

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES D'ART. RECONSTRUCTION DU PONT DE LEKINY EN NOUVELLE-CALÉDONIE. VIADUC DE LA LIGNE 18 DU GRAND PARIS EXPRESS ENTRE PALAISEAU ET SACLAY. REMPLACEMENT DE LA PASSERELLE EN GARE D'HAZEBROUCK (59). DIAGNOSTIC ET REHABILITATION DU PONT DE BRIGNOUD (38). DEUXIEME PONT SUR L'ALLIER A MOULINS. PONT DU VILLAGE DES ATHLETES SUR LA SEINE. REFECTION DU VIADUC D'ACCES AU PONT DE TANCARVILLE. PONT DE COCODY A ABIDJAN. VIADUC PLEYEL (93)

N°988 JUILLET-AOÛT 2023



PONT DU VILLAGE
DES ATHLÈTES
SUR LA SEINE
© SAP PHOTOGRAPHIE





GLOBALE MAÎTRE D'OUVRAGE

L'assurance de l'activité professionnelle de tous les maîtres d'ouvrage

Une solution d'assurance sur-mesure pour la protection de l'ensemble de vos projets immobiliers.

Toutes nos solutions d'assurance sur www.auxiliaire.fr



L'Auxiliaire BTP
L'assurance toujours à votre hauteur



Directeur de la publication
Alain Grizaud

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

Comité de rédaction
Jean-Bernard Datry (Setec),
Denis Etienne (Bouygues),
Philippe Gotteland (Fnpt),
Ziad Hajar (Systra),
Florent Imbert (Razel-Bec),
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis),
François Louvel (Spie Batignolles),
Véronique Mauvisseau (Ingerop),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Laetitia Pavel (Arcadis),
Claude Servant (Eiffage),
Nastaran Vivan (Artelia),
Michel Morgenthaler (Fnpt)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
TBS GROUP
Service Abonnement Revue Travaux
20 rue Rouget de Lisle
92130 Issy les Moulineaux
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

France (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
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31

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
ISSN 0041-1906

RENOUVELER L'IMAGE DU GÉNIE CIVIL



© DR

Un grand Congrès Français du Génie Civil s'est tenu au 23 et 25 mai dernier dans le cadre de l'École Normale de Saclay, sous le double parrainage de l'Association Française de Génie Civil et de l'Association Universitaire de Génie Civil. Moment unique de retrouvailles et d'échanges entre le monde des entreprises et le monde universitaire, ce congrès a été l'occasion pour tous de prendre conscience du profond renouvellement des thématiques de recherche et d'innovation dans le domaine de la construction. Il a également mis en lumière une envie collective d'apporter rapidement des solutions opérationnelles au défi climatique et environnemental.

J'entends depuis plusieurs années que l'ingénierie n'attire plus les jeunes car trop exigeante et trop peu valorisée dans notre société. J'entends que le domaine de la construction n'attire plus car il serait en conflit avec la quête de sens des nouvelles générations. Bien au contraire, lors de ces trois jours d'échange, le sens de l'action a été au cœur de tous les échanges, avec une volonté partagée de ne pas simplifier à l'excès les problématiques et de promouvoir des solutions dont l'efficacité et l'impact sont à la hauteur des enjeux. Avec quatre axes forts qui ont émergé de ce congrès : penser des structures modulables pour accompagner l'évolution des usages, mieux modéliser les structures pour mieux utiliser la matière, formuler des matériaux au juste niveau de performance à court et long terme, et enfin développer les compétences et les outils pour la maintenance des ouvrages.

Si nous avons choisi le génie civil et si nous continuons à nous y investir, c'est que nous sommes

convaincus qu'il faudra continuer de construire pour servir l'intérêt général. Renoncer à construire, ce serait aussi renoncer à corriger les inégalités territoriales, renoncer à transformer nos villes pour de nouveaux usages, renoncer à améliorer l'efficacité ou la durée de vie de nos équipements, renoncer à donner à tous l'accès minimum à l'eau, à l'énergie, au logement, à la santé, au travail, à la culture et à la formation. Ce serait comme arrêter de soigner nos malades ! Voulez-vous cela ?

Bien sûr, chacun a le droit - et même le devoir - de questionner cette notion d'intérêt général ; de se préoccuper de l'efficacité - au regard de l'enjeu climatique - des processus politiques à faire émerger les projets d'utilité publique. Ainsi, chacun peut individuellement questionner le bien fondé des projets auxquels il participe ainsi que la trajectoire choisie par son entreprise.

Pour autant il faut bien que les projets qui relèvent de l'intérêt commun soient construits, mieux voire autrement, dans le respect des financements. Dans ce contexte, l'ingénierie a tout son sens. Le métier d'ingénieur consiste justement à trouver des solutions optimisées aux problèmes complexes. Dans la construction, c'est arriver à concilier sobriété, durabilité, adaptabilité, minimisation des impacts et coût global pour la société. Dans un environnement complexe, c'est la mission des ingénieurs d'objectiver les contraintes, d'intégrer et faire la synthèse de phénomènes multiples, de proposer une démarche rationnelle, graduelle et collective jusqu'à une conception qui réponde efficacement aux besoins, d'ordonner un projet pour le mener à bien en respectant des contraintes budgétaires toujours plus fortes.

Mettons-nous au travail pour transmettre cette conviction aux jeunes et pour montrer la satisfaction individuelle et la fierté collective que nous ressentons quand nous sommes lauréats d'un concours, quand nous gagnons un appel d'offres, quand nous faisons visiter un chantier, quand nous livrons un ouvrage, quand nous le montrons à nos parents et à nos enfants. Des documentaires fleurissent à la télévision pour raconter l'aventure exaltante des grandes constructions et des grands bâtisseurs. C'est à nous, professionnels, d'amplifier cette démarche, en nous rendant visibles et audibles... rapidement.

CLAUDE LE QUÉRÉ
DIRECTRICE DES OUVRAGES D'ART CHEZ EGIS
PRÉSIDENTE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL

OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

STOCKAGE DES VOUSOIRS DU VIADUC DE LA LIGNE 18 DU GRAND PARIS EXPRESS © ARTELLIA



04 ALBUM

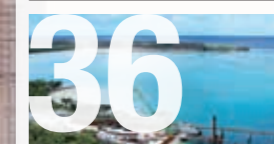
08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC
PIERRE MARCHAND**
CEREMA/ITEX -
L'INNOVATION ENCOURAGÉE
ET MAÎTRISÉE

28 CIDECO -
GÉRER LE PATRIMOINE
AVEC DES TECHNIQUES INÉDITES



36

**RECONSTRUCTION
DU PONT DE LEKINY EN
NOUVELLE-CALÉDONIE**
Ouvrage unique pour un site
d'exception



42

**VIADUC DE LA LIGNE 18
DU GRAND PARIS EXPRESS**
entre Palaiseau et Saclay



48

**REPLACEMENT
DE LA PASSERELLE EN
GARE D'HAZEBROUCK (59)**



54

PONT DE BRIGNOUD (38)
Diagnostic et réhabilitation
suite à un incendie



60

**LE DEUXIÈME PONT
SUR L'ALLIER
À MOULINS (03)**
Un ouvrage emblématique
pour la région



66

**LE PONT DU VILLAGE
DES ATHLÈTES**
d'un jet sur la Seine



76

**VIADUC D'ACCÈS
AU PONT DE TANCARVILLE**
Renforcement et réparation



82

**LE PONT
DE COCODY**
à Abidjan



90

VIADUC PLEYEL (93)
Une nouvelle bretelle d'entrée
sur l'A86

UN VIADUC DE 7 KM POUR LA PARTIE AÉRIENNE DE LA LIGNE 18

Artélia, Ingerop et Arcadis constituent le groupement de maîtrise d'œuvre de cet ouvrage hors normes, d'une longueur inédite en France, qui allie innovation et technicité, construit par le groupement Vinci Construction Grands Projets, Dodin Campenon Bernard, Chantiers Modernes Construction, Freyssinet, Razel Bec, Botte Fondations et Franki Fondation.

(Voir article page 42).



© INGEROP

© ARTELIA



UN DEUXIÈME PONT SUR L'ALLIER À MOULINS QUI EN AVAIT BIEN BESOIN

**Bouygues Travaux Publics
Région France, Baudin
Châteauneuf, Soletanche
Bachy Fondations Spéciales**
forment le groupement qui
construit cet ouvrage urbain
de 455 m de long qui est
un condensé de nombreuses
techniques de construction du
génie civil, comprenant un pont
mixte bipoutres et un tablier
à dalle précontrainte.
(Voir article page 60).



© BOUYGUES TP RF

© K-PROD

QUEL EST L'IMPACT DU ZAN POUR LES GRANDS PROJETS D'INTÉRÊT NATIONAL ?

Le Zéro artificialisation nette prévu par la loi Climat et résilience, a pour ambition de limiter la consommation d'espaces naturels. Des ajustements au niveau législatif et gouvernemental sont en cours pour adapter cette réglementation aux grands projets d'envergure nationale tels que les lignes ferroviaires à grande vitesse, l'aménagement de grands ports maritimes ou encore les infrastructures de production d'énergie renouvelable.



© SOPHIE LE RENARD

Le Zéro artificialisation nette a pour but de réduire le rythme de consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers.

Comment concilier les grands projets d'envergure nationale avec les objectifs de Zéro artificialisation nette (Zan) inscrits dans la loi Climat et résilience du 22 août 2021 ? En effet, ce texte prévoit de diviser par deux le rythme de consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers d'ici à 2031, pour arriver à les compenser intégralement, et répondre au Zan, en 2050. Même si un consensus semble émerger sur les motivations de

cette loi, préserver la biodiversité, lutter contre les îlots de chaleur et l'impact des inondations, des aménagements ont été envisagés par le gouvernement dans la mise en œuvre de grands projets d'envergure nationale, qui concernent les Travaux publics. Ces dispositions portent aussi sur les projets "d'industrie verte".

→ **Ne pas pénaliser les régions**

Les grands projets ne sont pas exclus du dispositif Zan, mais vont être comptabilisés

à l'échelle nationale pour qu'ils soient décomptés des objectifs d'une région ou d'une commune. Ainsi un forfait de 15 000 ha est réservé pour ces grands projets, qui sera ensuite déduit de l'enveloppe globale d'artificialisation entre 2021 et 2031, portant à 110 000 ha autorisés contre 125 000 hectares, comme prévu au préalable. Cela a pour but de ne pas pénaliser les régions dans leur développement où ces projets de lignes ferro-

viaires à grande vitesse, d'aménagement de grands ports maritimes ou encore d'infrastructures de production d'énergie renouvelable, sont nombreux. L'exemple des Hauts-de-France est de ce point de vue emblématique. En effet, plus de 50 % de son enveloppe régionale, soit 10 400 ha artificialisés, est d'ores et déjà mobilisée par deux grands projets, à savoir le projet de canal Seine-Nord Europe et les aménagements pour le parc d'éolien offshore de Dunkerque. En Île-de-France, en Corse et en Outre-mer, les objectifs régionaux diffèrent « légèrement du reste du territoire, mais il faudrait aller plus loin. Il est beaucoup plus simple de respecter les objectifs de la loi Climat et résilience lorsque l'on est dans une région en décroissance économique et démographique. De même, entre une région déjà très artificialisée et une autre qui l'est très peu, entre une région qui est sur une trajectoire vertueuse et une autre qui ne l'est pas, avoir le même objectif Zan n'a pas beaucoup de sens, » a déploré Jean-Philippe Dugoin-Clément, vice-président de la Région Île-de-France. La proposition de loi sénatoriale, qui assouplit les règles du Zan, et notamment celles concernant les grands projets d'intérêt nationaux, a été adoptée par les députés, le 23 juin. Elle doit être promulguée par le gouvernement à la fin du mois de juillet. ■

LA FNTF RENOUVELLE SON ENGAGEMENT POUR LA SANTÉ AU TRAVAIL DANS LES TRAVAUX PUBLICS

Les parties prenantes⁽¹⁾, dont la FNTF, ont renouvelé leur engagement en faveur de l'amélioration de la santé au travail dans le secteur des Travaux publics (TP). Ils ont signé, pour la période 2023 à 2028, une nouvelle convention nationale de partenariat, démarche qui existe depuis 10 ans. Les partenaires mettent en avant une baisse structurelle de la sinistralité du secteur (-35 % les accidents graves et mortels dans les TP), une meilleure prise en considération des troubles musculosquelettiques, l'intégration de l'aspect prévention dans les formations initiales aux TP et des actions de sensibilisation auprès des maîtres d'ouvrage. Ces actions sont toujours en cours mais aujourd'hui d'autres enjeux apparaissent concernant la santé des travailleurs dans ce secteur, comme les

conditions de travail durant les vagues de fortes chaleurs. Pour les cinq années à venir, une démarche d'évaluation des risques grâce à une connaissance plus fine de la sinistralité du secteur, en différenciant bâtiment et TP, sera engagée. Identifier et promouvoir les bonnes pratiques de prévention, favoriser les échanges entre les réseaux des partenaires au niveau territorial, renforcer les formations sur cet aspect... font partie des objectifs pour cette nouvelle convention nationale de partenariat. ■

⁽¹⁾ Le Ministère du travail, du plein emploi et de l'insertion, la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAM), l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents de travail et des maladies professionnelles (INRS) et l'Organisme professionnel de prévention du BTP (OPPBT).



© DEPARTEMENT DE LA GRONDE

De nouveaux enjeux apparaissent, comme les conditions de travail durant les vagues de fortes chaleurs pour la convention nationale de partenariat 2023/2028.

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

Acteur de référence du BTP, nous sommes aux côtés des entreprises, artisans, salariés et retraités de ce secteur pour les protéger, les assurer et les soutenir en cas de besoin. Nous nous engageons chaque jour à proposer des services qui vous aident à avancer avec sérénité.



PRO BTP
GROUPE

ASSURÉ POUR DEMAIN

www.probtp.com

MÉTRO ! LE GRAND PARIS EN MOUVEMENT

La Cité de l'architecture et du patrimoine et la Société du Grand Paris préparent une exposition consacrée au métro, son histoire et les transformations urbaines qui lui sont liées. Elle aura lieu à la Cité de l'architecture et du patrimoine, place du Trocadéro à Paris, à partir du 8 novembre 2024 jusqu'au 2 juin 2024. S'intéresser à la mobilité comme enjeu d'urbanité, tel est le but de cette exposition qui croise l'histoire de la technique, les projets visionnaires et l'univers fictionnel lié au métro. Elle projette le visiteur dans une nouvelle carte mentale du Grand Paris. Le parcours met en scène ces infrastructures face aux défis contemporains de la ville.

NOUVELLES DATES POUR LES "RENDEZ-VOUS MOBILITÉS" DU CEREMA

Le Cerema organise des webinaires de 2 heures, une à deux fois par mois, destinés à défricher, échanger, débattre d'un sujet d'actualité avec les acteurs des mobilités. L'objectif est de permettre à chaque acteur concerné de trouver des réponses pour relever le défi de la transition des mobilités. Au programme : sécurité des infrastructures routières, identifier les zones d'accidents (14/09/2023), les dispositifs de comptage des cyclistes (12/10/23), la mobilité intelligente au service des territoires (30/10/2023), quels aménagements cyclables hors agglomération ? (14/12/2023).

LE VOLET "MOBILITÉ" DES CONTRATS DE PLAN ÉTAT-RÉGIONS 2023-2027 ENFIN DÉVOILÉ



© SOPHIE LE RENAUD

200 M€ vont être consacrés aux véloroutes. Ici la future Flow-vélo sera aménagée sur une ancienne ligne de train et reliera la Dordogne à la côte atlantique.

L'annonce était attendue. Elisabeth Borne a divulgué que l'État va consacrer 8,6 Mds€ au titre du volet "mobilité" des contrats de plan État-régions (CPER) 2023-2027. Ces moyens mobilisés s'inscrivent dans le plan d'investissements massifs, de 100 Mds€ à l'échéance 2040, en faveur du secteur ferroviaire, promis le 24 février dernier (*Revue Tra-*

voux 986). Pour Clément Beaune, ministre chargé des Transports, le financement des CPER mobilités est "la première brique" de ce vaste programme. Il a précisé que les 8,6 Mds€ représentent « 50 % de plus par an que lors des CPER précédents et que 70 % (soit 5 Mds€) de cette enveloppe iront aux infrastructures ferroviaires et aux transports publics. »

Les études en vue de la mise en service, des dix nouveaux RER métropolitains, annoncés en novembre dernier par Emmanuel Macron, seront aussi financées par ce biais à hauteur de 800 M€.

→ **Doubler la part modale**

du transport collectif

Désormais dénommés Services express régionaux métropolitain (Serm), ils ont fait l'objet d'une loi, discutée en première lecture le 12 juin, à l'Assemblée nationale. L'objet de ce texte législatif est de permettre des mesures de simplification et d'accélération des procédures, notamment par rapport au rôle de la Société du Grand Paris (SGP) qui va devenir "Société des grands projets". En effet, l'établissement public est désormais chargé de la conception et de la maîtrise d'ouvrage de ces nouvelles infrastructures. Cette loi devrait être adoptée avant la fin de l'année 2023. Avec ces investissements, l'État entend doubler « la part modale du transport ferroviaire et collectif dans les déplacements du quotidien, d'ici 2030. » 200 M€ dans les nouveaux contrats de plan État-région vont aussi être consacrés aux "véloroutes" et 950 M€ seront destinés aux infrastructures portuaires et aux voies navigables. Pour ce qui concerne des investissements routiers, les moyens mobilisés sont en chute libre. 1,6 Md€ seront consacrés aux routes contre 3,3 Mds lors de la génération précédente des CPER. Carole Delga, Présidente de l'association Régions de France et de la région Occitanie, a considéré que ces annonces constituaient « une étape. Mais l'amplification attendue des investissements de l'État n'est pas au rendez-vous. » En effet, les élus régionaux souhaitaient des investissements à hauteur de 30 Mds€. ■

LES ENTREPRISES DU BTP ACCOMPAGNÉES EN VUE DE RESTRUCTURATION

Face à la hausse des prix de l'énergie, l'inflation sur les matériaux et un contexte économique aux perspectives incertaines, 3 212 entreprises ont dû solliciter l'aide des commissaires aux restructurations et à la prévention (CRP) des difficultés. Elles sont principalement issues du secteur manufacturier. Mais avec 160 entreprises du bâtiment et des

travaux publics (BTP) aidées, la filière du BTP est un des secteurs qui est le plus accompagné en matière de restructuration d'entreprises. Ce sont, en grande majorité, des petites ou moyennes structures. Rattachés à la Direction générale des entreprises (DGE) du ministère de l'Économie et aux préfets de région, ces professionnels accompagnent des entre-

prises en difficultés. Implantés dans tous les territoires, ils sont en lien avec les acteurs économiques locaux. Leur intervention est confidentielle et gratuite. La Région Nouvelle-Aquitaine, compte le plus grand nombre d'entreprises soutenues, tous secteurs confondus, puis vient la Normandie, le Grand Est, l'Auvergne-Rhône-Alpes et l'Île-de-France. ■





terrasol
setec

FORMATION

INGENIERIE

LOGICIELS

L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée

en France comme à l'international

 Paris, Lyon et Bordeaux

 terrasol@setec.com

 www.terrasol.com

 [terrasol \(groupe setec\)](https://www.linkedin.com/company/terrasol)



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° 989 " Spécial Ligne à Grande Vitesse HS2 "
- TRAVAUX n° 990 " Sols et Fondations "



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31
b.cosson@rive-media.fr

PREMIÈRE PLATEFORME FRANÇAISE DE RECHERCHE DÉDIÉE À L'ÉOLIEN OFFSHORE

Au large de Fécamp dans la Manche, a été installé un mât de mesures, véritable plateforme de recherche en mer sur l'impact de l'éolien offshore sur l'environnement. Cette infrastructure de recherche est couplée à un programme de R&D multidisciplinaire doté d'un budget initial de 8,2 M€. En plus des impacts sur les milieux marins, ces études visent à optimiser le dimensionnement des éoliennes et à co-construire un réseau d'observation pérenne des façades maritimes. Appelé Draccar, ce dispositif doit permettre d'accompagner les industriels du secteur et l'État avec des études de terrain, tout en favorisant leur collaboration avec les différents acteurs de la recherche.

Six thèmes seront plus particulièrement étudiés : l'écosystème marin, la mégafaune marine, l'effet récif engendré par l'implantation en mer de structures pourvues de fondations et leur impact sur les espèces vivant au fond de l'eau, le vent, les interactions entre les courants, les états de mer et le mât de mesure et enfin les processus hydro-sédimentaires.

PRIX BOUSSINESQ 2023

Le prix Boussinesq distingue depuis 2021, l'auteur d'une thèse de doctorat sur un sujet qui intéresse directement ou indirectement la mécanique des sols et la géotechnique, ainsi que les techniques spécifiques concernant les travaux en interaction avec les terrains. Cette année le prix a été décerné à Olatound Alexandre Yaba, pour ses travaux consacrés à l'amélioration des plateformes ferroviaires par géogrille.

LES CANALISATEURS PUBLIENT UN OUVRAGE POUR RENDRE VISIBLE LEUR ACTION



© LES CANALISATEURS

Couverture du beau livre *Conduites invisibles, Canaliseurs au XXI^e siècle*, sur l'histoire, les métiers, le patrimoine, les hommes et les femmes de cde secteur professionnel.

Les Canaliseurs, organisation professionnelle qui fédère 330 entreprises, spécialisées dans les canalisations d'eau potable, d'eaux usées, d'irrigation, de gaz

et de fluides divers, a tenu son assemblée générale, le 14 juin dernier. Cela a été l'occasion de dresser le bilan des travaux des 8 commissions de l'organi-

sation professionnelle et de remettre aux lauréats les trophées Label Canaliseur et les prix de la 3^e édition du concours vidéo "Passionnément Canaliseur/rices". Lors de cette rencontre, le livre *Conduites invisibles, Canaliseurs au XXI^e siècle*, a été présenté. Ce beau livre, préfacé par l'écrivain et académicien Erik Orsenna et par le président des Canaliseurs Pierre Rampa, met en lumière le métier de canaliseur et le patrimoine des réseaux. L'ouvrage de 200 pages raconte l'histoire de ces métiers « dont le XXI^e siècle a saisi l'importance. » Personnalités, experts et professionnels sont interviewés, de forts témoignages et des récits en image de projets jalonnent ce livre.

→ Conduites invisibles

On y trouve aussi des carnets de chantier sous forme de portraits de femmes et d'hommes qui racontent l'exercice de leur métier au service de leurs territoires. En 13 chapitres, l'ouvrage aborde les 5000 ans d'histoires de canalisations... Il se termine par les perspectives de canaliseurs en 2100 et ouvre aussi des pistes pour l'avenir « pour inspirer tous les acteurs du cycle de l'eau et rappeler qu'il est temps d'agir; » conclut l'organisation professionnelle. « *Sous nos pieds circulent des conduites invisibles. Ceux qui les ont posés ne travaillent pas dans l'ombre pour autant. Même si après leur passage, ils ne laissent aucune trace, les Canaliseurs nous accompagnent tout au long de notre vie,* » considère Jean-Pierre Cuisinier, auteur de *Conduites invisibles, Canaliseurs au XXI^e siècle*. ■

LE SYNDICAT FRANÇAIS DE L'INDUSTRIE CIMENTIÈRE DEVIENT FRANCE CIMENT

Le Syndicat Français de l'Industrie Cimentière a dévoilé sa nouvelle feuille de route pour arriver à -50% d'émissions de gaz à effet de serre, dès 2030. Le scénario présenté vise à accélérer la décarbonation des process (recours aux combustibles alternatifs, réduction du taux de clinker, composant carboné du ciment...) pour ensuite déployer le captage du carbone inhérent à la fabrication du ciment. Avec un plan d'investissements cumulés de plus de 5 Mds€ jusqu'en 2040, le Syndicat Français de

l'industrie cimentière devenu France Ciment, affiche son ambition d'une transition décarbonée. La part des combustibles alternatifs non fossiles issus en valorisant les déchets non recyclables des collectivités et industries voisines devra atteindre 80% en 2030 (vs. 44% en 2021). La teneur en clinker des ciments français devra être réduite à 62% en 2050 (vs. 75% en 2021 et 68% en 2030). Une réduction de 27% des émissions pour une tonne de ciment est prévue, dès 2030. Les prévisions concernent

aussi le captage, le stockage et la valorisation du CO₂ évalué à 5,8 Mt (méga-tonne) équivalent de CO₂ par an, en 2050. « *Nous vivons aujourd'hui un vrai Momentum grâce à la mobilisation sans précédent de tous les acteurs de la filière pour impulser une dynamique d'innovations durables. Un chemin exigeant qui appelle à une concertation avec les pouvoirs publics pour déployer en urgence les moyens qui conditionnent la réussite de notre plan d'action,* » considère Bruno Pillon, président de France Ciment. ■

NGE VA REMANIER LA STATION BOBIGNY PABLO PICASSO DU TRAMWAY T1



Perspective de la future station de régulation du tramway T1, sur la station Bobigny Pablo Picasso.

La ligne du tramway T1 fait l'objet de deux prolongements : d'une part, à l'ouest entre Quatre-Routes et Colombes (et à terme Nanterre-Rueil) et d'autre part, à l'est entre Noisy-le-Sec et Val-de-Fontenay.

La ligne ainsi augmentée étant trop longue (37 km à terme) pour être exploitée en un seul arc, une station de régulation sera créée à Bobigny-Pablo-Picasso (BPP). L'objectif est d'adapter la station aux nouvelles conditions d'exploitation de la ligne. Les stations entre BPP et Noisy-le-Sec devront être réaménagées pour s'adapter au nouveau matériel roulant avec de nouveaux appareils de voie (communication croisée et communications simples), et en modifiant la signalisation et la traction. Ces travaux doivent permettre de fiabiliser l'exploitation de cette ligne particulièrement longue. Pour réaliser les travaux à Bobigny, la RATP a choisi NGE qui mobilisera six de ses

filiales sur le chantier : TSO mandataire du groupement d'entreprises (travaux ferroviaires), Guintoli (terrassements & VRD), TSO Catenaires (électrification), NGE GC (génie civil), NGE Fondations (travaux géotechniques & de sécurisation), Agilis (équipements de la route) associées à Asten (réfection d'enrobés).

→ 100 collaborateurs de NGE mobilisés pendant 30 mois

Par ailleurs, les différentes entités œuvreront en synergie pour la réalisation de lignes aériennes de contact (Lac) permettent de transporter le courant et prépareront les 420 m linéaires de plateforme ferroviaire en matériaux granulaires. Pendant près de 30 mois, jusqu'à 100 collaborateurs de NGE seront mobilisés sur ce chantier dont les préparations ont démarré en mars 2023. Les travaux commencés en mai 2023, se verront à l'arrêt à l'été 2024 pour laisser place aux Jeux Olympiques de Paris.

NGE Fondations et NGE Génie civil interviendront pour réaliser un local technique enterré sous la future voie de tramway qui recevra les équipements électriques de la ligne. Deux autres bâtiments seront construits par la filiale de Génie civil dans le site de maintenance et de remisage de la ligne afin de prendre en compte son prolongement et les besoins supplémentaires associés.

Guintoli réalisera pour sa part les nouveaux réseaux de multitubulaires béton en zone urbaine dense, sous circulation pour 75 % du tracé. L'exploitation sera mise en place par Agilis. TSO, pourra ainsi venir poser 850 m de voie, dont 340 m sur dalles préfabriquées avec une communication croisée et deux communications simples. TSO Catenaires interviendra pour les travaux de Lac. Le raccordement aux voies existantes se fera ensuite lors d'une interruption temporaire de circulation. ■

LES BONS RÉSULTATS D'ARTELIA

Artelia, société spécialisée en conseil, ingénierie et de management de projets liés à l'eau, la mobilité, l'énergie... annonce un chiffre d'affaires en croissance de près de 12% (833 M€) et un résultat d'exploitation en progression de 14% (43,3 M€).

Par son action, l'entreprise s'inscrit dans la volonté d'avoir « un impact positif sur

l'environnement et la société. » En 2022, Artelia s'est engagée dans l'initiative Science Based Targets (SBTi), une démarche visant à décarboner de ses propres activités afin d'aligner l'empreinte carbone du Groupe sur les objectifs de l'accord de Paris. La multidisciplinarité d'Artelia lui permet de s'adapter aux évolutions du marché.

Présent dans plus de 40 pays, l'activité du groupe se déploie plus particulièrement en Europe et en Asie-Pacifique. Il a acquis début 2023, SMC Consulting Engineers, une société d'ingénierie maritime basée à Bangkok.

La société indienne Mace, basée à Chennai, vient également de rejoindre le Groupe. ■

EIFFAGE DEVIENT L'ACTIONNAIRE UNIQUE DU VIADUC DE MILLAU

Eiffage vient de signer un contrat d'achat portant sur les 49 % du capital de la société concessionnaire du Viaduc de Millau, détenu jusque-là par la Banque des Territoires (Groupe Caisse des Dépôts). Cette acquisition de 236,5 M€ financée sur trésorerie disponible, permet à Eiffage de devenir de fait, l'actionnaire unique de la société concessionnaire du viaduc de Millau. Eiffage a construit cet ouvrage architectural important du XXI^e siècle en seulement trois ans et assure son exploitation depuis sa mise en service en 2004. Cette nouvelle opération vient renforcer le portefeuille de concessions du Groupe.

VINCI DEVIENT L'ACTIONNAIRE MAJORITAIRE D'UNE ENTREPRISE BRÉSILIENNE

Entrevias, société concessionnaire (jusqu'en 2047) de 570 kilomètres d'autoroutes à péage dans l'État de São Paulo, au Brésil a fait l'objet d'une acquisition à hauteur de 55 % de la part Vinci Highways, filiale de Vinci Concession. Au 1^{er} trimestre 2023, Entrevias a enregistré 8,3 millions de transactions, en progression de 10 % par rapport à 2022. Les travaux d'élargissement de 2x1 à 2x2 voies sur 210 km de la section Sud (devant s'achever d'ici fin 2025) permettront d'accompagner la croissance du trafic. Vinci souhaite mettre ses expertises au service d'Entrevias afin de renforcer la qualité de service du réseau et d'accélérer le déploiement des initiatives environnementales. Par ailleurs, grâce à l'ancrage de l'entreprise brésilienne, elle pourra saisir de nouvelles opportunités dans le pays.

TROIS ENTREPRISES LAURÉATES DU PRIX "MEILLEUR CHANTIER DE FRANCE"

Spie Batignolles Construction Île-de-France pour son chantier de construction de logements dans le village des athlètes (93), Sade pour la réalisation du bassin de stockage d'Austerlitz, à Paris, et la société Travaux publics des Pays de la Loire (TPPL) pour son chantier de terrassement situé au sud de Seiches-sur-le-Loir (49), ont reçu le prix du "Meilleur chantier de France". Cette distinction est à l'initiative de Passion BTP, l'association étudiante de l'ESTP Paris. Un panel d'étudiants a attribué un certain nombre de notes pourtant sur différents critères tels que les moyens humains, le respect de l'environnement ou encore la santé-sécurité. Les étudiants ont pu ensuite visiter les chantiers concernés et ainsi pu échanger avec les professionnels qui travaillent sur ces projets d'ampleur. Les chantiers de Spie Batignolles et de Sade sont en lien dans les Jeux Olympiques de Paris 2024 « Les participants ont démontré un niveau exceptionnel de compétence et d'innovation, faisant preuve de dévouement et de passion pour leur métier. Nous sommes fiers de jouer un rôle dans la promotion de l'excellence et du progrès dans l'industrie de la construction, » a déclaré Yannis Faucher, président de Passion BTP, lors de la remise des prix, le 22 mai 2023, dans les locaux parisiens de la FNTP.

PORALU MARINE INNOVE EN CRÉANT UN PONTON D'AVIRON À DEUX ÉTAGES



Sur la rivière Shing Mun, à Hong Kong, Poralu Marine a conçu une structure inédite, un ponton à deux étages pour l'aviron.

Poralu Marine est spécialisée dans les marinas en aluminium pour le secteur de la plaisance. Elle a récemment livré une structure inédite, un ponton à deux étages pour l'aviron, au bord de la rivière Shing Mun, à Hong Kong. De 8 m de large et près de 100 m de long, cette structure flottante a vocation à accueillir de grandes compétitions internationales. Cette entreprise Française, implantée à Port (01), près du lac de Nantua, a été choisie par le club d'aviron du Hong Kong Sports Institute (HKSI). Ce sport est en plein essor en Asie du Sud-Est. La conception de cette infrastructure tient compte des contraintes techniques du site, un défi en quelque sorte. Avec une hauteur du quai à plus de 3 mètres par rapport au niveau de l'eau et l'impossibilité de faire reposer la structure sur le quai, les équipes d'ingénierie de Poralu Marine ont imaginé une plateforme d'accès de 8 m de large qui repose contre le quai grâce à une structure métallique.

→ Répondre aux conditions climatiques extrêmes

Ils ont également mis en place un système d'ancrage sur pieux sur mesure afin d'assurer un bon alignement, malgré

le fait que le lit de la rivière ne soit pas plat. Toute l'installation est déplaçable, et elle est pensée pour répondre aux conditions climatiques extrêmes spécifiques à la région.

La plateforme suit les différences de hauteur de marée basse et marée haute en coulissant pour ajuster sa hauteur. La sécurité des athlètes a été pensée grâce aux pontons "bas franc-bord" de forme arrondie avec une protection des angles en polyéthylène. « Notre équipe d'experts a travaillé sans relâche pour s'assurer que la plateforme réponde aux normes les plus élevées de performance, de sécurité et d'innovation. Nous pensons que chaque athlète mérite des installations d'entraînement de qualité supérieure et nous sommes ravis d'avoir joué un rôle dans le développement de cette installation sportive, » a expliqué Ekrem Reyhancioglu, directeur Asie-Pacifique de Poralu Marine. ■



La plateforme d'accès de 8 m de large repose contre le quai grâce à une structure métallique. Elle a vocation à accueillir des compétitions internationales.

DÉMARRAGE DU CHANTIER D'UNE DESSERTE ALTERNATIVE, PROCHE DE SAINT-NAZAIRE

L'entreprise de travaux publics et routiers Colas, associée à Vallois spécialisée dans les travaux d'aménagement paysagers, a démarré un chantier pour créer une nouvelle desserte entre les petites villes de Trignac et de Montoir-de-Bretagne (44).

Ces travaux ont pour but de libérer ce territoire proche de Saint-Nazaire, de la circulation des poids lourds, estimés

à 500 par jour. La création de cette nouvelle route reliant l'échangeur de Montoir-de-Bretagne (N171/D971) à la rue Jean-Baptiste Marcet à Trignac, permettra aussi de désenclaver une zone industrielle importante dans ce secteur.

La construction de la nouvelle voie s'accompagnera de la restauration écologique des 8 ha de zones humides, parti-

cipant au renforcement de la ceinture verte de l'agglomération de Saint-Nazaire.

Le calendrier du projet prévoit une fin de chantier en novembre 2024. Le coût de l'opération global porté par le maître d'ouvrage Saint-Nazaire agglomération est évalué à 7,9 M€ HT, dont 1,8 M€ HT consacré à la restauration écologique du site dit des "Belles Filles". ■



Entrée du chantier d'assainissement récompensé, situé à proximité de la gare d'Austerlitz, à Paris.



