageurs le centre-ville, ▷

les universités et les entreprises qui le composent. L'îlot Verger s'implante donc dans ce territoire (figure 2) : au nord, le boulevard de l'Oïse, la future gare routière et la piste cyclable ; à l'ouest, la place de la Gare qui sera prochainement agrandie ; au sud, la rue de la Gare ; à l'est, le boulevard de l'Hautil. Sur la parcelle, une ancienne aire de stationnement pour voiture et, seulement quelques mètres sous terre, les deux tunnels du RER A.

LE PROJET IMMOBILIER

Le programme prévoit la construction de deux niveaux de rez-de-chaussée avec, au-dessus, 6 étages de bureaux :

→ Pour les deux niveaux de rez-de-chaussée, il est prévu la réalisation d'un parking commun à l'ensemble de la parcelle et dédié aux bureaux et à leurs utilisateurs, les halls d'accès aux différents lots de bureaux et un volume de commerce livré coque nue coté parvis de la Gare. Par la topographie des rues qui bordent la parcelle, les deux rez-de-chaussée seront directement accessibles par l'extérieur.

→ Pour les six étages, il s'agit de plateaux de bureaux modulables pouvant recevoir de multiples preneurs. La surface de planchers (SDP) pour les deux tranches est de 20 000 m² environ.



2

© AGENCE SCAU ARCHITECTURE

2- Schéma 3D de situation du projet, tranche 1 et tranche 2.

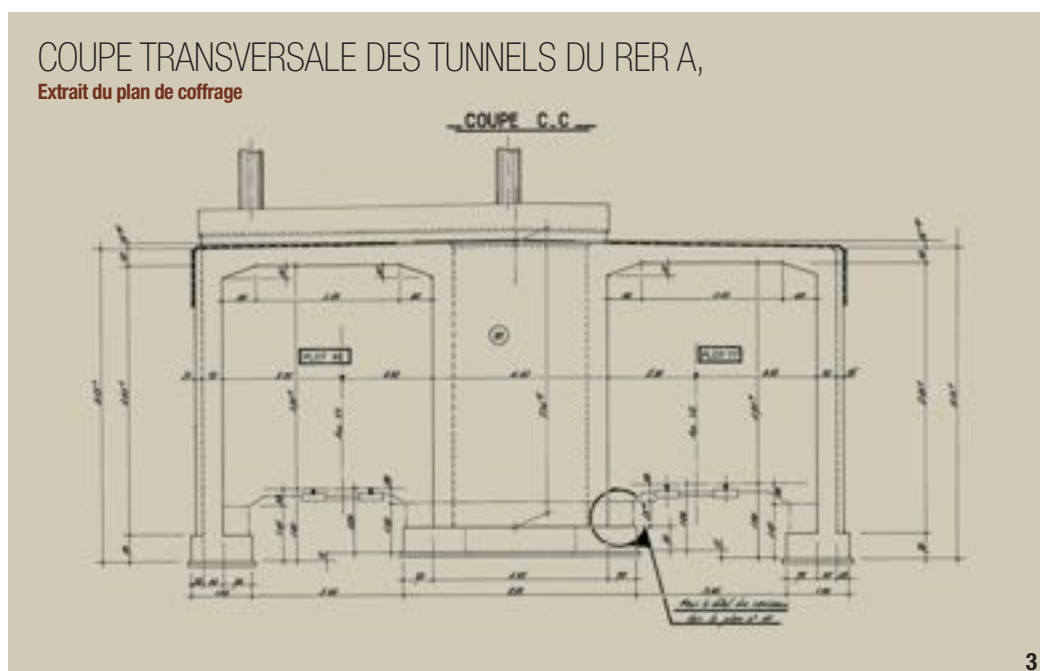
3- Coupe transversale des tunnels du RER A, extrait du plan de coffrage.

4- Coupe schématique des tunnels du RER A et zones d'intervention possible.

2- 3D diagram of project location, work phases 1 and 2.

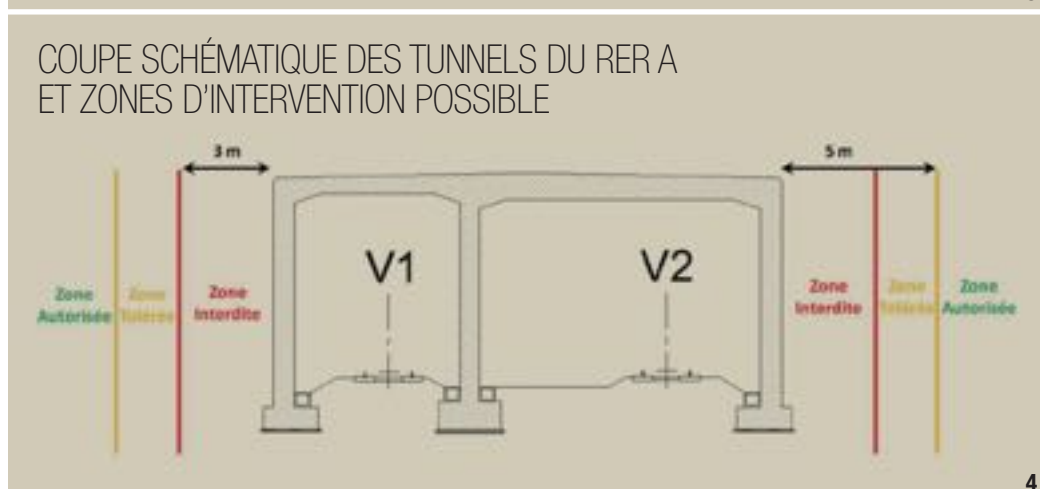
3- Cross section of RER A tunnels, excerpt from formwork plan.

4- Schematic cross section of RER A tunnels and possible work areas.



3

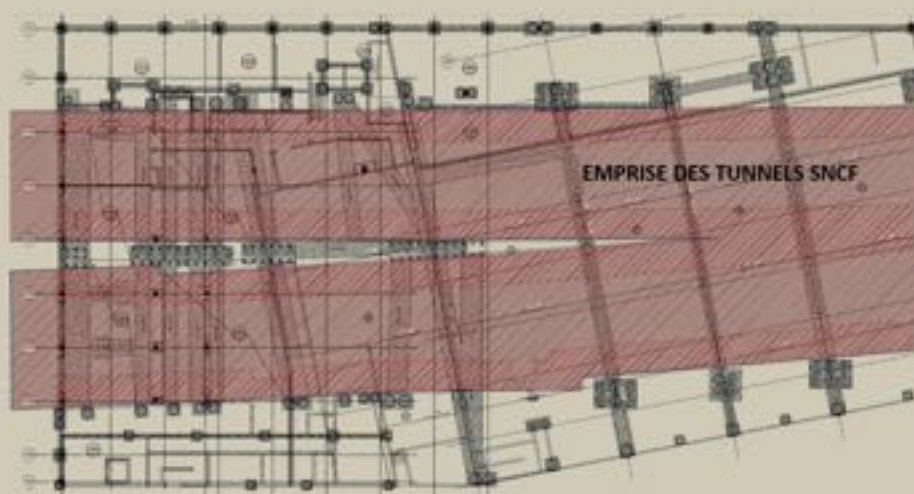
© SNCF



4

© SNCF

VUE EN PLAN DES FONDATIONS, PHASE PRO



5- Vue en plan des fondations, phase PRO.

6- Maquette BIM structure, modélisation du tunnel RER A et des plans porteurs permettant le pontage du bâtiment.

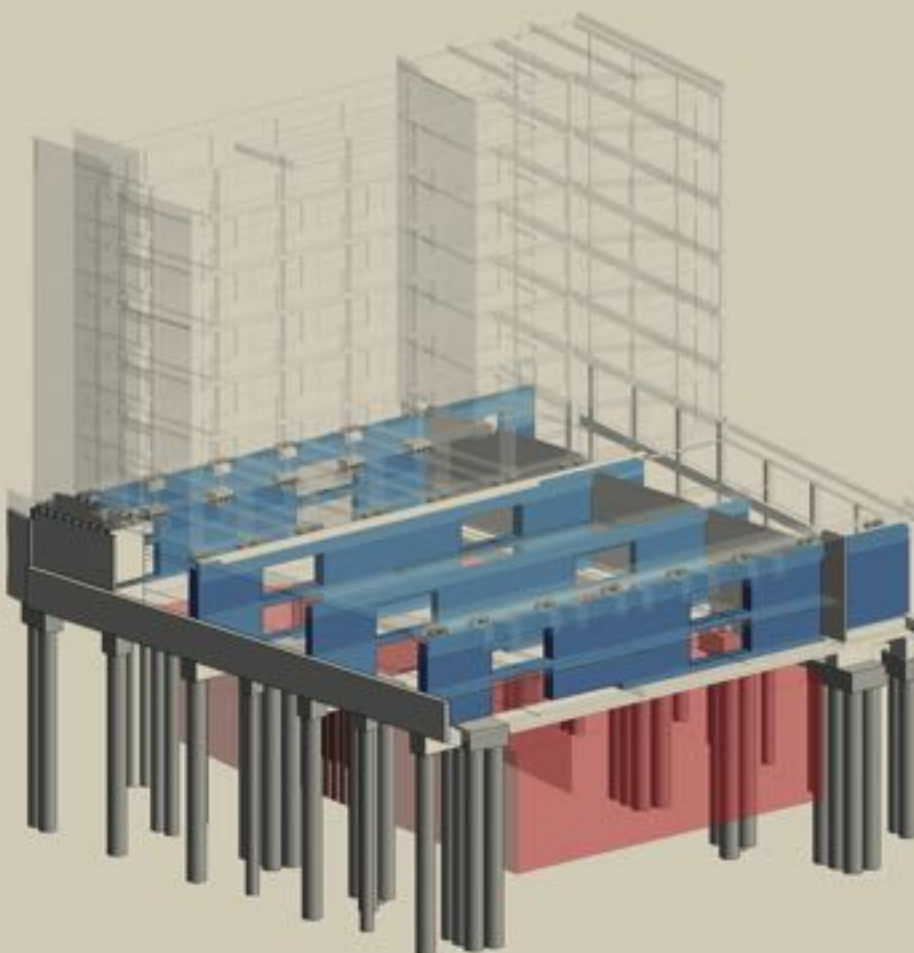
5- Plan view of foundations, project phase.
6- BIM model of structure, modelling of RER A tunnel and load-bearing drawings allowing bridging of the building.

© ARCADIS

5

MAQUETTE BIM STRUCTURE

Modélisation du tunnel RER A et des plans porteurs permettant le pontage du bâtiment



6

L'opération est prévue en deux tranches de constructions. La partie Ouest de l'opération est réalisée en tranche 1. Cette tranche est actuellement en construction. La partie Est constituera la tranche 2 qui est actuellement en phase étude.

UNE CONSTRUCTION AU-DESSUS DES VOIES FERRÉES

À l'instar des nouveaux quartiers qui se construisent au-dessus des voies ferrées de la gare d'Austerlitz (Zac Paris Rive Gauche) ou de la gare du Nord (Zac Chapelle Internationale) à Paris, l'exploitation foncière de ces espaces est un phénomène de plus en plus courant dans les zones à forte densité urbaine. Mais la réappropriation de ces lieux en y superposant un maillage urbain traditionnel implique des sujétions techniques sur la conception et la construction des bâtiments tout à fait spécifiques. Dans le cas précis de l'îlot Verger, à environ 1,40 m en dessous du niveau de la dalle basse du RDC bas, deux tunnels SNCF de la ligne RER A existent, ces deux tunnels se rejoignant sur la parcelle pour ne former qu'un seul ouvrage. Ces tunnels ont été construits en 1977. Les ouvrages sont de type portique en béton armé. Les piliers sont fondés sur des semelles filantes à environ 10 m de profondeur par rapport au terrain naturel (figure 3). L'ensemble a été réalisé vraisemblablement en tranchée talutée puis remblayée. Par ailleurs, en mesure conservatoire, des longrines sont présentes sur la partie supérieure des ouvrages. Elles ont été conçues initialement pour transmettre des charges (bâtiment futur) sur les piliers des tunnels. ▸



7

© ARCADIS

Le projet imaginé initialement n'ayant finalement pas abouti, ces dernières n'ont toutefois pas été utilisées. Les enjeux et contraintes vis-à-vis de la présence de ces tunnels sont donc multiples.

S'agissant de la nouvelle construction, autant pour les ouvrages provisoires que définitifs, il était expressément demandé par la SNCF :

→ Qu'aucun ouvrage ne soit implanté à moins de 3 m derrière les piédroits des tunnels (figure 4) ;

→ Que la construction ne puisse modifier les combinaisons de chargement de l'ouvrage SNCF au-delà de + ou - 10%.

DES FONDATIONS ADAPTÉES AU SITE

Compte tenu de l'importance de la descente de charges globale du projet, environ 365 000 kN, une solution de fondations profondes est retenue (figure 5). Les méthodologies de réalisation des fondations permettent de

limiter les vibrations générées par les travaux vis-à-vis de l'exploitation de la ligne RER :

→ De part et d'autre du tunnel, ces fondations sont des pieux isolés ou groupes de pieux, réalisés à la tarière creuse de type Starsol par l'entreprise Soletanche Bachy Pieux pour le compte de Campenon Bernard Construction.