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

ÉNERGIE

975

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

976

TRAVAUX SOUTERRAINS

977

INTERNATIONAL

978

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

979

OUVRAGES D'ART

980

SPÉCIAL JEUX DE PARIS 2024

981

SOLS ET FONDATIONS

982

SPÉCIAL BÉTONS DU FUTUR

983

VILLE ET PATRIMOINE

984

TRAVAUX SOUTERRAINS

985

INTERNATIONAL

986

*Offre valable jusqu'au 31/11/23



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : TBS GROUP - Service Abonnement Revue TRAVAUX - 20 rue Rouget de Lisle - 92130 Issy les Moulineaux
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 972 x | <input type="checkbox"/> 977 x | <input type="checkbox"/> 982 x |
| <input type="checkbox"/> 973 x | <input type="checkbox"/> 978 x | <input type="checkbox"/> 983 x |
| <input type="checkbox"/> 974 x | <input type="checkbox"/> 979 x | <input type="checkbox"/> 984 x |
| <input type="checkbox"/> 975 x | <input type="checkbox"/> 980 x | <input type="checkbox"/> 985 x |
| <input type="checkbox"/> 976 x | <input type="checkbox"/> 981 x | <input type="checkbox"/> 986 x |

Soit un montant total de :

numéros x 15 € = €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)
*Offre valable jusqu'au 31/12/23 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « Informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes tiers. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

UN REVÊTEMENT PERMÉABLE À BASE DE PLASTIQUE NON RECYCLABLE

« Notre vraie force est notre secret de fabrication, un secret industriel qui permet de détourner les déchets ultimes pour en faire une matière première. Nous avons été capables de transformer les déchets plastiques multi composants - destinés à l'incinération et à l'enfouissement - en matière première pour la réalisation de nos dalles perméables, » explique Pierre Quinonero, un des deux fondateurs de Purple Alternative Surface, une start-up basée à Belfort et créée en 2020. Après 2 ans de R&D, cette jeune pousse a mis au point une innovation technologique qui a pour ambition de s'attaquer à trois grandes problématiques environnementales : le recyclage des déchets plastiques, la lutte contre les effets néfastes de l'artificialisation des sols et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

→ Parkings et voies de circulation

Ainsi Purple Alternative Surface propose des dalles perméables développées par l'entreprise et produites à partir de déchets plastiques non recyclés. Ces dalles sont destinées à l'aménagement urbain et au revêtement routier, tant pour les parkings que pour les voies de circulation. Conformément aux attentes de la réglementation en matière d'artificialisation des sols, elles permettent un écoulement et une gestion des eaux pluviales optimisés pour lutter contre le ruissellement et favoriser l'absorption de l'eau par les nappes phréatiques. Dans un objectif d'économie circulaire, les dalles pourront être reprises en fin de vie afin de les réintégrer dans le circuit de production.



Pose de dalles perméables produites à partir de déchets plastiques non recyclés sur un parking à Bourcefrance-le-Chapus (17).

La matière première des dalles se compose de broyat de plastiques et de composites jusqu'à 20 mm de diamètre (hors PVC), qui proviennent de déchetteries et de l'industrie. La start-up s'est dotée d'un laboratoire de recherche pour réaliser tous les tests matières en interne dans l'objectif d'élargir le spectre des déchets qui seraient recyclables par la technique développée. Elle travaille avec

un important réseau d'acteurs du recyclage, des organismes de recherche et des industriels de la plasturgie.

→ Une mini-usine, modèle de démonstration

Deux modèles de dalles existent aujourd'hui, une en forme de polygone et une autre en forme de damier pour accueillir des pavés ou du sol naturel au cœur de la dalle. Aujourd'hui, l'entreprise compte 15 collaborateurs et espère attirer rapidement des investisseurs. 4 000 m² de parking dans différentes collectivités ont été aménagés. « Chez Purple, nous avons un plan clair pour concrétiser notre objectif de recycler les déchets plastiques. Notre première mini-usine en tant que modèle de démonstration sera créée en France en 2023, et nous prévoyons une première vente en 2024, » précise Pierre Quinonero. L'objectif est de proposer d'autres couleurs, textures, fonctions, géométries et d'autres destinations d'usage. Purple Alternative Surface a engagé un partenariat avec les équipes chargées de l'innovation chez Colas. La start-up figure parmi les lauréats de la catégorie "Espaces Publics" du programme "Quartiers métropolitains d'innovation" de la Métropole du Grand Paris. ■



Broyat de plastiques et composites provenant de déchetteries et de l'industrie sont les matières premières des dalles perméables purple.

TEST DE RÉSISTANCE POUR LE REVÊTEMENT PHOTOVOLTAÏQUE WATTWAY

Le revêtement routier photovoltaïque Wattway est une innovation qui permet aux espaces publics de produire de l'électricité tout en conservant leur fonction de support de la circulation des piétons, cyclistes et autres trottinettes. Cette solution développée depuis 2015, alimente des équipements électriques en bord de voirie, sans raccordement au réseau. C'est ainsi qu'un revêtement composé de dalles photovoltaïques circulables, collées au sol, permet la production d'énergie renouvelable. Une armoire électrique comprenant un système de stockage de l'énergie par batterie est ainsi reliée à un équipement électrique qui devient autonome. Borne de recharge pour vélos ou trottinettes électriques, caméra, banc ou abribus connecté, signalisation verticale dynamique... sont autant d'équipements qui peuvent être alimentés par ce dispositif.

→ Une expérimentation à la Défense

Pour continuer à tester toutes les fonctions du revêtement photovoltaïque, trois dalles ont été installées sur le parvis de la Défense (92) avec un nouveau mode de fixation. En effet, elles sont vissées au sol. L'objectif est de tester la résistance des panneaux attachés de cette façon, face aux flux de piétons et de mobilités douces qui peuvent marcher dessus. Cette expérimentation est déployée pendant 1 an, jusqu'en mai 2024.



Revêtement photovoltaïque Wattway, testé pendant une année sur le parvis de la Défense.

TERRA INNOVA FAIT SE RENCONTRER L'AGRICULTURE ET LES TRAVAUX PUBLICS

Pour éviter que les terres de chantier soient enfouies ou utilisées pour des projets de comblement à faible création de valeur, l'entreprise Terra Innova "innove" pour valoriser les terres de chantier excavées et non polluées. Ces déblais issus du BTP sont ensuite utilisés pour l'agriculture.

Les entreprises des travaux publics sont ainsi accompagnées par Terra Innova qui réalise une étude de faisabilité permettant de caractériser les terres à évacuer et de prédéfinir les exutoires les plus intéressants financièrement. Cette collaboration prévoit aussi un accompagnement pour les démarches techniques, administratives ou juridiques et une assistance pour la gestion des déblais. La traçabilité des matériaux valorisés est aussi analysée.

→ Améliorer

La fertilité des sols

Itinéraire plus court pour le transport des matériaux, leur accès à la parcelle agricole ainsi que le déchargement des camions sont aussi pris en compte.

Les bénéfices attendus pour l'agriculture est une amélioration de la fertilité des sols grâce aux terres issues des chantiers. Cela concerne les parcelles polluées, trop minérale, en pente... Grâce à des apports matières organiques mais aussi de minéraux, (argiles, sable, limons, oligo-éléments) les sols deviennent plus fertiles. Pour la biodiversité, des talus et plantation de haies bocagères peuvent aussi être installés. Terra Innova est une des quatre start-ups qui bénéficient du dispositif d'incubation, lancée par la FNTP.

LA GIRONDE TESTE VEGEROAD, UN ENROBÉ À BASE DE LIANT BITUMINEUX



© DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE
Pose d'un enrobé bas-carbone biosourcé, une expérimentation menée sur une route départementale à proximité de Saint-Émilion, en Gironde.

Dans le cadre de l'entretien de son réseau routier, le département de la Gironde restaure la couche de roulement d'une section de la route départementale 670E5, sur le secteur des communes de Saint-Émilion, Saint-Laurent des Combes et Saint-Pey d'Armens (33). Pour ce chantier à 160 000€ un enrobé bas-

carbone biosourcé est expérimenté. Développé par l'entreprise Colas et dénommé Vegeroad, ce béton bitumeux est issu d'une nouvelle technique innovante, plus respectueuse de l'environnement. Cet enrobé se compose de 20 % de matériaux recyclés. Le liant utilisé pour sa fabrication, à température d'applica-

tion tiède, est constitué de bitume pur et d'un bio-additif d'origine végétale, issu de la sylviculture. Sur ce projet en Gironde, sur les 1 100 t de bitume nécessaire, 500 seront fabriquées avec le liant biosourcé neutre en carbone.

→ Adapté à tous les types de trafic

Le fait que le liant bitumineux soit en partie substitué par un composé d'origine végétale, permet de réduire l'empreinte carbone d'au moins 30 % par rapport à un enrobé au bitume traditionnel, tout en conservant les mêmes performances. Vegeroad peut être appliqué en couche de roulement et en couche d'assise. Il est adapté à tous les types de trafic. Produit à température abaissée, avec un taux élevé d'agrégats d'enrobés, ce nouvel enrobé permet de diminuer la consommation énergétique nécessaire à sa fabrication.

La composition granulaire, la teneur en liant et les différentes proportions bitume/matières premières biosourcées sont étudiées dans un laboratoire dédié. L'objectif est de garantir performances mécaniques, esthétique et réduction de l'empreinte carbone. ■

LE CEREMA SOUHAITE MUTUALISER LES DONNÉES EN CAS DE CRUES

« Nous avons besoin d'un outil pour mettre en commun toutes ces informations collectées après une inondation et les analyser. Cela doit permettre de mieux comprendre le phénomène qui s'est déroulé et ensuite en tirer des enseignements afin d'adapter les nouvelles politiques de prévention, » considère Anne Chanal, spécialiste de ces questions au Cerema. Le service vulnérabilité gestion de crise de l'Établissement public d'État a développé un outil web appelé "jreux" afin de mutualiser les informations recueillies par les différents intervenants lors de relevés de terrain effectués à la suite d'une inondation. Cela permet aux différents organismes et collectivités de mettre en commun et de visualiser des données de dommages après une inondation, des relevés des Plus hautes eaux (PHE) et toutes les ressources utiles par différents moyens : vidéos, tweets, documents pdf, etc. Ces informations partagées via une cartogra-

phie, seront ensuite utiles à toutes les parties prenantes, dont les entreprises qui interviennent en cas de crues. Les données collectées sur le terrain peuvent être versées une par une, à partir d'un formulaire ou téléversées en lot. Cet outil "jreux" est en lien avec deux autres outils, "Crisi" qui collecte les données des PHE et "Schapi" qui repère les

crues. Cette plateforme "jreux" est encore un démonstrateur. « Pour l'instant, c'est une maquette qui va nous permettre de voir comment on peut exprimer ce besoin de partage et de mutualisation des informations. Il faut continuer à le tester, à le faire progresser pour qu'il devienne une application un jour, » note Anne Chanal. ■



© SOPHIE LE RENARD
Le Cerema développe un outils qui recense toutes les données inhérentes aux crues. Ici inondation de la Marne en 2021.

La CNETP regroupe **9 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations auprès de **286 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en oeuvre du régime de chômage intérimaires auprès des entrepreneurs de Travaux Publics



**CAISSE NATIONALE
DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS**
Au service de la Profession des Travaux Publics



Membre du Réseau Congés Intérimaires BTP

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

 sur Internet : www.cnetp.fr
 sur l'appli mobile : [CNETP Salarié](#)


AGENDA

ÉVÈNEMENT

• **6 ET 7 SEPTEMBRE**
2^e édition Carrefour des gestions durables de l'eau 2023

Lieu : parc des expositions de Dijon (21)

• **18 AU 20 OCTOBRE**
Le salon Artibat, spécialisé dans le BTP

Lieu : parc des expositions de Rennes (35)

FORMATIONS

Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les formations annoncés dans cette rubrique sont maintenus, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).

• **11 AU 12 SEPTEMBRE**

La mise en place du processus collaboratif, dans le BIM

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **21 AU 23 OCTOBRE**

Dimensionner le renforcement des structures de chaussées

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **7 AU 9 NOVEMBRE**

Sécurité des agents et signalisation temporaire des chantiers sur routes à chaussées séparées

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **5 AU 8 DÉCEMBRE**

Conception et dimensionnement des ouvrages hydrauliques d'infrastructures linéaires

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **5 DÉCEMBRE**

La stratégie de déploiement du BIM

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

FNTP

Alain Grizaud a été élu le 29 juin 2023 président de la FNTP. Il succède à Bruno Cavagné qui assurait la présidence, depuis 2013.

SYNTEC-INGÉNIERIE

Michel Kahan a été élu président de Syntec-Ingénierie pour un mandat de deux ans. Il succède à Pierre Verzat.

ENTREPRISE CHARIER

Après huit mois en tant que directeur général délégué, Jean Vidal a été nommé président du directoire de l'entreprise Charier. Il succède à Paul Bazireau qui occupait ce poste depuis 2013.

VINCI IMMOBILIER

Virginie Leroy est nommée présidente de VINCI Immobilier à compter du 1^{er} août 2023. Elle prend la suite d'Olivier de la Roussière qui dirigeait VINCI Immobilier depuis sa création en 2005.

CEREMA/ITEX

L'INNOVATION ENCOURAGÉE ET MAÎTRISÉE

Afin de mieux maîtriser le vieillissement des ouvrages et de les sécuriser, le Cerema œuvre à la mise au point de méthodologies faisant appel à des technologies innovantes et ouvrant des perspectives intéressantes tant au service de la gestion du patrimoine que de la conception d'ouvrages neufs. **Pierre Marchand, directeur du groupe ITEX au sein du Cerema, fait le point sur les démarches de cette structure en matière d'innovation et de réglementations.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



**1- Pierre Marchand,
directeur du groupe
Itex au Cerema.**

Au sein du Cerema, pouvez-vous définir l'activité du groupe dont vous êtes le directeur ?

L'activité du groupe ITEX reste centrée sur les ouvrages d'art, elle comporte plusieurs volets relatifs à la normalisation, la conception et le contrôle d'exécution d'ouvrages neufs, l'entretien d'ouvrages existants, l'innovation et la recherche sous plusieurs formes tant au travers d'appels à projets que de développement de techniques et de matériaux inédits contribuant à assurer la résilience des ouvrages neufs dans le temps.

En matière de normalisation, le Cerema participe à la rédaction collective des normes et édite des guides à l'attention de la profession.

Par exemple, nous avons proposé dernièrement un guide consacré aux

transports exceptionnels et leur prise en compte dans le calcul des ouvrages d'art et nous réfléchissons actuellement à la révision du guide Sétra de 2006 sur la diffusion des efforts concentrés - efforts de précontrainte et des appareils d'appui.

Dans le domaine de la méthodologie, nous développons également le logiciel PETRA qui permet de rédiger des pièces techniques écrites de DCE (Dossiers de Consultation des Entreprises) pour les marchés de travaux d'ouvrages d'art (CCTP, cadre de bordereau des prix, cadre de détail estimatif), cohérentes entre elles et à jour des dernières évolutions normatives.

Pour cela le logiciel PETRA s'appuie sur une base de données, aussi appelée " bible ", mise à jour régulièrement par le Cerema. Il existe deux bibles, l'une



FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © DODIN - CAMPENON BERNARD

pour la construction d'ouvrages neufs, l'autre pour la réparation d'ouvrages existants.

Nous participons au Projet National MIN^oD, un projet de recherche collaborative lancé en mars 2014 (saison 1) qui a pour objectif de favoriser le développement du BIM pour les infrastructures en travaillant notamment sur la structuration des données des projets pour une interopérabilité des informations. MIN^oD saison 1 a répondu à ses objectifs initiaux et en particulier celui de faire monter en compétences l'ensemble du secteur de la construction français en termes de pratique du BIM pour les infrastructures. La recherche est toujours d'actualité et les attentes des partenaires du projet restent fortes. Le travail est donc poursuivi dans le cadre d'un nouveau projet : MIN^oD saison 2 (2019-2022). Les objectifs de

2- Le nouveau pont du Larivot en Guyane.

3- L'ancien pont du Larivot sera doublé par un ouvrage dont la construction vient de débuter (Dodin - Campenon Bernard).

4- Annet-sur-Marne : l'un des ouvrages historiques " Freyssinet " sur la Marne.

5- Le pont d'Annet-sur-Marne est un ouvrage en béton précontraint en voussoirs préfabriqués achevé en 1949.

PIERRE MARCHAND : PARCOURS

Pierre Marchand est ingénieur de l'École Polytechnique (1998). À sa sortie de l'école, Il intègre le corps des Ponts & Chaussées et suit les cours de l'École Nationale des Ponts & Chaussées dont il sort ingénieur en 2004 après avoir effectué un stage de 8 mois chez Setec.

En 2004, il rejoint le Setra comme responsable d'études à la division des grands ouvrages.

En 2009, Pierre Marchand intègre le LCPC, devenu IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) en 2011 puis l'Université Gustave Eiffel (UGE) en 2020.

Au LCPC - IFSTTAR, il est responsable d'une équipe d'une quinzaine de personnes, techniciens, ingénieurs et chercheurs, chargée de la réalisation de recherches sur les matériaux et les structures du génie civil, au moyen de modélisations ou d'essais sur structures. L'équipe a en charge des moyens expérimentaux importants tels que la dalle d'essais des structures, la salle des presses et diverses installations permettant d'étudier la durabilité des matériaux et des structures. L'équipe est présente sur le site historique du LCPC à Paris puis dans le bâtiment Bienvenue sur le site de Champs-sur-Marne, après le déménagement de l'IFSTTAR fin 2012. Fin 2018, il redevient comme il le dit lui-même " simple citoyen " au sein de l'IFSTTAR en passant la main à une nouvelle équipe de direction.

En 2019, parallèlement à son activité au sein de l'IFSTTAR, il soutient une thèse sur le thème " Caractérisation et utilisation des BFUP pour des applications structurelles ".

En mars 2020, revenant à ses premières amours - la conception des ouvrages et leur entretien - il rejoint le Cerema (Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) en tant qu'adjoint au directeur du groupe ITEX (Innovation Technique et Expertise).

Au sein du Cerema, le groupe ITEX fait partie du DTOA (Département Technique des Ouvrages d'Art) qui dépend lui-même de la division ITM (Infrastructures de Transport et Matériaux).

Depuis avril 2023, Pierre Marchand est directeur du groupe ITEX.

MIN^oD S2 sont de spécifier les outils à développer pour intégrer les processus et méthodes de travail BIM et contribuer ainsi au développement du BIM et à la transition numérique dans le domaine des infrastructures et de l'aménagement durable.

Et en matière opérationnelle ?

Dans ce domaine, nous avons des activités de conception d'ouvrages neufs, de contrôle des études d'exécution ainsi que des missions d'assistance technique à maîtrise d'ouvrage (AMO). Par exemple, nous avons actuellement

une mission d'assistance technique à maîtrise d'ouvrage pour le doublement du pont du Larivot, en Guyane. Ce projet consiste à un doublement du pont existant qui accueillera le trafic routier allant dans le sens de Cayenne à Kourou + 1 voie verte à double sens, afin d'aménager à 2x2 voies la RN1. Les travaux comprennent la construction du nouveau pont de 1300 m de long sur 20 travées avec un tablier en mono-caisson en béton précontraint construit par encorbellement, constitué de voussoirs préfabriqués de hauteur variable posés à la poutre. Les travaux comprennent également la construction des remblais d'accès.

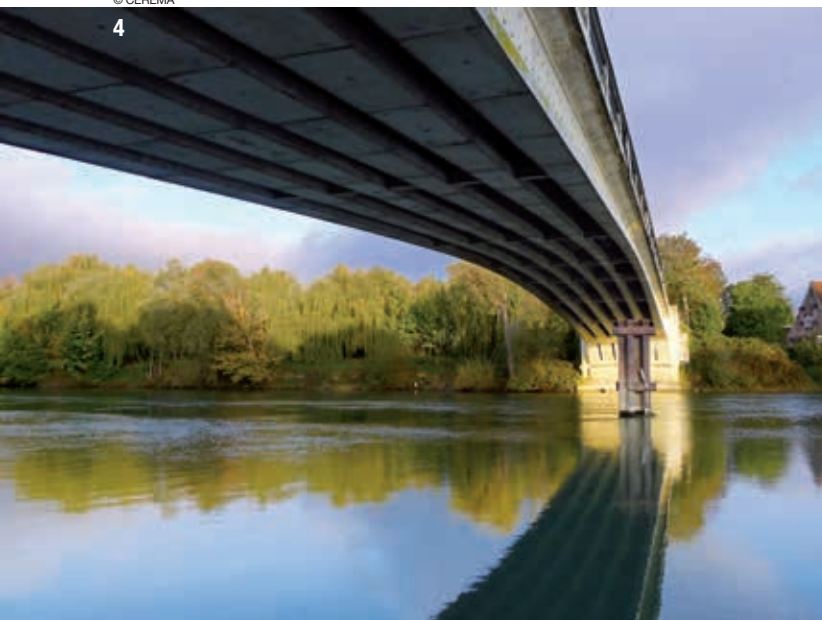
L'ouvrage d'origine, mis en service en 1976, a connu un problème d'affaissement d'une des piles en 2010. Après une réparation d'urgence, conçue à l'époque par le Sétra, il a été décidé de le doubler par la construction d'un ouvrage neuf, sous maîtrise d'œuvre privée (Egis) et avec l'assistance technique du Cerema. Les travaux qui viennent de démarrer sont confiés à Campenon Bernard (groupe Vinci Construction). Le nouveau pont est fondé sur des pieux de plus de 50 m de profondeur et de 1,60 m de diamètre ancrés dans le rocher.

Le Cerema intervient également dans le cadre de réparation d'ouvrages.

Le viaduc de Calix à Caen en est un des exemples les plus emblématiques. C'est un viaduc routier situé dans l'agglomération caennaise qui permet le bouclage du boulevard périphérique Nord au-dessus de la vallée de l'Orne. Il est le deuxième plus long pont du Calvados après le pont de Normandie. Inauguré en 1975 et géré par la DIR Nord-Ouest, le viaduc de Calix est utilisé chaque jour par 85000 véhicules dont 4000 poids lourds. ▶

© CEREMA

4



© CEREMA

5





6 © DIR NO

Âgé aujourd'hui de 47 ans, ce pont à caisson en béton précontraint construit à l'aide de voussoirs préfabriqués mis en place par encorbellements successifs, s'élève à 38 mètres au-dessus du fleuve et comporte 15 travées, dont la plus grande mesure 156 mètres de longueur.

Lors d'une campagne d'inspection en avril 2021, des fissures millimétriques sont détectées, au niveau des joints entre trois voussoirs. Le viaduc est alors interdit aux véhicules de plus de 3,5 tonnes jusqu'en novembre 2021 et de la peinture blanche est appliquée sur le tablier pour renvoyer une partie du rayonnement solaire et diminuer ainsi le gradient thermique. Le trafic poids lourd et le gradient thermique jouent en effet un rôle majeur dans l'ouverture des fissures. Un projet de réparation en urgence a été conçu par le Cerema.

Les travaux de renforcement ponctuel sur la travée 5 qui ont été réalisés par l'entreprise Aevia comprenaient dans l'ordre chronologique :

- La mise en place de matériaux composites collés pour renforcer les parois verticales (âmes des caissons) des voussoirs 53 et 55 ;
- La réalisation de blocs d'ancrage afin de relier les câbles de précontrainte additionnelle à la structure ;
- La mise en place de matériaux composites collés en intérieur et extérieur des caissons pour, d'une part, renforcer les zones d'ancrage et, d'autre part, renforcer la résistance en flexion de la section fissurée en plus de la précontrainte additionnelle ;
- L'injection simultanée des joints fissurés situés à la jonction des éléments 51/53 et 53/55 et des fissures en prolongement ;

→ À l'intérieur des caissons, la mise en tension des câbles de précontrainte additionnelle pour refermer les joints entre éléments après injection.

Les travaux ont démarré en juin 2021 pour s'achever en novembre 2021, soit huit mois après la découverte des fissures.

D'autres opérations de réparations significatives sont-elles en cours ?

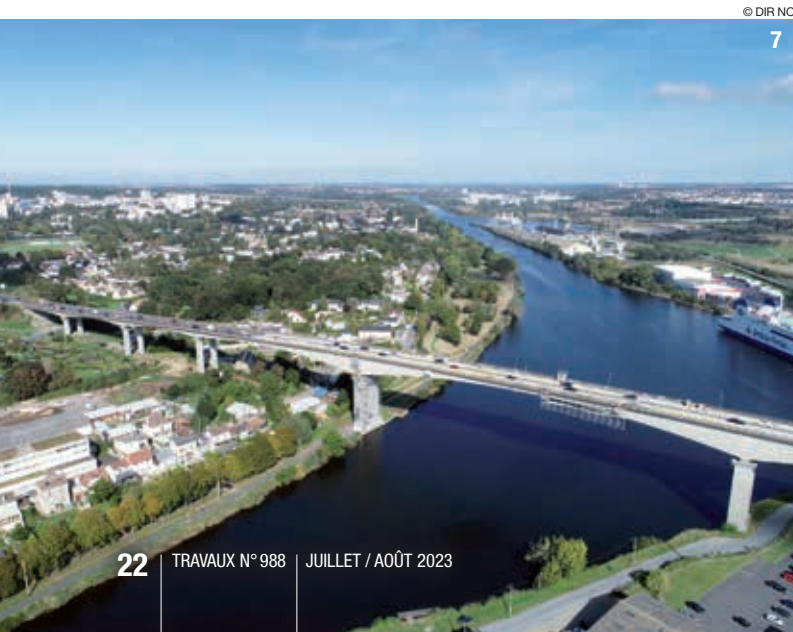
En fin d'année 2019, le Conseil départemental de Seine-et-Marne a missionné le Cerema pour l'assister sur le diagnostic de six ouvrages Freyssinet sur la Marne (Luzancy, Annet-sur-Marne, Esbly, Ussy, Changis et Trilbardou) dont il a la gestion.

Ces ouvrages sont exceptionnels et appartiennent au patrimoine mondial du génie civil. Ils ont été conçus dans les

années 40 et 50 par Eugène Freyssinet et peuvent être considérés comme les premiers ouvrages en béton précontraint. Le pont de Luzancy en particulier, achevé en 1946, est le premier grand pont en béton précontraint au monde. Les inspections détaillées des ouvrages montraient de sérieux doutes quant à leur capacité portante.

Le Cerema a alors préconisé de manière préventive des mesures de restrictions de circulation sur trois ouvrages (Luzancy, Annet-sur-Marne et Trilbardou), puis réalisé un travail d'exploitation des dossiers d'archives pour tenter d'appréhender la conception de l'époque, ainsi que l'origine des désordres. Il a immédiatement lancé des re-calculs de diagnostic afin de vérifier les capacités portantes.

Par ailleurs, afin d'affiner les données d'entrée et modéliser les ouvrages au



© DIR NO

7



© DIR NO

8

6- Le viaduc de Calix à Caen (47 ans) est un des exemples les plus emblématiques d'intervention du Cerema dans la réparation d'ouvrage.

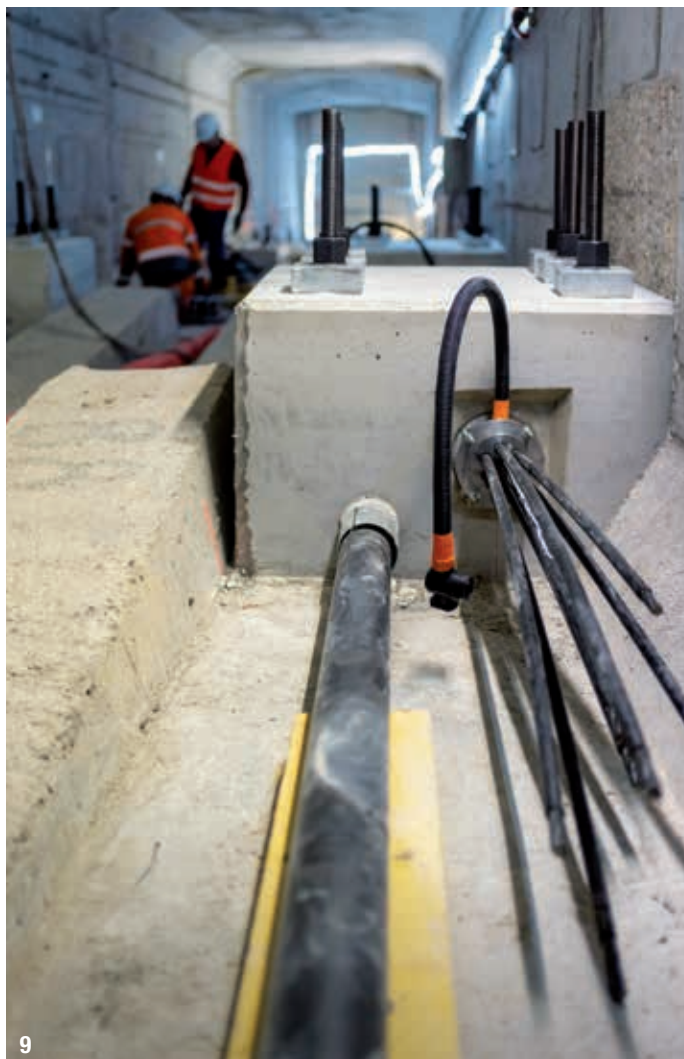
7- Le viaduc de Calix permet le bouclage du boulevard périphérique Nord de Caen, au-dessus de la vallée de l'Orne.

8- Mise en place de matériaux composites collés en intérieur et extérieur des caissons du viaduc de Calix.

9- L'un des blocs d'ancrage des câbles de précontrainte intérieure.

10- Dans le tablier du viaduc de Calix, mise en place des blocs d'ancrage reliant les câbles de précontrainte additionnelle à la structure.

11- La DIR Nord-Ouest (maîtrise d'ouvrage État) a su s'organiser pour réaliser des travaux d'urgence d'ampleur sur le viaduc de Calix, dans des délais contraints et sous exploitation continue de l'ouvrage.



9 © DIR NO

plus proche de la réalité, le Cerema a réalisé des investigations sur les ouvrages : carottages, essais sur le béton, mesure de la tension résiduelle des armatures de précontrainte, mesures de fréquence vibratoires, mesures topographiques, instrumentation de fissures, etc. L'ensemble des

investigations a été réalisé dans des délais très courts sur les trois ouvrages afin de limiter la gêne aux usagers, déjà importante compte tenu des restrictions de circulation.

Le Cerema a déployé tous ses moyens pour assister le conseil départemental pour la sauvegarde de ces ouvra-

ges et ce malgré le contexte sanitaire. Il continue d'assister le maître d'ouvrage sur les travaux en cours ou à venir en s'appuyant sur les équipes spécialisées dans l'auscultation présentes à la Direction Territoriale Île-de-France ou la Direction Territoriale Hauts de France du Cerema et le groupe ITEX plus spécialement chargé des études. Nous intervenons également en tant qu'AMO technique sur certains chantiers du Grand Paris Express, notamment ceux de la Ligne 17.

Nous intervenons actuellement, en collaboration avec la Direction territoriale Île-de-France du Cerema (DTER) pour le compte de la Direction des routes d'Île-de-France (DIRIF), maître d'ouvrage de l'opération, sur la future desserte du port de Bonneuil-sur-Marne depuis la RN 406.

Le projet mobilise des compétences en géotechnique et en structure : passage sous des voies ferrées, création d'un giratoire desservant les zones d'activité, création d'un pont sur la RD 10, création d'un giratoire desservant la zone portuaire, création d'un pont au-dessus de la voie ferrée de desserte du port, création d'un giratoire desservant la zone portuaire Nord. Sur ce chantier, notre mission consiste à réaliser le contrôle des études d'exécution et une assistance technique à la maîtrise d'œuvre.

Le Cerema est également consulté par l'inspecteur général des ouvrages d'art (IGOA) du ministère de la transition écologique (MTE) pour les projets de réparation sur les ouvrages du réseau routier national. Il participe également sur demande de l'IGOA à différents comités techniques nationaux chargé du suivi de certains des grands ouvrages emblématiques du réseau routier national. ▶

© DIR NO

10



© DIR NO

11



Au niveau de l'innovation et de la recherche, quels sont les projets relevant de l'ITEX - et donc du Cerema - que vous pourriez mettre en évidence ?

Tous les ans, en partenariat avec la profession et le Ministère de la Transition Ecologique, nous organisons un appel à innovation dans le cadre du CIRR (Comité Innovation Routes et Rues).

Cet outil a été mis en place en 2007 par la Direction des Mobilités Routières (DMR) du Ministère de la Transition Écologique (MTE) pour encourager l'innovation dans les domaines techniques des routes et des rues.

Constituant le principal outil de soutien à l'innovation dans les infrastructures routières, il favorise l'émergence de solutions techniques répondant de la manière la plus efficace aux besoins des différentes maîtrises d'ouvrage du domaine routier (y compris en zone urbaine) et renforce la compétitivité des entreprises françaises du secteur des infrastructures de mobilité par une offre à l'avant-garde des connaissances et de la technologie.

Son périmètre s'étend des chaussées jusqu'aux équipements dynamiques, aux procédés et à l'organisation de chantier.

L'objectif du CIRR est de permettre la réalisation de chantiers de démonstration pour expérimenter les innovations en vraie grandeur et dans des conditions réelles, avec un suivi réalisé selon un protocole technique et scientifique maîtrisé afin de juger de manière objective les apports de l'innovation dans un laps de temps relativement court, en aval des actions de recherche et développement et après que le procédé ou produit innovant a fait l'objet de premiers tests destinés à établir sa faisabilité



12

© CEREMA

et à l'amont de la délivrance des avis techniques qui requièrent de plus nombreuses références en conditions réelles d'application.

Les premiers ponts en BFUP au monde - ceux de Bourg-lès-Valence - ont été construits dans ce contexte dans le cadre de la Charte innovation Ouvrages d'Art : Ils constituent la première utilisation au monde du béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP) dans le domaine des ponts routiers. Les tabliers sont constitués de poutres préfabri-

quées en BSI dépourvues d'armatures passives (voir encadré).

Le processus permet à la technique de faire de réels progrès. Par exemple, toujours dans le domaine du BFUP, la réparation de buses métalliques au moyen de BFUP est désormais une des techniques qui s'offre aux maîtres d'ouvrage après avoir été mise au point et testée dans le cadre d'un projet CIRR. Dans le cadre des projets actuels, une passerelle de 30 m de longueur composée de voussoirs et d'une coque en

béton imprimé emplie de BFUP, proposée par XTreeE et Freyssinet France sera construite très prochainement dans le département de l'Hérault. Contractualisé sous forme de marché en conception-réalisation, le projet de la passerelle a démarré fin 2021.

Le Cerema intervient-il dans d'autres domaines de l'innovation routière ?

Depuis juin 2021, nous avons signé un accord-cadre de collaboration avec Inria⁽¹⁾ qui prévoit, en premier lieu, ce que nous appelons un "Défi", baptisé "ROAD-AI", dont l'objectif est d'inventer la gestion patrimoniale de demain au bénéfice des opérateurs routiers.

Ce défi est à mettre en parallèle avec l'appel à projets "Ponts connectés" lancé dans le cadre du plan de relance, et porte sur quatre objectifs métier fixés par le Cerema :

- Bâtir un "jumeau numérique" dynamique de la route ;
- Faire évoluer les lois de comportements de la chaussée et des ouvrages d'art à partir des données d'auscultation de surface ou de visites d'ouvrage, de capteurs et de données d'environnement ;
- Inventer le concept de ponts et tunnels connectés ;
- Enfin définir des méthodes de planification stratégique des investissements et de maintenance (prédictive, prescriptive puis autonome).