→ Entre les deux tunnels V1 et V2, ces fondations sont des micropieux de type autoforant.

Les fondations du bâtiment ont été descendues à des niveaux inférieurs au niveau d'assise des piédroits des ouvrages SNCF, leur dimensionnement prenant en compte les contraintes générées par les semelles des tunnels SNCF.

Les pieux étant réalisés à la tarière creuse, ils n'utilisent pas d'autre fluide de forage que le béton qui constitue ces pieux.

Compte tenu de leur proximité avec les tunnels SNCF, il s'agit là de l'argument



8

© AGENCE SCAU ARCHITECTURE

7- Ferrailage des longrines constituant la membrure inférieure des futures poutres-échelles.

8- Réalisation des poutres-échelles dans la hauteur des parkings.

7- Reinforcing bars for longitudinal girders forming the lower members of the future Viereendeel trusses.

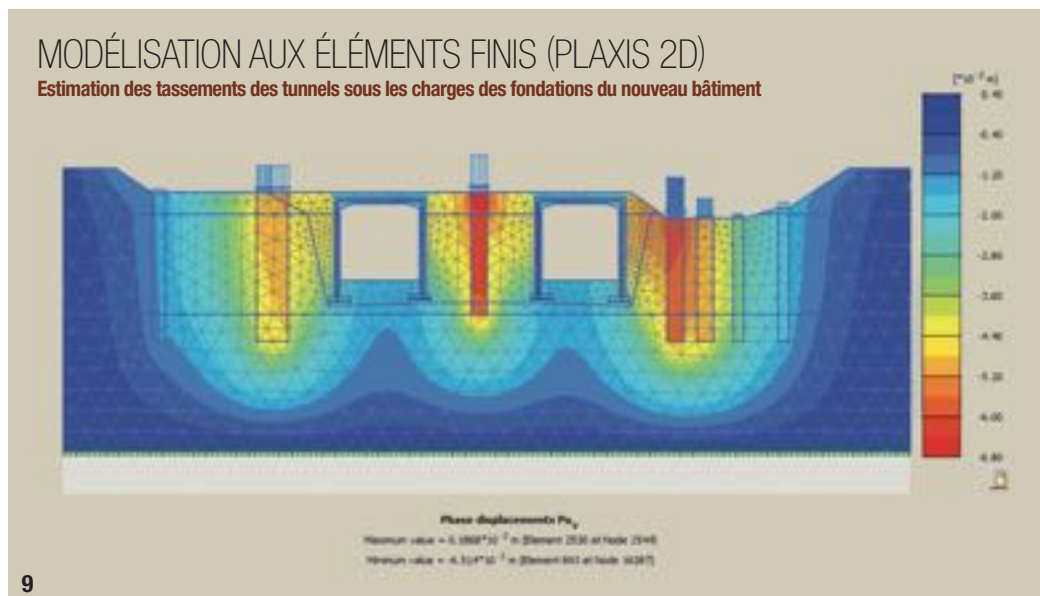
8- Execution of Viereendeel trusses in the parking-lot headroom.

9- Modélisation aux éléments finis (Plaxis 2D) pour estimer les tassements des tunnels sous les charges des fondations du nouveau bâtiment.

10- Maquette BIM structure, modélisation de l'ensemble isolé par les boîtes à ressorts de la tranche 1.

9- Finite element modelling (Plaxis 2D) to estimate tunnel subsidence under the load of the new building's foundations.

10- BIM model of structure, modelling of the work phase 1 assembly insulated by spring boxes.



principal qui a conduit à une solution par pieux plutôt qu'une solution par barrettes.

Les barrettes nécessitent l'emploi de bentonite, avec un risque de perte de boue et donc de confinement dans des terrains à forte perméabilité.

Pour la réalisation des fondations entre les deux tunnels, l'évolution d'engins lourds au-dessus de leurs dalles de couverture était difficilement envisageable. Il a donc été prévu des micro-

pieux pour les fondations centrales du bâtiment, dont les engins de forage sont plus légers.

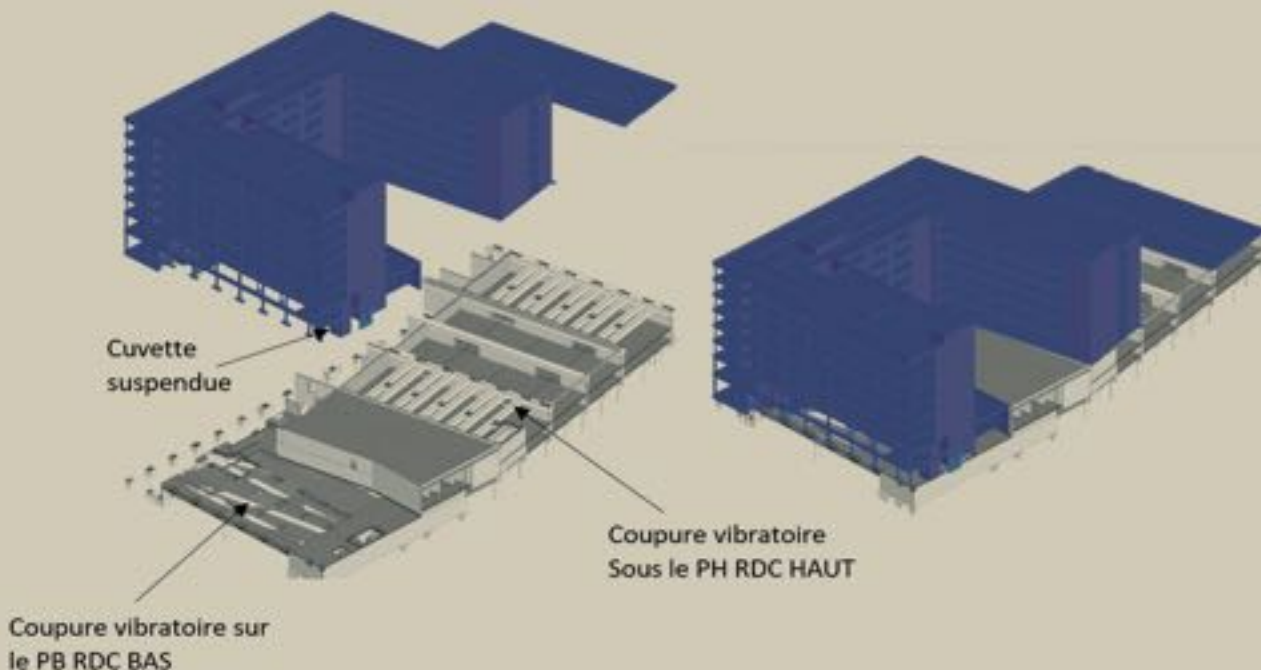
Par ailleurs, les temps de réalisation des fondations ont intégré les contraintes liées au maintien du confinement des terrains à proximité des ouvrages SNCF, le forage d'un élément de fondation n'étant entrepris qu'une fois que le béton du pieu voisin a une résistance minimale à la compression de 8 MPa.

UNE STRUCTURE DE TYPE BÂTIMENT-PONT.

La structure du bâtiment a été prévue en béton armé. Il a été privilégié ainsi des technologies de constructions habituelles. Le schéma statique du bâtiment reste malgré cela peu courant : le principe retenu est de ponter le volume SNCF par des plans porteurs distants de 16 m chacun. Ces plans porteurs sont positionnés dans les 2 niveaux de parking. ▶

MAQUETTE BIM STRUCTURE

Modélisation de l'ensemble isolé par les boîtes à ressorts de la tranche 1



Cette solution permet ainsi de transférer les charges à la base des étages de bureaux, sans imposer de contraintes structurelles particulières pour l'aménagement des niveaux de bureaux. 2 types de plans porteurs ont été conçus (figure 6) :

Sur la partie Ouest du bâtiment, les plans porteurs sont constitués par des longrines continues à deux travées d'une hauteur d'environ 1,20 m.

Ces poutres s'appuient sur les fondations profondes de part et d'autre des tunnels ferroviaires et de la bande de 3 m neutralisée ainsi que sur un appui intermédiaire situé entre les deux tunnels.

Sur la partie Est, les plans porteurs sont constitués par des poutres échelles (ou poutres Vierendeel) d'une hauteur correspondant aux deux niveaux inférieurs (RDC bas et RDC haut), soit une hauteur de 8 m. Ces poutres, sans appui intermédiaire, ont une portée variant suivant les files entre 23 m et 26 m. Les descentes de charge sur les fondations de ces poutres échelles varient entre 23 000 kN (ELS) et 40 000 kN (ELS).

Au-dessus de ces plans porteurs, il s'agit de principes de construction tout à fait classiques dans la réalisation de bâtiment de bureaux pouvant être cloisonnés ou non : la structure est de type ossature poteau/poutres en béton armé. Les voiles sont essentiellement au droit des noyaux d'escalier et d'ascenseur afin de reprendre les efforts de contreventement. Les planchers sont de type alvéolaires et prédalles sur les zones bureaux/espaces de travail, suivant les portées.

UN IMPACT SIGNIFICATIF SUR L'ORGANISATION DES TRAVAUX

À l'aplomb des tunnels SNCF, de nombreuses technologies de réalisations d'ouvrage ont dû être adaptées.

Tout d'abord, l'organisation de chantier a dû prévoir la mise en place de séparateurs GBA délimitant l'emprise des tunnels + 3 m de part et d'autre et interdisant ainsi les engins suivants au-delà des GBA : machine à pieux, grue mobiles, camion de terrassement, BRH, pelleuse...

La présence d'un ouvrage SNCF en activité a par ailleurs nécessité de limiter les opérations susceptibles de générer des vibrations trop importantes qui auraient pu perturber l'exploitation des voies SNCF voire endommager leur infrastructure. À titre d'exemple, la démolition des longrines a été prévue avec des engins légers ne générant pas



11

© AGENCE SCAU ARCHITECTURE



12

© AGENCE SCAU ARCHITECTURE

de vibration : carottier manportables, scie à disque diamanté, scie à câble... La réalisation du plancher bas, à proximité immédiate des dalles hautes des tunnels, a été conduite comme suit : Le plancher étant en béton armé coulé sur site, un polyane a été mis en place afin de s'affranchir des pertes de laitance dans le terrain. La hauteur des éléments constituant les plans porteurs du plancher varie entre 1 m et 8 m (figures 7 et 8). Ces éléments ont été coulés en plusieurs levées en vue de respecter l'équilibre entre charges apportées et charges enlevées correspondant aux terres tassées. Le plancher ne sera chargé qu'une fois la résistance de calcul attendue obtenue. Pour les plans ayant une hauteur de deux niveaux, ces ouvrages ont été dimensionnés en prenant en compte un passage de réalisation plancher par plancher : La membrure basse reprend seule le plancher bas du RDC bas, la levée sur le premier niveau reprend seule le plancher intermédiaire et enfin,

11- Boîtes à ressorts mises en place avant coulage du PH RDC haut et avant réalisation du joint de dilatation dans le voile en second plan.

12- Génie civil de la tranche 1 avec le socle RDC bas / RDC haut en premier plan et les 6 étages de bureau en second plan.

11- Spring boxes placed in position before pouring the ground-level upper floor and before execution of the expansion joint in the shear wall in the background. 12- Civil engineering for work phase 1 with the lower/upper ground-floor base in the foreground and the 6 office storeys in the background.

la poutre échelle une fois réalisée en totalité est apte à reprendre la totalité des étages supérieurs.

UN ÉQUIPEMENT FERROVIAIRE SURVEILLÉ DE PRÈS

Sur les branches de Cergy et de Poissy, le RER A transporte annuellement près de 32 millions de voyageurs. Dans ces conditions, il est bien évident que les travaux ont fait l'objet de protocoles de contrôle des tunnels et des voies précis et renforcés.

Pendant la phase conception, l'étude des tassements du bâtiment et des tunnels RER A a été menée en établissant une modélisation à l'aide du logiciel aux éléments finis Plaxis 2D (figure 9). Ces coupes ont permis également d'étudier l'évolution des contraintes dans les ouvrages du RER A. Cela a ainsi permis à la SNCF de donner son accord pour la réalisation du bâtiment à l'aplomb de leur ouvrage.

Pendant la phase de construction, ont ainsi été vérifiés l'état des voies ferrées, poteaux caténaires et toutes les instal-

lations ferroviaires sur la longueur des tunnels dans l'emprise des clôtures de chantier majorée de 10 m de part et d'autre, avant et pendant les travaux. Les blindages nécessaires à la réalisation de l'ouvrage, et notamment du N-1, ont fait l'objet d'un suivi des déformations (en x, y et z) pendant les travaux de terrassement jusqu'à la situation définitive.

La mise en place du suivi de nivellement de la voie ferrée et les relevés topographiques avant et après travaux ont été réalisés sous interception des circulations (ITC) et consignation du courant de traction (CC).

L'ensemble des travaux en interaction avec les ouvrages SNCF a fait l'objet d'une Notice Particulière de Sécurité Ferroviaire, qui constitue le document technique de référence entre les ingénieurs de la SNCF et ceux de la construction de l'immeuble autant en phase de conception qu'en exécution.

ACOUSTIQUE ET SYSTÈME ANTIVIBRATOIRE

Si la présence d'une nouvelle construction à l'aplomb d'une infrastructure ferroviaire existante ne doit en aucun cas remettre en cause le niveau de service fourni pour les usagers du train, la réciproque peut, elle aussi, être vraie : la présence de voies ferrées enterrées ne doit pas non plus dégrader les conditions de travail des futurs utilisateurs des bureaux.

Pour cela, des études acoustiques ont été réalisées par Acoustique Vivie et Associés (A.V.A.), bureau d'études acoustiques, dans le but de quantifier et limiter les niveaux sonores et vibratoires attendus dans les bureaux. Acoustique et Conseil est intervenu en exécution. L'objectif recherché est que les trains à leurs passages ne doivent pas être

entendus depuis les bureaux ou faire trembler les objets sur les étagères. Les études se sont basées dans un premier temps sur des relevés sonores et vibratoires établis sur d'autres sites mais dans des conditions comparables (mesures prise dans la Zac Paris Rive Gauche notamment). Puis, par des mesures prises in situ en réalisant un pieu d'essai sur la parcelle en phase d'avant-projet. Ainsi, les études menées ont mis en évidence la nécessité de réduire les niveaux sonores attendus (considérés pour les bureaux plus dimensionnants que les niveaux vibratoires) avec la mise en place d'une coupure acoustique et vibratoire. Cette coupure a été réalisée par des boîtes à ressorts à l'interface des fondations

profondes et de la superstructure. Elle est mise en œuvre :

- Sous le PH RDC haut au-dessus du parc de stationnement et à l'aplomb des bâtiments en superstructure ;
- Au niveau du RDC bas dans le commerce et le long de la future gare routière.

Le choix de la réalisation d'une maquette numérique structure (figure 10) a permis de faciliter la compréhension de cette coupure acoustique dans l'espace. Une boîte à ressorts est constituée de ressorts hélicoïdaux positionnés entre deux flasques métalliques réalisées en mécano-soudé (figure 11). Les boîtes à ressorts ont des capacités de fonctionnement allant jusqu'à 1 200 kN environ de chargement nominal. Ainsi, environ

200 éléments sont nécessaires pour porter l'ensemble des niveaux isolés. Ces boîtes à ressorts sont livrées pré-contraignées, au moyen d'un système vis-écrou, à leur charge nominale de fonctionnement. À l'avancement de la construction du bâtiment, le poids de chargement sur la boîte soulage l'effort initial présent dans le système vis-écrou jusqu'à l'équilibrer complètement. Par ce principe, la part du tassement du bâtiment due à la présence des boîtes à ressort est nulle.

EN CONCLUSION

Si la conception et la réalisation de cet immeuble n'ont pas été le théâtre de records ou de prouesses techniques (figure 12), elles ont mis en jeu des techniques dont leur bonne maîtrise dès les phases d'avant-projet ont permis de respecter un cahier des charges très contraignant pour la réalisation de projets dans des sites toujours plus sensibles. Les spécificités de l'opération de l'îlot Verger sont comparables à celles de nombreuses zones urbaines en reconversion ; le savoir et le savoir-faire de l'ensemble des intervenants du monde de la construction garantissent l'adaptation à ces spécificités.

S'agissant du déroulement de ce projet, les études de la tranche 1 ont été menées entre 2016 et 2017. Les travaux de la tranche 1 sont en cours depuis début 2018. Le gros-œuvre de cette tranche est achevé depuis le début de l'été 2019. Les études de conception sont en cours pour la tranche 2, pour un démarrage des travaux prévu pour le deuxième semestre 2020. En attendant, la fin de la construction de la première phase suit son cours, le RER continue ses trajets journaliers, Cergy poursuit son développement. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE DU PROJET SDP : 20 000 m² environ

CHARGE ELS FONDAMENTALE GLOBALE DU BÂTIMENT : 360 000 kN environ

MASSE À ISOLER PAR DES BOÎTES À RESSORT : 23 000 t

PORTÉE MAXIMALE FRANCHIE : 28 m

BÉTON HORS FONDATIONS : 7 000 m³

ACIERS : 820 t

MICROPIEUX : 70

PIEUX : 73

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Sccv Adim Île-de-France Réalisations

ARCHITECTE : Agence Scau Architecture

INGÉNIERIE STRUCTURE ET FLUIDE : Arcadis

INGÉNIERIE FLUIDE EN TRANCHE 2 : Projex

BUREAU DE CONTRÔLE : Qualiconsult

ENTREPRISE GÉNÉRALE DE LA TRANCHE 1 :

Campenon Bernard Construction

ABSTRACT

A BUILDING OVERHANGING A RAPID TRANSIT LINE TUNNEL IN SERVICE IN CERGY-PONTOISE

RÉMI DE GAVOTY, ARCADIS

As a direct illustration of the economic vitality generated by the 'Grand Paris' project, Cergy is again attracting private-sector property development. For example, Sccv Adim Île-de-France Réalisations is currently building an office building of about 20,000 m² floor space on Verger city block in Zac Grand Centre. The special feature of this building is that it is located above two SNCF rail tunnels in service, which it straddles on reinforced concrete Vierendeel trusses placed on the two parking lot levels. These trusses, with a span of about 25 metres, rest on foundations consisting of micropiles and piles. For acoustic insulation of the offices from the operational railway network, the superstructure floors are entirely mounted on spring boxes. □

UN EDIFICIO EN SALIENTE SOBRE UN TÚNEL DEL TREN REGIONAL EN CERGY-PONTOISE

RÉMI DE GAVOTY, ARCADIS

Prueba directa del impulso económico generado por el Gran París, Cergy atrae de nuevo al sector privado de la promoción. Así, actualmente Sccv Adim Île-de-France Réalisations está construyendo un edificio de oficinas de unos 20.000 m² en la manzana Verger de la zona de urbanización concertada Grand Centre. Este edificio tiene la particularidad de estar situado sobre dos túneles de ferrocarriles de SNCF operativos, que franquea mediante vigas de celosía de hormigón armado dispuestas sobre los dos niveles de parking. De una longitud aproximada de 25 m, estas vigas reposan sobre unos cimientos formados por pilotes y micropilotes. Para aislar acústicamente las oficinas de la actividad ferroviaria, los distintos pisos de superestructuras están íntegramente instalados sobre cajas de muelles. □



1 © MIMRAM

ZAC BORDEAUX-SAINTE-JEAN-BELCIER - PONT DE LA PALOMBE

AUTEURS : ARNAUD BOULINGUEZ, DIRECTEUR ADJOINT TRAVAUX, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - THOMAS CHAVIGNIER, DIRECTEUR TRAVAUX, ARTELIA VILLE ET TRANSPORT - RAZVAN IONICA, DIRECTEUR ASSOCIÉ, MARC MIMRAM ARCHITECTURE ET INGÉNIERIE

LE PROJET S'INSCRIT DANS UN DISPOSITIF URBAIN DE GRANDE AMPLIEUR DESTINÉ À FAIRE REVIVRE LES ANCIENNES FRICHES INDUSTRIELLES AU BORD DE LA GARONNE ET AUTOUR DE LA GARE SAINT-JEAN À BORDEAUX. LE FRANCHISSEMENT DU FAISCEAU FERROVIAIRE EN SORTIE DE LA GARE SAINT-JEAN PERMETTRA DE RELIER LES DEUX QUARTIERS DE LA ZAC BORDEAUX-SAINTE-JEAN-BELCIER EN COURS DE CONSTRUCTION : LE QUARTIER AMÉDÉE-SAINTE-GERMAIN ET LE QUARTIER ARMAGNAC. IL EST COMPOSÉ DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PRINCIPAL, EN CHARPENTE MÉTALLIQUE, ET DES OUVRAGES DE LA RAMPE D'ACCÈS CÔTÉ ARMAGNAC, EN BÉTON ARMÉ ET REMBLAIS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet s'inscrit dans le cadre d'un important projet d'aménagement et de rénovation des quartiers Amédée-Saint-Germain et Armagnac situés autour de la gare Saint-Jean de Bordeaux.

Le projet consiste à réaliser un ouvrage de franchissement principal ainsi que les ouvrages d'accès côté Armagnac (figure 1).

Cet ouvrage est avant tout un dispositif urbain indispensable à la reconquête du quartier de Bordeaux-Saint-Jean-Belcier puisqu'il est le maillon indispensable entre le domaine Amédée-Saint-Germain et le domaine Armagnac.

Cette pièce centrale du désenclavement des quartiers est à considérer comme un outil de dialogues avec l'infrastructure, celle de la gare, celle des voies de chemin de fer, qu'on veut regarder positivement comme un service urbain en ville, en considérant les voies de chemin de fer comme un fleuve ferroviaire à franchir, à l'origine même du développement urbain proposé.

L'accent est ici mis en priorité sur les parcours modes doux et sur le développement durable des quartiers. Tout

ici doit se faire dans cette attention aux qualités de l'espace public réalisé à partir d'un très grand balcon destiné aux piétons et aux cycles, indépendant de la partie de la voirie réservée aux véhicules motorisés, occupée notamment par les bus en site propre (figure 2).

1- Vue d'architecte du projet.

2- Vue du franchissement.

1- Architect's view of the project.

2- View of the crossing.

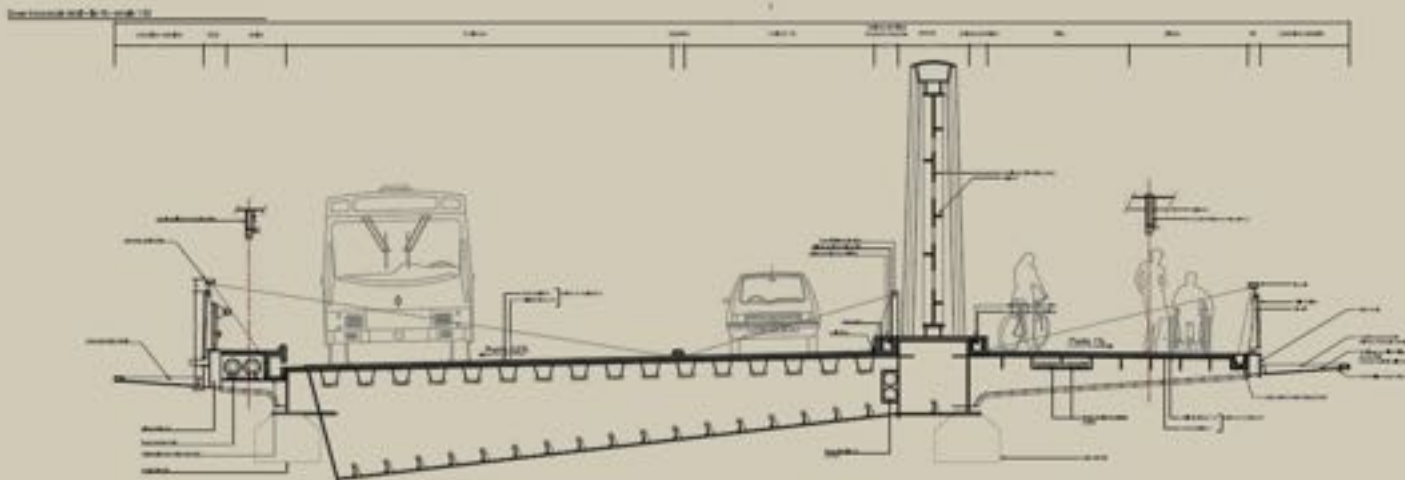
La "Palombe Bleue" était le surnom donné au train de nuit mythique qui relayait Hendaye (Pays Basque) à Paris (gare d'Austerlitz) via Bordeaux. Cet Intercités a été surnommé ainsi, car il empruntait le même chemin que le couloir de migration des célèbres oiseaux bleus.



2

© MIMRAM

COUPE TRANSVERSALE DU TABLIER



3

© MIMRAM

OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PRINCIPAL

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Il s'agit d'un ouvrage métallique à trois travées d'une longueur totale de 200 m environ. La largeur totale est de 20,80 m y compris les auvents de protection caténaire.

Le gabarit au niveau des voies ferrées est de 6,50 m de hauteur, mesurée depuis le niveau haut du rail.

La distribution des travées a été imposée par l'implantation des voies ferrées :

- Travée C0/P1 : 66,10 m ;
- Travée P1/P2 : 65,50 m ;
- Travée P2/C3 : 66,10 m.

3- Coupe transversale du tablier.

4- Vue de l'intrados - Console Mode doux.

5- Vue d'un arc.

3- Cross section of the deck.

4- View of the intrados - Cantilever girder for soft transport.

5- View of an arch.

Dans le sens transversal, l'ouvrage est asymétrique (figure 3). Cette disposition d'ordre structurel permet d'organiser les espaces de circulation sur l'ouvrage :

→ Une plateforme routière (2 voies BUS, 1 voie voiture) ;

→ Une plateforme pour les modes doux. Sous la plateforme routière, le tablier est un caisson orthotrope à inertie variable complété en superstructure par deux poutres variables, type treillis, apportant sur appuis l'inertie nécessaire au fonctionnement statique de l'ouvrage. Elles sont constituées de deux fibres supérieures et d'un remplissage en plaque percée raidie.

Des consoles sont fixées de part et d'autre du caisson. Côté Sud, les consoles portent la plateforme des modes doux. Côté Nord, elles portent le trottoir technique.

Caisson principal

Afin d'améliorer le comportement de la structure pendant le lançage, le tablier est constitué d'un seul caisson acier sur toute la largeur de la partie routière.