Ces quatre objectifs métier ont été répartis en trois axes de recherche multidisciplinaires basés sur les briques techniques transverses identifiées entre Inria et le Cerema : acquisition et collecte de la donnée grâce à des capteurs et drones, restitution de la donnée au travers de la modélisa-



13

© CEREMA



14

© CEREMA

12- Achevé en mai 1946, le pont de Luzancy sur la Marne est le premier grand ouvrage en béton précontraint réalisé au monde.

13- Des investigations ont été réalisées par le Cerema sur plusieurs ouvrages "Freyssinet" sur la Marne : ici le pont de Luzancy.

14- Intérieur du caisson du pont de Luzancy renforcé par une précontrainte extérieure.

15- Le pont de Trilbardou sur la Marne, achevé en 1949.

16- Détail de la poutre extérieure du pont de Trilbardou.

17- Travaux de carottage sur le pont de Trilbardou.



tion 3D, analyse de survie, détection d'anomalies basée sur le traitement des données versatiles.

Les recrutements effectués pour le "Défi" (ingénieurs, doctorants, post-doctorants) sont, quant à eux, systématiquement et officiellement co-encadrés par des membres des équipes du Cerema et d'Inria, afin de permettre aux différents acteurs de travailler de manière rapprochée, quelle que soit leur expertise métier ou scientifique.

Des structures composites bois-béton ont-elles déjà été réalisées en France ?

En Haute-Saône, un passage à faune innovant a été construit au printemps 2017 : fabriqué en bois lamellé avec une dalle de béton qui protège les poutres, c'est un prototype dont les caractéristiques sont suivies dans le temps par le Cerema.

Depuis une dizaine d'années, le Cerema et l'École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois

d'Épinal ont monté un projet pour développer des ouvrages innovants en bois. Il s'agit d'une ressource disponible en France, renouvelable, qui stocke le CO₂ et qui rentre dans les critères du développement durable.

L'équipe a réfléchi à l'élaboration d'un pont type, réalisable par des entreprises locales et construit de façon significative avec du bois. L'idée était de démontrer la faisabilité d'un tel ouvrage et de proposer aux collectivités un modèle de pont en bois, à la fois robuste et viable

économiquement. Par ailleurs, ce projet contribue à promouvoir des essences de bois locales, comme le Douglas, qui est ici issu des forêts du Morvan. En plus d'être une essence locale, ce bois présente l'avantage d'une pousse relativement rapide et présente de bonnes caractéristiques en termes de durabilité ce qui lui permet de ne pas nécessiter de traitement chimique.

Pour pouvoir réaliser un tel ouvrage, les spécialistes ont observé ce qui se fait à l'étranger, notamment dans des pays comme la Suède ou la Suisse, où on a recours depuis longtemps aux ouvrages d'art en bois.

C'est ainsi que le pont PS12 de la RN19 de Bouhans-lès-Lure, un passage à faune construit en bois lamellé avec un tablier en béton, a été conçu et fabriqué. La maîtrise d'ouvrage était assurée par la Direction Régionale de l'Environnement et de l'Aménagement Bourgogne - Franche Comté et la maîtrise d'œuvre par la Direction Interdépartementale des Routes Est. La construction a été conduite par les entreprises Eiffage et Arbonis. Le Cerema, qui a élaboré le projet technique du pont, a réalisé le contrôle extérieur des travaux et des études d'exécution

Des sondes et des capteurs ont été installés sur les poutres, afin de suivre le comportement du bois durant cinq à dix ans. Des paramètres tels que le taux d'humidité du bois, qui a un impact sur le vieillissement de la structure, ou la déformation des nervures, seront ainsi observés.

L'analyse de ces données vient abonder les travaux méthodologiques en cours au Cerema qui ont abouti à la parution de deux guides pratiques, portant sur la conception et sur la justification d'ouvrages mixtes bois-béton. ▷

© CEREMA

16



© CEREMA

17



Dans le domaine des ouvrages d'art et, plus précisément de leur préservation dans le temps, quelles sont les dernières avancées auxquelles est associé le Cerema ?

Si le maintien en bon état des ponts constitue un enjeu majeur de sécurité pour les usagers et pour la pérennité des activités économiques, la méconnaissance de l'état d'une partie du patrimoine ouvrages d'art, en particulier communal, ainsi que l'importance des investissements nécessaires à leur maintenance constitue un frein à leur entretien régulier.

Dans ce cadre, le Cerema porte la mise en œuvre du Programme National Pont décidé par le gouvernement dans le cadre du plan "France relance". Dès janvier 2021, un vaste programme de recensement et d'évaluation gratuits des ouvrages a été proposé à près de 28 000 communes. À l'issue du premier volet du programme, clôturé début 2023, plus de 45 000 ouvrages ont été recensés, dans 11 540 communes bénéficiaires. Une suite à ce programme doté de 10 M€ vient d'être annoncée par le gouvernement afin d'inclure de nouvelles communes. Les dernières innovations en matière d'instrumentation offrent des nouvelles perspectives aux gestionnaires, plus pratiques, plus performantes et potentiellement moins coûteuses.

En réponse à ces enjeux, le gouvernement a lancé en 2021, en parallèle du Programme National Ponts et toujours dans le cadre du plan "France relance" un appel à projets "Ponts connectés" piloté par le Cerema. Ce dispositif vise à soutenir les organismes de recherche et les entreprises qui travaillent à des solutions innovantes de surveillance et gestion des ouvrages par l'instrumentation.



18 © BR

LES PASSAGES SUPÉRIEURS EN BFUP DE BOURG-LÈS-VALENCE

Les passages supérieurs OA4 et OA6 situés sur la déviation de Bourg-lès-Valence sont les plus anciens ponts routiers en BFUP connus au monde. Ils ont été réalisés en 2001 par l'entreprise Quillery (désormais intégrée au groupe Eiffage).

Le tablier est constitué de BSI®- Ceracem. Les propriétés du matériau ont été déterminées par application pilote des recommandations de l'AFGC sur les BFUP qui étaient alors tout juste en voie de publication. En particulier, une résistance caractéristique en compression de 180 MPa a été adoptée pour le projet, un module d'Young de 65 GPa, et le comportement en traction a pu être caractérisé par une résistance caractéristique de 9,1 MPa et une contrainte post-pic moyenne de 7,9 MPa correspondant à une ouverture de fissure de 0,3 mm.

Chaque travée est composée de 5 poutres préfabriquées précontraintes par pré-tension, parallèles et en forme de Pi, clavées longitudinalement sur site par du BSI® coulé en place.

Depuis leur ouverture au trafic en 2002, ces ponts n'ont fait l'objet d'aucune intervention d'entretien importante (cf. Travaux n°920 - décembre 2015).

Le Cerema, qui dispose d'une expertise historique dans le domaine des ouvrages d'art, a assuré le pilotage du dispositif.

Sur les 39 dossiers déposés, un jury constitué d'experts a retenu 17 projets qui sont actuellement testés en grandeur nature. L'ensemble de ces projets repose sur un financement total de 8 millions d'euros dont 4 millions sub-

ventionnés par l'État dans le cadre de "France relance".

La rigueur et la complexité de la réglementation ne constituent-elles pas un frein au développement de l'innovation, notamment en Génie Civil ?

Les CIRR sont là précisément pour parer à ce problème. Lorsque les pre-

18- Les premiers ponts en BFUP au monde de Bourg-lès-Valence ont été construits grâce au CIRR dans le cadre de la Charte innovation Ouvrages d'Art : vue d'ensemble de l'un des deux ouvrages (extrait de Recommandations AFGC sur les bétons fibrés à ultra-hautes performances de 2013).

19- Essai de faisabilité sur une buse témoin : contrôle interne pendant la fabrication (Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete 2017).

20- Mis en place de BFUP (Béton Fibré Ultra Performant) sur la dalle orthotrope du via duc d'Autreville.

21- En Haute Saône, sur la RN19, le passage à faune en bois lamellé et tablier en béton.

miers ouvrages ont été construits en BFUP, il n'existait pas de règles de dimensionnement.

Le matériau, développé en laboratoire, était inconnu de la réglementation de telle sorte que les premières réglementations relatives au BFUP ont été élaborées pendant la conception des premiers ouvrages. On a mis au point, en quelque sorte, la manière de dimen-

© AFGC-ACI-FIB-RILEM

19a



© AFGC-ACI-FIB-RILEM

19b



© AFGC-ACI-FIB-RILEM

19c



© AFGC-ACI-FIB-RILEM

19d



sionner un ouvrage en BFUP à l'occasion de ce projet.

Les normes françaises sur les BFUP (NF P 18-470, NF P 18-710 et NF P 18-451) sont les héritières de ces premiers travaux.

Le Cerema est là pour sécuriser les maîtres d'ouvrages qui voudraient faire le choix de techniques innovantes en s'appliquant, en relation avec les entreprises, à vérifier la pertinence et la fiabilité des innovations proposées. Et après, il participe à l'évolution de la normalisation, aux côtés des différents acteurs de la profession.

Observons qu'au niveau européen, le Règlement Produits de Construction permet l'innovation car, si un produit n'est pas couvert par une norme ou un document d'évaluation européenne (DEE) existant, il est possible pour le producteur de contacter un organisme tel que le Cerema pour rédiger un document d'évaluation européenne

ROUTES ET RUES : LES LAURÉATS 2022

L'appel à projets "Routes et Rues 2022" permet aux entreprises lauréates de tester leur solution sur le terrain et de bénéficier d'un suivi assuré par le réseau scientifique et technique du ministère chargé des transports (Cerema, Université Gustave Eiffel et Cetu) afin d'évaluer de manière objective l'apport des innovations. À l'issue de cette évaluation, l'entreprise peut bénéficier d'un certificat de bonne fin d'expérimentation par un tiers de confiance reconnu.

- **Enrobés à résistance au roulement optimisée** (Eiffage Infrastructures, en partenariat avec l'Université Gustave Eiffel) ;
- **Tablier charpente bois précontraint et dalle BFUP** (Freyssinet France / Campenon Bernard - Centre Est) ;
- **Velopont®** : encorbellement en composite pultrudé (TH Composites / Groupe Solutions Composites / B&M engineering) ;
- **BC2R** : béton compact routier (Spie Batignolles / Malet) ;
- **Observer** : systèmes d'analyse de trafic par caméra vidéo à intelligence locale et de dispositifs non intrusifs utilisant l'intelligence artificielle (Alyce) ;
- **Vegecol** : enrobé à base de liant translucide majoritairement biosourcé (Colas) ;
- **Cidex-Fibre** : renforcement enduits bi-couches (6D Solutions) ;
- **Ecolvia BBE TM+** : bétons bitumineux à l'émulsion UM/TM à forte remontée en cohésion, fabriqués et mis en œuvre exclusivement à froid (Vinci Construction services partagés) ;
- **BFUP-Rreavia** : procédé de renforcement d'ouvrages d'art en BFUP (Freyssinet / Eurovia).

"sur mesure", en coordination avec les autres organismes d'évaluation technique compétents. Une fois ce document élaboré et adopté au sein de l'EOTA⁽²⁾, il sert de référentiel pour établir une Évaluation Technique Européenne⁽³⁾ pour aboutir, au final, à un marquage CE. □

1- Inria est l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique. Au sein de 215 équipes-projets, pour la plupart communes avec les grandes universités de recherche, plus de 3900 chercheurs et ingénieurs y explorent des voies nouvelles, souvent dans l'interdisciplinarité et en collaboration avec des partenaires industriels pour répondre à des défis ambitieux.

2- EOTA : European Organisation for Technical Assessment

3- L'Évaluation Technique Européenne (ETE) a été mise en place par le Règlement Produits de Construction (règlement (UE) n°305/2011). L'ETE succède progressivement aux Agréments Techniques Européens (ATE). Les ATE en cours de validité peuvent être utilisés par les fabricants en tant qu'ETE pour établir la déclaration de performance et marquer CE les produits conformes.

PONTS CONNECTÉS : LES 17 PROJETS LAURÉATS

Pour le projet "Ponts connectés", 17 lauréats ont été retenus autour des sujets suivants :

- **Apponts** : surveillance d'ouvrages par capteurs autonomes et analyses modales (Apave) ;
- **Audace** : surveillance d'ouvrages par capteurs et aide au diagnostic des ouvrages soumis à un choc PL (Sisgeo) ;
- **Cahprees** : détection de la corrosion des haubans et des câbles par capteurs autonomes RFID (Artelia) ;
- **CI3S** : surveillance des ouvrages et détection des désordres par capteurs et intelligence artificielle (Cideco) ;
- **Détection automatique de désordres** : aide au diagnostic d'ouvrages métalliques par intelligence artificielle et imagerie (réalité augmentée) (Corrosia) ;
- **Geopont** : auscultation d'ouvrages par propagation d'ondes (radar et sismique) (Bouygues) ;
- **Gerico** : surveillance d'ouvrages métalliques par capteurs connectés (SCE) ;
- **IA2** : détection des affouillements par capteurs et analyse modale (Sixense Monitoring) ;
- **MAJ** : détection d'endommagement des joints de chaussée par capteurs acoustiques et intelligence artificielle (Freyssinet) ;
- **Mimia** : surveillance d'ouvrages et aide au diagnostic par imagerie et intelligence artificielle (Sites) ;
- **Mirauar** : aide au diagnostic d'ouvrages par imagerie (réalité augmentée) et intelligence artificielle (Setec) ;
- **Sofia** : aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images et intelligence artificielle (Socotec) ;
- **SOS-A** : détection des affouillements par capteurs, imagerie et modélisation (QCS services) ;
- **Survout** : surveillance d'ouvrages en maçonnerie sous trafic courant et convois exceptionnels (Quadric) ;
- **Viasagax** : détection des surcharges de poids lourds (Freyssinet) ;
- **Vigi** : surveillance d'ouvrages avec capteurs autonomes (Egis) ;
- **Vivoa** : aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images (Sixense).

© DR

20



© DR

21





1
© CIDECO

CIDECO GÉRER LE PATRIMOINE AVEC DES TECHNIQUES INÉDITES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION SE DOIT DÉSORMAIS, ET DE PLUS EN PLUS, DE PRENDRE EN COMPTE LES NOTIONS DE DURABILITÉ, DE FIABILITÉ, DE CONFORT ET, DE MANIÈRE GÉNÉRALE, DE COÛT COMPLET SUR LA DURÉE DE VIE D'UN OUVRAGE. DEPUIS PLUS DE VINGT ANS, DANS LE CADRE DE L'INSTITUT PASCAL ET DE POLYTECH CLERMONT-FERRAND, DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE ONT DÉVELOPPÉ DES MÉTHODES ET OUTILS INNOVANTS PERMETTANT NOTAMMENT DE PRÉDIRE L'ÉVOLUTION DES MATÉRIAUX ET DES CONSTRUCTIONS. AFIN DE METTRE À LA DISPOSITION DES ENTREPRISES DU SECTEUR CES SAVOIR-FAIRE, L'UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE A DÉCIDÉ, EN FÉVRIER 2017, DE CRÉER CIDECO : CENTRE D'INNOVATION ET DE DÉVELOPPEMENT POUR L'ECOCONSTRUCTION. ALAA CHATEAUNEUF, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE CIDECO ET CRÉATEUR DE CE PROJET, PRÉSENTE CE QU'IL AMBITIONNE DE VOIR DEVENIR À COURT TERME "LE" CENTRE EUROPÉEN DE GESTION DU PATRIMOINE ET DES INFRASTRUCTURES.

Plusieurs motivations sont à l'origine de ce projet.

Si l'université n'a pas vocation, par définition, à faire du "business", il existe néanmoins des liens entre la recherche académique et le monde industriel dans le domaine du génie civil et des matériaux tandis que, dans

l'autre sens, des problématiques industrielles peuvent être traitées par des laboratoires universitaires travaillant sur des sujets d'actualité. C'est la première approche à l'origine de Cideco.

Le deuxième objectif est de créer un centre reconnu à l'échelle nationale, voire internationale, dans le domaine de

1- Instrumentation du pont suspendu de Parentignat (pont métallique ancien, présentant un risque de rupture fragile).

la gestion du patrimoine qui constitue, pour Alaa Chateaneuf, un sujet non seulement d'actualité mais d'avenir. « Des motivations fortes me poussent à cela, précise-t-il. Premièrement, nous avons un patrimoine de plus en plus vieillissant avec un taux de renouvellement extrêmement faible, de l'ordre

2- Alaa Chateauf, directeur général de Cideco.



© MARC MONTAGNON

de 1 pour 1000, voire moins, associée à une capacité de réinvestissement de plus en plus faible. De plus, nous avons de moins en moins d'argent à investir sur la maintenance et le renouvellement de ce patrimoine ainsi que des moyens techniques, de ce fait, de plus en plus réduits. Cette situation fait que notre patrimoine va vieillir sans que nous ayons les moyens de le renouveler. La seule option dont nous disposons est de prolonger la durée de vie de notre patrimoine en optimisant les ressources financières et en prenant les décisions les mieux adaptées au bon moment. Cela nécessite de faire appel à plusieurs disciplines : le choix des matériaux, le calcul et l'analyse des structures, les méthodes probabilistes - les décisions devant être prises dans un contexte incertain - l'optimisation de la maintenance prédictive ainsi que des compétences en informatique et en électronique, pour développer des produits et des services qui satisfassent les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre. »

Alaa Chateauf donne à ce sujet un exemple significatif : des petites communes sont aujourd'hui responsables de 20 km de routes, de quatre ou cinq ouvrages d'art, de deux ou trois églises, mais elles n'ont pas assez de revenus pour financer leur entretien et, surtout, n'ont pas de service technique. Cela pose un vrai problème de décision et d'optimisation des ressources.

L'ambition de Cideco est d'être un acteur de référence pour aider les gestionnaires de patrimoine à évaluer leur patrimoine en leur donnant des outils qui leur permettent de le faire de façon efficace, en partant du principe que l'argent qui serait économisé sur la gestion du patrimoine pourrait être utilisé pour d'autres besoins de la société, tels que les soins médicaux ou l'éducation. Ainsi, optimiser la gestion du patrimoine constitue une richesse que l'on crée pour la société. Plutôt que de réparer un pont trop tardivement ce qui entraînera un coût très élevé, si on pratique une bonne politique de maintenance des économies importantes pourront être réalisées.

« Nous estimons que le coût d'une réparation s'élève à 25 fois celui d'une prévention : 1 euro dépensé sur la prévention permettrait d'économiser 25 euros sur la réparation. »

ALAA CHATEAUNEUF : PARCOURS

Alaa Chateauf est ingénieur en génie civil de l'université Ain Shams du Caire (1987).

Il commence alors sa carrière dans un bureau d'études au Caire, tout en ayant présent à l'esprit le souhait de s'orienter vers la recherche, en particulier dans le domaine académique, ce qui l'amène à quitter l'Égypte et à venir en France pour entreprendre en 1987-1988 un DEA "génie civil et sciences de l'habitat" à l'université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

Il réalise ensuite entre 1998 et 1992 une thèse avec la société Elf-Aquitaine sur "la fiabilité des plateformes offshore" présentée à l'université Blaise Pascal devenue entretemps l'université Clermont Auvergne.

Après sa soutenance de thèse, Alaa Chateauf assure une année d'ATER (Attaché Temporaire d'Enseignement et Recherche) à l'université de Limoges en 1993 avant de prendre en 1994 un poste de maître de conférences à l'Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA) à Clermont-Ferrand, poste qu'il occupera jusqu'en 2006, étant par ailleurs responsable du pôle d'enseignement et de recherche "produits et structures" de l'IFMA.

En 2007, il intègre Polytech Clermont-Ferrand pour un poste de professeur dans le département de génie civil avant d'en devenir directeur adjoint à partir de 2008 et jusqu'en 2012.

Entre 2012 et 2016, il est responsable de l'axe "mécanique, matériaux et structures" de l'Institut Pascal, une unité mixte de recherche et de formation interdisciplinaire de 400 personnes placée sous la tutelle de l'université Clermont Auvergne (UCA), de Sigma Clermont et du CNRS.

C'est dans cet environnement scientifique que naît l'aventure Cideco.

En effet, en 2016, la région Auvergne-Rhône-Alpes lance un appel à projet sur la "stratégie de spécialisation intelligente des régions" comportant notamment un domaine d'innovation stratégique baptisé "espace de vie durable" : c'est la S3⁽¹⁾.

Dans ce cadre, Alaa Chateauf propose un projet de centre spécialisé sur la gestion du patrimoine et des matériaux de construction innovants.

Convaincu de la faisabilité de ce projet et déterminé à se doter de tous les moyens pour y parvenir, il part en détachement de l'université pour se consacrer complètement au montage de la société et du centre spécialisé qui en émanerait.

C'est ainsi qu'est née en 2016 l'idée de création de Cideco, une SAS de droit privé dont l'actionnaire unique - l'université de Clermont-Auvergne - est un établissement public.

Avec un apport en capital de 200 000 € de l'université de Clermont-Auvergne ainsi que d'une subvention de la région Auvergne -Rhône-Alpes de 500 000 €, Cideco - Centre d'Innovation et de Développement pour l'Éco-construction - est ainsi créée le 25 février 2017 avec un capital qui est aujourd'hui de 620 000 €.

Alaa Chateauf en est le directeur général depuis la création.

Il est par ailleurs le responsable français du projet européen "Heritage Care" sur la gestion du patrimoine historique initié par Interreg Sudoe⁽²⁾.

1- Dans le cadre de la programmation 2014-2020 des fonds européens, l'Union européenne a demandé à toutes les régions d'Europe d'élaborer une "stratégie de spécialisation intelligente" (smart specialization strategy) pour la recherche et l'innovation sur leur territoire : c'est la S3. Le principe de la S3 est simple : chaque région doit concentrer ses ressources sur les domaines d'innovation pour lesquels elle a les meilleurs atouts par rapport aux autres régions européennes.

2- Le programme Interreg Sudoe (SUD Ouest Européen) fait partie de l'objectif européen de coopération territoriale, connu sous le nom d'Interreg Europe. Le programme Interreg Sudoe soutient le développement régional dans le sud-ouest de l'Europe en finançant des projets transnationaux par le biais du Fond Feder.

Cideco a donc non seulement un rôle de conseil mais aussi de sensibilisation par rapport à cette politique de maintenance préventive auprès des communes, des collectivités, des gestionnaires de patrimoine, des ministères tels que ceux des armées, de la justice et de l'intérieur qui disposent d'un patrimoine très important. L'armée, par exemple, gère un patrimoine de plus de 75 000 bâtiments ainsi que de très nombreux sites à l'abandon. Il en est de même pour La Poste ainsi que des diocèses qui doivent gérer, sans aucune ressource, un patrimoine énorme.

QUATRE PÔLES D'EXPERTISE

L'activité de Cideco s'organise ainsi autour de quatre pôles d'expertise :

- Diagnostic et inspection des structures et des ouvrages ;
- Gestion du cycle de vie des constructions, s'appuyant sur la surveillance de la santé structurale ;
- Maquettes BIM de gestion-exploitation-maintenance ;
- Matériaux innovants pour la construction.

Pour gérer un patrimoine, il faut d'abord connaître son état que l'on peut déterminer par le biais d'un diagnostic et d'une inspection des structures tant en ce qui concerne les bâtiments que les ouvrages d'art en préconisant des solutions pour le traitement des pathologies, pour la réhabilitation et le confortement.

Dans ce domaine, la méthodologie développée par Cideco s'appuie sur une approche scientifique pour les investigations, une analyse approfondie du système de construction, un réseau d'experts pour l'analyse des problématiques complexes.

Pour la gestion du patrimoine et des infrastructures, Cideco s'appuie sur les inspections régulières, qui pourraient être renforcées par l'instrumentation, l'établissement de modèles prévisionnels de dégradation, la création d'une interface numérique intuitive, l'hébergement de la sécurité des données.

« L'objectif est de proposer aux gestionnaires des stratégies de maintenance optimisées avec une vision dite "non-myope". Aujourd'hui, les responsables qui raisonnent sur un projet ou une opération de maintenance le font par rapport à l'état actuel. Le fait d'avoir une prévision sur 40 ans ou plus permet de saisir à la fois l'état actuel mais aussi comment le patrimoine va évoluer en fonction du fait qu'il sera ou non entretenu. Cela permet de définir une solution optimale sur la durée. »

Peut-être une opération engagée aujourd'hui va-t-elle induire des dépenses importantes plus tard. Lorsque l'on prend en compte le cycle de vie d'un ouvrage, cela permet de définir avec plus de précision le montant et la nature des travaux à réaliser pour optimiser son cycle de vie. Cette approche résulte des travaux de recherche que j'ai menés et qui sont concrétisés dans un outil informatique et dans des algorithmes. C'est un outil que Cideco a déployé pour la gestion d'ouvrages d'art au Koweït avant même la création de Cideco. »

Cideco l'associe aujourd'hui à des systèmes d'intelligence artificielle qui permettent de prendre en compte les résultats des mesures effectuées par des capteurs pour aider à interpréter la dégradation des structures et faire des prévisions de l'état futur. Alaa Chateaufneuf ne cache d'ailleurs pas que Cideco a des difficultés à convaincre les gestionnaires par rapport à cette stratégie de maintenance prédictive.

C'est une logique de prévention à long terme et non de réaction à un phénomène existant donnant un résultat immédiat.

Chez Cideco, on est d'ailleurs convaincu qu'une législation verra le jour imposant aux gestionnaires d'ouvrages patrimoniaux d'avoir une vision à plus long terme afin de passer d'une maintenance réactive à une maintenance proactive car c'est avec elle que l'on peut faire des gains d'échelle par rapport à un ouvrage et sa préservation.

Pour l'instrumentation, le problème est le même. « *Sur une voiture, par*



3
© CIDECO

exemple, dont le coût se situe entre 20 000 et 40 000 €, vous avez aujourd'hui plus de 100 capteurs et autant de calculateurs. Sur un ouvrage qui coûte plusieurs millions d'euros, vous avez zéro capteur. Il y a là un raisonnement qui nous paraît insuffisamment progressiste pour avancer sur la connaissance du comportement d'un ouvrage. Si l'on ajoute sur un ouvrage quelques milliers d'euros pour l'instrumenter, on disposera de plus de données pour améliorer la performance, le service, la maintenance... »

Pour le troisième pôle d'activité, relatif à la maquette BIM, il n'est pas développé

3- Cideco a réalisé l'expertise de l'instrumentation du siège de la Banque Nationale du Koweït.

4- Maquette expérimentale de tablier de pont dans le cadre du projet C13S relatif aux ponts connectés.

5- Capteurs de mesure conçus et réalisés en interne à 100% par Cideco.

dans l'esprit de la construction mais dans le fait d'utiliser cette maquette comme support pour appliquer une politique de gestion ce qui, couplé avec le système de gestion évoqué précédemment, permet de disposer d'un support réel pour le suivi des ouvrages. Dans cette démarche, Cideco effectue la modélisation de l'ouvrage par numérisation et intègre dans la maquette les modèles de dégradation prévisible ce qui permettent d'avoir une image de l'état de l'ouvrage à long terme et de cibler, voire expérimenter, des interventions sur la maquette.

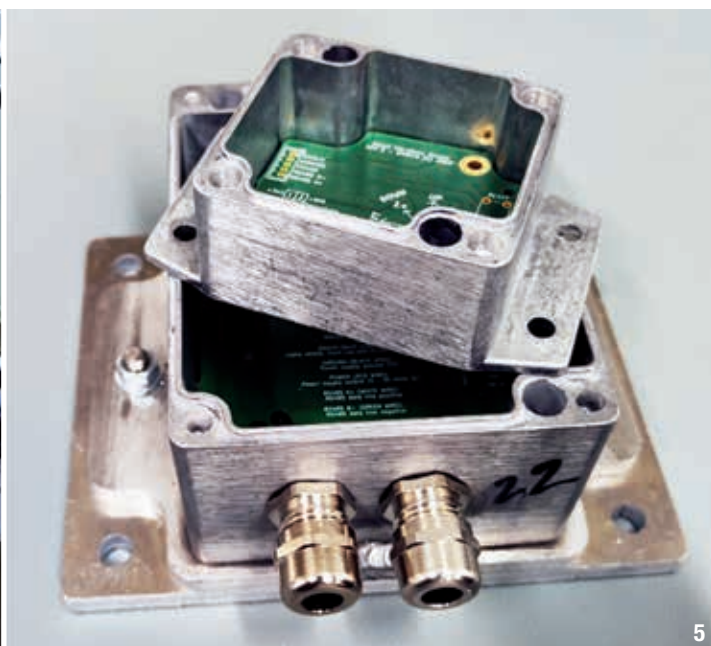
La numérisation des constructions est ainsi réalisée par photogrammétrie et lasergrammétrie avec des relevés par scanner 3D, drones et/ou caméras 360°, réalisation d'inventaires, maquette 3D compatible avec les concepts et chartes BIM.

« *Sur un ouvrage, poursuit Alaa Chateaufneuf, on peut définir trois blocs de coûts : les coûts de la maintenance, notamment des interventions, les coûts de l'inspection, variables selon les techniques et les moyens, et les coûts dits "usagers" généralement supportés par les usagers dans le cas d'un ouvrage en mauvais état : ralentissements sur une route, pertes de temps, déviations...*

Il existe de ce fait une logique d'optimisation qui fait que, quand le maître d'ouvrage ne fait pas assez de maintenance, il transfère ces coûts à l'utilisateur dans une proportion plus importante. À l'opposé, quand il assure une maintenance correcte, il réduit ses coûts propres inhérents à la maintenance mais aussi ceux répercutés sur l'utilisateur.



4
© CIDECO



5
© CIDECO



6
© CIDECO



7
© CIDECO

Il faut trouver l'équilibre entre les deux types de coût en fonction du budget alloué à la maintenance. »

Quant à l'axe "matériaux innovants pour la construction", il ne constitue pas, dans l'immédiat, une démarche prioritaire pour Cideco en raison de la complexité et des exigences de la réglementation, d'où la difficulté à faire accepter les nouveaux matériaux biosourcés, mais aussi au fait que le marché est partagé entre deux types d'entreprises : d'une part, les grandes entreprises spécialisées dans la production de matériaux qui disposent déjà de leur propre centre de recherche et n'ont donc pas besoin d'accompagnement extérieur et d'autre part, les artisans qui les mettent en œuvre n'ont pas d'activité de recherche. Il n'existe pratiquement pas d'entreprises intermédiaires auxquelles un organisme tel que Cideco pourrait apporter conseil et expérimentation.

6- Le viaduc de Rochefort Montagne (poutre caisson en béton précontraint).

7- Mesures de torsion à l'intérieur du viaduc de Rochefort Montagne.

8- Instrumentation du pont de Cournon-d'Auvergne (poutres en béton armé).

9- Détail de l'instrumentation du pont de Cournon-d'Auvergne.

DES CHIFFRES QUI PARLENT

Créé en février 2017, Cideco connaît immédiatement une croissance significative : de 2 collaborateurs en 2017 puis 3 en 2018, il passe à 6 en 2019,

puis 11 en 2020, 21 en 2021 et 24 en 2022.

Son chiffre d'affaires croît chaque année de plus de 70%, sauf l'année du Covid où il n'a progressé que de 34%.

L'objectif de Alaa Chateaufeuf est d'atteindre 30 collaborateurs dès 2023 et, à terme, une centaine à l'horizon 2030. Le chiffre d'affaires est passé de 309600 euros en 2018, à 1,21 millions d'euros en 2021, puis à 2,13 millions d'euros en 2022. Les 3 millions d'euros devraient être franchis en 2023.

« Ce taux de croissance reflète deux faits, précise à ce sujet Alaa Chateaufeuf : d'une part, il y a un besoin réel, ce qui confirme que notre vision est parfaitement dans l'axe de la nécessité de préservation du patrimoine et, d'autre part, le travail qu'effectue Cideco est de qualité, de telle sorte

que nos interlocuteurs nous accordent leur confiance et nous la renouvellent. »

Les effectifs sont composés de 15 ingénieurs dont 4 docteurs-ingénieurs, 2 apprentis-ingénieurs, 4 techniciens, 2 attachés commerciaux et une responsable administrative.

21% du chiffre d'affaires est consacré, depuis l'origine, à la R&D qui est financée en totalité par l'entreprise.

Cideco est en phase de réalisation d'un projet important : celui du programme national "ponts connectés" piloté par le Cerema, dont il est l'un des 17 lauréats et, d'ailleurs, la seule "petite" entreprise du secteur avec le projet CI3S.

CI3S : PONTS CONNECTÉS "INTELLIGENTS"

Le projet CI3S consiste en une Chaîne Intelligente de Surveillance de la Santé Structurale. ▶



8
© CIDECO

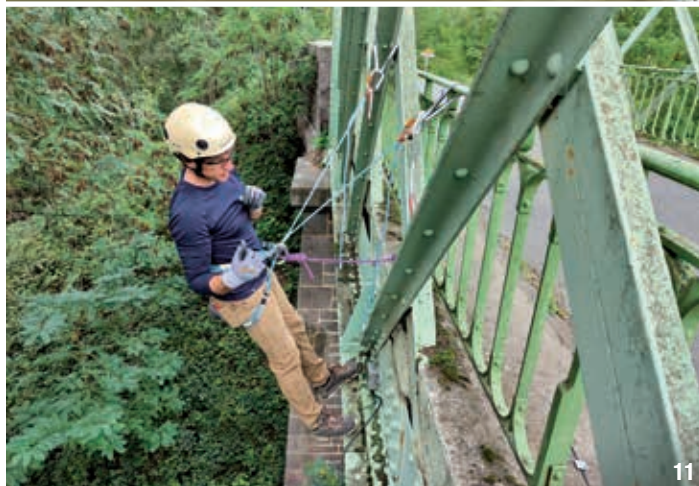


9
© CIDECO



10

© CIDECO



11

© CIDECO



12

© CIDECO

CI3S a pour objet de développer un système de mesure hautement performant et peu onéreux afin de permettre aux petites collectivités d'accéder à ce type d'instrumentation avec des algorithmes de traitement efficaces et robustes, la mise en œuvre de méthode inverse et l'utilisation de l'intelligence artificielle. Pour ce projet réalisé en partenariat avec l'université Clermont Auvergne et le département du Puy-de-Dôme, Cideco a développé des capteurs propres, en particulier des accéléromètres, ainsi que les cartes électroniques et des logiciels de traitement de l'information efficaces et intelligents, conçus et réalisés à 100% en interne. Alaa Chateaufeuf de préciser la nature du projet : « *Les algorithmes résultent de travaux de recherche universitaire à Clermont Auvergne et s'appuient sur l'analyse inverse : l'objectif est de mesurer les vibrations d'un ouvrage et, à partir de ces vibrations, d'identifier l'existence d'un défaut et de le localiser avec précision.*

Le deuxième point fort du projet est le recours à l'intelligence artificielle qui permet de traiter l'ensemble des données, de faire un pronostic efficace de localisation des défauts et de les quantifier. D'où l'appellation de chaîne intelligente puisque CI3S va de la mesure au résultat final dont le gestionnaire de l'ouvrage ou le bureau d'études qui suit l'ouvrage peuvent disposer. »

Pour finaliser ce projet d'une durée de 24 mois (septembre 2021 à août 2023), Cideco a réalisé deux maquettes en laboratoire et instrumenté cinq ouvrages dans le département du Puy-de-Dôme : le pont suspendu de Parentignat (pont métallique ancien, présentant un risque de rupture fragile), le pont métallique de Dallet (pont en treillis métallique avec une corrosion avancée), le pont de Cournon en Auvergne (poutres en béton armé en cours de réhabilitation), le viaduc de Rochefort-Montagne (poutre caisson en béton précontraint, présente des fissurations) et le pont de Longues (poutre caisson en béton précontraint, présentant une flèche excessive).