Dans le sens longitudinal, la géométrie du caisson est variable pour tenir compte de la répartition des efforts : il est renforcé au niveau des piles et s'affine jusqu'aux culées de l'ouvrage. ▷



4

© BYTP RF



5

© BYTP RF



6

**6- Culée C3
(au premier
plan) et Pile P2
(au 2nd plan).**

**7- Vue aérienne -
Emprise de
la plateforme
d'assemblage
et de lancement.**

**8- Assemblage
des 5 premiers
trçons longi-
tudinaux.**

**6- Abutment C3
(in the fore-
ground) and Pier
P2 (background).**

**7- Aerial view -
Land occupied
by assembly
and launching
platform.**

**8- Assembly of
the first 5 longi-
tudinal sections.**



7



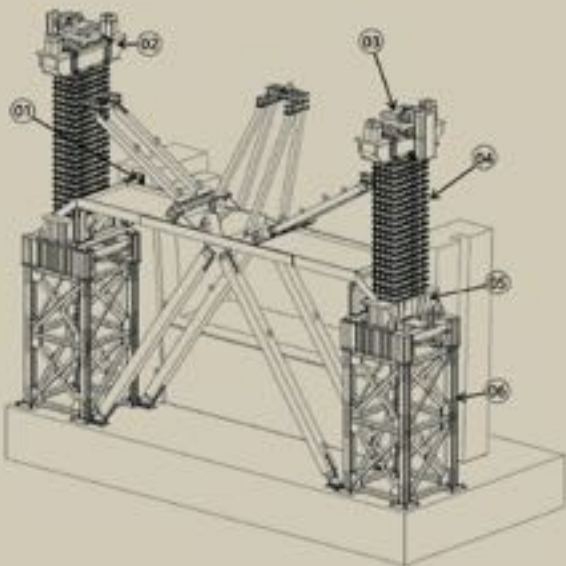
8

Dans le sens transversal, le caisson n'est pas symétrique : sa hauteur diminue au niveau des piles vers la partie piétonne grâce à la présence des poutres en superstructure.

Deux poutres de lançage sont disposées de part et d'autre du caisson variable de manière à obtenir deux lignes parfaitement parallèles. Ces poutres de lançage sont intégrées dans la géométrie définitive de l'ouvrage, au niveau de l'encastrement des consoles. Le caisson est reconstitué à partir de tôles d'acier de différentes épaisseurs (figure 4). Ces tôles sont assemblées par soudage et raidies par des éléments transversaux toute hauteur (diaphragmes) et longitudinaux (augets en partie supérieure et raidisseurs plats en partie inférieure). La tôle supérieure du caisson a un fonctionnement de



PLAN DES PALÉES PROVISOIRES



9- Lançage en cours.

10- Vérins.

11- Plan des palées provisoires.

12- Palées provisoires - 1^{er} Plan : Culée C3 - 2^e plan : Pile P2.

9- Launching in progress.

10- Jacks.

11- Drawing of temporary bents.

12- Temporary bents - Foreground: Abutment C3 - Background: Pier P2.

dalle orthotrope grâce à la mise en place de ces augets longitudinaux. Cette conception permet la transmission des efforts provenant des charges d'exploitation, sans nécessité de la mise en place d'un hourdis béton.

Des raidisseurs supplémentaires sont prévus en zone d'appui, ainsi qu'au niveau des connexions avec les poutres en superstructure.

L'acier utilisé pour l'intrados de l'ouvrage est un acier autopatinable S355W (figure 4).

Les arcs

Les arcs sont des éléments à inertie variable placés en superstructure du tablier, entre la partie routière et le trottoir piéton en console. Malgré leur nom, ces éléments ont le fonctionnement statique d'une poutre à inertie variable : deux fibres (supérieure et inférieure constituée par le caisson principal) et une âme.

Cette disposition marque la dissymétrie de la coupe transversale et permet de séparer l'espace des modes doux de la partie routière.

Une partie renforcée du caisson du tablier constitue la fibre inférieure de ces arcs ; la fibre supérieure est un caisson en acier de géométrie variable en élévation et en plan, encastré à ses deux extrémités sur le caisson principal. Les deux fibres travaillent en traction/compression en fonction de la zone (sur appui ou à mi-travée). Les fibres extrêmes sont des profilés reconstitués soudés (PRS) en acier S355.

Le remplissage entre les deux fibres est réalisé par une plaque en acier de forte épaisseur, raidie par des plats métalliques. La plaque est encastrée dans les caissons et constitue l'âme de la poutre variable.

© BYT/PRF

11



© BYT/PRF

12



13- Réalisation de la Pile P1.
14- Ouvrages de la rampe d'accès - Vue 3D de la structure.
15- Conception de la partie intérieure de la rampe en béton - Plan Architecte.

13- Execution of Pier P1.
14- Access ramp works - 3D view of the structure.
15- Design of the interior part of the concrete ramp - Architect's drawing.

Dans le sens transversal, la plaque est raidie de part et d'autre à l'aide de plats en acier pour assurer la résistance au voilement et aux phénomènes d'instabilité généralisée au niveau de la fibre supérieure. Afin de diminuer le poids de l'élément et en accord avec la répartition des efforts dans l'âme de la poutre, la plaque est percée (figure 5).

L'acier utilisé est un acier S355 traité par métallisation.

La passerelle piétonne en console

Le trottoir des piétons et des cycles est soutenu par des consoles métalliques type profilés reconstruits en acier S355. Ces consoles sont encastrées sur la rive du caisson principal et stabilisées en extrémité par un caisson de rive.

Les consoles sont distribuées selon une trame régulière de 2,62 m.

Le tablier de cette passerelle est constitué d'une tôle en acier raidie par des plats dans le sens longitudinal. Une couche d'enrobé de 7 cm d'épaisseur est prévue sur la tôle métallique. Des percements dans l'âme des consoles permettent le passage des réseaux. Un capotage métallique est prévu en partie inférieure pour protéger et cacher ces réseaux.

L'ouvrage repose sur 4 appuis en béton architecturé blanc :

- La culée C0 côté secteur Amédée, hors du domaine ferroviaire ;
- Les piles P1 et P2 au milieu du domaine SNCF. Le point fixe longitudinal se situe sur la Pile P1 ;
- La culée C3 côté Armagnac, en bordure du domaine SNCF.

Les appuis sont tous fondés sur pieux. Ils sont constitués d'un fût en béton armé massif sur les 2 premiers mètres

qui se sépare ensuite pour former 2 piles jusqu'à la position des appareils d'appui (figure 6).

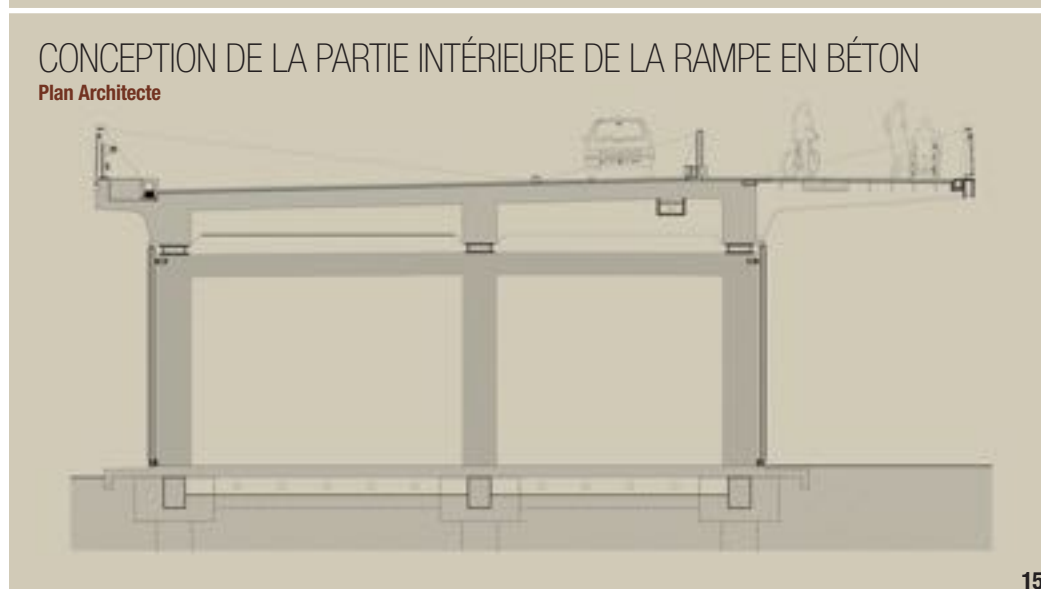
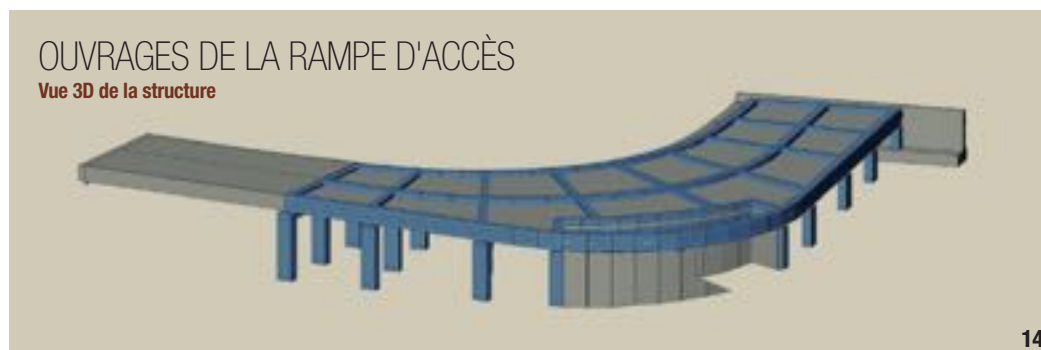
Les deux piles accueillent chacune une excroissance pour permettre le positionnement des vérins nécessaires aux opérations de changement des appareils d'appuis.

L'ouvrage est équipé des équipements suivants :

- Appareils d'appuis à pot sphériques ;
- Joints de dilatation spécifiques ;
- Revêtement composé d'un complexe étanchéité/couche de roulement ;
- Auvents de protection caténaire ;

- Garde-corps double fonction pour la partie véhicules ;
- Garde-corps piéton pour la partie mode doux ;
- Dispositifs d'éclairage fonctionnel et de mise en valeur.

L'éclairage fonctionnel de la partie mode doux est assuré au moyen d'une





16

© BYTP RF

ligne de LED intégrée dans la main courante du garde-corps.

L'éclairage fonctionnel de la partie routière est assuré au moyen d'appareil LED bas et ponctuels situés côté Nord dans la main courante du garde-corps et côté Sud dans des bornes basses métalliques.

L'éclairage de mise en valeur des poutres en superstructure est assuré par une série de spots LED situés en pied de la poutre Sud.

MODE DE CONSTRUCTION

Ouvrage métallique

L'ouvrage métallique a été assemblé sur une plateforme d'assemblage et de lançage spécifique et construite dans le cadre du marché.

Cette plateforme était constituée (figure 7) :

- D'une partie en remblai construite dès la notification du marché afin de permettre la consolidation des sols ;

- D'une partie en estacade métallique fondée sur pieux.

Compte-tenu des emprises disponibles, l'ouvrage métallique a été construit et mis en place en 2 phases.

L'ouvrage a ainsi été découpé en 10 tronçons longitudinaux eux-mêmes découpés en 5 parties transversales.

16- Réalisation du dallage.

17- Appuis réalisés - Étaie des poutres et hourdis en cours.

16- Execution of slabbing.

17- Completed supports - Girder and deck section strutting in progress.

La première phase a consisté à assembler et souder sur site les 5 premiers tronçons longitudinaux (figure 8) à partir du mois d'août 2017 pour pouvoir réaliser le lançage le 2 décembre 2017, sous Coupure de la Circulation Ferroviaire, jusqu'à la Pile P2.

La deuxième phase a consisté à assembler et souder les 5 derniers tronçons à partir du mois de janvier 2018 pour pouvoir réaliser le lançage durant le week-end du 8 et 9 mai

2018, sous Coupure de la Circulation Ferroviaire, jusqu'à la Culée C0.

Pour l'assemblage de cet ouvrage métallique, 12000 m de soudures ont été exécutées sur site.

Les opérations de lançage (figures 9 et 10) ont été réalisées à l'aide de vérins à câbles de capacité 300 t. Ainsi, un vérin a été accroché sur une palée provisoire à côté de la culée C3 et un vérin a été accroché à l'arrière de la structure lancée et utilisé comme système de retenue (figure 12).

Pour le 1^{er} lançage, 9 câbles de capacité 15 t et de longueur 130 m ainsi que 3 câbles pour le délançage éventuel ont été utilisés.

Pour le 2^e lançage, 15 câbles de capacité 15 t et de longueur 145 m ainsi que 7 câbles pour le délançage éventuel ont été utilisés.

Durant ces opérations, l'ouvrage était guidé et posé provisoirement sur des balançoires montées sur des palées spécifiques au droit de chaque appui (figures 11 et 12).

Pour limiter les contraintes du lançage dans les poutres principales de l'ouvrage, un avant-bec soudé sur les abouts de la structure a été utilisé.

Une fois ces deux phases de lançage achevées, l'ouvrage a été mis sur appuis définitifs suite à d'importants ▽



17

© BYTP RF

travaux de dévérinage réalisés également sous Interruption de la Circulation Ferroviaire :

- Culée C0 : dévérinage de 0,40 m ;
- Pile P1 : dévérinage de 1,60 m ;
- Pile P2 : dévérinage de 2,60 m ;
- Culée C3 : dévérinage de 4,00 m.

Pour finir, les appuis de l'ouvrage ont tous été réalisés en fonction des contraintes ferroviaires. Pour respecter les exigences architecturales, le phasage de réalisation des appuis a été le suivant :

- Réalisation des fondations profondes et de la semelle ;
- Réalisation de la partie massive des appuis en une phase ;
- Réalisation de chaque élévation sur toute la hauteur (figure 13).

OUVRAGES DE LA RAMPE D'ACCÈS

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Cet ouvrage se compose de deux segments (figure 14) :

- Une structure principale courbe en béton armé d'une longueur d'environ 100 m ;
- Une partie en remblais d'une longueur de 65 m environ soutenue par des murs en L en béton armé architecturé.



18

© BYT/RF

Les joints de dilatation sont situés au niveau de la culée C3 et à l'interface structure principale/remblais d'accès.

Structure principale en béton armé

Il s'agit d'une structure courbe complexe de type boîte creuse en béton armé composée :

18 & 19- Structure achevée.

18 & 19- Completed structure.

- D'un tablier en béton armé nervuré reposant sur des appuis en élastomère fretté. Le tablier fonctionne comme un ouvrage sur 10 appuis. Les rives sont en continuité avec celles de l'ouvrage métallique. Ainsi, ce tablier reçoit la même console



19

© BYT/RF

20- Détail du parement architectural.

20- Detail of architectural facing.

métallique côté piétons/cyclistes que l'ouvrage métallique.

Ce tablier se termine par une partie qui survole la rue des Activités.

→ De portiques en béton armé permettant de relier les appuis du tablier au sol.

→ D'une dalle basse en béton armé.

Transversalement, le tablier de l'ouvrage est en deux parties : la dalle haute en béton armé, complétée par la partie en console dédiée aux circulations douces. La partie piétons, en continuité avec la passerelle en console du franchissement principal, est supportée par des poutres métalliques encastrées dans la rive en béton armé.

Les rives sont en continuité avec les rives du pont.

Côté piétons, le trottoir se sépare de la culée en béton pour laisser la place à l'escalier d'accès. Dans cette zone, le trottoir est porté par une poutre de géométrie courbe bloquée en torsion à ses extrémités.

Un escalier permet de rejoindre directement le domaine Armagnac.

La structure de la rampe Armagnac a été conçue pour recevoir un espace couvert 1 150 m².

Une structure porteuse en portiques disposés de manière radiale afin de permettre le compartimentage de l'espace selon les besoins fonctionnels du ou des futurs utilisateurs a donc été conçue.

Dans les compartiments centraux, nous obtenons ainsi des hauteurs exploitables allant jusqu'à 5,5 m.



PRINCIPALES QUANTITÉS

FONDACTIONS PROFONDES - PIEUX :

Linéaire : 1 250 m / Béton : 1 160 m³ / Armatures : 95 t

FONDACTIONS PROFONDES - MICROPIEUX :

Linéaire : 2 700 m / Diamètre : 250 mm / Type III

OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PRINCIPAL :

Béton : 950 m³ / Armatures : 170 t / Charpente métallique : 2016 t

RAMPE ARMAGNAC :

Béton : 2 400 m³ / Armatures : 410 t

NOTIFICATION : 16 août 2016

MONTANTS DU MARCHÉ : 20 687 K€ HT

DÉLAI : 39 mois

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Établissement Public d'aménagement Bordeaux Atlantique

MAÎTRE D'ŒUVRE : groupement Marc Mimram / Artelia

ENTREPRISE : groupement Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire) / Victor Buyck Steel Construction / Pro-Fond

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Cogeci (Bureau d'études béton) /

Stendess (Bureau d'études charpente métallique) / Amsa (armatures) /

Tcmi (serrurerie) / Bouygues Énergies et Services (électricité)

Les extrémités de l'espace offrent des hauteurs exploitables d'environ 3,50 m.

Le passage entre deux cellules se fait avec un gabarit minimum de 2,20 m (figure 15).

Les murs extérieurs ne sont pas porteurs : ils peuvent ainsi être percés ou même remplacés par une façade transparente. La conception définitive sera arrêtée en fonction de l'utilisation de l'espace.

Les équipements de cet ouvrage sont identiques aux équipements de l'ouvrage principal métallique.

Rampe en remblais

La rampe en remblais est soutenue latéralement par des murs en L en béton armé coulés en place et habillés d'un parement architectural spécifique en béton blanc.

Des inclusions rigides ont été mises en œuvre sous le remblai et les murs en L afin de renforcer le sol et d'assurer un tassement limité et uniforme à l'ensemble de la structure.

MODE DE CONSTRUCTION

Structure principale

en béton armé (figures 16 à 19)

Après avoir réalisé le dallage (figure 16), les appuis et la cage d'escalier ont été réalisés.

La construction du tablier s'est déroulée en plusieurs phases :

→ Phase 1 : Partie au-dessus de la rue des activités sur cintre ;

→ Phase 2 : Poutres longitudinales ;

→ Phase 3 : Traverses ;

→ Phase 4 : Hourdis en 3 plots sur tours d'étais traditionnelles (figure 17).

Rampe en remblais

(figure 20)

Les murs en L ont été réalisés avec des banches traditionnelles.

L'habillage architectural (figure 20) est réalisé avec des panneaux préfabriqués fixés mécaniquement aux voiles. □

ABSTRACT

ZAC BORDEAUX-SAINT-JEAN-BELCIER (MIXED DEVELOPMENT ZONE) - PALOMBE BRIDGE

ARNAUD BOULINGUEZ, BOUYGUES TP - THOMAS CHAVIGNIER, ARTELIA - RAZVAN IONICA, MARC MIMRAM ARCHITECTURE ET INGÉNIEURIE

As part of development work in the Amédée and Armagnac districts of Bordeaux, the contracting authority Bordeaux Euratlantique awarded the teams of Bouygues TP Régions France, Victor Buyck Steel Construction and Pro-Fond a contract for work on Palombe Bridge. This project includes the execution of several very complex architect-designed structures with constrained work phasing notably to allow for the available land and the immediate proximity of the railway lines serving Bordeaux-Saint-Jean Station. □

ZONA DE URBANIZACIÓN CONCERTADA BORDEAUX-SAINT-JEAN-BELCIER - PUENTE DE LA PALOMBE

ARNAUD BOULINGUEZ, BOUYGUES TP - THOMAS CHAVIGNIER, ARTELIA - RAZVAN IONICA, MARC MIMRAM ARCHITECTURE ET INGÉNIEURIE

En el marco de la rehabilitación de los barrios de Amédée y Armagnac de Burdeos, el promotor Bordeaux Euratlantique ha encargado a los equipos de Bouygues TP Régions France, Victor Buyck Steel Construction y Pro-Fond las obras del puente de la Palombe. Este proyecto incluye la realización de varias construcciones arquitectónicas muy complejas, con una organización por fases muy ajustada para tener en cuenta las zonas de dominio disponibles y la proximidad inmediata de las líneas de ferrocarriles con parada en la estación de Bordeaux-Saint-Jean. □

RESTRUCTURATION DE L'ÉCHANGEUR DU QUAI D'IVRY SUR LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE À PARIS

AUTEURS : CHRISTIAN HELOU, DIRECTEUR, ARTELIA - MARIA SANCHEZ DIAZ, INGÉNIEUR, ARTELIA - DAVID LEMESLE, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

DANS LE 13^e ARRONDISSEMENT DE PARIS, ENTRE LA SEINE ET LES VOIES FERRÉES DU FAISCEAU DE LA GARE D'AUSTERLITZ, LA MISE EN "LÉVITATION" DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE PERMET DE RELIER DE MANIÈRE APAISÉE PARIS ET IVRY. CES DEUX VILLES SONT SÉPARÉES DEPUIS 50 ANS PAR CETTE BARRIÈRE INFRANCHISSABLE : LE TRONÇON LE PLUS CHARGÉ DU PÉRIPHÉRIQUE ENTRE LES AUTOROUTES A6 ET A4.



Dans le cadre du développement de la ZAC Paris Rive gauche, la Semapa, désignée par la Ville de Paris pour conduire l'opération d'aménagement, intervient sur le secteur Bruneseau limitrophe de la commune d'Ivry-sur-Seine.

Le site était occupé par un grand nombre d'infrastructures sur un périmètre très réduit : la petite ceinture ferroviaire historique, le boulevard des Maréchaux, et le boulevard Péri-

phérique avec ses 8 voies et toutes ses bretelles d'échange au niveau de l'échangeur du quai d'Ivry.

Pour compléter ce tableau, le site avait plutôt eu des vocations industrielles, puis des activités disparates : cimenterie (ciments Calcia le long du boulevard des Maréchaux), centre de commandement du Périphérique avec un accès direct des forces d'intervention vers le Périphérique et tous les réseaux associés, des entrepôts et des sites logistiques.

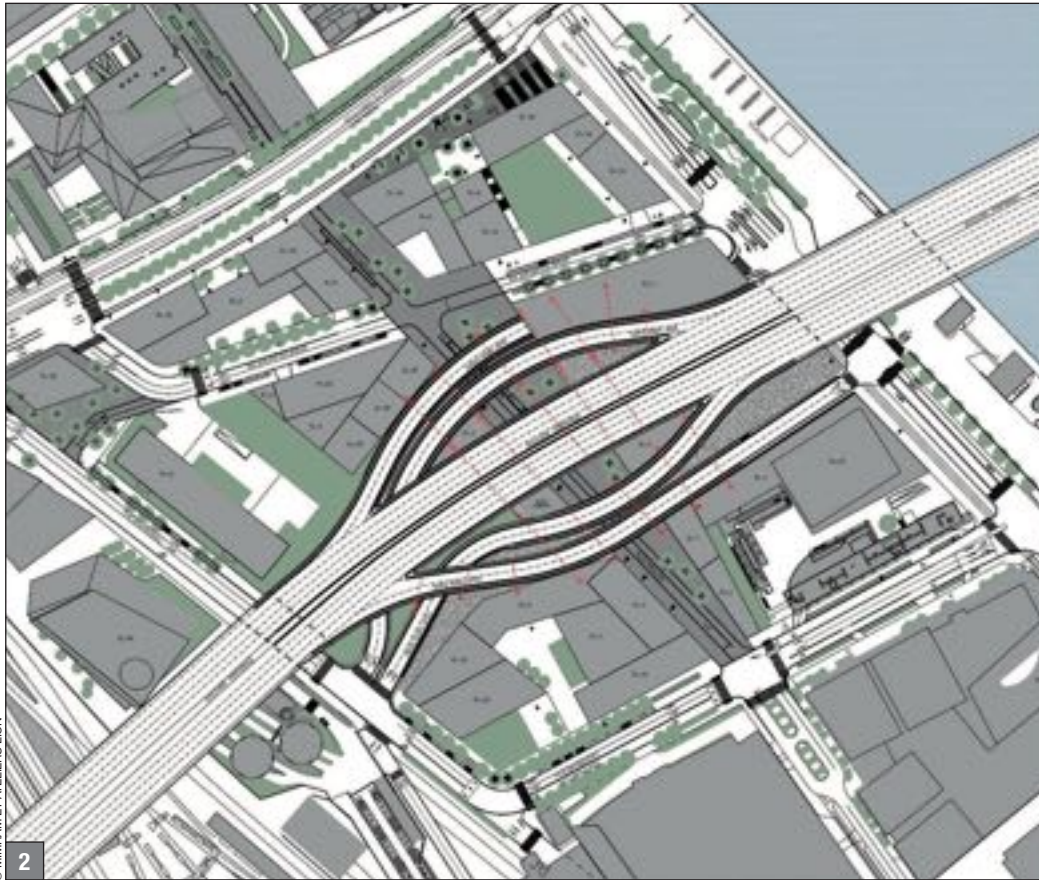
1 - Vue d'ensemble.

1 - General view.

Pour rendre ce morceau de ville attractif et permettre un aménagement cohérent, les premières études des Ateliers Lion en 2003 donnaient le ton avec

l'idée d'une liaison urbaine entre Paris et Ivry qui passait sous le Périphérique, lui-même transformé en profondeur. Leur étude esquissait également une refonte des bretelles du Périphérique qui se resserraient le long de l'infrastructure pour réduire considérablement la consommation de l'espace par l'infrastructure.

Alors trois types de construction pouvaient être envisagés pour l'ouvrage principal sous le Périphérique :



© MIMRAM ET ATELIERS LION
2

→ Soit une construction en taube, sous une dalle de couverture réalisée au sol. Ces travaux profitaient des réductions de circulation en nombre de voies ou en réduction de largeur de voies pour faire les travaux indispensables à partir de la surface. Ce type de phasage, certes réalisable, conduisait à un planning très long et à un ouvrage peu large, de 30 m maximum.

2- Vue en plan d'ensemble.

3- Vue d'ensemble.

2- General plan view.
3- General view.

→ Soit une construction de type poussage d'un cadre sous le Périphérique. Ces travaux étaient réalisés sous fermeture d'un sens à la fois de la circulation sur un week-end au minimum. Ce type de phasage conduisait aussi à une largeur relativement faible pour l'ouvrage, avec des aléas très forts sur la faisabilité.