10- Le pont métallique de Dallet dans le Puy de Dôme.

11- Mise en place de l'instrumentation du pont de Dallet (projet ponts connectés).

12- Détail de l'instrumentation du pont de Dallet dans le Puy-de-Dôme.

13- Numérisation par photogrammétrie PNG du château de Muroldans le Puy-de-Dôme.

Sur le pont de Longues, constitué d'un caisson double en béton précontraint de 162 m de longueur à trois travées construit en 1971, l'instrumentation comportait 24 accéléromètres disposés sur l'âme centrale à 30 cm au-dessus de la face supérieure de l'intrados selon un espacement de 6,50 m, d'un prix unitaire de 350 €, ce qui est négligeable pour un pont de cette taille.

Les conclusions sont déjà disponibles : le système de mesure est opérationnel et validé, les algorithmes d'identification sont robustes et efficaces, CI3S dispose d'une grande capacité de détection et de localisation des dommages.



13

© CIDECO



© CIDECO
14

14- Diagnostic de l'un des ouvrages de la véloroute "Voie Verte" en Auvergne-Rhône-Alpes.

15- Diagnostic d'un ouvrage ancien en Auvergne - Rhône-Alpes.

GESTION DU PATRIMOINE : DES CRITÈRES DIFFÉRENTS

Les infrastructures vieillissantes représentent plus de 90 % du patrimoine. Cette situation est le résultat d'une gestion décentralisée et de faibles ressources financières. Elles sont confrontées désormais à un concept environnemental plus contraignant qui oblige à raisonner différemment d'autant que de nouvelles technologies - monitoring, intelligence artificielle - offrent des opportunités pour prendre à leur égard des décisions plus contraignantes et surtout plus efficaces.

« Elles passent aussi, poursuit Alaa Chateaneuf, d'une conception mono-critère à une conception multi-critères. Autrefois, on considérait que la meilleure structure était la plus solide et il s'agissait du seul critère pris en compte. D'autres critères, tout aussi importants, sont apparus : durabilité, robustesse, empreinte environnementale, confort énergétique pour les bâtiments, recyclage. Tout cela fait que la vision n'est plus polarisée sur la résistance des matériaux mais

© CIDECO



15

CIDECO : LES DÉVELOPPEMENTS STRATÉGIQUES

Les développements stratégiques présents et à venir de Cideco confirment bien les propos de Alaa Chateaneuf et sont d'ailleurs illustrés de façon explicite par les exemples de réalisations qu'il présente :

- Surveillance de la santé structurale par l'intelligence artificielle ;
- Développement de capteurs natifs ;
- Surveillance des équipements du bâtiment ;
- Système de gestion du patrimoine basé sur le BIM ;
- Optimisation des performances énergétiques des bâtiments, nouvel axe de développement couplant matériaux, énergie et monitoring.

Son ambition est de devenir une référence nationale en matière de gestion du patrimoine, d'instrumentation et suivi des structures en service, en concevant et fabricant elle-même des capteurs intelligents, 100 % français, à bas coûts afin de démocratiser cette technologie.

que l'on intègre un certain nombre de paramètres qui peuvent modifier notre façon de construire mais aussi d'entretenir l'existant. Typiquement, choisir un matériau moins résistant mais plus durable. Une bonne conception doit aujourd'hui prendre en compte tous ces paramètres, en vue de l'optimisation du cycle de vie. »

D'où la motivation principale à l'origine de la création de Cideco : disposer à Clermont-Ferrand d'un centre technique unique à destination des industriels des Travaux Publics et du bâtiment, centré sur les problématiques de gestion du patrimoine, de vieillissement et de dégradation des matériaux autour de deux thèmes principaux : l'éco-construction (éco-matériaux, durabilité, recyclage) et la gestion du patrimoine (inspection, maintenance, instrumentation, réparations...).

Depuis sa création, Cideco a participé à la réalisation de plus de 600 projets, extrêmement variés, liés à ces thèmes, parmi lesquels les pistes d'essais Michelin de Cataroux (voir encadré), la halle SNCF Tapponnier à Annemasse, la rotonde et les deux châteaux d'eau du technicentre SNCF de Dijon, l'instrumentation de l'usine d'Airbus Helicopters à Marignane, la réhabilitation de la manufacture de tabac de Riom pour l'installation d'un atelier de maroquinerie pour la société Maroquinerie de Sayat du Groupe Hermès, le manège du poney club du haras de Jardy, ainsi que le nouvel hémicycle du département des Hauts-de-Seine, installé au Centre technique départemental à Nanterre, ... ▷

Cideco est d'ailleurs particulièrement présent dans ce département ainsi que dans celui du Puy-de-Dôme et dispose de plusieurs contrats-cadres avec la région Bretagne ainsi qu'avec les villes du Mans et de Mérignac et entretient des liens privilégiés avec Freyssinet France, Bouygues Construction, l'Apave, et Logiroad, société qui développe des logiciels avancés d'aide à la décision pour la gestion de la circulation urbaine et la gestion des infrastructures routières.

Certains chantiers sont plus emblématiques que d'autres tels ceux liés à l'instrumentation de la colonnade de

l'Assemblée Nationale et des bâtiments de la Préfecture de Police de Paris ou ceux de la Banque de France à Longwy. Concernant l'Assemblée Nationale, l'instrumentation de la colonnade et du fronton a permis de confirmer la stabilité de l'édifice vis-à-vis du risque de tassement différentiel du sol sous l'effet des variations de la nappe phréatique. Pour la Préfecture de police de Paris, bâtiment haussmannien combinant béton armé, structures métalliques et structures en maçonnerie traditionnelle : reconnaissance du système constructif et évaluation de la capacité portante des murs et planchers dans le but de

créer des escaliers de secours, mise en place de monitoring pour le suivi des mouvements des voûtes.

Pour la banque de France à Longwy : bâtiment combinant béton armé, structures métalliques et structures en maçonnerie traditionnelle, reconnaissance du système constructif, évaluation de la stabilité.

D'autres projets de gestion du patrimoine sont en cours ou viennent de s'achever. La maison de Chateaubriand, située au cœur du parc de la Vallée-aux-Loups non loin du domaine de Sceaux, dans les Hauts-de-Seine, a fait l'objet d'une inspection et d'un

diagnostic structural détaillé. Il en est de même de l'ancien hôpital du Val-de-Grâce, à Paris, en vue de sa transformation en pôle de recherche, d'innovation et d'expertise sur la thématique de la santé numérique, dans le cadre de PariSanté Campus. Il s'agit d'un programme de campus de recherche, de formation et d'innovation dans le domaine du numérique pour la santé, qui s'installera à l'horizon 2028 sur le site de l'ancien Hôpital d'Instruction des Armées du Val-de-Grâce.

Sur l'instrumentation, le chantier de surveillance des colonnades de l'Assemblée Nationale est l'un des plus

16- Le centre Pierre Bouchaudy à Clermont-Ferrand, maison de la solidarité et de l'action sociale.

17- Mesures de tassement dans le centre Pierre Bouchaudy à Clermont-Ferrand.

18- Le chantier de l'Assemblée Nationale à Paris demeure l'un des plus emblématiques pour Cideco.

19- Tassomètres et fissuromètres sur le fronton de l'Assemblée Nationale.

20- Cideco a réalisé l'instrumentation de la Préfecture de Police de Paris, bâtiment haussmannien combinant béton armé, structures métalliques et structures en maçonnerie.

21- Instrumentation de la Banque de France à Longwy en Lorraine en vue de sa transformation en musée.

22- Création d'un hémicycle pour le Conseil Départemental 92, ex-Centre Technique Départemental à Nanterre.



© CIDECO

16



© MARC MONTAGNON

18



© CIDECO

17



© CIDECO

19



© CIDECO

20



© CIDECO

21



© CIDECO

22



© CIDECO

23

LES PISTES MICHELIN DE CATAROUX

À Clermont-Ferrand, les pistes de Cataroux constituent, avec la cathédrale gothique Notre-Dame-de-l'Assomption en pierre de lave, deux sites emblématiques pour les Clermontois, indissociables de l'histoire de la capitale auvergnate.

Situé sur une entrée stratégique de la ville, cet ancien site industriel de Michelin se distingue par ses trois immenses toboggans. Hauts de 20 à 30 mètres et longs de 450 mètres, ces "va-et-vient" à l'architecture surprenante servaient à tester des pneus montés sur des chariots lestés de plomb. Construites entre 1926 et 1930, elles ont été bombardées en 1944, incendiées puis reconstruites partiellement dans les années 1950 et ont subi diverses réhabilitations pour accompagner les évolutions de l'automobile. Ces pistes d'essais, longtemps à la pointe de la technologie, ont définitivement fermé leurs portes en 2001.

Dans le cadre d'une future mise en valeur, dont le détail n'est pas totalement dévoilé, la manufacture a missionné Cideco pour réaliser un diagnostic complet et approfondi du site, les archives disponibles n'étant que parcellaires. Cette intervention inédite s'apparentant à de l'archéologie industrielle.

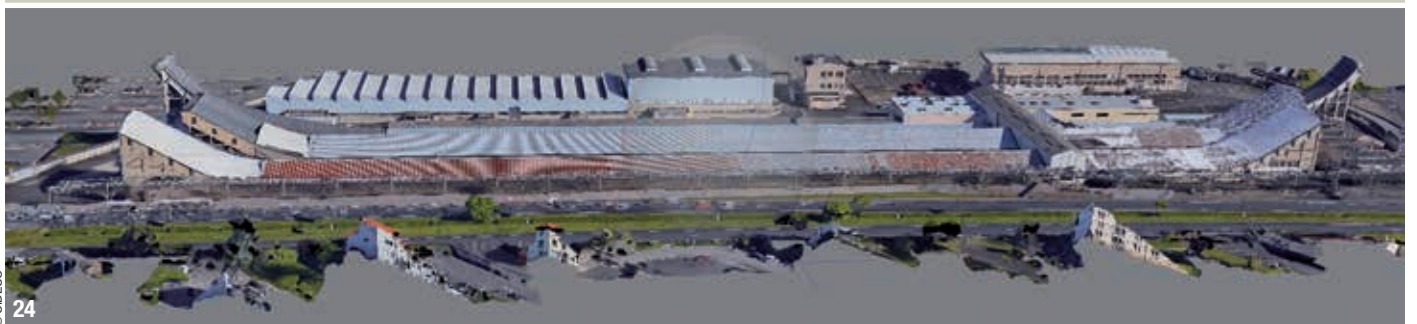
Sa complexité a résidé à la fois dans l'étendue du site - 25 000 m² de surface construite à diagnostiquer - mais aussi dans la diversité des structures composant les bâtiments (béton armé, charpentes métalliques, bois, ...).

S'appuyant sur des relevés effectués à l'aide d'un scanner laser 3D, des inspections aériennes par drone, des contrôles non destructifs, des prélèvements analysés ensuite en laboratoire ou encore des sondages géotechniques, 27 experts se sont succédé pour répertorier les défauts éventuels, caractériser les propriétés des bâtiments mais aussi faire l'inventaire de structures, matériaux et détails de constructions utilisés à l'époque.

Parmi les travaux réalisés par Cideco : 18 000 m² de béton inspectés, 5 350 éléments de construction métallique inspectés, 5 000 photos de désordres, 1 200 mesures par ultrason, etc.

Au-delà de cet inventaire hiérarchisé permettant sa structuration au format BIM, la méthode de Cideco se singularise par la modélisation prédictive de la pérennité des structures. Autrement dit, dans la mise en place de scénarios prévisionnels de dégradation en fonction des matériaux utilisés, de l'environnement ou des conditions d'exploitation. « Globalement, le béton est dans un état extrêmement bon vu son âge. Pour un ouvrage de 90 ans, nous nous attendions à des niveaux de dégradation plus importants. Nous avons tout de même vu des points fragiles, notamment des aciers corrodés, en partie haute, à l'extrémité des rampes, » précise Alaa Chateaufeuf.

À partir de ces données, Cideco a fourni à Michelin des préconisations et un plan d'actions à court et à long termes, permettant d'optimiser les coûts de gestion et d'assurer la pérennité des structures.



© CIDECO

24

importants en cours. « Le fronton, ses 12 colonnades et son gradin de 30 marches que l'on connaît aujourd'hui a, en fait, été rapporté sur un bâtiment existant dans les années 1800. Avec les mouvements du sol, une séparation millimétrique se produit entre le bâtiment d'origine - le Palais Bourbon - et la façade de l'architecte Bernard Poyet. La mission était d'installer des

23- Numérisation 3D PNG des pistes Michelin de Cataroux.

24- Photographie des pistes Michelin de Cataroux.

tassomètres sur l'embranchement et des fissuromètres entre le fronton et le bâtiment pour surveiller l'écartement. C'est l'un des beaux projets en cours de Cideco. »

Le centre a également été mandaté pour valider et qualifier le système de monitoring dont est équipée la tour de la Banque Nationale du Koweït à Koweït City.

Enfin, Cideco est impliqué dans le plan d'investissement "France 2030" dévoilé en novembre 2022 par le président Emmanuel Macron qui, avec 54 milliards d'euros, doit permettre de rattraper le retard industriel français, d'investir massivement dans les technologies innovantes ou encore de soutenir la transition écologique. □



1

© EYEFLY

RECONSTRUCTION DU PONT DE LEKINY EN NOUVELLE-CALÉDONIE OUVRAGE UNIQUE POUR UN SITE D'EXCEPTION

AUTEURS : LIONEL BOGNER, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE METAL - JACQUES SIAPO, CHEF DU SERVICE, AMÉNAGEMENT ET PILOTAGE OPÉRATIONNEL - RÉMI LAGIER, DIRECTEUR DE PROJET, ARBE - CHRISTOS SAOURIDIS, DIRECTEUR BUREAU D'ÉTUDE, EQUILIBRE - PIERRE GALINIE, CONCEPTEUR À L'ORIGINE DU PROJET, GEMOCE

LA RECONSTRUCTION DU PONT DE LEKINY S'INSCRIT DANS LE CADRE DU MAINTIEN DE LA CONTINUITÉ TERRITORIALE DE L'ÎLE D'OUVEA, EN NOUVELLE-CALÉDONIE, EN RELIANT LA PRESQU'ÎLE DE MOULI À L'ÎLE PRINCIPALE D'OUVÉA. AU SUD DE "L'ÎLE LA PLUS PROCHE DU PARADIS", LE SITE DE LEKINE OFFRE UN CADRE NATUREL EXCEPTIONNEL. TRAVERSANT UN BRAS DE MER IDYLLIQUE. BIEN AU-DELÀ DU BESOIN DES USAGERS, L'OUVRAGE EST AVANT TOUT UN OUTIL TOURISTIQUE ET ÉCONOMIQUE MAJEUR POUR LA PROVINCE DES ÎLES LOYAUTÉ. C'EST UN OUVRAGE MIXTE EN DOUBLE CAISSON, LONG DE 180 M. IL COMPREND UN LARGE TROTTOIR POUR L'OBSERVATION DES POISSONS ET TORTUES, DES PARKINGS ET DES AMÉNAGEMENTS D'ACCÈS AUX DEUX EXTRÉMITÉS.

CONTEXTE GÉNÉRAL - PRÉSENTATION DES OUVRAGES

CONTEXTE GÉNÉRAL

Le pont de Lekiny relie l'île de Mouli à l'île principale d'Ouvéa, aux îles Loyauté, en Nouvelle-Calédonie.

L'ouvrage actuel, d'une longueur de 120 m, est en fin de vie. Sa faible longueur génère des accélérations des courants marins dans le chenal

qu'il surplombe, avec des problématiques d'érosion du littoral. Monovoie, il engendre des problèmes de fonctionnalité et de sécurité.

Le remplacement de l'ouvrage a pour objectifs principaux :

- De maintenir la voie vers Mouli ;
- D'améliorer les circulations de courants sous l'ouvrage grâce à un pont plus long, de 180 m ;
- D'augmenter le confort des usa-

1- Ouvrage en cours de lancement.

1- Bridge during launching.

gers avec 2 voies de circulations, 2 bandes cyclables et des trottoirs normalisés pour les piétons et PMR ;

- De s'insérer dans un des plus beaux sites de la Nouvelle-Calédonie, avec discrétion mais en signant le site d'un message pré-identifié ;
- D'être avant tout un outil touristique majeur pour Ouvéa et la province des îles en général.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le nouvel ouvrage, de 180 m de longueur, est constitué de trois travées continues dont les portées sont de

50 m – 80 m – 50 m. Son tracé en plan est rectiligne et son profil en long s'inscrit dans un rayon de 2 400 m (figure 1).

L'ouvrage permet le franchissement d'un chenal maritime entre la lagune de Lekine et le lagon d'Ouvéa afin de relier l'île de Mouli à l'île principale d'Ouvéa. La conception de l'ouvrage imposait la réalisation d'un tablier à ossature mixte acier-béton de type "double caisson". L'ouvrage s'inscrit en effet dans le contexte d'une étude ethnologique du peuplement d'Ouvéa et le double caisson se réfère à la pirogue double des premiers habitants arrivés sur l'île.

Sur une base de 5 travées de 36 m, choisie pour les difficultés d'approvisionnement de grands éléments sur le site, le maître de l'ouvrage incitait les offres d'entreprises à de plus grandes

travées pour une meilleure esthétique de l'ouvrage.

L'ouvrage réalisé est ainsi une variante des entreprises Arbe et Eiffage Métal, avec 3 travées au lieu des 5 initialement proposées, dont une travée centrale de 80 m qui représente la plus grande travée mixte de pont à poutre d'Océanie (figure 2).

Les éléments de caissons ont été préfabriqués en atelier en France métropolitaine, puis acheminés à Nouméa par transport maritime puis Ouvéa par barges. Les éléments de caissons ont été assemblés sur une des berges et le tablier a été lancé en trois fois.

Le tablier de l'ouvrage se compose ainsi de deux caissons de 2 m de hauteur surmontés d'un hourdis d'une largeur totale de 12,9 m pour une épaisseur variable de 27 à 25 cm. Le hourdis est constitué de dalles préfabriquées toute épaisseur qui sont clavées entre elles et au droit des semelles supérieures des caissons. Les dalles ont été posées par parties sur les éléments de caissons avant lancement et le reste à la grue à l'avancement après lancement. Tous les appareils d'appui sont en élastomère fretté. Les culées CO et C3 sont fondées sur 3 files de micropieux Ø 168,3 mm de 23 m de longueur moyenne.

Les piles sont constituées d'un chevêtre haut reprenant la forme de la pirogue et d'un fût trapézoïdal. La pile repose elle-même sur une semelle basse en zone de marnage, fondée sur 4 pieux Ø 1 200 mm. Les pieux sont fondés sur un substrat corallien composé d'alternance de couches de corail induré et de couches potentiellement sableuses plus lâches. En absence de substratum clairement identifié, la base des pieux fait elle-même l'objet d'un ancrage par micropieux.

Les principales contraintes d'exécution de l'ouvrage préalablement identifiées étaient :

- L'isolement de l'île d'Ouvéa et l'absence de moyens techniques sur l'île pour la réalisation des travaux ;
- L'absence de matériaux de construction directement disponibles sur l'île, nécessitant une logistique particulière pour leur approvisionnement depuis leurs sites de production ou de fabrication ;
- Un site à haute sensibilité environnementale classé à l'UNESCO où se rejoignent une importante réserve marine dans la lagune, un site de nidification de puffins et des zones tribales taboues ;
- Une volonté de coopération avec les autorités coutumières du lieu, en notant que l'île d'Ouvéa est comme chacune des îles Loyauté, une terre dont le foncier est à 100% coutumier.

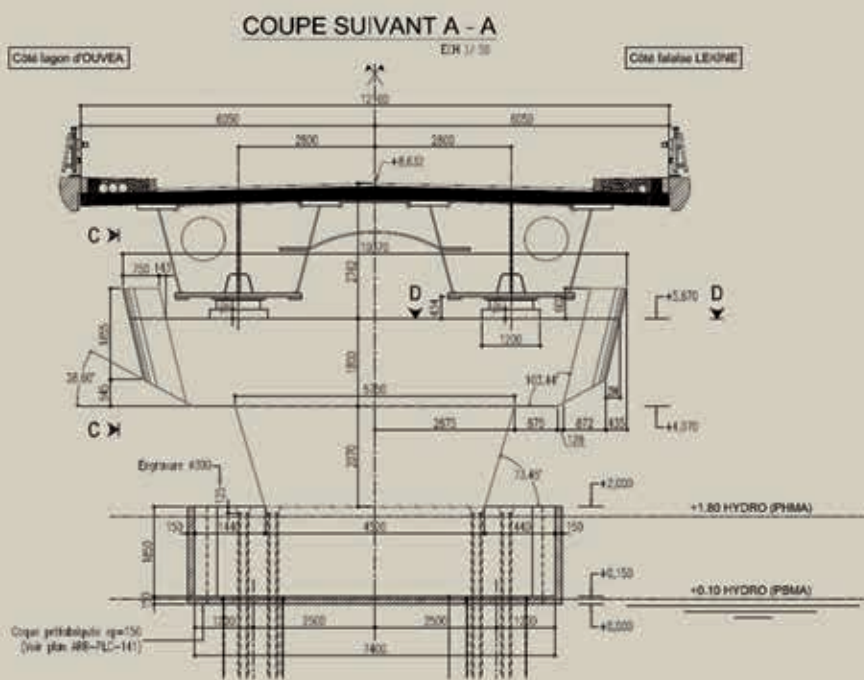
On notera enfin que le site de Lekine est un des sites les plus renommés de l'île d'Ouvéa pour sa beauté. Le pont se situe à proximité de l'hôtel le plus important de l'île et à l'extrémité de la plage de Mouli qui s'étend sur 7 km de sable blanc. Vers le sud-est, le passant franchissant le pont a le spectacle des falaises de Lekine et peut à loisir admirer le passage des raies et autres poissons sous l'ouvrage.

2- Coupe transversale.

3- Modèle de calcul du hourdis.

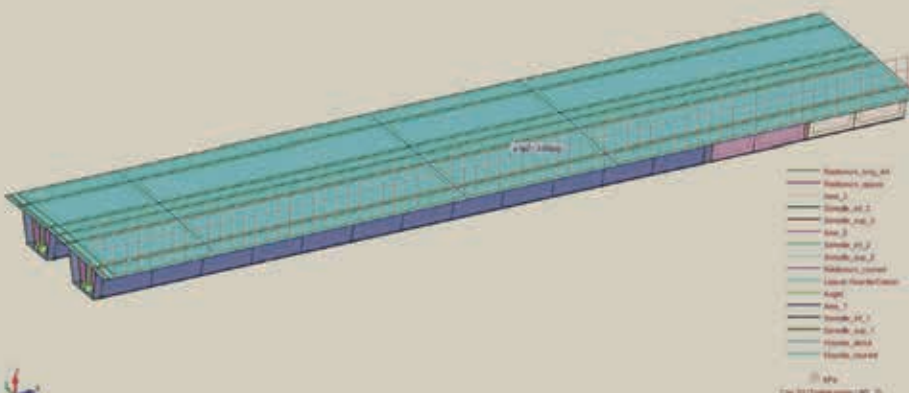
2- Cross section. 3- Deck section design calculation model.

COUPE TRANSVERSALE



2

MODÈLE DE CALCUL DU HOURDIS



3



4a

© EIFFAGE MÉTAL

L'ouvrage neuf se veut un pôle d'attraction du tourisme sur l'île. À la différence d'un simple ouvrage de franchissement, cet ouvrage est conçu pour être un lieu de rencontres et d'arrêt du visiteur. Pour cela, il est complété d'aménagements terrestres favorisant les circulations piétonnes et cyclistes, avec des zones de parking et un accès aux plages sous l'ouvrage. Ces aménagements sont complétés par un ensemble d'œuvres artistiques, que l'on retrouve également directement sur l'ouvrage selon une thématique imposée.

La sélection des sujets procède du travail de recueil des récits, légendes et traditions orales par le cabinet JK Ukeiwe et leur transcription artistique pour incorporation à l'ouvrage a été conduite au travers d'un concours d'artistes supervisés par le concepteur Gemoce SARL. Les lauréats sont la sculptrice Marjorie Tiaou et le peintre plasticien Patrice Kaikiletufe.

ÉTUDES D'EXÉCUTION FONDACTIONS

Sur Ouvéa, le sol est constitué intégralement de calcaire corallien. Il s'agit d'un matériau très particulier qui rend complexe la réalisation des fondations profondes. En effet, au forage sont rencontrés de manière anarchique des passages lâches à extrêmement durs et sur certains points de très importants vides remplis par du matériau vasard. Le battage peut donc aller aux extrêmes, du refus sur un point à une descente de plusieurs dizaines de cen-

timètres à chaque coup de mouton sur un point voisin. La campagne de sol ne peut pas lever toutes les incertitudes. Pour s'affranchir de ces aléas, les fondations des culées sont réalisées par micropieux. Cette technique permet en effet le forage quelle que soit la nature du calcaire corallien rencontré. Seul le frottement latéral est considéré, évalué selon les paramètres enregistrés. Cela enlève tout aléa sur la tenue des fondations.

Au total 3 files de 12 micropieux avec une longueur de 23 m sont réalisées. Les files avant et arrière ont une inclinaison de 10° dans le sens transversal et longitudinal. La file centrale, quant à elle, ne présente qu'une inclinaison de 10° dans le sens transversal.

4a- Réalisation des pieux depuis l'estacade.

4b- Transport par flottaison de la coque préfabriquée.

4a- Execution of piles from the jetty.

4b- Transporting the precast shell by floating.

Les piles en mer sont fondées sur 4 pieux Ø 1 200 mm. Afin de se prémunir du risque sur le terme de pointe en cas de présence de terrain très lâche ou de vide proche de la base

du pieu, des micropieux sont réalisés sous le pied. Ils sont forés à travers des réservations laissées dans le pieu et ancrés plusieurs mètres sous sa base ; ils permettent d'améliorer la reprise de la charge et de vérifier l'absence de vides sous la base du pieu.

PILES

Les piles sont constituées d'un chevêtre haut reprenant la forme de la pirogue et d'un fût trapézoïdal. La pile repose elle-même sur une semelle basse en zone de manège.

CULÉES

La culée C0 de l'ouvrage a servi de massif de réaction du treuil pour le lançage de la charpente. Cela repré-



4b

© EIFFAGE MÉTAL

sentait un effort horizontal maximum de l'ordre de 85 t. le sommier de culée a pu être justifié avec les aciers dimensionnés pour le service, sans nécessité de renfort particulier.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

La structure du tablier est atypique. Les liaisons entre les deux caissons se réduisent aux pièces de pont sur appuis et à la dalle. Les deux caissons mixtes ne peuvent donc être considérés ni comme parfaitement indépendants, ni comme parfaitement solidarités !

Le comportement réel du tablier ne peut donc être correctement établi qu'à partir d'une modélisation de type éléments finis ou grille de poutres. Ces deux approches, et particulièrement la première, sont toutefois peu ou pas adaptées à l'application des règles de calcul propres aux ponts-mixtes. Afin de profiter pleinement des outils de vérifications réglementaires disponibles dans l'environnement du logiciel MixteBridge (dédié au calcul d'une poutre mixte de type PRS ou caisson), nous avons simplifié le calcul en ne considérant que le caisson le plus chargé, soumis aux seules charges appliquées sur la demi-dalle qui lui est associée.

Une telle approche "filaire" n'est évidemment pas exacte, mais dans le cas présent, elle a conduit à des résultats tout-à-fait satisfaisants. Elle a été "étalonnée" à partir d'une comparaison avec un modèle par éléments finis et en considérant des cas de charge types. Comme on pouvait logiquement s'y attendre, le calcul par éléments finis a montré que, pour les chargements dissymétriques, le caisson le plus sollicité (celui qui est calculé) est soulagé par le caisson voisin. Le moment de flexion



© EIFFAGE MÉTAL

5- Fabrication des caissons en usine.

6a- Chargement des caissons dans la péniche.

6b- Déchargement des caissons à Ouvéa.

5- Box girder manufacture in factory.

6a- Loading box girders in the barge.

6b- Unloading box girders at Ouvéa.

et l'effort tranchant diminuent significativement, tandis que le cisaillement dû à la torsion vient s'ajouter au cisaillement dû à l'effort tranchant dans l'âme extérieure jusqu'à une valeur totale finalement très proche de celle donnée par l'approche filaire.

Dans ces conditions, les résultats issus du calcul simplifié permettent bien la justification des sections, et de façon sécuritaire vis-à-vis de la flexion.

Le caisson est calculé comme n'importe quelle poutre mixte : le phasage de construction de la dalle, son comportement instantané ou différé et sa fissuration sont pris en compte.

HOUDIS BÉTON

L'épaisseur du hourdis est constante à 24 cm avec des renforts d'épaisseur variable au droit des zones de clavage. Sa justification s'est faite à l'aide du logiciel Robot (figure 3).

Le hourdis est réalisé par éléments préfabriqués pleine épaisseur et toute largeur. Dans le sens transversal, les éléments portent sur les 4 semelles supérieures des caissons métalliques. Les becquets pour la réalisation des clavetages ont été intégrés en partie centrale et à l'intérieur des caissons. Pour des raisons esthétiques, les encorbellements extérieurs ont été

coffrés sur place entre pièces de pont. Les corniches sont également réalisées en béton à l'aide d'éléments préfabriqués matricés.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

CHRONOLOGIE

L'arrivée tardive de l'épidémie de Covid-19 en Nouvelle-Calédonie a isolé l'île d'Ouvéa et paralysé le chantier. Les travaux ont dû être suspendus sur plusieurs périodes.

Le défi logistique s'en est vu amplifié. En effet, aucun matériau n'est disponible sur l'île d'Ouvéa et tous les moyens de production et de travaux ont dû être acheminés sur l'île par barges (centrale à béton, ciment, granulats, matériel de fondation, etc.)

Les travaux ont démarré en février 2021 par la construction des pistes de chantier.

Les travaux de fondations ont débuté en juillet 2021. La charpente métallique est arrivée sur site en janvier 2022 pour une fin de pose en décembre 2022. Le hourdis et la superstructure ont été réalisés de janvier 2023 à juin 2023.

FONDATEMENTS

Les fondations des piles ont été réalisées depuis une estacade provisoire sur pieux battus conçue et dimensionnée spécifiquement.

Un tube perdu est préalablement battu. Il est ensuite vidé et le pieu est coulé après mise en œuvre des armatures. Les micropieux, pour renfort et vérification de la nature du calcaire sous la base du pieu sont, quant à eux, forés depuis l'intérieur de la coque préfabriquée permettant de réaliser la semelle (figure 4a). ▷



6a

© EIFFAGE MÉTAL



6b

© EIFFAGE MÉTAL

APPUIS

Les culées des deux ouvrages sont des radiers de 1,5 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 matricés ont été réalisés après lançage.

Les piles ont été réalisées depuis l'estacade mise en place pour les pieux. Pour la réalisation des semelles toujours partiellement sous l'eau, la solution technique choisie a été une coque préfabriquée de 48 t. Cette dernière a été amenée par flottage, posée à marée haute et étanchée autour des pieux. Ce dispositif a demandé l'intervention de scaphandriers. Une fois l'étanchéité assurée, les équipes ont réalisé le ferrailage et le coulage de la semelle dans l'enceinte de la coque préfabriquée, sous 1,5 m d'eau à marée haute (figure 4b).

Les fûts-piles ont été réalisés à l'aide de banches métalliques, le coffrage bois du chevêtre a été conçu sur mesure.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique de l'ouvrage est issue de l'usine alsacienne de Lauterbourg, (figure 5) spécialisée en fabrication de ponts et ouvrages d'art.

La charpente a été livrée sur chantier en 14 tronçons (soit 28 caissons poutres) de 8 à 16 m de longueur.



7

© EVERLY

La poutre la plus lourde livrée sur chantier pesait 29 t.

L'ouvrage a été livré en deux expéditions depuis l'usine (14 tronçons par expédition). Pour parcourir les 17 000 km qui séparent l'usine du site de construction, les pièces ont tout d'abord été chargées sur péniche à Lauterbourg (figure 6a) pour rejoindre Anvers par le Rhin afin d'être transférées sur roulier (navire de transport de

7- Ouvrage en cours de lançage.

8- Pose des dalles.

7- Bridge during launching.

8- Placing slabs.

véhicule) pour le voyage Anvers - Nouméa. La durée totale du transport a été de 3,5 mois pour chaque expédition. Une fois les caissons déchargés au port de Nouméa, ils ont été transférés sur site par barges et remorqueur jusqu'au quai de l'île d'Ouvéa.

Les derniers kilomètres ont été réalisés par camion (figure 6b).

Sur site, le pont a été assemblé par soudure en 3 phases distinctes, cha-



8

© EIFFAGE METAL



9

© EYEFLY

cune ponctuée d'un lançage. Chaque lançage consistait à franchir une travée, soit 50 m pour le premier lançage, 80 m pour le second et 50 m pour le troisième.

Un système de treuil à câble et mouflage a été mise en œuvre pour la mise en mouvement de l'ouvrage.

Le poids maximum en mouvement était de l'ordre de 2 000 t (charpente plus dalle préfabriquée).

Pour permettre la réalisation du hourdis, une partie des dalles préfabriquées a été embarquée pour les différentes phases de lançage. Les études de lançage en ont déterminé le nombre et la position (figure 7).

HOUDIS EN BÉTON

Le hourdis de l'ouvrage a été réalisé par éléments préfabriqués pleine épaisseur sur la grande terre et rapatrié sur site par barge.

9- Ouvrage en cours de finition.

9- Bridge undergoing finishing.

Les études de lançage ont déterminé la quantité et la position maximales des dalles pouvant être embarquées pour les phases de lançage. À la fin du lançage, la travée centrale a été

clavée afin de garantir la stabilité de l'ouvrage pour la pose des dalles sur l'autre rive.

L'ouvrage existant limité à 20 t ne permettant pas le passage de convoi lourd, on a procédé à la mise en place des dalles sur la rive opposée depuis le nouvel ouvrage à l'aide de la grue treillis circulant sur la travée centrale (figure 8).

À la fin de la pose des dalles, les travées de rive puis les zone d'appui ont été clavées.

CONCLUSION

L'ouvrage est aujourd'hui en cours de finition. Restent les travaux d'aménagement sur les deux rampes d'accès ainsi que l'application de l'enrobé.