© EIFFAGE
3

→ Soit la solution qui a finalement été trouvée avec l'ensemble des intervenants, où il s'agissait de dévier le Périphérique pour offrir un espace assez large pour réaliser le passage inférieur sous le Périphérique à ciel ouvert. Cette solution permettait de travailler en toute sécurité hors exploitation et de disposer de latitude sur la largeur de l'ouvrage qui a atteint ainsi 70 m.

En décembre 2018, les travaux de restructuration du boulevard Périphérique se sont achevés pour laisser place aux travaux d'aménagement et de construction de bâtiments.

Le projet a permis d'ouvrir une brèche de plus de 70 m de large sous le boulevard Périphérique, l'allée Paris-Ivry, qui pourra être dédiée aux circulations douces et aux transports urbains et bordée de commerces, comme a pu l'imaginer l'agence Mimram Architectes (figure 2).

Les nouveaux aménagements s'articuleront autour d'un échangeur totalement remanié puisque les huit voies du boulevard Périphérique et les quatre bretelles d'accès empruntent au total sept ouvrages d'art (figure 3).

L'ARCHITECTURE

Les ouvrages ont fait l'objet d'un travail architectural fin dessiné par l'agence Mimram qui souligne la forme singulière des piles, de la corniche, des habillages de murs et des garde-corps (figure 4).

Pour les ouvrages en béton des bretelles, chaque appui est constitué de deux fûts de pile indépendants sur lesquels reposent directement le tablier sans chevêtre.

Pour les ouvrages mixtes de l'ouvrage sous le Périphérique, les piles sont en métal et respectent une forme architecturale aérienne et ajourée (figure 5).

LES DEUX OUVRAGES D'ART SUPPORTANT LES HUIT VOIES DU PÉRIPHÉRIQUE

Le passage sur les voies du Périphérique est constitué par deux ponts mixtes, presque jumeaux, à 4 travées sur une longueur totale de 75 m, reposant sur des culées en parois moulées avec contreforts et des piles architecturées en métal fondées sur des pieux (de 25 m de profondeur). Ce choix d'ouvrages mixtes a été dicté par la volonté d'une réalisation rapide privilégiant la préfabrication.

Les ouvrages ont été conçus afin d'intégrer la mise en place de commerces sous le Périphérique.

À cet effet, les contraintes d'entretien et de surveillance des ouvrages sont intégrées dès la conception des ouvrages et également dans le cahier des charges des futurs commerces.

ZOOM SUR L'OUVRAGE SUPPORT DU PÉRIPHÉRIQUE INTÉRIEUR

L'ouvrage supportant le boulevard Périphérique intérieur est constitué de 4 travées continues de portée variable : 18,54 m – 24,60 m – 14,60 m – 15,60 m.

Le tablier présente un biais par rapport aux appuis de 85 à 95 grades et il est composé de 4 poutres longitudinales de type caisson reconstitué soudé de forme trapézoïdale et de hauteur variable entre 0,95 m et 1,30 m (figures 6 et 7).

Les structures métalliques sont approvisionnées en convois exceptionnels, et posés avec des grues de 120 t.

Les caissons, rectilignes et parallèles avec un espacement de 4,35 m, sont reliés entre eux par des pièces de pont et des entretoises également connectées au hourdis béton de 25 cm d'épaisseur (figure 8).

Sur la quasi-totalité de la longueur de l'ouvrage, la voirie est courbe en plan. Le hourdis béton et les dispositifs de

retenue sur ouvrage suivent cette courbure, si bien que la largeur d'encorbellement au-delà des poutres de rives est variable.

Les poutres caissons reposent sur des piles architecturées constituées de poteaux mixtes métal/béton, résistants au choc des véhicules et au feu par application d'une peinture intumescente (figure 7).

Elles sont fondées sur pieux et sur des culées murs de front en parois moulées avec contrefort.

La pose des piles, des poutres et des dalles s'est faite par grutage, les éléments ayant été préalablement préfabriqués en usine (figure 9) ou sur site en ce qui concerne le hourdis.

LES OUVRAGES EMPRUNTÉS PAR LES BRETelles

Le franchissement de l'allée d'Ivry par les bretelles du boulevard Périphérique entraîne la création de quatre ouvrages



4
© ARTELIA

4- Habillage architectural du soutènement.

5- Vue transversale des poutres et poteaux des ouvrages du Périphérique.

6- Vue des poutres longitudinales de l'OA4.

7- Vue des poutres et des goujons de l'OA4.

4- Architectural cladding of the supporting structure.

5- Transverse view of beams and columns of the ring-road structures.

6- View of the longitudinal girders of OA4.

7- View of the girders and studs of OA4.

(OA1, OA2, OA5 et OA6) de type PSIDP (Passage Supérieur ou Inférieur en Dalles Précontraintes) en courbe et en forte pente.

Les ouvrages réalisés ont des caractéristiques suivantes :

→ **OA1** permet le passage de la bretelle d'entrée du boulevard Périphérique intérieur. Il s'agit d'un ouvrage de 103 m composé de 5 travées allant de 16 m à 24 m. Son profil en long est en forte pente sur toute sa longueur avec une pente de 5,3% sur un tracé en courbe de 136,40 m.

→ **OA2** permet le passage de la bretelle de sortie du boulevard Périphérique intérieur. Cette bretelle se poursuit dans l'ouvrage OA7 sous le Périphérique pour sortir au sud côté Ivry. Sa longueur est de 110 m sur 6 travées de 15 m à 24 m. Il se développe avec une pente de 5,82% en son extrémité sur un rayon en plan de 123,5 m.

→ **OA5** porte la bretelle d'entrée du boulevard Périphérique extérieur sur un linéaire de 90 m. Il est composé de 4 travées de 19 m à 25 m sur une pente relativement douce de 3,49% avec un rayon en plan de 121 m.



5
© ARTELIA



6
© ARTELIA



7
© ARTELIA



8

© ARTELIA



9

© ARTELIA

→ **OA6** est l'ouvrage le plus long. Il mesure 151 m et, pour des raisons de phasage général, il a dû être réalisé en deux phases distinctes. Il est constitué de 7 travées allant de 18 m à 25 m et porte la bretelle de sortie du boulevard Périphérique extérieur en direction des quais de Seine.

Les portées des ouvrages étant dans les mêmes gammes, leur tablier est constitué d'une dalle en béton continue à inertie constante, de section pleine, de forme assimilable à un trapèze en partie centrale avec des encorbellements latéraux, précontrainte longitudinalement par des câbles post-tendus. Chaque tablier est précontraint au moyen de 21 unités de type 12T15S (figures 10 et 11) et coulé sur cintre (figure 12).

L'épaisseur constante et identique sur les 4 ouvrages a permis une réutilisation des coffrages. En effet l'entreprise a conçu un coffrage en bois standard réutilisables pour les 4 ouvrages avec

8- Pose des dalles préfabriquées sur l'OA4.

9- Amenée des poutres de l'OA3 et l'OA4 par convoi exceptionnel.

10- Câbles de précontrainte de l'OA2 bretelle de sortie du Périphérique.

11- Échafaudage pour coulage du tablier de l'OA1.

8- Placing prefabricated slabs on OA4.

9- Delivery of girders for OA3 and OA4 by extra-long-load transport.

10- Prestressing cables for OA2 ring-road exit slip road.

11- Scaffolding for pouring the deck of OA1.

des éléments centraux adaptables à la longueur des ouvrages.

Deux conduits pour précontrainte complémentaire sont prévus par ouvrage. À cet effet sont mises en place les gaines, trompettes et plaques d'ancrage nécessaires.

Afin de permettre l'aménagement futur des bâtiments le long du Périphérique les fondations de certains ouvrages intègrent également la descente de charge d'un parking en mesure conservatoire. Ces ouvrages sont conçus sans joints de dilatation intermédiaires en travées continues, ceci afin de réduire au maximum les contraintes d'entretien.

Le coffrage des piles a nécessité des éléments en inox permettant ainsi de respecter l'exigence sur les angles saillants.

L'ouvrage OA2 se prolonge sous le boulevard Périphérique par un ouvrage d'art de type cadre appelé OA7.

Le mode de construction choisi est une solution "en taupé", c'est-à-dire que le terrassement de l'ouvrage, la réalisation

des parois en béton projeté et le radier ont été exécutés à l'abri de la dalle de couverture préalablement réalisée (figure 13).

L'ouvrage est réalisé en paroi lutécienne surmontée d'une dalle butonnante de 80 cm d'épaisseur supportant la chaussée du Périphérique. Une série de 71 pieux de diamètre 1 020 mm espacés environ de 2 m a été réalisée entre les mois d'août 2015 et d'août 2016 en plusieurs phases générées par les conditions de circulation.

LES PAROIS CLOUÉES

Les murs en retour des culées d'ouvrages le long du Périphérique ont été prolongés par des parois clouées verticales surmontées de murs en béton faisant office de dalle de frottement (figure 14). Ces parois ont la particularité d'être de grande hauteur (plus de 10 m) et ancrés dans le remblai du Périphérique avec toute l'hétérogénéité et aléas inhérents à un tel remblai réalisé il y a plus de 50 ans. ▷



10

© ARTELIA



11

© ARTELIA



12 © ARTELIA



13 © ARTELIA



14 © ARTELIA

UN PHASAGE COMPLEXE

Le phasage des travaux de l'opération est particulièrement complexe et intègre la contrainte majeure de la circulation ininterrompue du boulevard Périphérique et de ses réseaux d'exploitation.

D'autres contraintes s'ajoutent, comme la présence du PC Berlier et son accès au boulevard Périphérique ou la présence de chantiers adjacents.

En particulier, les phases les plus difficiles étaient celles impliquant la réalisation d'ouvrages sur le boulevard Périphérique, à savoir les deux ouvrages mixtes supportant chaque sens du Périphérique et l'ouvrage cadre qui passe sous le Périphérique en sortie de la bretelle du boulevard Périphérique intérieur.

La réalisation des ouvrages sur le Périphérique a été possible grâce au dévoiement préalable des 2x4 voies du boulevard Périphérique, libérant ainsi les emprises nécessaires pour la réalisation des ouvrages (figure 15). Cependant, ce dévoiement, qui s'est fait côté Ivry, devait se raccorder au nord à l'ouvrage de franchissement de la Seine et au sud à l'ouvrage franchissant la rue Bruneseau, au niveau de la nouvelle usine des ciments Calcia.

Ce dévoiement permet uniquement de réaliser l'ouvrage sur le boulevard Périphérique intérieur.

Une fois le Périphérique intérieur remis en service, il est alors possible de travailler dans une lentille entre le Périphérique intérieur et le Périphérique extérieur toujours dévoyé (figure 16). Par ailleurs, l'ouvrage cadre OA7 a été réalisé en plusieurs phases, rythmées par les nombreux basculements de circulation. En particulier, une réduction exceptionnelle de la circulation du boulevard Périphérique à 2x2 voies

avec deux interruptions de terre-plein central entre le 3 et le 25 août 2016 a été nécessaire (figure 17).

LES TERRASSEMENTS ET L'ÉVACUATION DES TERRES

Le chantier a produit près de 140 000 m³ de terres à évacuer pour la création de l'ensemble des ouvrages, y compris les ouvrages d'assainissement. Une partie de ces terres était incompatible avec une évacuation en filière pour terres inertes. Le choix de différents exutoires a été minutieusement fait par



15 © TENTEN

12- Ferrailage du tablier de l'OA1.

13- Terrassement en sous-œuvre de l'ouvrage cadre OA7.

14- Paroi clouée soutenant le boulevard Périphérique intérieur.

15- Vue d'ensemble de l'échangeur déviée.

12- Reinforcement of the deck of OA1.

13- Earthworks by underpinning of frame structure OA7.

14- Soil-nailed wall supporting the ring road on the Paris side.

15- General view of the diverted interchange.



16- Vue d'ensemble des travaux lors de la construction de l'OA4.

17- Circulation sous ITPC lors de la construction d'une partie de l'OA7.

16- General view of the works during construction of OA4.

17- Traffic under central reservation gap during construction of part of OA7.



l'entreprise afin d'optimiser les coûts. Afin de diminuer le recours au transport par camions dans ce secteur déjà fortement perturbé par les travaux, une solution alternative de transport par péniches a été mise en œuvre depuis le quai d'Ivry.