Le basculement sur le nouvel ouvrage est prévu en juillet 2023, suivra la démolition par sciage et grutage de l'ouvrage existant (figure 9). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ACIER DE STRUCTURE : 900 t

BÉTON ARMÉ : 1 500 m³

ARMATURES : 250 t

COÛT DES TRAVAUX : 2 600 000 000 XPF HT soit 21,8 millions € HT

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Province des îles Loyauté, Nouvelle-Calédonie

MAÎTRE D'ŒUVRE : Gemoce SARL

ENTREPRISES : Arbe, Eiffage Métal

BUREAU D'ÉTUDES : Equilibre, Eiffage Métal - Secoa

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF LEKINY BRIDGE IN NEW CALEDONIA - A UNIQUE STRUCTURE FOR AN EXCEPTIONAL SITE

LIONEL BOGNER, EIFFAGE METAL - JACQUES SIAPO, AMÉNAGEMENT ET PILOTAGE OPÉRATIONNEL - RÉMI LAGIER, ARBE - CHRISTOS SAOURIDIS, EQUILIBRE - PIERRE GALINIE, GEMOCE

Lekiny Bridge is a composite steel-concrete structure of total length 180 metres, with a deck formed of three spans, of 50, 80 and 50 metres. It has bearings and specific architectural elements specially selected for this site. The bridge foundations were designed for the coral soils specific to the Loyalty Islands in New Caledonia. The site's isolation and supply problems had to be factored in as of the structure design stage. □

RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DE LEKINY EN NUEVA CALEDONIA - UNA OBRA ÚNICA EN UNA LOCALIZACIÓN EXCEPCIONAL

LIONEL BOGNER, EIFFAGE METAL - JACQUES SIAPO, AMÉNAGEMENT ET PILOTAGE OPÉRATIONNEL - RÉMI LAGIER, ARBE - CHRISTOS SAOURIDIS, EQUILIBRE - PIERRE GALINIE, GEMOCE

La obra de Lekiny es una construcción mixta de acero y hormigón de 180 m de longitud total, con un tablero dividido en tres luces de 50, 80 y 50 m. Cuenta con apoyos y elementos arquitectónicos específicos, especialmente elegidos para este emplazamiento. Los cimientos de la obra fueron diseñados para los suelos coralinos específicos de las Islas de la Lealtad de Nueva Caledonia. Fue preciso tener en cuenta la lejanía geográfica y las consiguientes dificultades de aprovisionamiento desde la fase de diseño de la obra. □



1
© EXPLORATIONS ARCHITECTURE

VIADUC DE LA LIGNE 18 DU GRAND PARIS EXPRESS ENTRE PALAISEAU ET SACLAY

AUTEURS : STÉPHANE DE GAIL, CHEF DE PROJET, ARTELIA - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, DIRECTEUR TECHNIQUE, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - JULIEN GAUDUCHON, DIRECTEUR DE PROJET, ARTELIA - DAVID PETIT, CHEF DE PROJET, INGEROP - BENOIT TEXIER, CHEF DE PROJET, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

D'UNE LONGUEUR INÉDITE EN FRANCE, LE VIADUC DE LA LIGNE 18 EST UN OUVRAGE HORS NORMES QUI ALLIE INNOVATION, INDUSTRIALISATION, PRÉCISION ET TECHNICITÉ.

PRÉSENTATION DU PROJET

PRÉSENTATION DU TRACÉ

Le viaduc de la Ligne 18 du Grand Paris Express chemine sur un tronçon continu de 7 km de long et dessert trois gares aériennes (Palaiseau, Orsay-Gif, CEA-Saint Aubin) situées dans le département de l'Essonne.

Le métro viendra desservir le pôle scientifique de Saclay qui rassemblera les plus grandes écoles d'ingénieurs Françaises (École Polytechnique, Centrale, École Nationale Supérieure, etc.) (figure 2), ainsi que des laboratoires de recherches de technologie de pointe (Thales, CNRS, Agro Paritech, EDF, Danone, CEA).

Son parcours s'insère dans une grande diversité de séquences et d'environnements distincts :



2
© VINCI

1- Perspective depuis la gare de Orsay-Gif.

2- Vue du viaduc dans la ZAC Polytechnique.

1- Perspective view from Orsay-Gif station.

2- View of the viaduct in the "ZAC Polytechnique" (mixed development zone).

- Les aménagements urbains en cours par l'Établissement Public d'Aménagement Paris Saclay (ZAC Polytechnique, ZAC du Moulon, ZAC de Corbeville) ;
- Les voiries à grande circulation (RN 118, RD 36) ;
- Des terres agricoles protégées.



© ARTELIA
3

Cette succession de paysages est unifiée par un ouvrage élancé et aussi continu que possible dans sa conception architecturale.

CHOIX DU CONCEPT ARCHITECTURAL

La conception architecturale (figure 1), repose sur 3 idées principales :

- Une sous-face adoucie ;
- Des rives légères ;
- Des piles dédoublées.

3- Section du viaduc en T inversé.
4- Mise en œuvre des voussoirs avec la poutre de lancement.

3- Inverted-T cross section of the viaduct.
4- Placing segments with the launching girder.

La section du viaduc retenue est ainsi de forme innovante dite en "T inversé", en béton armé et précontraint (figure 3). Cette structure est réalisée en voussoirs préfabriqués, ce qui permet de répondre aux fortes courbures du tracé (le rayon minimum étant de 250 m).

La forme en "T inversé" permet également de dégager un cheminement d'évacuation mutualisé et axial, sans structure métallique rapportée.

Par ailleurs, les deux voies du métro étant séparées par la nervure centrale du viaduc (chacune des deux voies étant positionnées sur un des encorbellements du viaduc), il devient possible pour l'exploitant d'envisager de maintenir une voie de circulation en service tout en effectuant des travaux de maintenance sur l'autre voie.

La sous-face en béton clair, légèrement incurvée, se retrouve autant sur la section courante (travées de 35 m) que sur les ouvrages non courants (franchissements de voirie, de carrefours ou de brèches comme la RN 118). Elle donne son identité au viaduc qui est principalement perçu depuis des points de vue en contrebas, que ce soit le long des routes ou depuis les espaces publics des ZAC.

CHOIX DE LA TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION

L'objectif de mise en service de la ligne en 2026 pour la partie en viaduc implique le recours à la standardisation de la construction et à la préfabrication. Le choix des méthodes constructives en découle : elles doivent être rapides avec un impact environnemental minimal. Par ailleurs, le schéma structurel du viaduc et la position de ses joints de dilatation sont contraints par l'interaction entre la voie et la structure. Les voies du métro utilisant la technologie du long rail soudé (LRS), il est nécessaire de minimiser les déformations du viaduc afin de limiter contraintes qu'elles engendrent dans les rails. Pour ce faire, le viaduc est découpé en travées indépendantes, dites isostatiques. ▷



© ARTELIA
4



5
© INGEROP



6
© ARTELIA

Ces éléments ont amené, dès la conception, à envisager une construction du viaduc par voussoirs préfabriqués, conjugués, collés et posés à la poutre de lancement (figure 4).

LES APPUIS

La géologie du plateau de Saclay est relativement homogène le long du parcours. La présence d'une couche d'argiles associée aux contraintes strictes de déformation de la voie ferrée a nécessité le recours à des fondations profondes.

Les piles reposent donc sur des semelles sur pieux, d'une profondeur moyenne de 15 m, ancrés dans le sable.

En section courante, le viaduc s'appuie sur une pile dédoublée en béton clair composée de 2 fûts elliptiques à section constante (figure 5).

Ce dédoublement permet d'éviter la présence d'un chevêtre massif en tête de pile.

La section elliptique des piles permet de répondre aux sollicitations longitudinales imposées par les métros mais aussi de libérer l'espace nécessaire à l'appui des lanceurs.

L'implantation de piles dédoublées n'est pas possible tout au long du tracé. Des obstacles au sol obligent par endroit à avoir recours à des piles à fût simple. C'est le cas par exemple dans les gares.

Les transitions entre piles à fût simple et piles à fût double sont par ailleurs des zones complexes avec report d'effort d'une travée à l'autre, ce qui nécessite le recours à des appareils d'appui spécifiques.

LES APPAREILS D'APPAREIL

Pour respecter les encombrements limités en tête de pile et les déforma-

tions strictes imposées par le rail, des appareils d'appui à pot ont été retenus. Pour les piles à fût double, afin de répartir les efforts transversaux entre les deux fûts, chaque appareil d'appui est guidé longitudinalement.

Pour les ouvrages d'art non courants et à la transition entre fûts simples et fûts doubles dans les zones de tracé courbe, des appareils d'appui anti-soulèvement ont été mis en place.

Enfin, dans certains cas spécifiques, des appareils d'appui sphériques ont également été employés.

LES TABLIERS

Les tabliers du viaduc sont composés de travées de longueur variable entre 27 et 35 m. La travée standard de

5- Alignement de piles en double fût.

6- Réalisation d'un ouvrage de communication, coulé en place.

7- Pré-forage des pieux à la tarière.

8- Réalisation des puits marocains.

5- Alignement of double bole piers.

6- Execution of a communication structure, cast in situ.

7- Preliminary auger drilling for piles.

8- Execution of "Moroccan well" shafts.

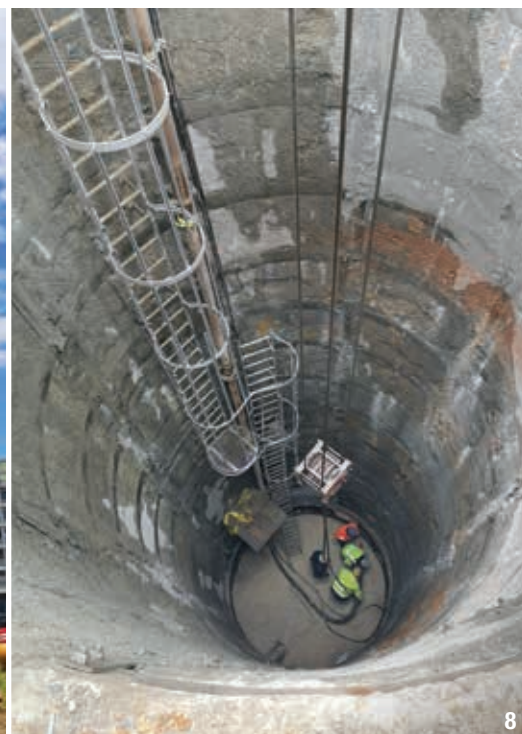
35 m est composée de 10 voussoirs de 3,5 m de long (8 Voussoirs Courants et 2 Voussoirs Sur Pile Culée).

Ces différentes longueurs de travées permettent de s'adapter aux différentes contraintes du site, hormis pour les quatre franchissements non courants pour lesquels la portée a dû être augmentée.

Deux ouvrages spécifiques de communication sont également présents sur le tracé du viaduc. Ces ouvrages permettent au métro de changer de voie. Pour ce faire, le tablier en T inversé est remplacé par un pont dalle précontraint coulé sur cintre, dont la sous-face reprend celle du viaduc courant (figure 6). Les portées de ces ouvrages sont réduites à 22 m pour compen-



7
© ARTELIA



8
© ARTELIA



9
© ARTELIA



10
© VINCI

ser la perte d'inertie liée à l'absence de caisson central. Ces ouvrages sont continus sur 100 m de long afin d'éviter la présence de joints d'ouvrage dans la zone des appareils de voie.

RÉALISATION DE L'OUVRAGE PLANNING

Le marché de travaux a été notifié en décembre 2020. La fin des principaux travaux de génie civil est prévue fin 2023.

Une seconde phase d'intervention est prévue courant 2024, après pose des voies par un marché tiers, pour la finition des travaux d'étanchéité du viaduc puis la réalisation des épreuves avec le matériel roulant (prévues en 2025).

- 9- Fausse levée.
- 10- Aire de préfabrication des voussoirs.
- 11- Stockage des voussoirs.

- 9- Initial concrete lift.
- 10- Segment pre-fabrication area.
- 11- Segment storage.

RÉALISATION DES FONDATIONS

Les pieux sont réalisés à la tarière creuse. Des préforages ont été réalisés pour passer les blocs de meulière (figure 7).

Toutes les cages d'armatures ont été équipées de manchons en tête pour être poussées dans le béton frais.

Sur certains secteurs, la couche de sable est surmontée d'un banc de grès particulièrement dur. Lorsqu'une pile se trouve au-dessus d'un tel banc de grès, soit prolongés par des micropieux traversant le grès, en fonction de l'épaisseur du banc de grès et de la présence d'effort de traction dans les pieux.

Dans les zones fortement contraintes en emprises, par exemple du fait de la présence de réseaux, ou à proximité d'installations sensibles aux vibrations, des puits marocains de 4 m de diamètre ont été réalisés (figure 8).

Les études de conception ont en effet montré que la masse de ces fondations permettait de limiter les vibrations créées par le passage du métro.

RÉALISATION DES PILES

Les piles sont de hauteur variable entre 6 et 30 m, pour une hauteur moyenne de 8 m (la hauteur des piles des OANC peut atteindre une trentaine de mètres).

Les semelles ont été réalisées dans des fouilles blindées.

Une fausse levée (figure 9) permet ensuite d'amorcer les fûts de pile et de pouvoir remblayer le terrain avant le bétonnage du reste de la pile. ▷



11
© ARTELIA



12

© ARTELIA

PRÉFABRICATION

L'aire de préfabrication des voussoirs s'étend sur plus de 7 ha. Elle est équipée d'une centrale à béton (figure 11), de grues à tour, d'un pont roulant, des cellules de préfabrication et de l'aire de stockage des voussoirs (figure 10). 10 cellules de préfabrication sont présentes sur l'aire, permettant d'assurer une cadence de production de 7 à 8 voussoirs par jour : 6 cellules sont dédiées aux Voussoirs Courants (VC), 3 cellules aux Voussoirs Sur Pile Culée (VSPC) et 1 cellule pour les Voussoirs des OANC.

La préfabrication a démarré en décembre 2021 et s'est achevée en avril 2023.

La méthode de préfabrication est dite "à joints conjugués", c'est-à-dire que le voussoir N est positionné en contre-moule du voussoir suivant N+1 ; l'autre face du voussoir est coffrée suivant un masque fixe dont le gabarit pour les réservations (gaine de précontrainte) s'adapte.

Les voussoirs des ouvrages d'art non courants sont de géométrie similaire mais nécessitent quelques adaptations. Ces voussoirs sont pleins et nervurés en sous-face pour certains.

BÉTON

Le béton du viaduc est un béton de teinte claire pour répondre aux exigences architecturales.

La teinte claire est notamment obtenue par l'emploi de laitiers dans les formules de béton, cet emploi étant

par ailleurs recherché pour limiter l'empreinte carbone de l'ouvrage. Pour les piles, le béton est de type autoplaçant.

RÉALISATION DU TABLIER

Deux lanceurs sont utilisés en simultané pour la construction du viaduc (figure 13).

Les voussoirs sont acheminés par camion depuis l'aire de préfabrication jusqu'au pied du lanceur. Ils sont

12- Mise en suspension des voussoirs.

13- Montage de la poutre de lancement.

12- Segment suspension.

13- Launching girder assembly.

ensuite levés par la poutre de lancement puis encollés, brêlés et mis en précontrainte (figure 12).

La pose des travées est effectuée sur appuis provisoires.

Le calage fin des travées en altimétrie et en planimétrie et la mise sur appui définitif est réalisé par un autre atelier suivant le lanceur.

La précision de pose des travées est de l'ordre de 25 mm, cette précision étant nécessaire en altimétrie pour le



13

© ARTELIA



© INGEROP

14

calage de la voie et en planimétrie pour le respect du gabarit limite d'obstacle. La cadence de pose au lanceur peut dépasser deux travées par semaine et par lanceur en période de pointe. Plusieurs précautions ont été prises pour limiter les aléas du chantier : les gaines de précontrainte sont prévues en surcapacité afin de permettre l'enfilage de torons complémentaires, les joints d'étanchéité entre voussoirs ont été doublés pour éviter les fuites vers l'intérieur du caisson central.

OUVRAGES D'ART NON COURANTS (OANC)

Quatre franchissements particuliers sur le tracé du viaduc nécessitent d'augmenter la portée du viaduc de 35 m à 50 m ou 58 m (figure 14). Pour ce faire, la méthode de construction au lanceur est remplacée par une construction à la grue d'un ouvrage continu par encorbellement successif. Plusieurs mesures ont été prises pour sécuriser la construction de ces ouvrages : outre la mise en place de

PRINCIPALES QUANTITÉS

VOUSSOIRS : 1 900 u
PILES : 201 u
ACIERS DE PRÉCONTRAINTÉ : 1 900 t
ARMATURES : 13 000 t
BÉTON : 100 000 m³
ÉTANCHÉITÉ : 100 000 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris
GROUPEMENT D'ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : Bg / Transamo / Algoé et Geste
GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE : Artelia / Ingerop / Arcadis
ARCHITECTE : Explorations Architecture
GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Vinci Construction Grands Projets / Dodin Campenon Bernard / Chantiers Modernes Construction / Freyssinet / Razel-Bec / Botte Fondations / Franki Fondation
PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Sendin (armatures) / Eurovia (étanchéité)
ÉTUDES D'EXÉCUTION : Vinci CBDI / Vinci ISC / Razel D2I

14- Ouvrage non courant de franchissement de la RN 118.

14- Linking structure crossing highway RN 118.

gainnes vides, les diamètres des gaines de précontrainte ont été augmentés pour limiter les risques liés à l'enfilage des torons, et les ouvrages ont été volontairement calculés avec une tension dans les câbles plus faible que la valeur autorisée.

Ces ouvrages non courants sont sur le chemin critique de l'opération puisqu'ils doivent être achevés avant le passage du lanceur.

Enfin, les travées adjacentes aux ouvrages non courants, appelées travées de fermeture, font l'objet d'un phasage spécifique avec mise en tension de la travée surélevée avant descente sur ses appuis. □

ABSTRACT

VIADUCT ON LINE 18 OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT BETWEEN PALAISEAU AND SACLAY

STÉPHANE DE GAIL, ARTELIA - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - JULIEN GAUDUCHON, ARTELIA - DAVID PETIT, INGEROP - BENOIT TEXIER, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

The viaduct on Line 18 is a continuous structure about 7 km long, formed of a prestressed concrete deck having an innovative inverted-T cross section. It is supported by more than 200 piers of average height 8 metres, and ranks among the 10 longest viaducts in Europe. Infrastructure works began at the very start of 2021, and are scheduled to last about three years. This tight schedule, given the scale of the project, led to the adoption of an "industrialised" construction methodology as of the project design stage. The prestressed concrete structure of the isostatic decks is executed by assembling segments placed using two launching girders. □

VIADUCTO DE LA LÍNEA 18 DEL GRAND PARIS EXPRESS ENTRE PALAISEAU Y SACLAY

STÉPHANE DE GAIL, ARTELIA - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - JULIEN GAUDUCHON, ARTELIA - DAVID PETIT, INGEROP - BENOIT TEXIER, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

El viaducto de la Línea 18 es una construcción continua de unos 7 km, formada por un tablero de hormigón pretensado de sección innovadora en T invertida, soportado por más de 200 pilotes de una altura media de 8 m, que lo clasifican entre los diez viaductos más largos de Europa. Las obras de infraestructura comenzaron a principios de 2021, con una duración prevista de unos tres años. Dada la amplitud del proyecto, estos breves plazos obligaron a prever desde la fase de diseño del proyecto una metodología de construcción «industrializada». La estructura de hormigón pretensado de los tableros isostáticos se realiza por ensamblaje de las dovelas, colocadas mediante dos vigas de lanzamiento. □



1
© BERTHOLD - J. PETRIGNET

REMPLACEMENT DE LA PASSERELLE EN GARE D'HAZEBROUCK (59)

AUTEURS : CYRIL DUBOIS, CHEF DE PROJET OUVRAGES D'ART, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, ARCHITECTE, EGIS

LA NOUVELLE PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT DU FAISCEAU FERROVIAIRE EST UN OUVRAGE EMBLÉMATIQUE AU CŒUR DE LA VILLE D'HAZEBROUCK. ELLE VIENT REMPLACER L'ANCIENNE PASSERELLE, DÉCONSTRUITE, ET ASSOCIE UN FONCTIONNEMENT DE FRANCHISSEMENT DU FAISCEAU FERROVIAIRE SELON UN AXE VILLE-VILLE AVEC UNE DESSERTE DES QUAIS DE LA GARE POUR PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE. CETTE LIAISON HISTORIQUE RENAIT AUJOURD'HUI EN VALORISANT LES MODES DOUX, L'ACCESSIBILITÉ À TOUS ET S'INSCRIT DANS LE DÉVELOPPEMENT FUTUR DES QUARTIERS DE LA GARE ENGAGÉ PAR LA COMMUNE.

LE CONTEXTE ET LES ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX DE CONCEPTION

La nouvelle passerelle franchit le faisceau ferroviaire dans la portion Ouest de la gare d'Hazebrouck, à proximité de la passerelle existante qu'elle remplace. Contrairement à la passerelle existante, ne desservant pas les quais, sa vocation est double : le franchissement du faisceau ferroviaire, selon un axe ville-ville, et la desserte des quais de la gare, accessible aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR) (figure 1).

La nouvelle passerelle remplace l'ancienne, construite en 1924 et qui était de type multi bow-string en béton armé (figure 2). Lors des phases d'études AVP, plusieurs solutions architecturales réalisées par l'architecte Pierre-

Louis Carlier ont été présentées aux commanditaires et ont conduit à un franchissement iconique, via un arc au-dessus du faisceau ferroviaire complet, avec jonction des arches à la clé et forme circulaire du tirant.

D'une longueur totale de 75,75 m et avec une portée de 73,75 m, la passerelle est ouverte et dégage un gabarit piéton de 3,50 m de largeur entre mains courantes et de 2,50 m de hauteur utile.

L'ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION - UNE GARE ET UN QUARTIER EN PLEIN RENOUVEAU

Le remplacement de la passerelle s'insère dans un contexte de renouveau du quartier de la gare à Hazebrouck, avec notamment la réalisation d'un bâtiment

1- Photo aérienne de la passerelle neuve.

1- Aerial photo of the new foot bridge.

tertiaire et d'un pôle d'échange multimodal au nord du faisceau. Au sud du faisceau, le bâtiment voyageurs, dont le parvis a été préalablement réaménagé, est conservé.

Il résulte de l'ensemble de ces projets, à temporalités différentes, une implantation complexe de la passerelle. Le principe initial n'a pu être reconduit et a donc nécessité une reprise de la conception technique et architecturale

du projet notamment au niveau de la structure de l'arc, des escaliers et des appuis.

L'implantation a été également modifiée en phase Projet, à une position très proche de la passerelle existante, conduisant à la nécessité de déconstruire la passerelle existante pour pouvoir réaliser les travaux de la passerelle neuve.

DÉCONSTRUCTION D'UN MULTI BOW-STRING

L'ancienne passerelle en gare d'Hazebrouck était un ouvrage en béton armé dont la construction remontait à 1924 sous l'Abbé Lemire (1853-1928, député-maire d'Hazebrouck, créateur des jardins ouvriers, NDLR). Elle permit de créer un lien entre les moitiés Nord



© EGIS - J. CATTET

© EGIS - C. DUBOIS

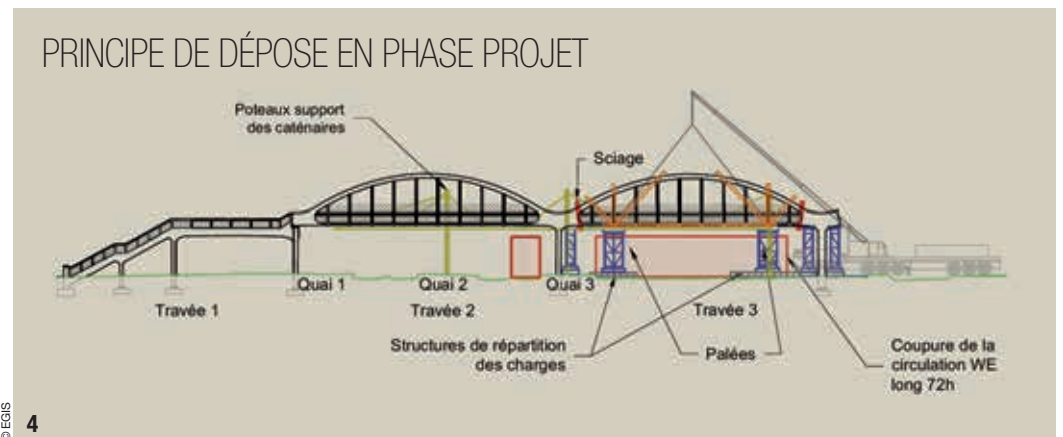
- 2- Vue de l'ancienne passerelle.
- 3- Nœud commun à deux bow-strings.
- 4- Principe de dépose en phase projet.
- 5- Illustration des calculs pour justifier la dépose de l'ouvrage.

- 2- View of the old foot bridge.
- 3- Joint common to two bowstring girders.
- 4- Removal method in the project phase.
- 5- Illustration of calculations justifying the removal of the structure.

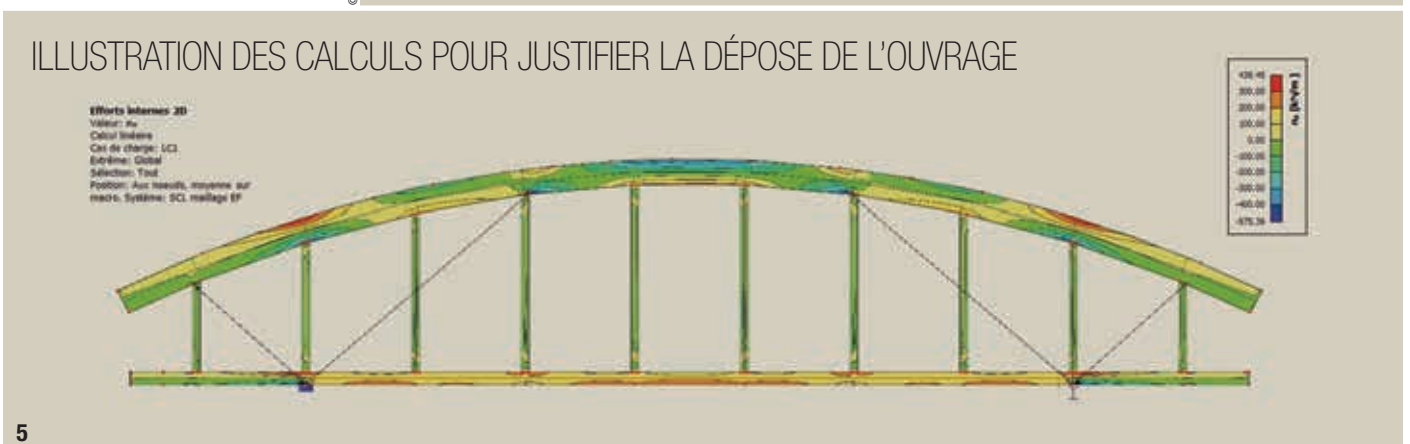
et Sud de la ville coupée en deux par le faisceau ferroviaire. Mise en service en 1927, la passerelle franchit le faisceau ferroviaire sur une longueur totale de 124,90 m. Il s'agit d'un ouvrage en béton armé composé de cinq travées. La travée Sud est un portique en béton armé indépendant de 12,90 m située du côté de l'actuel bâtiment voyageurs de la gare ferroviaire. Les quatre autres travées sont des

structures de type bow-string de portée 28 m, continus entre eux et encastrés au droit des appuis communs. Des études pour la réhabilitation et la mise aux normes de la passerelle ont été réalisées en 2011, cependant ce projet n'a pas abouti. La solution qui a finalement été retenue par l'ensemble des parties prenantes du projet est la construction d'une nouvelle passerelle combinant les fonctions de traversée

ville-ville et de desserte des quais de la gare routière pour l'ensemble des usagers, y compris les Personnes à Mobilité Réduite (PMR), et la déconstruction de la passerelle existante. Afin de procéder à la déconstruction de la passerelle, des investigations complémentaires ont été réalisées en phase projet. Ces investigations complémentaires visaient à déterminer et identifier les points suivants :



© EGIS



© EGIS - C. DUBOIS



6 © SNCF RESEAU - A. MAGNIER

- Le ferrailage des nœuds des bow-string, non documentés ;
- L'état de corrosion des armatures apparentes de l'ouvrage ;
- Le coffrage réel de la structure, les plans existants n'étant pas conformes aux constats visuels sur terrain.

Ces investigations ont permis de réaliser notamment les constats suivants, en vue de la conception de la méthode

de déconstruction, en phase projet :

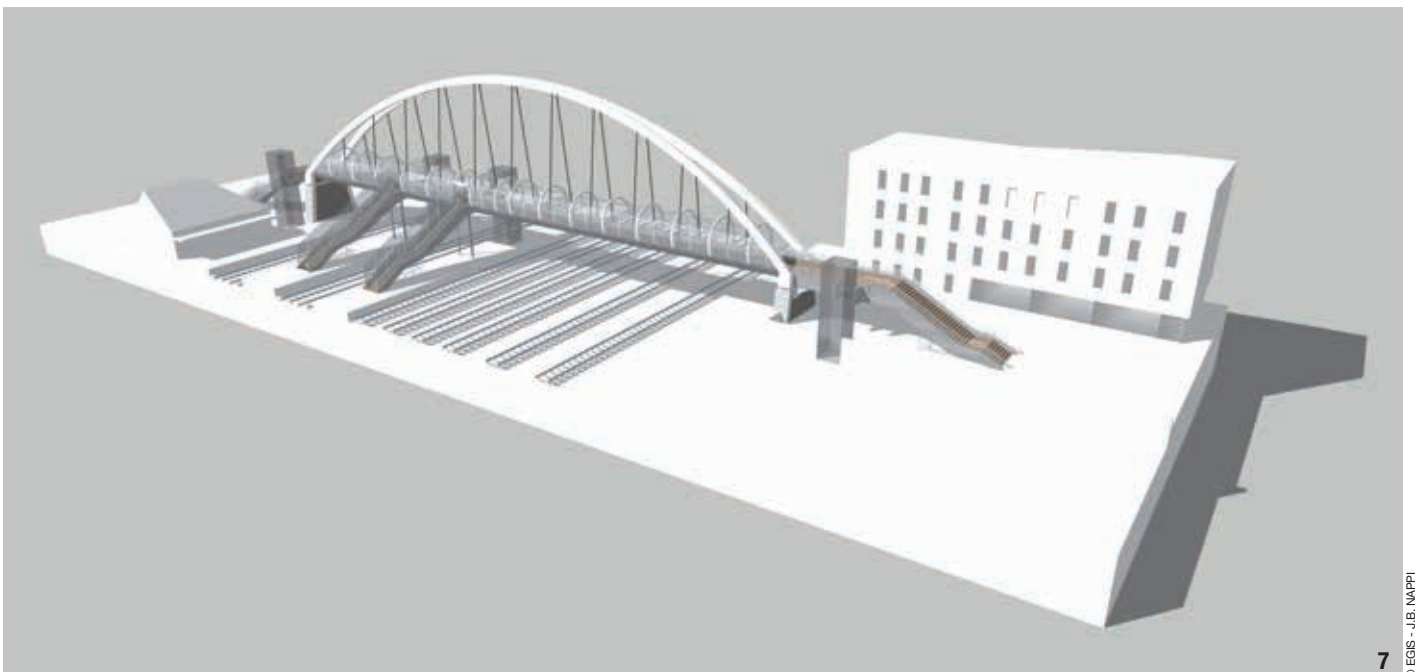
- Le ferrailage des tirants est continu au droit des nœuds (figure 3), et la déconstruction d'une travée doit être réalisée en laissant les nœuds en place, afin de ne pas risquer la ruine de la travée adjacente ;
- Les armatures sont fortement corrodées, et des pertes de sections importantes sont constatées ;

**6- Photo de la déconstruction.
7- Vue 3D de la nouvelle passerelle.**

**6- Photo of deconstruction.
7- 3D view of the new foot bridge.**

- Le coffrage réel de la structure est plus important que le coffrage des plans. Il en résulte une masse moyenne d'un bow-string d'environ 95 t d'axe à axe, et 75 t sans les nœuds arc-tirant.

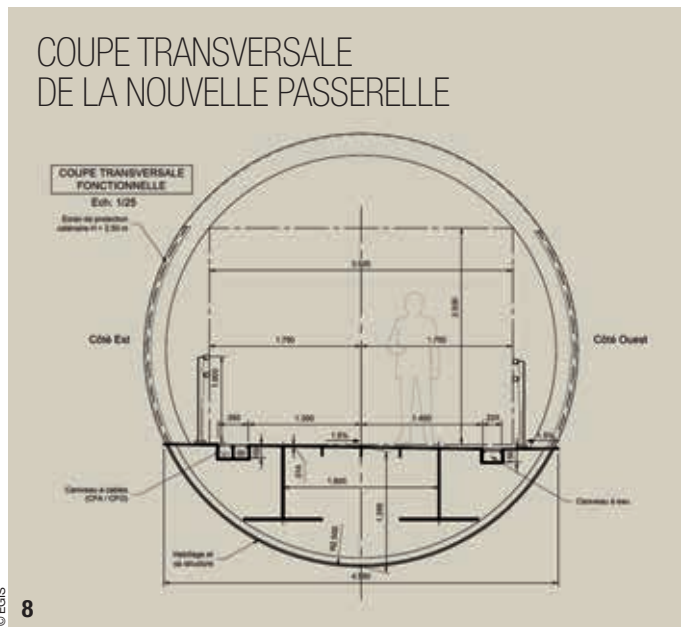
La déconstruction de l'ouvrage a été conçue en conséquence, par dépose des travées principales par grutage de travée entière, soulevée hors nœuds arc-tirant, suivie d'une déconstruction



7 © EGIS - J.B. NAPPY

in situ. Cette méthode consiste à scier l'ouvrage hors des nœuds arc-tirant, laissant ces nœuds intacts, et de soulever l'ouvrage par la membrure supérieure ou inférieure, sans conserver le fonctionnement bow-string (figure 4). Les trois travées à proximité du réseau ferré national (RFN) ont été déconstruites selon le même principe, y compris une travée ne surplombant pas le RFN, servant de répétition aux opérations coup de poing pour les travées surplombant le RFN.

Un tel scénario a l'avantage de ne pas perturber la structure non déconstruite. La conception de la déconstruction de l'ouvrage a ainsi conduit à la nécessité de renforcer chaque travée lors de sa déconstruction, à l'aide d'une ossature métallique, venant reprendre une partie des efforts dans la structure existante,



8

8- Coupe transversale de la nouvelle passerelle.

9- Vue du modèle barres utilisé en phase projet.

10- Vue du modèle plaques utilisé en phase projet.

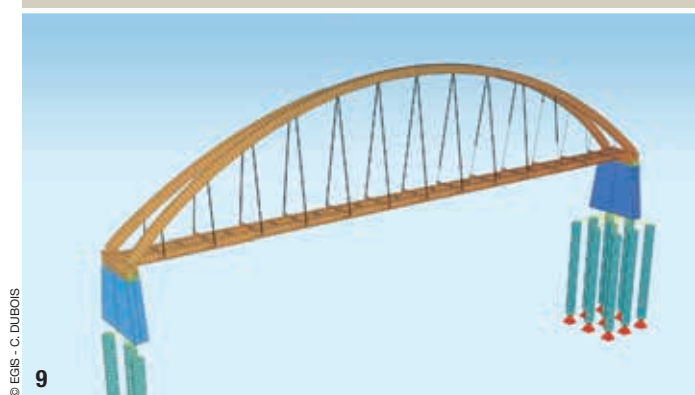
11- Vue 3D des escaliers d'about.

8- Cross section of the new foot bridge.

9- View of the bar model used in the project phase.

10- View of the plate model used in the project phase.

11- 3D view of end stairways.



9



10



11

fonctionnant dès lors comme une poutre sur deux appuis (figure 5).