Au final, ce sont environ 5 700 rotations de camions qui ont été évitées de surcharger les routes de l'Île-de-France. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société d'Étude de Maîtrise d'Ouvrage et d'Aménagement Parisienne - Semapa

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : Artelia, Sepia GC (sous-traitant géotechnique), Tauw (sous-traitant pollution des terres)

ARCHITECTE COORDONNATEUR : Agence Ateliers Lion

ARCHITECTE OUVRAGE D'ART : Agence Marc Mimram

ENTREPRISE TITULAIRE DU MARCHÉ DE DÉVOIEMENT DU BP : Tpi (groupe Vinci)

GROUPEMENT TITULAIRE DU MARCHÉ ÉCHANGEUR : Eiffage Génie Civil, Spie Fondations, Eiffage Métal, Eiffage Route, Roland

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 2 ouvrages mixtes de 75 m et 17 m de large
- 4 ouvrages en béton précontraint de 90 m à 150 m
- 1 ouvrage cadre de 65 m de long en courbe et de large
- 815 t d'ossature métallique
- 13 t de goujons
- 400 m d'assainissement coulé en place
- 200 t d'aciers de précontrainte
- 530 t d'armatures HA
- 6 125 m³ de béton coulé (hors fondations)
- 140 000 m³ de terres évacuées

ABSTRACT

STRUCTURAL RE-ENGINEERING OF THE QUAI D'IVRY INTERCHANGE ON THE PARIS RING ROAD

CHRISTIAN HELOU, ARTELIA - MARIA SANCHEZ DIAZ, ARTELIA - DAVID LEMESLE, EIFFAGE

The structural re-engineering of the Quai d'Ivry interchange highlights the importance of the choice of general work phasing for the feasibility of a project and for the project's very nature. In the case of this interchange, the ring road was able to be diverted, making it possible to execute a very wide underpass in the open air safely while keeping the ring road in operation. The various smart solutions for phasing and construction techniques must be adopted at a fairly early stage, or even adopted as pre-arrangements for other projects, as of the design stage. □

REESTRUCTURACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DEL QUAI D'IVRY, EN LA RONDA DE CIRCUNVALACIÓN DE PARÍS

CHRISTIAN HELOU, ARTELIA - MARIA SANCHEZ DIAZ, ARTELIA - DAVID LEMESLE, EIFFAGE

La reestructuración del intercambiador del quai d'Ivry pone de manifiesto la preponderancia de la elección de la organización por fases general sobre la viabilidad de un proyecto o sobre la propia naturaleza del mismo. En el caso de este intercambiador, la posibilidad de desviar la circunvalación ha permitido realizar un paso interior de gran anchura a cielo abierto con total seguridad, manteniendo la ronda en servicio. Las diferentes astucias en la división por fases y los métodos deben definirse con antelación, incluso como medidas cautelares para otros proyectos, desde el momento del diseño. □



© DEMATHIEU BARD

UNE PASSERELLE EN ALUMINIUM FRANCHISSANT LE RHIN ENTRE GAMBSHEIM ET RHEINAU

AUTEURS : NICOLAS ROUZET, CHEF DE SERVICE, INGEROP - DAVID GROSSETETE, RESPONSABLE SECTEUR INFRA GÉNIE CIVIL ALSACE, DEMATHIEU BARD

SITUÉE AU NORD-EST DE STRASBOURG, LA NOUVELLE PASSERELLE TRANSFRONTALIÈRE S'INSCRIT DANS L'AMÉNAGEMENT GLOBAL D'UN ITINÉRAIRE SÉCURISÉ DE TRAVERSÉE DU RHIN POUR LES PIÉTONS ET LES CYCLISTES. AVEC SA TRAVÉE UNIQUE DE 62,50 m, ELLE DÉTIENT LE NOUVEAU RECORD D'EUROPE DE LA PLUS LONGUE PASSERELLE EN ALUMINIUM OUVERTE AU PUBLIC. LA LÉGÈRETÉ DE SA STRUCTURE - SEULEMENT 34 t, SOIT 550 kg AU MÈTRE - A NÉCESSITÉ DES TESTS PRÉALABLES POUR CONFIRMER L'APPROCHE PAR LE CALCUL DE SON COMPORTEMENT VIBRATOIRE.

L'ORIGINE ET LA GENÈSE DU PROJET

LE SITE EXISTANT

Le projet de traversée sécurisée du Rhin a vocation à doubler par un itinéraire strictement réservé aux modes actifs la RD2 qui relie les communes de Gamsheim en France et de Rheinau en Allemagne, à environ 30 km au nord-est de Strasbourg. L'aménagement hydraulique sur le

Rhin qui supporte la RD2 a été mis en service en 1974. Il comporte quatre ouvrages successifs (figure 2), dans le sens Allemagne-France :

- Un barrage mobile ;
- Un barrage fixe ;
- Une usine hydroélectrique ;
- Deux écluses.

L'ancien lit du Rhin au droit du barrage fixe marque la frontière franco-allemande.

1- Pose de la passerelle.

1- Installing the foot bridge.

À l'époque de sa construction, l'ouvrage avait une destination strictement fonctionnelle et n'intégrait pas l'attractivité touristique potentielle du Rhin pour le

public. La très fréquentée RD2 ne comprenait aucun aménagement dédié aux déplacements doux entre les deux rives du fleuve.

En effet, les trottoirs, très étroits, n'obéissaient pas aux normes de sécurité actuelles, tandis que les cyclistes étaient contraints de cohabiter avec un flux de trafic de l'ordre de 11 000 véhicules par jour dont près de 2 000 poids lourds.



© INGEROP
2

Le site des écluses de Gamsbsheim attire pourtant près de 90 000 visiteurs par an qui se pressent pour admirer la manœuvre des portes levantes des deux sas depuis les bords de la RD2. La mise en service en 2007 d'une passe à poissons (figure 3) - la plus grande d'Europe - dotée d'un local d'observation et d'accueil, a encore renforcé l'attractivité du site et sa fréquentation.

2- Vue du site actuel.
3- Passe à poissons.

2- View of the current site.
3- Fishway.

LA CRÉATION DE L'ASSOCIATION "PASSAGE 309"

Les enjeux de sécurité et la fréquentation du site ont motivé la création de l'Association de Développement Touristique du site Rhénan de Gamsbsheim/Rheinau et environs, qui porte le projet de mise en valeur touristique à travers une gouvernance partagée par les communes de Gamsbsheim et de Rheinau.

Baptisé Passage 309 pour matérialiser la création d'une liaison symbolique entre les deux pays voisins au droit du point kilométrique 309 du fleuve, ce projet a pour vocation de faire émerger un espace écotouristique transfrontalier.

CALENDRIER DE L'OPÉRATION

Le projet de la passerelle s'inscrit dans le calendrier global suivant :

- Phase 1 :** mise en valeur touristique du site (réalisé entre 2005 et 2008) ;
- Phase 2 :** réalisation de la traversée sécurisée du Rhin pour piétons et cycles (entre 2011 et 2019) ;
- Phase 3 :** prolongement des itinéraires cyclables, parcours de découvertes et espace d'accueil (échéance non connue) ;
- Phase 4 :** équipements touristiques complémentaires (échéance non connue).

LE PROJET DE TRAVERSÉE SÉCURISÉE DU RHIN

Le projet de la traversée sécurisée du Rhin comporte pour la partie française six zones (figure 4) :

- Zone 1 :** du giratoire RD2 aux écluses exploitées par Voies Navigables de France ;
- Zone 2 :** le franchissement des écluses ;
- Zone 3 :** des écluses à l'usine hydroélectrique exploitée par Cerga, consortium franco-allemand ;
- Zone 4 :** le franchissement du canal de fuite à l'aval de l'usine hydroélectrique ;
- Zone 5 :** le franchissement des passes à poissons ;
- Zone 6 :** la liaison entre l'usine Cerga et la frontière franco-allemande.

Du côté allemand, le projet se prolonge avec le franchissement du barrage mobile.

L'opération est copilotée par quatre maîtres d'ouvrage différents : le Conseil Départemental du Bas-Rhin exploitant de la RD2, Voies Navigables de France, Cerga et l'Association de Développement Touristique du site Rhénan de Gamsbsheim/Rheinau et environs.

Le coût global du projet s'élève à 5 936 000 €, financé pour moitié par des fonds européens du programme INTERREG IV et co-financés pour moitié par l'association, le Département du Bas-Rhin, le Regierungspräsidium de Freiburg, la Région Grand Est, Cerga et la ville de Rheinau.

Par délégation de maîtrise d'ouvrage, le Conseil Départemental du Bas-Rhin a assuré la maîtrise d'ouvrage du projet.



© INGEROP
3

En 2011, à la suite d'un appel d'offres ouvert, le groupement Ingérop Conseil & Ingénierie/Strates Ouvrages d'Art a été désigné maître d'œuvre de la partie française du projet, dont la passerelle en aluminium constitue un maillon. Elle se situe dans la zone 4, au-dessus du canal de fuite de l'usine hydraulique.

DESCRIPTION DE LA PASSERELLE

CONTRAINTES D'IMPLANTATION

L'implantation de la passerelle a été soumise à de nombreuses contraintes induites par les ouvrages existants et leur exploitation. Côté France, les conduites de vidange des écluses se rejettent dans le canal de fuite de l'usine. Le bajoyer de l'usine hydroélectrique intègre en conséquence une chambre de batardage des vannes de vidange. La contrainte d'implantation induite par cette chambre est amplifiée par l'emprise de la zone de stationnement prévue pour la grue nécessaire à l'entretien des vannes. Côté allemand, le bajoyer de l'usine intègre l'entrée piscicole amont de la passe à poissons, ainsi que des dispositifs permettant l'exploitation de

l'usine (sortie du canal des glaces et du canal de vidange de la fosse à détritiques). Ces différents éléments ont conduit à concevoir une passerelle combinant alignement droit et tracé biais par rapport à l'usine hydroélectrique (figure 5).

CARACTÉRISTIQUES DE LA PASSERELLE

La portée unique de la passerelle est de 62,50 m, du fait de l'impossibilité d'implanter un appui intermédiaire au sein du canal usinier. Sa largeur utile est de 3 m entre lisses de garde-corps. Le profil en long est en rayon parabolique saillant d'une valeur de 800 m. Le gabarit sous la passerelle permet de respecter les niveaux des PHE (Plus Hautes Eaux) centennales et décennales.

PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT ET COMPORTEMENT VIBRATOIRE

La passerelle a été dimensionnée avec les hypothèses suivantes :

- Largeur utile de 3 m ;
- Groupes de charge Gr3 et Gr4 selon l'Eurocode 1991-2 ;

- Charge de foule correspondant à une valeur de 500 kg/m² ;
- Présence possible d'un véhicule de service et d'entretien, d'une masse de 12 t.

Pour cet ouvrage très sensible aux vibrations, le maître d'ouvrage a retenu les paramètres suivants :

- Classe de passerelle III, correspondant à "une passerelle urbaine reliant des zones peuplées soumise à un trafic important et pouvant être parfois chargée sur toute sa surface" ;
- Niveau de confort maximum, correspondant à des accélérations subies par la structure qui sont pratiquement imperceptibles par les usagers.

La flèche a été limitée au 300° de la portée sous combinaisons de charges caractéristiques et au 500° sous surcharges seules.

CHOIX ARCHITECTURAL

Une solution en double poutre latérale en treillis de hauteur variable a été imaginée. La structure porte le cheminement des piétons et cycles qui retrouve ses éléments fédérateurs comme les garde-corps. Les garde-corps sont inclinés vers l'extérieur pour ouvrir l'espace et diminuer la sensation de "couloir" ou "d'enfermement" au vu de la longueur de l'ouvrage et de sa largeur. L'intégration de l'ouvrage dans son environnement s'est traduite par les principes suivants (figure 6) :

- Laisser pour les structures porteuses un aspect brut de l'aluminium (gris clair) ;
- Prévoir pour la lisse supérieure des garde-corps de couleur rouge. Ce choix renforce l'idée de créer un "fil rouge" sur toute la longueur du cheminement, sorte d'invitation à suivre l'aménagement pour se rendre au-delà de la frontière ;

**4- Découpage
du projet en
zones.**

**4- Project
breakdown
into zones.**

DÉCOUPAGE DU PROJET EN ZONES



→ Prévoir pour les autres éléments du garde-corps une teinte gris ardoise (plus foncée).

Les garde-corps en aluminium présentent une hauteur de 1,30 m et ont été recouverts d'une peinture anticorrosion mise en œuvre par thermolaquage. La lisse est équipée d'éclairages LED qui diffusent une lumière blanche. Le revêtement de surface est constitué d'un caillebotis en aluminium.

La plateforme de cheminement est constituée de tôles caillebotis en aluminium antidérapantes.

Ce type d'éléments permet un écoulement satisfaisant des eaux pluviales tout en garantissant un caractère antidérapant à la surface.

DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

La structure retenue est celle d'une passerelle treillis composée de sections tubulaires en aluminium. La structure a été entièrement soudée en atelier de fabrication.

L'entraxe de chaque treillis est de 3,125 m pour une hauteur comprise entre 3,85 m et 5,95 m.

Les dimensions des profilés principaux sont les suivantes :

→ Membrures inférieures et supérieures : tubes 300 x 300 x 15 mm ;

→ Montants : tubes 120 x 200 x 12 mm ;

→ Entretoises supérieures : 150 x 150 x 4 mm ;

→ Entretoises inférieures : 150 x 150 x 4 mm ;

→ Entretoises centrales : 200 x 120 x 7,5 mm.

La largeur hors-tout de la passerelle est de 4,75 m.

Ses appuis sont fondés superficiellement sur les bajoyers en béton existants. Une substitution en béton a été réalisée pour assurer une assise satisfaisante de la semelle de fondation.

Une banquette à l'avant du chevêtre permet un accès facile aux appareils d'appui en élastomère fretté (figure 7). Chaque appui comporte une semelle en béton armé d'une largeur de 2,45 m et d'une épaisseur de 70 cm. Cette semelle est surmontée par un chevêtre de 1,35 m de largeur et de 90 cm de hauteur.

La passerelle vient s'appuyer sur les culées par l'intermédiaire de bossages d'appui et d'appareils d'appui en élastomère fretté. Les appareils d'appui sont équipés de dispositifs anti-soulèvement.

Enfin, un mur garde-grève d'une hauteur de 1,579 m et d'une épaisseur de 40 cm vient compléter les appuis.

POURQUOI LE CHOIX DU MATÉRIAU ALUMINIUM ?

Au vu des contraintes importantes du projet, l'utilisation du matériau aluminium est apparue comme la solution la plus pertinente.

En premier lieu, les appuis de la passerelle sont positionnés derrière les bajoyers du canal usinier. Les informations récupérées auprès de Cerga

ont confirmé qu'ils avaient été dimensionnés sans surcharge particulière. La structure devait donc être suffisamment légère pour reporter un minimum de charges sur ces ouvrages existants. L'aluminium était le matériau qui répondait le mieux à cette contrainte.

Ensuite, lors de la construction de l'ouvrage, la multitude d'ouvrages avoisinants dans un site très exigu réduisait fortement les possibilités d'implantation des moyens de levage.

Afin de limiter la taille des grues, la structure devait une nouvelle fois être la plus légère possible, ce qui apportait un argument de plus en faveur de l'aluminium.

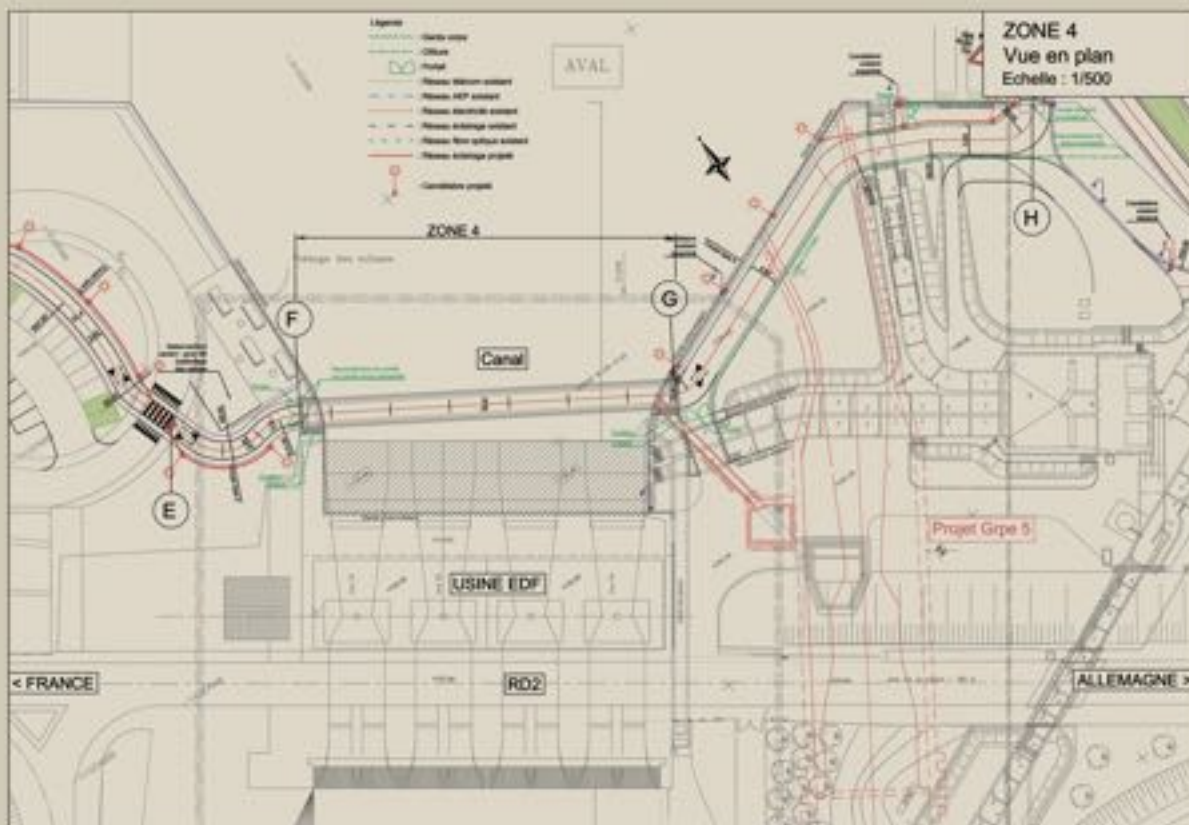
Au-delà des exigences de conception et de construction de l'ouvrage, deux contraintes de site ont définitivement orienté le choix vers l'aluminium : l'entretien de la passerelle et la maintenance de l'usine hydroélectrique.

D'une part, une remise en peinture régulière aurait été très compliquée au-dessus du canal usinier. L'aluminium résiste naturellement aux phénomènes de corrosion et ne requiert pas ce type d'entretien. ▷

5- Vue en plan de la passerelle.

5- Plan view of the foot bridge.

VUE EN PLAN DE LA PASSERELLE



D'autre part, l'extraction des turbines de l'usine en cas de remplacement se fait par grutage au-dessus du canal de fuite. L'exploitant de l'usine a donc imposé que la passerelle soit démontable dans un délai de quelques jours. La passerelle en aluminium répondait parfaitement à cette contrainte.

RÉALISATION DES TRAVAUX LE GROUPEMENT

Les travaux ont été confiés au groupement Demathieu Bard Construction/Pml/Ateliers Sieffert. Ce groupement a réuni des acteurs spécialisés dans les ouvrages d'art, la gestion de projet et la construction de charpente en aluminium. La proximité des ateliers du fabricant Sieffert et son savoir-faire reconnu depuis de nombreuses années ont été déterminants dans la réussite de ce projet.

Le dimensionnement et l'étude vibratoire de la structure ont été réalisés par le bureau d'étude suisse Comox spécialisé dans la conception et l'étude de structures métalliques et en particulier en aluminium.

ORGANISATION DU CHANTIER

La proximité du canal usinier et de la centrale hydroélectrique Cerga de Gamsheim a guidé les méthodes de réalisation des 2 culées.

Des passerelles Sateco ont été suspendues au-dessus du canal par le biais



6

© INGEROP

de sabots d'ancrages scellés chimiquement dans les bajoyers existants.

La découpe des bajoyers d'épaisseur 1,20 à 2,45 m a été réalisée par sciage diamant à l'aide d'un disque de diamètre 1,60 m. Cette opération rendue difficile par l'épaisseur variable et un accès restreint a duré plus de 3 semaines par côté.

Les deux culées ont été fondées sur les bajoyers existants dont l'épaisseur variable - en forme d'escalier - a contraint le coulage d'un gros béton

6- Garde-corps.
7- Culée biaise.
8- Vue générale de la passerelle.

6- Guard rail.
7- Skewed abutment.
8- General view of the foot bridge.

de substitution pour obtenir une assise homogène et horizontale.

Les chevêtres ont été coffrés, ferrillés et bétonnés en place en tenant compte de la géométrie biaise et variable de l'existant. Les murs en retour ont également fait l'objet d'une adaptation complexe pour s'adapter au bajoyer et permettre une parfaite intégration des appuis dans le site.

L'ensemble des appuis et aménagements extérieurs a été réalisé dans le délai de 4 mois fixé au marché.



7



8

© INGEROP



9

© GUTMANN

En parallèle, la construction de la passerelle en atelier a nécessité 16 semaines d'assemblage, soudage et contrôle entre janvier 2019 et mai 2019.

LA MÉTHODE DE MISE EN ŒUVRE DE LA PASSERELLE

Une fois testée et réceptionnée en atelier, la passerelle a pu être acheminée, le 4 juin 2019, depuis l'atelier Sieffert situé à seulement un kilomètre de son emplacement définitif. Afin de limiter les nuisances sur la circulation et pour

9- Transport de la charpente.
10- Pose de la passerelle.

9- Transporting the frame.
10- Installing the foot bridge.

des raisons de sécurité, le transport en convoi exceptionnel du colis de 74 m de longueur a été mené à bien de nuit sous coupure complète de la RD2 (figure 9). La passerelle a finalement été mise en place par grutage le lendemain à l'aide d'une grue de 400 t (figures 1 & 10).

APPRÉHENSION DU COMPORTEMENT VIBRATOIRE DE L'OUVRAGE
 Comme indiqué précédemment, un des enjeux majeurs de ce projet a été l'appréhension du comportement vibratoire

de cette passerelle au vu de la portée importante pour une structure de ce type en aluminium. Des essais dynamiques approfondis ont donc été réalisés après fabrication dans les ateliers de l'usine Sieffert sur appuis provisoires. Ils ont permis de mesurer les premières fréquences propres ainsi que les déformées modales associées. Lors de ces tests, il a été mesuré le niveau de confort et les accélérations de la structure. ▷



© INGEROP

10



Ils ont été réalisés le 28 mai 2019 en deux phases distinctes :

- Analyse modale expérimentale, consistant à déterminer les premières fréquences propres, les déformées modales et les amortissements de la structure ;
- Essais de foule pour mesurer les accélérations et appréhender le niveau de confort des usagers.

Le matériel nécessaire à ces différents tests a été le suivant :

- Accéléromètres ;
- Centrales d'acquisition ;
- Masse de choc.

Lors de la 1^{re} phase, l'ouvrage est excité ponctuellement à l'aide d'une masse de choc.

Cet impact permet un couplage entre la force excitatrice et la réponse de la

11- Essais vibratoires.

11- Vibration tests.

structure. La masse est équipée d'un embout en caoutchouc afin de ne pas engendrer de dégradation sur la structure.

Lors de la seconde phase, l'ouvrage est excité par divers cas de sollicitations dynamiques à l'aide d'un groupe constitué de 10 à 15 personnes, puis d'environ 50 personnes pour obtenir une bonne représentation des conditions d'utilisation en période d'af-

fluence. Cette étape permet de déterminer les accélérations générées dans la structure dans divers cas de figure, afin de vérifier la classe de confort de l'ouvrage.

Pour cette phase particulière, le mode opératoire a été le suivant (figure 11) :

- Marche totalement aléatoire et désynchronisée d'un piéton d'un bout à l'autre de la passerelle ;
- Marche totalement aléatoire et désynchronisée d'un groupe réduit de 10 à 15 personnes d'un bout à l'autre de la passerelle, puis de manière désordonnée ;
- Identification du taux d'amortissement structurel du premier mode propre par l'intermédiaire de la mesure du décrement logarithmique sur la réponse induite par un saut de 10 personnes à mi travée ;
- Marche totalement aléatoire et désynchronisée d'un groupe de 50 personnes d'un bout à l'autre de la passerelle, puis de manière désordonnée en simulation d'un flot continu de piétons. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur totale de 63,00 m avec une portée unique de 62,50 m
- Tonnage total de charpente : 34 t
- Semelles superficielles fondées sur substitution en gros béton
- Béton : 100 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Conseil Départemental du Bas-Rhin
- MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION, VISA :** Ingérop
- MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX :** Conseil Départemental du Bas-Rhin
- ENTREPRISE MANDATAIRE :** Demathieu Bard
- ENTREPRISE DE CHARPENTE MÉTALLIQUE :** Sieffert
- ÉTUDES GÉOTECHNIQUES :** Geotec
- ÉTUDES VIBRATOIRES :** Comox

ABSTRACT

AN ALUMINIUM FOOT BRIDGE CROSSING OVER THE RHINE BETWEEN GAMBSHEIM AND RHEINAU

NICOLAS ROUZET, INGEROP - DAVID GROSSETETE, DEMATHIEU BARD

The new cross-border foot bridge, located northeast of Strasbourg, forms part of the overall development of a protected route for pedestrians and cyclists crossing the Rhine. With a single 62.50-metre span, it holds the European record for the longest aluminium foot bridge open to the public. Its aluminium lattice structure is very light, allowing it to be installed in a relatively inaccessible environment. It also limits stresses on the existing supports, while offering ease of subsequent dismantling and increased corrosion resistance. The inauguration was held in June 2019. □

UNA PASARELA DE ALUMINIO QUE CRUZA EL RIN ENTRE GAMBSHEIM Y RHEINAU

NICOLAS ROUZET, INGEROP - DAVID GROSSETETE, DEMATHIEU BARD

Situada al noreste de Estrasburgo, la nueva pasarela trasfronteriza se inscribe en el marco del diseño global de un itinerario seguro de cruce del Rin para peatones y ciclistas. Su luz única de 62,50 m supone el récord europeo para una pasarela de aluminio abierta al público. Su estructura en celosía de aluminio, muy ligera, ha permitido su instalación en un entorno de difícil acceso. Además, limita los esfuerzos sobre los apoyos existentes, facilita su eventual retirada y ofrece una mayor resistencia a la corrosión. Fue inaugurada en junio de 2019. □

PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ
PRÉVOYANCE
ASSURANCES
RETRAITE
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».

Le **Matelas Reno®** doit son nom aux premiers ouvrages hydrauliques réalisés sur le fleuve Reno près de Bologne en Italie par le Groupe Maccaferri. 140 après, suite à de nombreuses évolutions et innovations, nos solutions continuent de protéger les populations et les infrastructures contre les inondations.

MACCAFERRI

140
1879-2019



En haut : protection des berges sur le fleuve Reno, Bologne, Italie

En bas : protection des berges du Vidourle (Gard/Hérault, France)

Ouvrages réalisés en Matelas Reno®