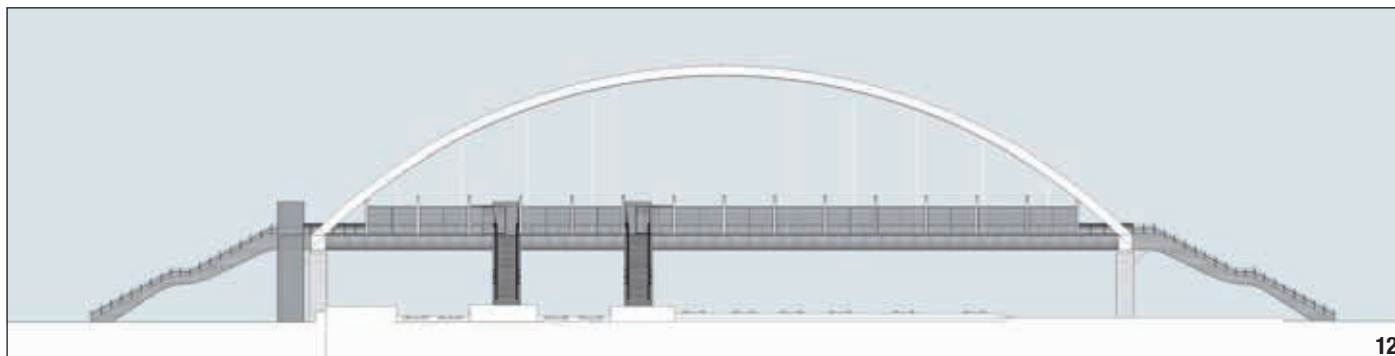
Les solutions classiques de déconstruction par travées ne peuvent pas être envisagées, dans la mesure où la stabilité de chaque travée n'est assurée que grâce aux nœuds qui sont communs avec les travées adjacentes.

Les opérations de déconstruction se sont déroulées telles que conçues (figure 6). Lors de week-ends de fermetures partielles du faisceau ferroviaire, seules deux voies étaient laissées en service.

UN OUVRAGE DE TYPE BOW-STRING POUR LE FRANCHISSEMENT

L'ouvrage est une structure de type bow-string (figure 7). Le tirant est une structure métallique à deux poutres principales, habillée par une tôle courbe non structurale en sous-face, formant une enveloppe globale de hauteur 1,40 m à l'axe et de largeur 4,55 m. Ces choix ont été dictés par le respect de l'image architecturale du projet, par la simplification de la réalisation de l'ouvrage, ainsi que par la possibilité de poser l'ouvrage sur des appuis provisoires lors des différentes phases de travaux, directement via les poutres longitudinales et non via une tôle structurale courbe imaginée initialement (figure 8). Le tirant est connecté à deux arcs de type caisson rectangulaire inclinés vers l'intérieur et venant fusionner à la clé. La connexion est réalisée via une pièce métallique transversale aux abouts. La transmission des efforts provenant du tirant aux arcs est assurée par treize paires de suspentes à barres verticales en élévation et disposées tous les 5,50 m. Le tablier repose sur 2 files d'appuis, comprenant chacune 2 appareils d'appui à pot. Le point fixe de l'ouvrage est situé sur la file d'appuis Nord, tandis que la file d'appuis Sud constituera un point glissant longitudinal. Initialement de type arc, la passerelle a été modifiée en ouvrage de type bow-string lors de la phase projet, afin de réduire le nombre et le coût des fondations profondes. En effet, une poussée oblique, typique d'un ouvrage en arc, est à proscrire sur des couches de sols souples telles que les argiles des Flandres.

La structure a été étudiée à l'aide de deux types de modèles : un modèle à barres (figure 9), utilisé pour les effets globaux, et un modèle éléments finis (figure 10), utilisé pour les effets locaux et pour réaliser un calage de l'inertie du tirant dans l'étude dynamique.



12

© EGIS - J.B. NAPPI

UN TRAITEMENT ARCHITECTURAL JUSQUE DANS LE DÉTAIL

La conception architecturale, réalisée lors de la phase projet, a eu pour objectif de traiter l'ensemble des sujets laissés en suspens lors de la phase AVP et trouver de nouvelles solutions pour s'adapter aux nouvelles conditions du site. On note ainsi :

- La recherche des possibilités de réalisation et d'intégration de l'ouvrage dans un contexte urbanisé en mutation ;
- Le traitement architectural résultant de la transformation d'un arc en bow-string (géométrie en section et en élévation) ;
- La création d'appuis pour le tablier qui découle du changement de structure ;
- La conception architecturale globale des escaliers, adaptés au nouvel ouvrage (figure 11) ;
- La définition des écrans de protection caténaire sur ouvrage et sur escaliers ;
- Le design des garde-corps ;
- L'intégration de l'éclairage réglementaire et la conception d'un éclairage scénographique pour l'ouvrage ;
- La conception des détails d'une phase projet, au niveau des couleurs (RAL), des matériaux (aspect des bétons, du métal, des revêtements...) et des calepinages (écrans, anneaux et tôles d'habillage).

La volonté architecturale a été double et menée en interaction avec la conception structurelle, à savoir :

- Affirmer dans la ville le franchissement de ce faisceau ferroviaire historique via un mode doux au moyen de symboles forts comme l'arc et fonctionnels comme les escaliers en continuité avec le tablier (figure 12) ;
- Préserver les transparences visuelles, au niveau des écrans de protection avec l'utilisation de maille métal à pas variable, et au niveau des escaliers en limitant la présence des points d'appuis (figure 13).

Le projet architectural a su s'adapter aux contraintes d'exploitation et de sécurité en recherchant le maintien d'une structure visuellement légère. Par sa blancheur et sa finesse, la structure émerge au-dessus des toitures grises de la ville comme un symbole du renouveau urbain des quartiers du centre historique et du nouveau monde de jour comme de nuit.

UNE INTERFACE COMPLEXE AU DROIT DES QUAIS

Les structures métalliques des tours d'ascenseur et des escaliers sont indé-

pendantes de la structure de la passerelle, ce qui conduit à une continuité du cheminement PMR à réaliser, tenant compte des déplacements différentiels dans les trois directions de la passerelle : verticale (flèche du bow-string), longitudinale (dilatation thermique) et transversale (vent notamment). Cette continuité des déplacements implique également une continuité des équipements, notamment des lisses des garde-corps et des écrans de protection caténaire ou encore une continuité avec les cages d'ascenseurs.

UNE MISE EN PLACE EXCEPTIONNELLE

La mise en place de la passerelle a été conçue pour une mise en place par éléments, au-dessus du faisceau ferroviaire, à l'aide de palées provisoires (figure 14), permettant de toujours laisser en circulation deux voies ferrées.



13

© EGIS - D. ALLIBERT

12- Élévation de la nouvelle passerelle.

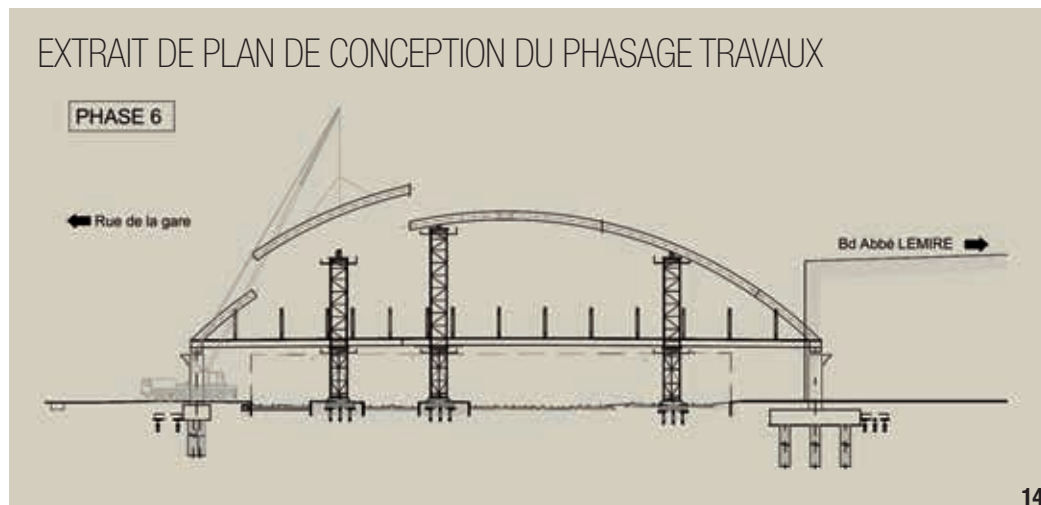
13- Photo de la maille des écrans de protection caténaire.

14- Extrait de plan de conception du phasage travaux.

12- Elevation view of the new foot bridge.

13- Photo of the mesh of catenary system protective shields.

14- Excerpt from the work sequencing design plan.



14

© EGIS



15

© EGIS - D. ALLIBERT

15- Photo de la pose de la passerelle.

16- Photo de la pose des escaliers.

15- Photo of foot bridge installation.

16- Photo of stairway installation.

La mise en place a fait l'objet d'une variante entreprise, avec mise en place en une seule coupure, à l'aide d'une des plus grosses grue d'Europe, la grue treillis SL3800 en configuration superlift (figure 15), permettant de lever plus de 300 t à 28 m. La passerelle a ainsi pu être levée et mise en place avec la grande majorité de ces équipements, limitant les interfaces avec le réseau ferroviaire exploité, et donc les besoins



16

© EGIS - D. ALLIBERT

PRINCIPALES QUANTITÉS

ANCIENNE PASSERELLE, HORS FONDATIONS

BÉTON ARMÉ : 250 m³

NOUVELLE PASSERELLE, ESCALIERS INCLUS

ACIER DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 312 t

BÉTON ARMÉ APPUIS ET FONDATIONS : 784 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : SNCF Réseau

MAÎTRE D'ŒUVRE PARTICULIER (PRO - ACT - VISA) : Egis

MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX : SNCF Réseau

CONTRÔLE TECHNIQUE : Socotec

GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX :

Nge GC / Nge Fondations / Berthold (passerelle) /

Baudin Chateauneuf Métal Nord (escaliers)

BET ÉTUDES GÉNIE CIVIL : Ingerop

BET ÉTUDES CHARPENTE : Cogeci

SOUS-TRAITANT LEVAGE PASSERELLE NEUVE : Sarens

en Interruptions Temporaires de Circulation (ITC).

Lors de ce même week-end de coupure, les escaliers d'accès aux quais ont également été mis en place (figure 16).

CONCLUSION

Le remplacement de la passerelle en gare d'Hazebrouck par la structure en arc monumental est considéré par la ville comme le "chantier du siècle". Véritable ouvrage emblématique, il est le symbole des transformations en cours autour de la gare de cette ville, hub ferroviaire de la Région Hauts-de-France, à la croisée des lignes Lille-Calais et Arras-Dunkerque.

Ouvrage à la fois très technique et majestueux, il aura bénéficié d'une conception particulièrement soignée, d'une réalisation très rigoureuse et d'une mise en place astucieuse, et aura permis des échanges fructueux entre maître d'œuvre et entreprises. □

ABSTRACT

REPLACEMENT OF THE FOOT BRIDGE IN HAZEBROUCK STATION

CYRIL DUBOIS, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, EGIS

The existing foot bridge crossing the railway sidings in Hazebrouck station, 10 tracks wide, was replaced with an emblematic engineering structure in this rail hub. The existing structure, consisting of four reinforced concrete bowstring girders, was deconstructed by removing complete spans after strengthening, leaving intact the bowstring girder truss joint shared with the adjacent span. The new foot bridge is of the bowstring type and passes over the railway sidings without intermediate supports. It is connected to stairways and lifts at the ends and on the span, at the level of the two station platforms. For installation of the structure an exceptional crane was used, capable of lifting 300 tonnes to 28 metres, so as to limit the impact on the railway network. □

SUSTITUCIÓN DE LA PASARELA EN LA ESTACIÓN DE HAZEBROUCK (dpto. 59)

CYRIL DUBOIS, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, EGIS

La pasarela existente que cruza el haz ferroviario en la estación de Hazebrouck, con una anchura de diez vías férreas, ha sido sustituida por una emblemática obra de fábrica en este nodo ferroviario. La construcción existente, formada por cuatro bow-strings de hormigón armado, se ha deconstruido retirando las luces enteras previo refuerzo, dejando intacto el nudo arco-tirante común con la luz adyacente. La nueva pasarela es de tipo bow-string y franquea el haz ferroviario sin apoyos intermedios. Está conectada a escaleras y ascensores en sus extremos y en la luz, frente a los dos andenes de la estación. La instalación de este elemento ha precisado el uso de una grúa excepcional, capaz de levantar 300 t a 28 m, para limitar el impacto sobre la red ferroviaria. □



© QUADRIC

DIAGNOSTIC ET RÉHABILITATION DU PONT DE BRIGNOUD (38) SUITE À UN INCENDIE

AUTEURS : MELCHIOR DE LA CONDAMINE, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, QUADRIC GROUPE ARTELIA -
PASCALE GUICHON, RESPONSABLE PÔLE MAÎTRISE D'ŒUVRE CONCEPTION, QUADRIC GROUPE ARTELIA -
THIBAUT ARRACHEPIED (ADJOINT CHEF DU SERVICE OUVRAGES D'ART ET RISQUES NATURELS)

« En hommage à Florent Michel, Chef de Service Ouvrages d'Art et Risques Naturels au Département de l'Isère, qui s'est fortement mobilisé et impliqué sur cette opération et nous a tragiquement quittés le 8 mars dernier. »

EN RAISON DE L'INCENDIE, SURVENU EN AVRIL 2023, DE RÉSEAUX ACCROCHÉS SOUS LE PONT DE BRIGNOUD SUR LEQUEL CIRCULENT 27 000 VH/J, L'OUVRAGE A SUBI DES DÉGRADATIONS IMPORTANTES ET A ÉTÉ FERMÉ À LA CIRCULATION. LE DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE A CONFIE À QUADRIC GROUPE ARTELIA UNE MISSION D'ASSISTANCE DE DIAGNOSTIC ET DE DÉFINITION DE SOLUTIONS DE REMISE EN CIRCULATION RAPIDE, POURSUIVIE EN PHASE CONSULTATION ET TRAVAUX. HUIT MOIS APRÈS L'INCENDIE, L'OUVRAGE ÉTÉ ROUVERT AUX VÉHICULES LÉGERS SUITE À LA RÉALISATION D'UN PLATELAGE MÉTALLIQUE S'APPUYANT SUR LES ÉLÉMENTS LES PLUS ROBUSTES DE L'OUVRAGE.

CONTEXTE DU PROJET

Dans la nuit du 4 au 5 Avril 2022, un incendie criminel s'est propagé le long des réseaux électriques haute tension en intrados du pont de Brignoud. L'intrados du tablier étant visiblement gravement endommagé, la circulation a été coupée immédiatement.

Le pont, qui franchit l'Isère, est situé sur la RD10 entre la gare de Brignoud et le complexe industriel de Crolles, au droit d'une bretelle de l'autoroute

A41 à proximité Grenoble. Il s'agit d'un ouvrage crucial pour les transports dans la vallée du Grésivaudan, comme en atteste la circulation journalière d'environ 27 000 vh/j.

L'objectif était de le remettre en service le plus vite possible, a minima pour les véhicules légers.

Les services du Département de l'Isère ont traité en urgence cette opération en mobilisant d'importants moyens de conduite d'opération et de suivi de

1 - Vue du
platelage fini.

1 - View of
the completed
decking.

premier temps celle des cycles et des piétons avec maintien tout au long des travaux, puis la circulation des véhicules légers. Pour cette opération, la collectivité a également mobilisé Quadric groupe Artelia pour une assistance technique portant sur la gestion de l'ouvrage comprenant le diagnostic et la définition de solutions de remise en circulation rapide, et s'est poursuivie en phases consultation et travaux.

travaux. Cette mobilisation a permis la réalisation accélérée de l'ensemble des opérations et des arbitrages nécessaires pour réaliser au plus vite une remise en circulation, dans un



© MAIRIE DE BERNIN
2

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont de Brignoud a été construit en 1937 par l'entreprise Éd. Zublin et Cie et A. Perrière de Strasbourg, en remplacement de l'ancien pont suspendu. L'ouvrage est composé de trois travées de type arc-et-tirant en béton armé de 35 m de long, pour une longueur totale de 105 m. Chaque travée est isostatique et repose sur des appuis métalliques à rotule et à rouleaux. Le tablier est constitué d'un hourdis de 20 cm d'épaisseur porté par des longerons longitudinaux et des pièces de pont transversales au droit des suspentes. Les suspentes sont espacées de 2,5 m.

La coupe fonctionnelle est constituée d'une chaussée de 6,0 m avec deux voies de circulation, entourée de deux trottoirs de 1,0 m, pour une largeur totale de 9,0 m. Les deux culées et les deux piles dans l'Isère sont en maçonnerie. Dans les années 1980, l'intégralité de l'intrados a été recouvert d'une couche de béton projeté de 2 cm d'épaisseur.

Le département de l'Isère dispose d'un dossier d'ouvrage complet avec plans et notes de calculs d'origine, inspections détaillées et diagnostics ultérieurs, ce qui a permis une bonne connaissance de l'ouvrage, très utile pour le diagnostic.

2- Incendie sur l'ouvrage.
3- Vue aérienne de l'ouvrage.

2- Fire on the structure.
3- Aerial view of the structure.

DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE SUITE À L'INCENDIE VISITE SUR SITE

Pour cette première visite le surlendemain de l'incendie, les services du Département et Quadric, ainsi que la

filiale d'Artelia Artedrone ont réalisé une visite d'expertise afin d'obtenir un visuel sur l'intrados de la travée centrale invisible depuis les rives, après obtention en urgence des autorisations de vol.

En effet, au vu des éclatements de béton importants et généralisés en intrados du hourdis, la mise en place d'une nacelle négative n'était pas envisageable.

Les premières observations ont permis de constater que la structure principale de type arc-et-tirant en béton armé paraissait peu impactée par l'incendie, mais qu'en revanche le tablier avait



3
© ARTEDRONE

subi des dégradations importantes. Les observations depuis les berges et les prises de vue au drone ont permis de relever : un éclatement généralisé de l'intrados du hourdis de plusieurs centimètres de profondeur dans les alvéoles formées par la grille de poutres, allant au-delà des nappes des aciers inférieurs ; des éclats généralisés avec aciers apparents sur 2 des 4 longerons ainsi que sur la majorité des pièces de pont au droit des réseaux électriques ; des traces de suif sur les tirants avec quelques éclats du béton projeté.

On note aussi des décollements de plaques de béton projeté et des teintes de béton jaune/orange dans certaines zones.

Les désordres au niveau du hourdis et des poutres situées au droit des trottoirs étant visuellement faibles (pas d'éclat de béton), la circulation des piétons et cycles a été jugée admissible à condition qu'une clôture Héras empêche l'accès à la chaussée.

À l'issu de cette visite, les orientations suivantes sont prises avec la maîtrise d'ouvrage pour une remise en service rapide :

- Réalisation d'une visite complémentaire par cordiste pour obtenir des informations visuelles dans l'espace entre le tablier et les piles, non visible au drone ;
- Réalisation d'analyse sur les bétons et les aciers pour identifier d'éventuelles pertes de résistance des matériaux ;
- Étude de solutions de remise en service à mener en parallèle des analyses matériaux afin gagner le plus de temps possible.

DIAGNOSTIC DES MATÉRIAUX

Les différents éléments du tablier en intrados n'étaient pas visuellement endommagés au même niveau de gravité.

La campagne de diagnostic a eu pour objectif de déterminer la résistance résiduelle du béton et des aciers sur chaque élément (tirants, pièces de pont, longerons, hourdis). Pour chaque partie d'ouvrage, trois prélèvements ont été réalisés dont deux dans des zones touchées par l'incendie et un dans une zone épargnée.

Les essais réalisés sur le béton incluent des essais de compression, un dosage en chlorures et un examen au microscope électronique à balayage. Pour les aciers, les essais réalisés étaient des essais de traction et des examens métallographiques.



© QUADRIC

Les prélèvements et les analyses ont été réalisés par le Lerm (Laboratoire d'Études et de Recherche sur les Matériaux) mobilisé en urgence moins de 4 semaines après l'incendie, avec l'assistance d'une équipe de 4 cordistes de la société Vta sur 5 jours avec des accès compliqués en sous-face du fait de l'état de l'intrados et de la présence des vestiges de réseaux et de leurs supports.

La résistance moyenne en compression obtenue est de 27 MPa sur les échantillons en zone dégradée et 40 MPa en zone saine. L'incendie semble donc avoir réduit la résistance

en compression des bétons, mais la résistance résiduelle reste nettement supérieure aux hypothèses de calcul qui considéraient une résistance de 20 MPa dans la note de calcul d'origine de 1935. Par ailleurs, les analyses au microscope électronique à balayage n'ont pas révélé de signes particuliers en lien avec un échauffement dans les prélèvements en zones dégradées. Concernant les chlorures, seuls les prélèvements exposés au ruissellement depuis les joints de chaussée contiennent des taux de chlorures proches de 0,4% en poids de ciment, voire supérieurs.

4- Inspection par Artedrone.

5- Vue de l'intrados incendié.

6- Prélèvements du hourdis en zone saine et incendiée.

4- Inspection by Artedrone.

5- View of the burnt intrados.

6- Sampling of the deck section in healthy and burnt areas.

Le béton restant sur l'ouvrage est globalement sain et de bonne qualité, sa résistance est désormais réduite dans les zones qui ont été exposées au feu, mais il conserve une résistance résiduelle correcte.

L'impact majeur sur le béton est constitué des pertes de section liées à l'éclatement du béton jusqu'à 9 cm de profondeur (béton projeté inclus) en intrados du hourdis.

On peut noter que le béton projeté appliqué dans les années 80 a probablement limité l'impact sur le béton structural d'origine et la profondeur des dégradations.

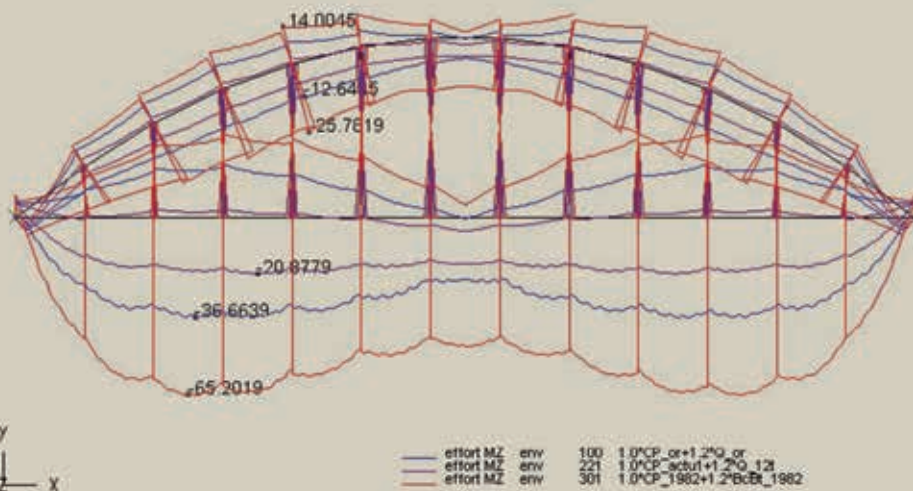


© QUADRIC



© LERM

COMPARAISON DES MOMENTS DE FLEXION AVEC LE MODÈLE DE CALCUL 2D SUR ST1



© QUADRIC

7

Les essais de traction des aciers ont été réalisés sur des prélèvements de la nappe inférieure du hourdis exposée et sur des cadres d'effort tranchant pour les autres éléments, en zone dégradée et en zone saine. Les résultats de ces essais étaient très disparates avec des limites élastiques variant de 279 MPa à 464 MPa et un allongement à la rupture allant de 17,5% à 36,0%. Les examens métallographiques ont révélé des aciers avec des structures différentes ferritique, ferrito-perlitique ou perlito-ferritique, sans corrélation notable entre les zones saines et les zones dégradées. Ces essais permettent de conclure en l'absence d'altération irréversible des aciers exposés à l'incendie. On note que la limite élastique la plus faible obtenue de 279 MPa reste supérieure aux 240 MPa considérés dans la note de calcul d'origine de 1935.

Le diagnostic indique également la très bonne qualité des armatures pour cette époque et indique que les technologies de réalisation étaient plutôt maîtrisées mais non régulières avec des pratiques variables de trempe dont les effets se voient sur la structure des aciers (bien que non scientifiquement connues à l'époque).

ÉTUDE DE SOLUTIONS VARIANTES ÉTUDIÉES

Trois solutions de remise en service ont été envisagées : une réparation de l'ouvrage permettant de rouvrir à la circulation VL et PL, la mise en place d'un pont de secours adjacent à l'ouvrage ou par-dessus la chaussée reposant au niveau des piles existantes, et la réalisation d'un platelage métallique s'appuyant sur les éléments visuellement peu endommagés tels que les pièces de pont ou les tirants. ▷



© QUADRIC

8

7- Comparaison des moments de flexion avec le modèle de calcul 2D sur ST1.

8- Vue du prototype.

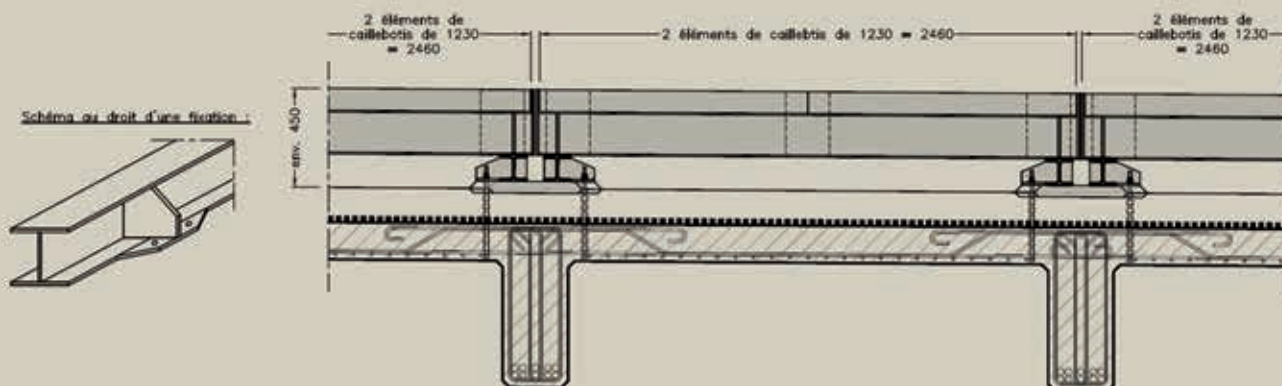
9- Coupe longitudinale projet.

7- Comparison of bending moments with the 2D design calculation model on ST1.

8- View of the prototype.

9- Longitudinal section of the project.

COUPE LONGITUDINALE PROJET



© QUADRIC

9



10

© DÉPARTEMENT DE LISIÈRE

Pour toutes les solutions étudiées, le CD38 a privilégié des solutions permettant le maintien des modes doux, y compris en phase travaux.

La solution de réparation de l'intrados a été écartée du fait d'un délai de réalisation très important (de l'ordre de 10 mois de travaux hors période de préparation), accompagné d'aléas techniques et d'un coût jugé très important. Parmi les éléments techniques défavorables on pouvait noter les aléas sur la résistance résiduelle des aciers du hourdis et des longerons, ainsi que les conditions d'accès à l'intrados et de l'impossibilité d'utiliser des engins sur l'ouvrage.

La deuxième solution de pont de secours pouvant notamment être mis à disposition par le CNDPS (centre national des ponts de secours) a été écartée pour des raisons techniques et pratiques. Pour un pont de secours adjacent à l'ouvrage, des piles provisoires en rivière auraient été nécessaires, compliquant considérablement le projet et allongeant les délais, tandis qu'un pont de secours au-dessus de la chaussée et reposant sur les piles existantes n'était pas compatible avec la configuration de l'ouvrage et le maintien de 2 voies de circulation.

La solution retenue a consisté à mettre en œuvre un platelage métallique permettant de ponter le hourdis en s'appuyant sur les éléments suffisamment robustes. Cette solution présentait l'avantage d'une durée de travaux estimée à environ 2 mois permettant la remise en service la plus rapide avec

une limitation des aléas et un coût plus faible. Au vu des désordres observés sur le hourdis et les longerons il a été admis que le platelage ne devrait pas s'appuyer sur ces éléments, en faisant l'hypothèse que les pièces de pont et les arcs seraient aptes à reprendre la descente de charge finale. Une seconde solution de platelage ne reposant pas sur les pièces de pont a aussi été étudiée en parallèle au cas où les résultats des investigations sur ces éléments seraient défavorables. La solution de platelage reposant sur

10- Pose du caillebotis à l'aide du portique de manutention.

11- Détail du caillebotis terminé.

10- Placing grating with the handling gantry crane.

11- Detail of completed grating.

les pièces de pont a été poussée au stade PRO/ACT en 2 mois en parallèle des diagnostics des matériaux pour réduire au maximum les délais de l'opération. Pour ce faire, certaines hypothèses restrictives ont dû être prises pour sécuriser la solution vis-à-vis de l'aléa sur la résistance des matériaux. Le choix a été fait de limiter la circulation aux véhicules légers afin de pallier l'augmentation de la charge permanente sur l'ouvrage.

RECALCUL DE L'OUVRAGE

Dans un premier temps, l'analyse de portance est menée en comparant les surcharges d'origine de la circulaire de 1927 qui envisageait des camions de 16 t, avec celles du Fascicule 61-II de 1971 puis avec les surcharges réduites pour une classe de limitation à 3,5 t plus le poids propre du platelage. L'analyse montre que les efforts dans la configuration prévue sont inférieurs à ceux prévus à l'origine et ceux de Fascicule 61-II dans les arcs, les suspentes et les tirants. Les sections critiques de ces éléments sont tout de même recalculées pour vérifier à la réception des analyses des matériaux que la résistance minimale nécessaire est supérieure aux résultats des essais. Les pièces de pont étant sollicitées différemment par rapport à la configuration d'origine, elles sont aussi recalculées vis-à-vis des sollicitations prévues pour déterminer la résistance minimale nécessaire des aciers et du béton. Cet élément s'avère être le plus critique en raison de la diminution de l'épais-



11

© QUADRIC

seur de la table de compression avec laquelle ces éléments ont été conçus. Ces calculs ont permis de montrer que l'ouvrage était légèrement sous-dimensionné vis-à-vis des cas de charge sous poids lourds selon le Fascicule 61-II de 1971, confirmant la nécessité d'interdire l'ouvrage aux PL compte tenu des dégradations engendrées par l'incendie.

Par la suite, la résistance des matériaux obtenus sur les échantillons prélevés s'est avérée supérieure à la résistance nécessaire pour la solution de platelage métallique, validant sa faisabilité.

PLATELAGE MÉTALLIQUE

La solution finalement retenue consiste en un système de caillebotis métalliques reposants sur un cadre métallique appuyé uniquement sur les pièces de pont présentes au droit des suspentes. Les trottoirs sont laissés libres, tel que dans la configuration existante, pour le passage des cycles et des piétons.

Cette conception a été guidée par la volonté d'utiliser des éléments standard du commerce pour faciliter l'approvisionnement.

Afin de faciliter le chantier, l'ossature métallique est décomposée en cadres de 2,5 m x 2,5 m constitués de deux traverses et trois longerons. Deux cadres côte à côte permettent de ponter un tronçon de 2,5 m de long entre deux pièces de pont, en ayant une chaussée de 5,0 m.

Les cadres sont assemblés par soudage en usine et traités par galvanisation à chaud. Les caillebotis sont fabriqués sur mesure et galvanisés par le fabriquant. Les cadres sont ancrés au tablier à travers l'enrobé au moyen de tiges filetées scellées dans le hourdis.

Aux extrémités des travées, afin de contourner les incertitudes sur la résistance des pièces de pont d'about exposées au feu et aux arrivées d'eau, des ouvertures sont réalisées dans le tablier existant au droit des piles et un nouveau chevêtre est réalisé pour l'appui du platelage. Au droit des culées, un nouveau chevêtre est accroché au mur garde-grève pour le nouvel appui. Afin de permettre la dilatation des

cadres, des trous oblongs sont prévus sur une partie des platines de liaison aux tiges filetées. Pour les cadres qui pontent les joints de chaussée, des appuis glissants sont prévus pour permettre de reprendre la dilatation globale des travées de l'ouvrage.

Enfin, des rampes d'accès sont prévues pour rattraper le niveau du platelage qui se trouvera environ 50 cm au-dessus de la chaussée d'origine.

RÉALISATION DU PLATELAGE DESCRIPTION DES TRAVAUX

La première phase du chantier consiste à réaliser les rampes d'accès au futur platelage, les fondations des portiques de contrôle et les chevêtres sur piles et culées. Afin de limiter les emprises, des murs en L sont réalisés de part et d'autre des rampes. Sur piles, ces travaux ont nécessité la démolition localisée du hourdis et des adaptations locales pour ponter les trappes de chevêtre. Un portique de manutention circulant sur des rails portant entre pièces de pont est utilisé pour l'approvisionnement et la pose des éléments de platelage. Les tiges d'ancrage ayant été pré-scellées, les platines des cadres sont enfilées dans les tiges équipées d'écrous pour le réglage planimétrique. Un matage est ensuite réalisé sous les profilés transversaux pour assurer une transmission des efforts à la pièce de pont. Une fois les cadres mis en œuvre, les caillebotis sont posés et fixés. Les glissières latérales sont boulonnées aux cadres et équipées de plaquettes réfléchissantes. Les travaux de mise en œuvre du platelage ont été accompagnés des travaux nécessaires pour les aires de retournement, des raccordements, de la signalisation et de la surveillance vidéo. Pour s'assurer qu'aucun véhicule lourd n'emprunte l'ouvrage, des portiques de contrôle sont installés sur les rampes d'accès empêchant le franchissement aux véhicules de plus de 2,5 m de haut, accompagnés d'une signalisation de limitation à 3,5 t. Un portique de pré-contrôle avec des rubans suspendus permet d'alerter les véhicules trop haut avant le portique de contrôle et les aires de retournement sont accessibles avant le second portique. □

CHIFFRES CLÉS

DURÉE DES TRAVAUX (y compris travaux de chaussée annexes au platelage) : 1 mois de préparation + 2 mois de travaux

SURFACE DE PLATELAGE : environ 525 m²

POIDS TOTAL DU PLATELAGE : environ 120 t

COÛT DES TRAVAUX : 850 k€

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE, CONDUITE D'OPÉRATION ET MAÎTRISE D'ŒUVRE TRAVAUX - CONCERTATION, DÉFINITION ET MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX D'ACCOMPAGNEMENT :

Département de l'Isère - Service ouvrages d'art et risques naturels

DIAGNOSTIC, DÉFINITION, SUIVI ET ANALYSE DES INVESTIGATIONS, CONCEPTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES, PIÈCES TECHNIQUES DU DCE, ASSISTANCE ANALYSE DES OFFRES, VISA ET ASSISTANCE TECHNIQUE : Quadric groupe Artelia

PRISE DE VUE DE L'INTRADOS POUR LE DIAGNOSTIC RÉALISÉ EN URGENCE : Artedrone groupe Artelia

RÉALISATION DES PRÉLÈVEMENTS DE MATÉRIAUX ET DES ANALYSES EN LABORATOIRE AVEC DES CORDISTES DE LA SOCIÉTÉ VTA : Lerm (Laboratoire d'Études et de Recherche sur les Matériaux)

INSPECTION CORDISTE AU NIVEAU DES PILES : Hydrokarst

DÉTECTIONS AMIANTE ET PLOMB : Alp'Expert

RÉALISATION DES TRAVAUX : Moulins TP

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Cogeci

CONTRÔLE EXTÉRIEUR EN PHASE ÉTUDES : Cerema

ABSTRACT

DIAGNOSIS AND REPAIR OF BRIGNOUD BRIDGE FOLLOWING A FIRE

MELCHIOR DE LA CONDAMINE, QUADRIC GROUPE ARTELIA - PASCALE GUICHON, QUADRIC GROUPE ARTELIA - THIBAUT ARRACHEPIED (SERVICE OUVRAGES D'ART ET RISQUES NATURELS)

In the night of 4 April 2022, a fire severely damaged the intrados of Brignoud Bridge, leading to the shutdown of this heavily trafficked structure. The bowstring girder type main structure in reinforced concrete was not impacted by the fire, but the deck suffered significant damage. The investigations showed that the steel properties had not been impaired, but the concrete strength had been reduced in some areas. By installing metallic decking more than 100 metres long and 5 metres wide, formed of components available commercially and easy to procure, resting on the members of the structure considered sufficiently strong, it was possible to re-open the bridge to light-vehicle traffic 8 months after the fire. □

DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE BRIGNOUD (dpto. 38) TRAS UN INCENDIO

MELCHIOR DE LA CONDAMINE, QUADRIC GROUPE ARTELIA - PASCALE GUICHON, QUADRIC GROUPE ARTELIA - THIBAUT ARRACHEPIED (SERVICE OUVRAGES D'ART ET RISQUES NATURELS)

La noche del 4 de abril de 2022, un incendio dañó gravemente el intradós del puente de Brignoud, lo que obligó a cerrar al tráfico el puente, muy concurrido. La estructura principal de tipo arco-tirante de hormigón armado no resultó afectada por el incendio, pero el tablero sufrió notables deterioros. Las investigaciones no revelaron mermas en las características de los aceros, aunque los hormigones perdieron resistencia en algunas zonas. La instalación de un entablado metálico de más de 100 m de longitud y 5 m de anchura, formado por elementos disponibles en el mercado, fáciles de encontrar, apoyados en elementos de la construcción considerados suficientemente robustos, ha permitido reabrir el puente al tráfico de vehículos ligeros ocho meses después del incendio. □



1
© K-PROD

LE DEUXIÈME PONT SUR L'ALLIER À MOULINS (03), UN OUVRAGE EMBLÉMATIQUE POUR LA RÉGION

AUTEURS : LAURENT BOUTET, RESPONSABLE DE PROJET, BOUYGUES TP RF - FLORIAN AMIOT, CHARGÉ D'AFFAIRE, BAUDIN CHÂTEAUNEUF - HERVÉ VADON, ARCHITECTURE, STRATES OA

À MOULINS, LE DEUXIÈME PONT DE FRANCHISSEMENT DE L'ALLIER SE DESSINE PROGRESSIVEMENT POUR ÊTRE MIS EN SERVICE EN CETTE FIN D'ANNÉE. CET OUVRAGE URBAIN DE 455 M DE LONG ET 12,90 M DE LARGE EST UN CONDENSÉ DE NOMBREUSES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DU GÉNIE CIVIL, COMPRENANT UN PONT MIXTE BIPOUTRES ET UN TABLIER À DALLE PRÉCONTRAÎNTE. PARFAITEMENT INTÉGRÉ DANS SON ENVIRONNEMENT, IL RÉPOND À UNE ATTENTE LOCALE TRÈS FORTE.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

À l'heure actuelle, la ville de Moulines ne dispose que d'un seul pont permettant de franchir la rivière Allier. Il s'agit du pont Régemortes construit en 1763 et laissant passer 22 000 véhicules par jour. Le projet consiste en la construction d'un second ouvrage permettant de

relier les 2 rives pour améliorer la fluidité du trafic et les servitudes locales, à 650 m en aval du pont actuel. Il est réalisé pour le compte de Moulines Communauté (figure 1).

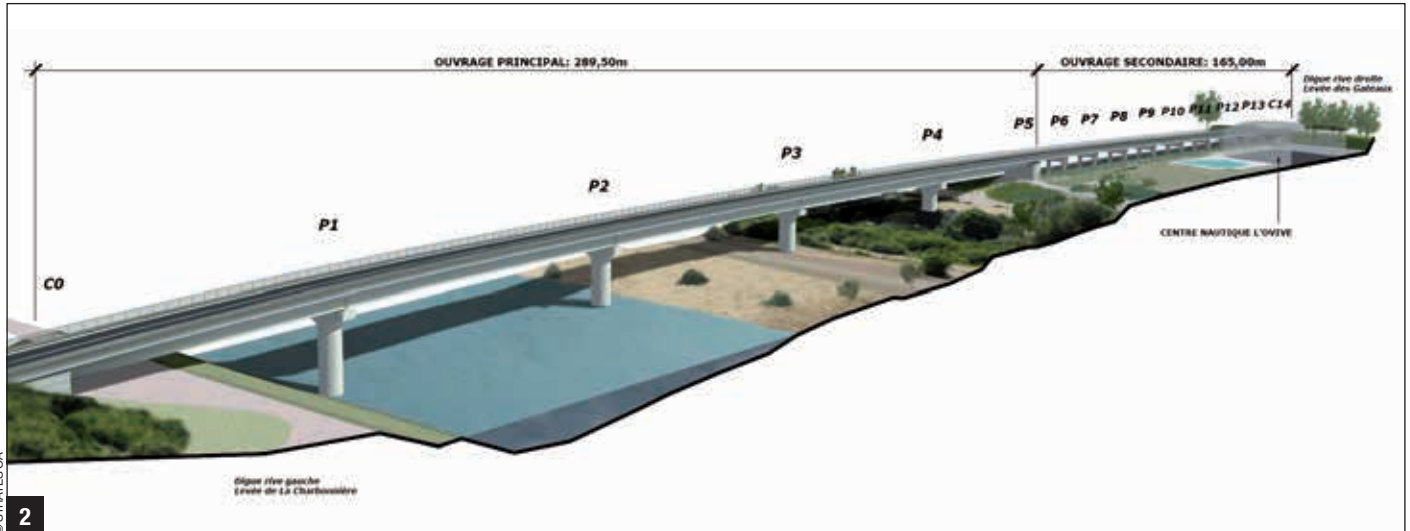
Bouygues Travaux Publics Régions France (Mandataire), Baudin Châteauneuf et Soletanche Bachy Fondations Spéciales se sont associés en groupe-

1 - Vue
d'ensemble
des travaux.

1 - Overall
view of the
works.

ment pour la réalisation de cet ouvrage emblématique et très attendu dans la région.

Le nouvel ouvrage d'une longueur de 455 m se décompose en 2 parties (figure 2), l'ouvrage "principal", un pont mixte bipoutres traversant l'Allier sur 290 m, et l'ouvrage "secondaire" de 165 m, un tablier à dalle précon-



© STRATES OA

2

trainte enjambant un parking existant et prolongeant ainsi le pont jusqu'en rive droite à l'entrée du centre-ville.

D'une largeur de 12,90 m, ce pont est destiné à la circulation routière ainsi qu'au développement des modes doux, avec 1 voie de circulation dans chaque sens et deux trottoirs dont un de largeur 4 m adapté aux cyclistes.

Les travaux ont démarré à l'hiver 2020 et s'achèveront après l'été 2023, pour une mise en circulation du nouvel axe en fin d'année 2023.

ARCHITECTURE CONTEXTUALISÉE DE L'OUVRAGE

Le pont de Moulins étant un ouvrage urbain décomposé en 2 structures, la mise au point du projet dans la phase détaillée a permis de rééquilibrer les deux ouvrages au profit d'un aménagement global qui prend en compte les aspects paysagers du réaménagement autour et en dessous de l'ouvrage (figure 3).

On a recherché une harmonisation des géométries et modénatures des diffé-

2- Vue 3D de l'ouvrage.

3- Vue du projet depuis la rive gauche.

4- Vue du projet sur ouvrage.

2- 3D view of the structure.

3- View of the project from the left bank.

4- View of the project on the bridge.

rents appuis des 2 structures, grâce à un jeu d'engraves et de parements texturés par une matrice "papier froissé".

Les 2 culées sur les rives sont sans artifice particulier et se glissent sobrement dans les aménagements des berges tout en restant cohérentes avec l'architecture des appuis à proximité. Depuis la mise au point du projet, est venue s'ajouter la problématique des chiroptères. Cela impose une protec-

tion de 1,35 mètres de hauteur en rive des tabliers. Afin d'éviter de superposer écran et garde-corps, la hauteur du garde-corps passe à 1,35 m sur la longueur de l'ouvrage principal, l'ouvrage secondaire conserve une hauteur de garde-corps de 1,20 m, un élément spécial placé au droit de la pile P5 assurant la transition.

Les garde-corps sont équipés d'une lisse basse située à 1,00 m de hauteur intégrant l'éclairage public et d'une autre lisse supérieure au profil adapté et calé à 1,20 m ou 1,35 m de hauteur permettant aux usagers de s'accouder. Le remplissage du garde-corps est constitué de panneaux de métal tissé garantissant la meilleure transparence sur le paysage de l'Allier (figure 4). Les bords de tablier sont masqués par une corniche-coque, qui enchâsse les réseaux sur les deux rives de l'ouvrage. Une étude de coloration a fait l'objet d'un échange avec la maîtrise d'ouvrage et l'architecte des bâtiments de France. Pour la structure métallique du tablier principal, la teinte "gris lumière" RAL 7035 a été proposée. Pour les cor-

niches métalliques, les garde-corps, les poteaux, la lisse basse et la maincourante, la teinte est celle de l'inox.

CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES ET HYDRAULIQUES

L'Allier, une des dernières grandes rivières sauvages en Europe, impose des précautions environnementales fortes pour la construction d'un ouvrage de franchissement et notamment pour la réalisation des piles en rivière. Des digues provisoires ont été créées pour accéder aux différents appuis en rivière. Elles sont dimensionnées pour assurer une section hydraulique minimale du lit de l'Allier, limitant ainsi la surélévation du niveau d'eau à 12 cm en cas de crue et l'augmentation excessive des vitesses d'eau qui représente un facteur d'érosion précoce. L'enjeu du chantier a consisté à créer un phasage respectant la continuité hydraulique, ainsi que les périodes sensibles de février à août durant lesquelles la faune est active et profite de son environnement naturel. ▶



© STRATES OA

3



© STRATES OA

4



5

© K-PROD

Il s'agit notamment d'oiseaux migrateurs et de poissons qui fraient pour se reproduire en amont de la rivière. À l'hiver 2020, une première digue a été réalisée en rive gauche à un niveau de crue Q10, ménageant une plateforme de travail pour l'élévation de la pile P1.

Cette digue a pu être démontée en début d'automne 2021, une fois la pile P1 achevée et la période de frai terminée, pour libérer la section hydraulique de l'Allier et laisser place à la construction de la deuxième digue en rive droite. Celle-ci, de longueur plus importante, est arasée au niveau Q3 afin de limiter son impact sur le niveau d'eau lors des crues. Elle donne accès aux appuis P2, P3 et P4 (figure 5).

CONSTRUCTION DES APPUIS DE L'OUVRAGE PRINCIPAL

La construction des piles de l'ouvrage principal a démarré par la réalisation de batardeaux en palplanches de longueur jusqu'à 15 m fichées par vibrofonçage. En phase provisoire, ces batardeaux servent de soutènement de la digue provisoire et de confinement étanche vis-à-vis de l'Allier. En définitif ils sont recépés au niveau du béton des semelles de piles et créent une enceinte anti-affouillement autour des pieux de fondation. Les fondations profondes, forées à la tarière creuse Starsol® depuis la plateforme, sont constituées de 6 pieux par appui ; de diamètre 800 mm à 1200 mm et jusqu'à 23 m de profondeur. L'intérieur du batardeau est excavé

5- Digue rive droite en cours de construction.

6- Terrassement du batardeau P1.

7- Coffrage de la pile P2.

5- Right-bank embankment under construction.

6- Earthworks for cofferdam P1.

7- Formwork for pier P2.

autour des pieux, jusqu'à 6 m sous le niveau d'eau (figure 6). L'altimétrie du fond de terrassement est réglée et réceptionnée par une équipe de sca-

phandriers et les ondes de palplanches sont soigneusement nettoyées.

Le béton de bouchon est ensuite coulé en immergé sur une épaisseur de 1,40 m à 2 m. Une fois durci, ce dernier crée une étanchéité du fond de batardeau et son poids compense la poussée hydrostatique de soulèvement générée lorsque le batardeau est asséché et qui atteint 340 t. Ce radier évite également une remontée des matériaux du fond par phénomène de renard. Une fois l'enceinte à sec, les 6 pieux sont recépés au niveau du bouchon en béton à l'intérieur du batardeau, 8 m en contrebas de la plateforme. La semelle de pile est ferrillée et coulée in-situ en fond de batardeau, liaisonnée aux pieux par continuité du ferrailage. Les 13 t d'armatures de la



6

© BOUYGUES TP RF



7

© BOUYGUES TP RF



© K-PROD
8

pile sont ensuite mises en place sur la semelle par grutage, après préfabrication de la cage en surface.

La pile est coulée en 3 levées de 3 m à 6 m de hauteur en ajoutant à chaque étape 2 demi-coffrages posés sur les précédents, la dernière levée étant celle du chevêtre dont le coffrage moule la forme architecturée (figure 7). Ces coffrages sont spécialement conçus et fabriqués par l'entreprise BS Industrie pour l'ouvrage de Moulins, et sont réutilisés sur les 4 piles de l'ouvrage principal. La hauteur variable des piles est obtenue par une première fausse levée adaptée. Les piles sont ensuite équipées de 2 bossages en béton et de 2 appareils d'appui néoprène de type B supportant chacun jusqu'à 1 400 t de descente de charge.

8- Lançage de la charpente métallique.

9- Équipage mobile en fonctionnement.

8- Launching the steel structure.

9- Mobile rig in operation.

CHARPENTE MÉTALLIQUE DE L'OUVRAGE PRINCIPAL

Les 298 m de poutres métalliques supportant le hourdis béton ont été fabriquées en 18 tronçons d'environ 32 m dans les ateliers de Baudin Châteauneuf à Châteauneuf-sur-Loire (45).

Les éléments les plus lourds (60 t) ont emprunté le pont Régemortes pour être acheminés jusqu'à l'aire d'assemblage. La capacité portante de ce franchissement historique de l'Allier a été vérifiée dans le cadre de ce projet.

Trois phases d'assemblage puis de lancement depuis la plateforme de 115 m ont été nécessaires pour assurer la mise en place de l'ouvrage jusqu'à sa position définitive. Les opérations de lancement ont été réalisées à l'aide de 8 files de chaises de glissement (3 sur plateforme et 5 sur appuis), 2 treuils (traction/retenue), d'un arrière-bec et d'un avant-bec.

La longueur de ce dernier a été optimisée puisque la réduction de la hauteur des poutres principales sur les travées

d'extrémités permettait de reprendre la déformée de l'ouvrage à l'avant au cours du lançage (figure 8).

HOUDIS EN ÉQUIPAGE MOBILE

Après mise en place de la charpente métallique, deux équipages mobiles sont mis en place sur cette dernière, ce système de coffrage autoporté se déplace sur l'ossature métallique et permet de réaliser le hourdis béton par plots de 12 m.

Le poids total de l'équipage de 35 t est déterminant dès la phase d'étude car il est pris en compte dans la modélisation des phases provisoires de la charpente métallique. Le "pianotage", c'est-à-dire le phasage de coulage des plots, est défini également dès le démarrage et permet de limiter les contraintes et la fissuration de la dalle en extradados.

Le ferrailage du hourdis a été préfabriqué au sol et mis en place sur la charpente métallique par grutage, une majorité du ferrailage est ensuite lancée avec la charpente. Les 2 équipages évoluent ainsi au-dessus du ferrailage. La réalisation d'un plot se décompose de la façon suivante :

- Ripage de la structure par vérins horizontaux ;
- Ripage des plateaux centraux sur les entretoises de charpente métallique par treuillage ;
- Fermeture des plateaux latéraux ;
- Hissage des plateaux centraux par palans ;
- Brèlage et réglage des plateaux par tiges de coffrage suspendues à l'équipage ;
- Coffrage des rives et mise en place des inserts ;
- Bétonnage à la pompe.

Ces opérations sont réalisées par une équipe de 7 compagnons Bouygues TP RF et menées en parallèle sur les 2 équipages pour couler jusqu'à 3 plots par semaine (figure 9).

L'OUVRAGE " SECONDAIRE " À DALLE PRÉCONTRAINTE

D'une longueur de 165 m, la structure de l'ouvrage secondaire diffère totalement de celle de l'ouvrage principal. Cet ouvrage étant situé sur un parking existant, il est moins impactant que l'ouvrage principal sur le plan environnemental. La structure retenue privilégie donc l'aspect économique et l'exploitation du parking. C'est donc un ouvrage de type PSDP (Passage Supérieur Dalle Précontrainte) qui sera réalisé, avec un système de précontrainte composé de 22 câbles 12T15S. ▷



© BOUYGUES TP RF
9



10 © BOUYGUES TP RF



11 © JEAN-MARC TEISSONIER

Comme on est plus éloigné du lit principal de l'Allier, les sols compacts sont proches de la surface et moins assujettis aux problématiques d'affouillement et d'érosion. De par ces caractéristiques de sols, jumelées à un environnement plus urbain qui permet de rapprocher les appuis pour réduire les portées à 19 m, les fondations ont pu être réalisées en semelles superficielles de 13 m x 5 m par pile pour s'affranchir de fondations profondes plus lourdes à mettre en œuvre.

Comme pour les appuis P1 à P4, un outil coffrant sur mesure a été fabriqué pour ériger les piles P6 à P13. L'architecture étant complexe, avec un effet matricé, des engravures, 3 poteaux elliptiques et un chevêtre continu, le coffrage est conçu et fabriqué par coffrage équipage en 36 éléments qui sont assemblés pour réaliser chaque pile en un seul coulage (figures 10 et 11). Des systèmes de clés et de coulisses sur les différents éléments du coffrage assurent le décoffrage de la pile. Des réhausse et des rallonges permettent d'ajuster les dimensions du coffrage à la hauteur et à la longueur des piles. Les appuis terminés, un étaie est monté sur toute la longueur de l'ouvrage.

Le ferrailage peut ainsi être mis en place, puis les 22 gaines de précontrainte sont positionnées. Ces dernières sont continues sur les 164 m du tablier. Leur positionnement respecte un tracé bien défini qui requiert une grande précision de mise en œuvre et une attention particulière sur l'étanchéité des gaines (figure 12).

On insère également à ce moment les dispositifs d'ancrage en bouts d'ouvrage, sur lequel viendront s'appuyer les systèmes de mise en tension et de verrouillage des câbles.

Le ferrailage au droit de chaque ancrage est renforcé par des frettes pour diffuser les contraintes très importantes dans ces zones.

Après coulage de la traverse, les gaines sont équipées des câbles formés de 12 torons de diamètre 15,7 mm.

La longueur et les ondulations du câble générant des pertes importantes, ce dernier est mis en tension en simultané par les deux extrémités à 1 476 MPa, soit un effort de 290 t de chaque côté.

ÉQUIPEMENTS GARDE-CORPS

Les rives de l'ouvrage sont équipées de garde-corps en acier inoxydable d'une hauteur de 1,20 m du fait de la présence de cyclistes sur les trottoirs. Cette hauteur est portée à 1,35 m sur la partie au-dessus de l'Allier pour préserver les chauves-souris comme indiqué au point 2.

10- Coffrage de la pile de l'ouvrage secondaire.

11- Pile OA secondaire.

12- Tablier précontraint.

10- Formwork for the pier of the secondary structure.

**11- Secondary-structure pier.
12- Prestressed deck.**

Les garde-corps intègrent également un éclairage par LED incorporées à la lisse, cet éclairage assure une visibilité aux modes doux circulant sur le pont tout en limitant la pollution visuelle et l'impact sur la faune nocturne avec un

flux lumineux dirigé vers la chaussée (figure 13).

RÉSEaux ASSAINISSEMENT ET EAUX PLUVIALES

L'ouvrage est équipé de 2 conduites d'eau potable DN 500 mm en fonte calorifugée et positionnées en intrados du tablier principal entre les deux poutres de la charpente métallique. La conduite est formée de barres de 6 m de 1 t chacune, emboîtées les unes aux autres.

Leur mise en place avant la réalisation du hourdis béton n'étant pas possible du fait de l'interface avec l'équipage mobile, elles sont installées en sous-œuvre et nécessitent des matériels très spécifiques.

Les plateformes de travail et l'outil d'approvisionnement ont été conçus par Bouygues TP RF spécialement pour ce projet (figure 14).



12 © K-PROO



© BOUYGUES TP RF

13



© BOUYGUES TP RF

14

JOINTS DE CHAUSSEE

Des joints de chaussées type mono-bloc ont été mis en œuvre sur ce projet. Ils sont étanches sur toute leur largeur y compris sur les retombées de rive. Fabriqués par Maurer (Allemagne), ils proposent une liberté de mouvement conséquente ainsi qu'un dispositif anti-

bruit soudé. Les éléments rhombiques qui le composent permettent d'améliorer l'adhérence et le confort de conduite. Les études d'exécution ont mis en avant un soufflé de près de 500 mm et un déplacement transversal de 50 mm sur la pile-culée PC5, à la jonction des 2 ouvrages. Pour répondre à ces importants déplacements, les joints sont équipés de solives pivotantes. Ils ont été conçus par les équipes de Baudin Châteauneuf et de Maurer pour s'intégrer dans une emprise limitée afin de ne pas entrer en conflit avec les zones de précontrainte de l'ouvrage secondaire. Les joints ont été posés par les équipes du département PCB de Baudin Châteauneuf. □

13- Prototype de garde-corps éclairé.
14- Réseaux AEP.

13- Prototype illuminated guard rail.
14- Potable water supply mains.

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 5 700 m³
ARMATURES PASSIVES : 830 t
ACIER DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 915 t
PRÉCONTRAINTÉ : 3 600 m de câbles soit 51 t
LONGUEUR TOTALE DE PIEUX : 700 m
BATARDEAU ET SOUTÈNEMENTS : 1 920 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Moulins Communauté
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Quadric (Mandataire), Artelia, Strates OA, Base, Confluence
GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Bouygues Travaux Publics Région France (mandataire), Baudin Châteauneuf, Soletanche Bachy Fondations Spéciales
BUREAUX D'ÉTUDES : Siam, Sage, Arlaud, Baudin Châteauneuf.
FABRIQUANT COFFRAGE : Coffrage&quipage - BS Industrie
ARMATURIER : Germain Armatures
FOURNITURE BÉTON : Bml - Vicat
PRÉCONTRAINTÉ : Vsl France (marque de BYTPRF)
PEINTURE : Freitag, Bc Spir, Sotarpi

ABSTRACT

THE SECOND BRIDGE OVER THE ALLIER AT MOULINS, AN EMBLEMATIC STRUCTURE FOR THE REGION

LAURENT BOUTET, BOUYGUES TP RF - FLORIAN AMIOT, BAUDIN CHÂTEAUNEUF - HERVÉ VADON, STRATES OA

The project for the second bridge over the Allier at Moulins involves numerous bridge construction techniques. It was designed to fit in with its natural environment and it is a response to traffic requirements while contributing to the development of green mobility. The bridge's structure and appurtenances are also the reflection of a carefully researched architecture. It is 455 metres long, and consists of a composite double-girder main bridge and a prestressed-slab deck. The work on this emblematic project, much-awaited locally and making use of numerous construction processes and diverse expertise, is now coming to an end. □

EL SEGUNDO PUENTE SOBRE EL ALLIER, EN MOULINS (dpto. 03), UNA OBRA EMBLEMÁTICA PARA LA REGIÓN

LAURENT BOUTET, BOUYGUES TP RF - FLORIAN AMIOT, BAUDIN CHÂTEAUNEUF - HERVÉ VADON, STRATES OA

El proyecto del segundo puente sobre el río Allier, en Moulins, combina numerosas técnicas de construcción de obras de fábrica. Pensado para integrarlo en su entorno natural, responde a las necesidades del tráfico, al tiempo que contribuye al auge de la movilidad no motorizada. La estructura de la obra y sus equipamientos revelan igualmente la estudiada arquitectura de la construcción. Con una longitud de 455 m, está formada por un puente mixto birraíl principal y un tablero en losa pretensada. Las obras de este proyecto emblemático y tan esperado por las comunidades locales, que han precisado numerosos procedimientos y competencias de construcción, se acercan ya a su fin. □



1

© SERNAVISION

LE PONT DU VILLAGE DES ATHLÈTES, D'UN JET SUR LA SEINE

AUTEURS : NABIL YAZBECK, DIRECTEUR, DÉPARTEMENT PONTS ET OUVRAGES D'ART, ARTELIA - ADRIEN CORBIERE, CHEF DE PROJET, DÉPARTEMENT PONTS ET OUVRAGES D'ART, ARTELIA - RENÉE SALAME, INGÉNIEURE, DÉPARTEMENT PONTS ET OUVRAGES D'ART, ARTELIA - MATHIEU JEROME, CHEF DE PROJET PONTS ET OUVRAGES D'ART, EIFFAGE METAL - VIVIEN HALLER, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE GENIE CIVIL

AU CŒUR DU FUTUR VILLAGE OLYMPIQUE, SUR LE TERRITOIRE DE LA SEINE-SAINT-DENIS, UN PONT SINGULIER AUX LIGNES ÉLÉGANTES ET PURES EST EN COURS DE CONSTRUCTION. IL FRANCHIT D'UN TRAIT LA SEINE, SANS APPUI DANS SON LIT. LA FINESSE ET LA TENSION DE SES FORMES SONT LE RÉSULTAT D'UNE CONCEPTION RAISONNÉE ET EXIGEANTE, ASSOCIANT UNE RECHERCHE POUSSÉE DANS L'ÉCONOMIE DE LA MATIÈRE ET LE RECOURS À LA PRÉCONTRAINTE DES STRUCTURES MIXTES ACIER-BÉTON. SES MÉTHODES DE MISE EN ŒUVRE, INGÉNIEUSES, ONT PRIVILÉGIÉ LA PRÉFABRICATION ET L'ACHEMINEMENT PAR LA VOIE FLUVIALE, LIMITANT L'EMPREINTE DU CHANTIER SUR SON ENVIRONNEMENT.

LE CONTEXTE - LA CONCEPTION

Penser les infrastructures des Jeux, dès leur conception, en termes d'héritage pour les territoires qui vont les accueillir et pour leurs habitants. Cette volonté a guidé le comité de candidature de "Paris 2024" lorsqu'il a fait le choix, dès 2015, d'implanter le futur Village des Athlètes sur un site à cheval entre Saint-Denis et l'Île-Saint-Denis. Les deux parties du Village sont séparées par la Seine ; elles devaient être reliées par un nouveau pont. Mais, au-delà de l'opportunité que constituent les Jeux, l'aménagement de ce territoire en profonde mutation ren-

dait nécessaire la construction de ce nouveau franchissement.

L'Île-Saint-Denis constitue la plus grande des îles de la Seine et la seule commune insulaire fluviale de France. C'est une commune verte (le nord de l'île abrite une réserve et un site classé Natura 2000), qui poursuit ses efforts de développement durable : la construction de l'un des écoquartiers les plus innovants de France y était déjà engagée avant la candidature aux Jeux. L'arrivée d'un nouveau pont était elle aussi déjà programmée et attendue ; le gain des Jeux a joué un rôle d'accélérateur dans sa réalisation.

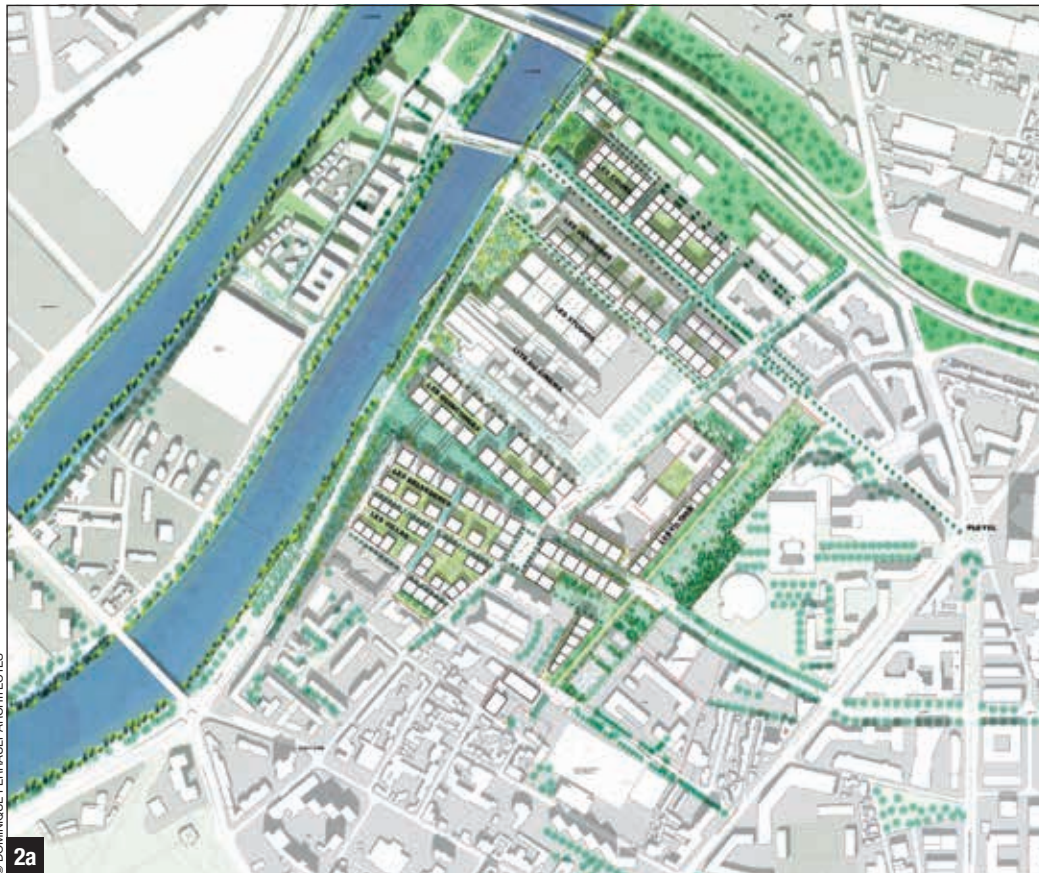
**1- Le chantier,
début mai 2023.**

**1- The worksite,
early May 2023.**

Lorsque le Département de la Seine-Saint-Denis, maître d'ouvrage, a lancé en 2016 un concours pour la réalisation de ce franchissement, la France n'avait donc pas encore remporté l'organisation des Jeux. Mais cette potentialité imposait de concevoir un projet à la hauteur de l'enjeu olympique, en plus d'être un emblème du dynamisme et

de la réussite de l'aménagement de ce secteur de la Seine Saint-Denis, et une porte d'entrée marquante sur le nouvel écoquartier. Le projet présenté par le groupement associant Artelia (mandataire), le cabinet d'architecture Lavigne & Chéron et les paysagistes Philippon & Kalt a été déclaré lauréat du concours de maîtrise d'œuvre en juillet 2017.

Ce pont, long de 138 m et large de 20 m, qui se distingue par son élégance et sa complexité, est dédié aux modes de déplacement doux et collectifs et franchit d'un trait le grand bras de la Seine, sans appui dans



© DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTES



© ARTELIA / LAVIGNE & CHÉRON ARCHITECTES

**2- Plans masse
du Village des
Athlètes et du
Franchissement.**

**2- Plans of the
Athletes Village
and the Crossing.**

son cours. Accueillant bus et vélos, il réserve à la circulation piétonnière un généreux espace partiellement végétalisé (figure 4). À terme, il permettra de réduire les temps de déplacement entre les deux communes, dont la transformation est engagée.

Les missions confiées au groupement de concepteurs comprenaient la maîtrise d'œuvre complète de l'ouvrage de franchissement et, sur l'île, les travaux de VRD pour la requalification de la RD1bis sur un linéaire d'environ 300 m, déviée et rehaussée au droit de la tête de pont, ainsi que l'aménagement des berges de Seine.

Les travaux, engagés en avril 2021, sont organisés en quatre lots techniques (Ouvrage d'Art, Requalification de la RD1bis, Aménagement de la berge, et Plantations). Le Lot n°1 a été attribué à un consortium d'entreprises du groupe Eiffage. Ses études d'exé-

cution ont été confiées aux bureaux d'études Biep pour le génie civil, et Greisch et Equilibre pour la charpente métallique.

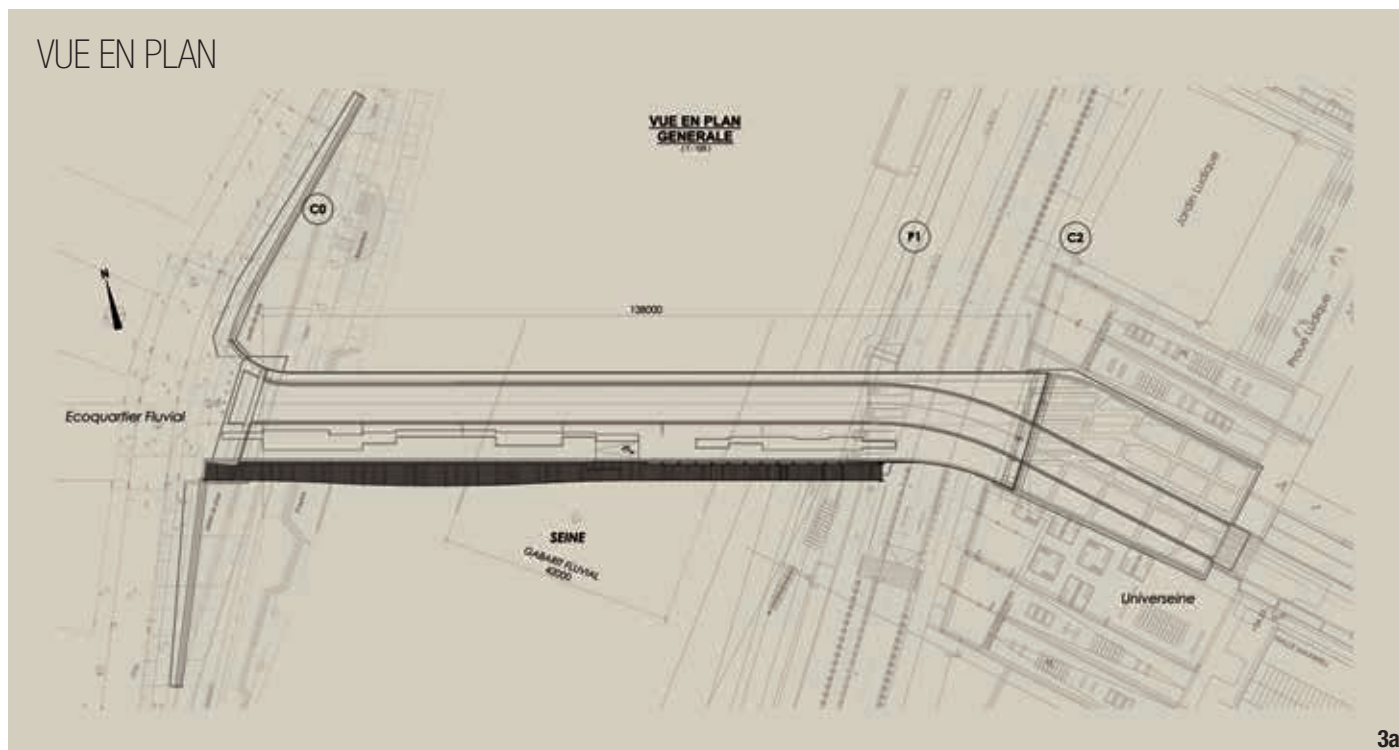
**LES LIGNES DIRECTRICES
DE LA CONCEPTION**

Les principales données influant sur la conception de l'ouvrage étaient d'ordre géométrique et hydraulique. Les contours des projets immobiliers sur l'île et, en face, côté Saint-Denis, étaient déjà fixés au moment du concours de conception. La position de celui-ci était par conséquent figée, en planimétrie et en altimétrie, par deux points imposés (figure 2). L'un, sur l'île, à l'arrière de la tête de pont, dans l'axe de la future place des Arts, et l'autre, en rive opposée, dans l'axe de l'allée de Seine, artère principale du futur Village. Ces deux axes n'étant pas alignés, le pont devait alors franchir la Seine avec un biais important, 80 degrés (73°). L'encombrement du tablier devait donc s'inscrire dans un volume délimité, d'une part, en sous-face, par les gabarits fluvial (le chenal de navigation sur le grand bras de la Seine) et routier (la RD1, voie sur berge franchie par l'ouvrage) et, d'autre part, en surface, par le nivellement des différents aménagements existants ou à venir sur chacune des rives.

Ces différentes contraintes géométriques induisaient une finesse prononcée du tablier. Pour favoriser l'insertion de l'ouvrage dans le site, la volonté de ses concepteurs était néanmoins de proposer une structure élancée, à la fois discrète et symbolisant, par son dynamisme, l'énergie des athlètes. Ils ont voulu cette structure exempte de tout élément porteur "par le dessus" : le pont est conçu comme une esplanade sur la Seine, exempte également de tout appui dans le fleuve pour réduire l'impact de l'ouvrage sur l'écoulement de la Seine et sur la navigation, pour s'affranchir des difficultés induites par la réalisation d'appuis dans le lit mineur, pour ouvrir les points de vue.

La démarche de conception globale a associé les réflexions et études techniques (recherche de la géométrie et des formes optimales du point de vue du fonctionnement statique, des contraintes et impératifs fonctionnels et des méthodes de construction) et la vision esthétique des formes (recherche d'une structure fine aux lignes simples et épurées, élégante, dont la lisibilité des formes est en accord avec le fonctionnement mécanique et exprime le cheminement des efforts).

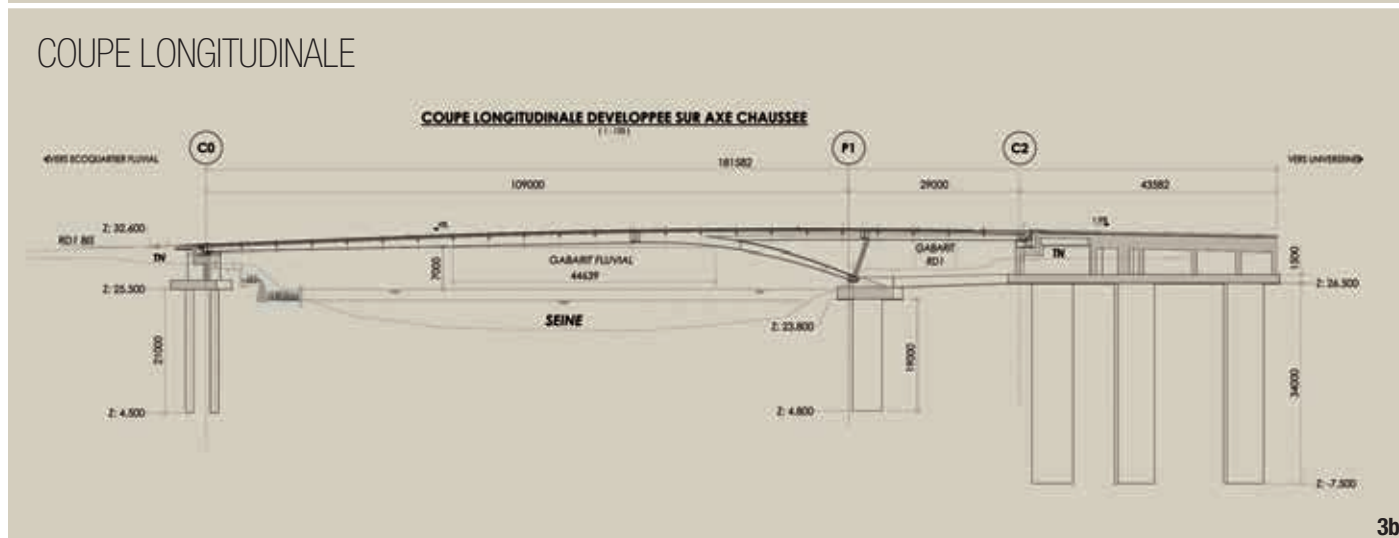
VUE EN PLAN



3a

© ARTELIA

COUPE LONGITUDINALE



3b

© ARTELIA

Elle a exigé un travail délicat et précis, une attention au lieu, à l'histoire de la cité que le projet devait aussi réconcilier avec son fleuve, en proposant de nouveaux usages en lien avec lui.

L'aménagement de la berge sur l'île, également accessible aux PMR, souligne la continuité des espaces publics, priorise les cheminements doux et favorise le développement de la biodiversité. La prise d'appui est placée à une dizaine de mètres à l'arrière de la crête de talus, ce qui dégage un large espace sous le pont. La berge, au pied de laquelle une frayère est créée, est aménagée en gradins qui permettent de la stabiliser. Le projet de paysage s'organise autour de jardins aux essences et aux fonctions diffé-

3- Vue en plan et coupe longitudinale.

4- Photomontages des espaces modes doux sur l'ouvrage.

3- Plan view and longitudinal section.

4- Photomontages of the green transport areas on the bridge.



4a



4b

© LAVIGNE & CHERON ARCHITECTES / ARTELIA

ISOMÉTRIES PARTIELLES DE LA CHARPENTE JONCTIONS TABLIER / BÉQUILLES / CONTRE-BÉQUILLES



rentes, mettant en scène les vues sur le fleuve. Le jardin des pluies, composé d'essences phytoépurations, récupère et traite les eaux de ruissellement, évitant le rejet dans les réseaux.

La conception primaire de l'ouvrage découle de ces données et choix fondamentaux. L'espace disponible côté opposé à l'île, entre la voie sur berge et l'allée de Seine, devait recevoir la rampe d'accès au pont. ▷

5- Isométries partielles de la charpente - Jonctions tablier / béquilles / contre-béquilles.

6- Coupe transversale courante.

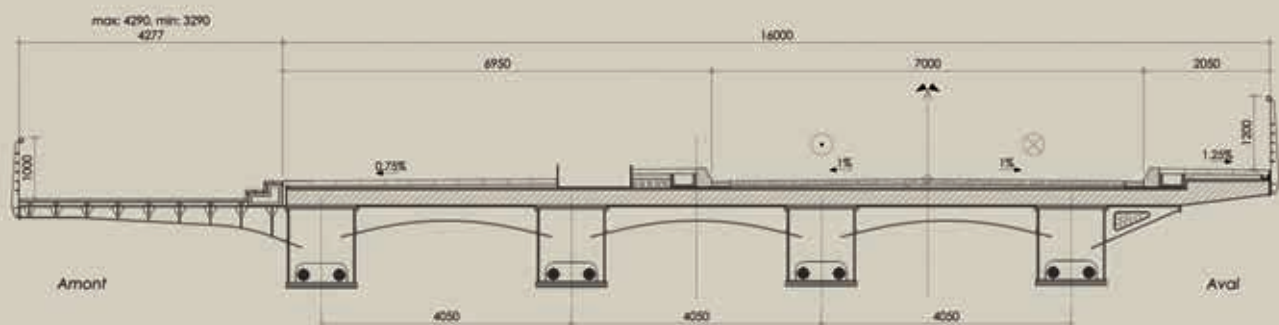
7- L'ouvrage, depuis l'aval.

5- Partial isometric views of the frame - Deck / strut / counter-strut joints.

6- Standard cross section.

7- The structure, view from downstream.

COUPE TRANSVERSALE COURANTE



© ARTELIA
5

© ARTELIA
6



© SERNAVISION
7

Plutôt que d'y édifier un remblai d'une hauteur importante sur des sols alluvionnaires, on choisit de disposer à cet endroit une culée creuse, consistant en une boîte en béton armé précontraint (figure 10), raidie par un réseau de voiles internes contreforts. Les dimensions de cette culée C2 sont déterminées pour lui permettre de jouer le rôle de contrepoids à l'ouvrage métallique. L'équilibre est ainsi assuré par un jeu d'efforts antagonistes dans un système fermé : le tablier mobilise en traction le poids de la culée en partie haute, tandis que la réaction horizontale opposée apportée par les pieds de béquilles mobilise en compression la boîte-culée arrière, par l'intermédiaire de butons horizontaux enterrés sous la RD1, reliant P1 à la partie basse de C2 (figure 12).

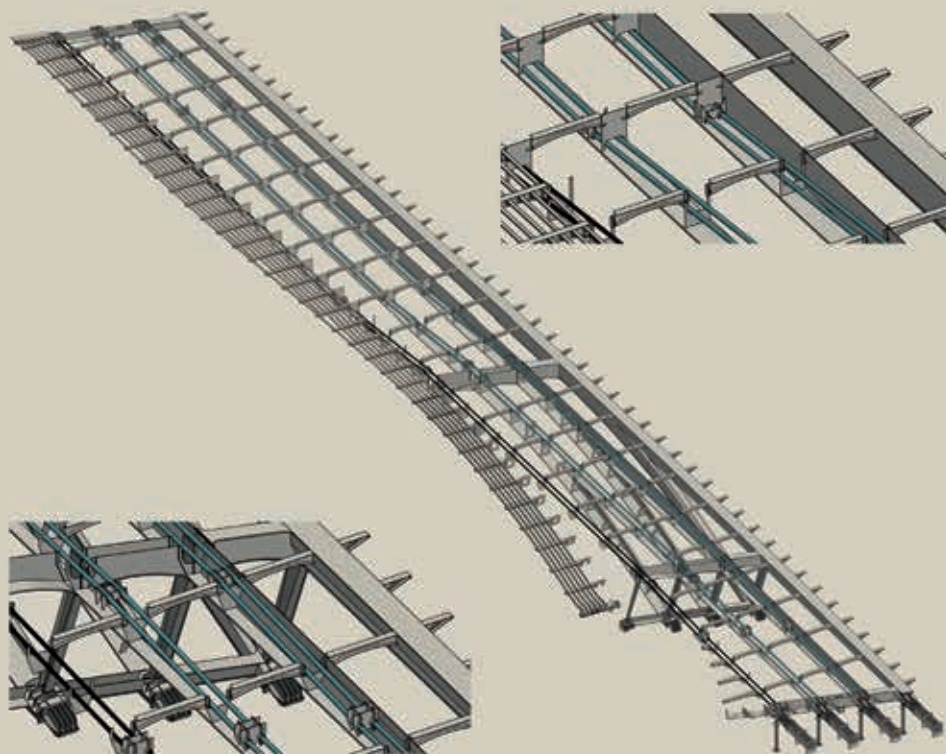
8- Isométries éclatées du modèle de conception de l'avant-projet (tôle de fond de coffrage de la dalle retirée).

9- Ancrage de la précontrainte et prise d'appui aux abouts du tablier.

8- Exploded isometric views of the preliminary design model (plate at bottom of slab formwork removed).

9- Prestressing anchorage and bearing at deck ends.

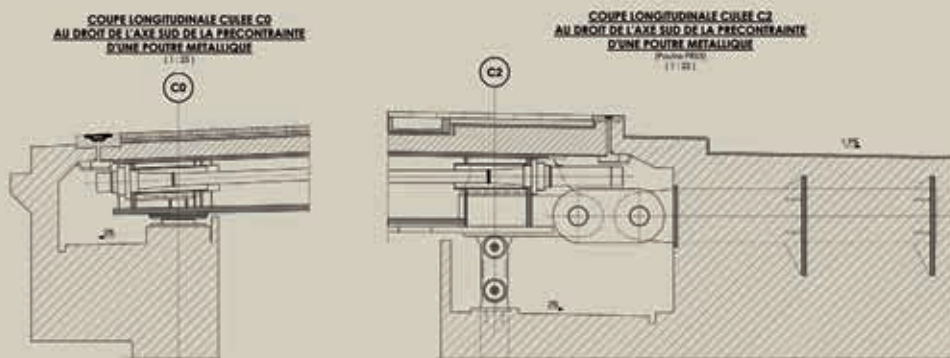
ISOMÉTRIES ÉCLATÉES DU MODÈLE DE CONCEPTION DE L'AVANT-PROJET (tôle de fond de coffrage de la dalle retirée)



8

© ARTELIA

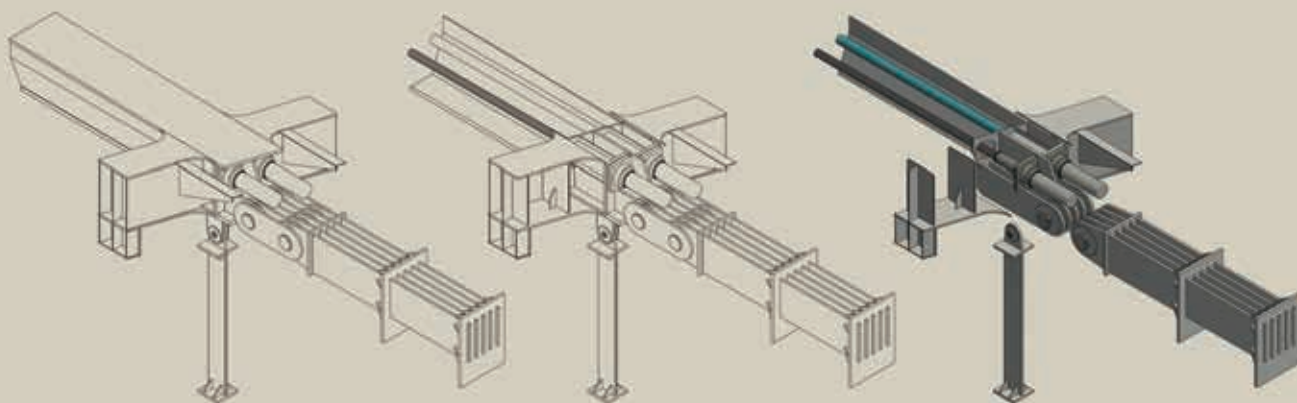
ANCRAGE DE LA PRÉCONTRAİNTE



9a

© ARTELIA

PRISE D'APPUI AUX ABOUTS DU TABLIER



9b

© ARTELIA

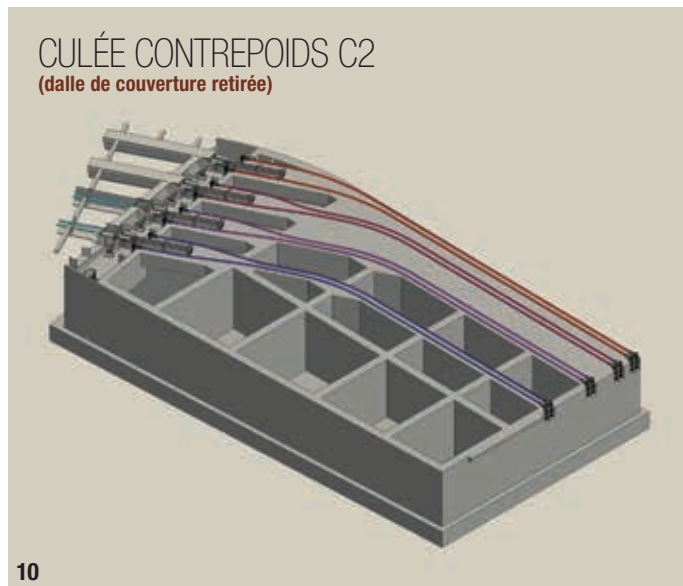
La finesse du tablier, bien au-delà des ratios courants pour les ponts à poutres à tablier mixte, est rendue possible par le recourt à la mise en œuvre d'une précontrainte de la structure mixte acier-béton, pour réduire les contraintes de flexion dans la grande travée et lui permettre ainsi de franchir d'un trait la Seine, et ce malgré son élancement remarquable.

Compte tenu de sa complexité géométrique, la conception structurelle de l'ouvrage a été réalisée dès le départ en trois dimensions, à l'aide du logiciel Inventor®. Les plans sont directement extraits de ce modèle tridimensionnel.

LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est un pont à béquilles, d'une longueur totale de 138 m entre axes des culées, se décomposant en une portée principale de 109 m et une travée arrière de 29 m (figure 3). Il se prolonge par une culée contrepoids d'une longueur de 43 m environ.

Le tablier en ossature mixte acier-béton comprend une charpente métallique constituée de quatre poutres principales longitudinales en forme de caisson reliées par des pièces de pont transversales et recouverte d'une dalle



10
© ARTELIA

CULÉE CONTREPOIDS C2 (dalle de couverture retirée)

10- Culée contrepoids C2 (dalle de couverture retirée).

11- Coupes transversales sur appui.

10- Counterweight abutment C2 (cover slab removed).

11- Cross sections on bearing.

en béton armé qui lui est connectée. La hauteur des poutres métalliques du tablier, variable, est de 0,85 m sur la culée C0, de 1,8 m à la jonction et de 1,2 m sur la culée C2.

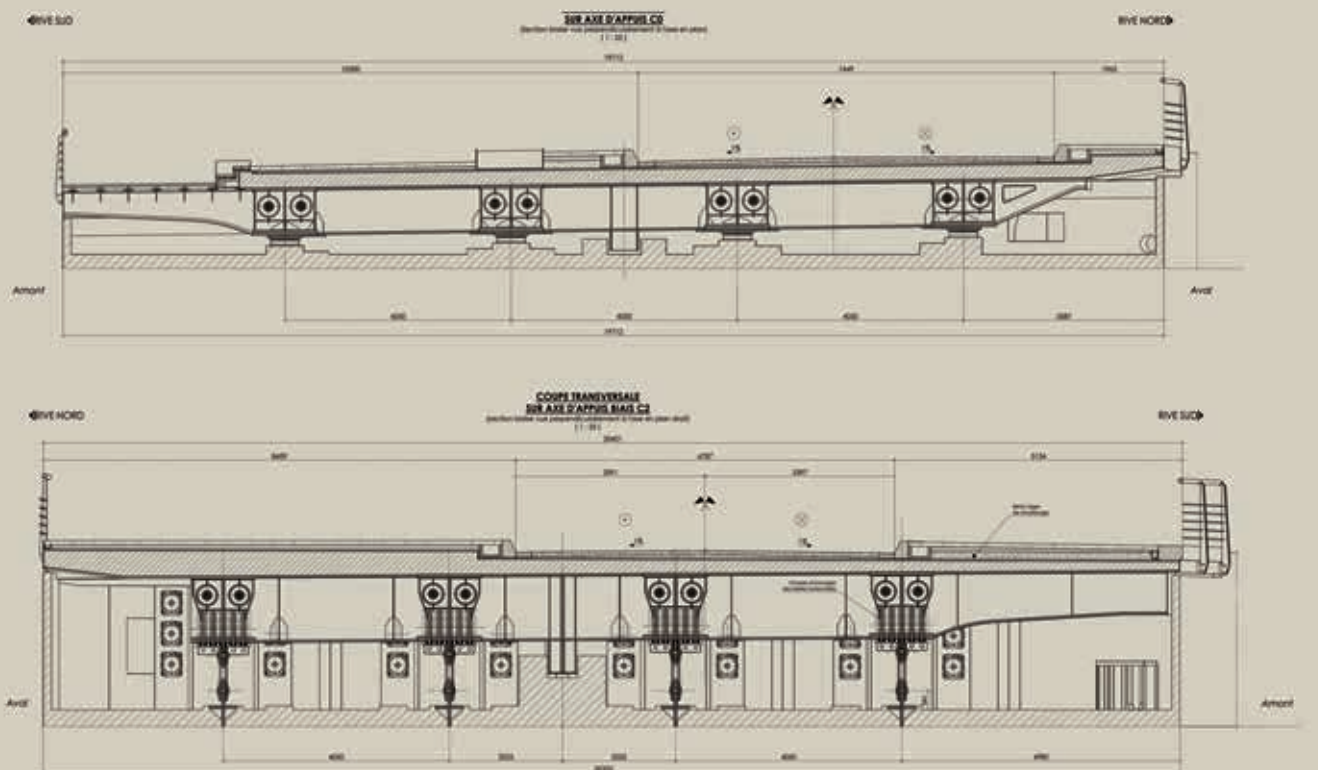
La hauteur des sections hexagonales des caissons (béquilles et poutres du tablier) varie le long du parcours de la ligne d'épure jusqu'à l'encastrement.

À leur jonction, ces deux sections se rejoignent et se confondent pour ne former qu'une seule et unique section de forme rectangulaire, de plus forte inertie, qui se prolonge jusqu'à la culée C0 (figure 5).

Si l'épure adoptée pour la géométrie des formes affirme une volonté architecturale, ces formes constituent également une réponse technique à l'analyse des sollicitations auxquelles la structure est soumise ; elles ont été définies en accord avec l'épure des forces, afin d'optimiser la matière.

Le profil en travers fonctionnel sur ouvrage (figure 6) est composé, du nord (aval) vers le sud (amont), d'un trottoir de 2,05 m, d'une chaussée de 7,00 m réservée aux bus et aux cycles, d'un espace piétons de 6,90 m intégrant des îlots plantés, et d'un espace piétons dénivelé constitué de consoles métalliques recouvertes d'un platelage en bois d'une largeur variable (3,4 m à 4,4 m), formant un belvédère sur la Seine. Des bordures hautes matérialisent la séparation entre les circulations douces et la chaussée. Le belvédère se prolonge par un escalier permettant l'accès direct à l'ouvrage depuis la berge, supporté par des consoles soudées sur la béquille Sud. ▶

COUPES TRANSVERSALES SUR APPUI



11
© ARTELIA

12- Prise d'appui en pied de béquilles - Butons - Détails de l'appui à grain.

13- Fabrication des nœuds béquille / tablier en atelier.

12- Bearing at foot of struts - Stays - Details of sliding bearing.

13- Production of strut/deck joints in workshop.

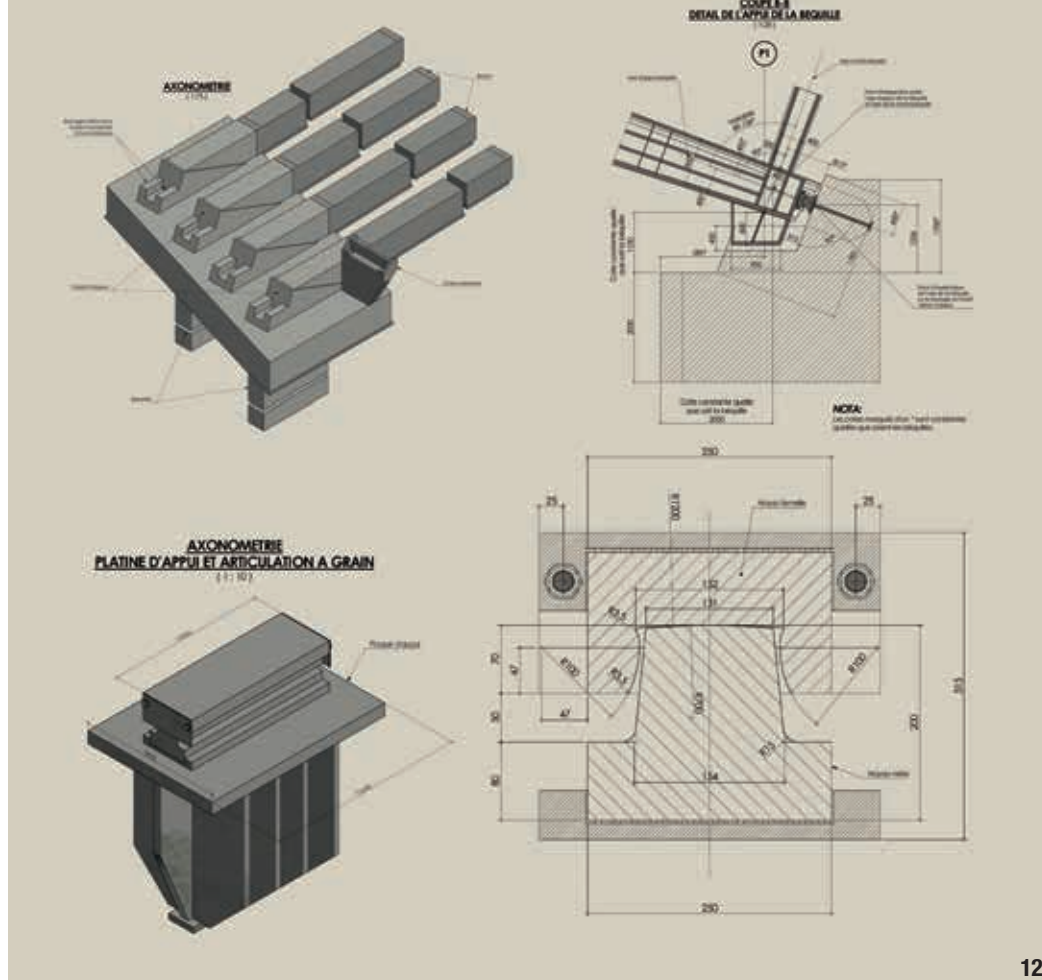
Le profil en long permet de respecter strictement les contraintes géométriques rappelées précédemment, et de garantir l'accès aux PMR. Il est constitué, en partie centrale, d'un arc de 1650 m de rayon, encadré par des pentes à 4,0% côté C0 et à 1,9% côté C2.

Le tracé de l'axe en plan de l'ouvrage est droit au niveau du franchissement de la Seine et présente une déviation angulaire de 30 degrés par rapport à l'axe de l'allée de Seine, à laquelle l'ouvrage se raccorde côté Saint-Denis. Le raccordement en plan s'effectue par un tracé courbe de la voie de bus de rayon $R = 60$ m entre le pont et sa rampe d'accès.

Le système triangulé tablier / béquilles / contre-béquilles est quasi-indéformable, malgré la finesse de ses éléments constitutifs. Il est articulé en pied : les béquilles prennent appui sur le massif P1 par l'intermédiaire d'appareils d'appui à grain.

Les lignes d'appui sur C0, P1 et C2 sont biaisées de 17° par rapport à l'axe du tablier (figures 3 et 7).

PRISE D'APPUI EN PIED DE BÉQUILLES - BUTONS - DÉTAILS DE L'APPUI À GRAIN



12

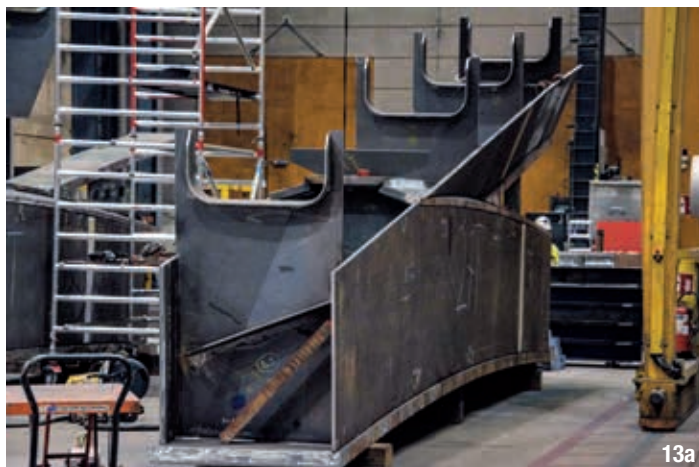
© ARTELIA

LE SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE DU TABLIER MIXTE

Outre l'emploi de matériaux de très bonnes caractéristiques mécaniques (aciers de nuance S460 pour la charpente métallique, béton C50/60 pour la dalle), la mise en œuvre d'une précontrainte longitudinale extérieure à la

dalle, logée dans les caissons métalliques, permet d'apporter le surcroît de résistance nécessaire pour supporter les charges d'exploitation (l'ouvrage étant en mesure de porter son poids propre sans celle-ci). Elle consiste en deux câbles 37T15S par poutre, mis en tension côté C2 et ancrés aux bouts

de la structure sur une pièce de pont renforcée. Ces câbles sont classiquement ondulés de manière antagoniste à la courbe des moments de flexion du tablier, de manière à optimiser leur effet (figure 8). Des déviateurs, constitués de tubes cintrés soudés sur les diaphragmes, sont positionnés en



13a

© EIFFAGE



13b

© EIFFAGE



© ARTELIA / SERNAVISION
14a



© ARTELIA / SERNAVISION
14b

14- Assemblage et transfert du colis sur barge au port de Gennevilliers.

15- Cinématique de pose de l'ouvrage.

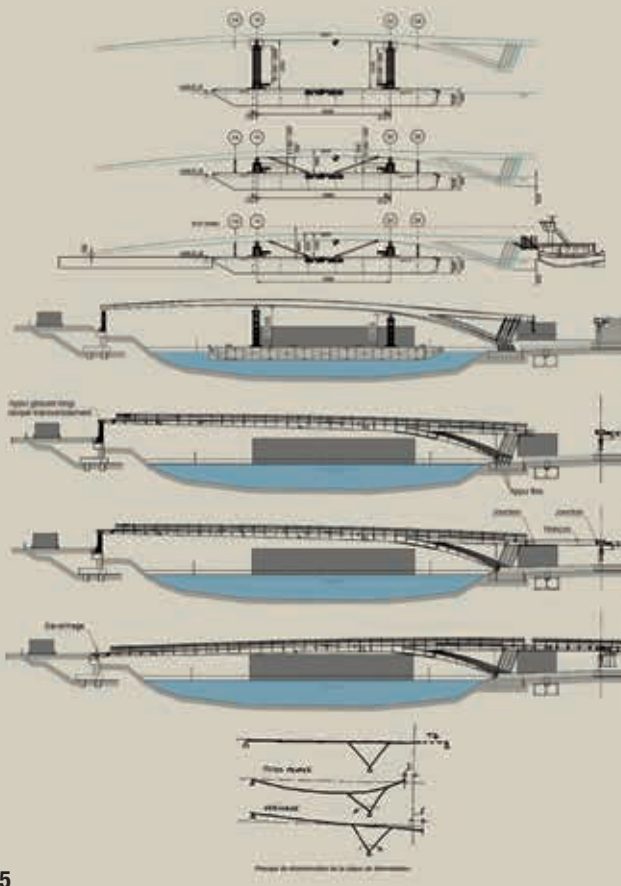
14- Assembly and transfer of the package on barge at Gennevilliers port.

15- Kinematic drawing of structure installation.

travée et sur appui. Le système d'ancrage est conçu de manière similaire à celui des câbles de haubans ; la plaque d'ancrage s'appuie sur deux plats appelés "lames de persiennes", soudés sur les deux âmes des poutres-caissons principales.

La précontrainte mise en œuvre est constituée de torons gainés graissés (TGG) ; les dispositions constructives retenues permettent sa remise en tension ultérieure, et son remplacement si nécessaire.

CINÉMATIQUE DE POSE DE L'OUVRAGE



15

© EIFFAGE / GREISCH / SARENS

LE SCHÉMA STATIQUE, LES APPUIS ET LES FONDATIONS

Le balancement des travées induit des soulèvements verticaux sur la file d'appui sur la culée C2 sous l'effet des charges permanentes et d'exploitation. C2, qui constitue le point fixe longitudinal, joue par ailleurs le rôle de contrepoids, compensant le poids de la grande travée et assurant la stabilité globale de l'ouvrage.

La mobilisation de ce lest génère des efforts de traction dans les poutres du tablier, entre C2 et l'extrémité du système triangulé formé par les béquilles et contre-béquilles. La reprise de ces réactions d'appui est assurée par la mise en œuvre de bielles verticales d'une part, ancrées dans le chevêtre avant de la culée, et horizontales d'autre part, reliant l'extrémité du tablier à la boîte-culée (figure 9).

Pour assurer la reprise des efforts horizontaux, la dalle de couverture de la culée contrepoids est précontrainte par 4x6 câbles 42T15S qui "referment" les efforts de traction jusqu'à l'arrière de la boîte (figure 10).

En rive gauche, l'ouvrage repose sur C0, une simple culée perchée, au moyen d'appareils d'appui à pot multidirectionnels autorisant les déplacements longitudinaux du tablier sous l'effet des variations de température (figure 11). La culée C0 repose sur une semelle fondée sur 6 pieux de diamètre 1400 mm et de 20 m de profondeur.

En service, le tablier est bloqué transversalement, sur ses deux culées, par une butée métallique soudée sous la pièce de pont sur appui et enchâssée entre deux bossages en béton armé situés sur le chevêtre. Les pieds de béquilles sont simplement appuyés sur un massif en béton, composé d'une semelle de répartition épaisse et de sabots de liaison assurant la diffusion des charges. Des appareils d'appui à balancier à contact linéique (grains) positionnés en pied de béquilles assurent l'articulation entre le tablier et le socle d'appui. Des butées transversales sont également disposées en pied de chacune des béquilles pour assurer la reprise des efforts horizontaux en cas de choc accidentel de bateau sur la structure.

La nature des sous-sols, constitués de couches d'alluvions modernes, de marno-calcaires et de sables, impose, pour concevoir un système de fondation suffisamment rigide vis-à-vis des efforts horizontaux, de recourir à des fondations profondes.

Le système retenu comporte deux barrettes de dimensions 1,20x6,20 m pour le massif P1, et de six barrettes de dimensions 1,20x7 m pour la culée C2, orientées dans la direction longitudinale du tablier de manière à disposer d'une inertie importante dans la direction des efforts horizontaux. Ces barrettes ont une longueur de 30 m sur P1 et de 20,5 m sur C2, et sont ancrées dans les sables de Beauchamp.

Compte tenu du schéma statique de la structure, la descente de charges sur le massif d'ancrage des béquilles et sur la culée C2 comprend deux composantes horizontales importantes et de directions opposées. Afin de limiter les efforts à reprendre dans les barrettes de fondation, des butons en béton armé relient le massif P1 et la semelle de C2.

LES PHASES DE TRAVAUX MARQUANTES

Les études d'exécution, ainsi que les travaux de réalisation des fondations et des ouvrages en béton, ont déjà été décrits dans un précédent article, paru au numéro spécial "Jeux de Paris 2024" de la revue *Travaux* (n°981, octobre 2022) ; le lecteur pourra s'y référer pour plus de détails. On se limitera ici, en complément, à décrire principalement les travaux de fabrication et de mise en place de la charpente métallique.

Les commandes des aciers aux forges ont été lancées en août 2021, un peu plus de quatre mois après le démarrage de la période de préparation du chantier. La fabrication de la charpente (photo 13) a été réalisée simultanément dans les ateliers français (Lauterbourg, 1 000 t) et belge (Arendonk, 800 t) d'Eiffage Métal, ce qui a permis d'absorber la quasi-totalité des allongements subis dans les délais de

fourniture des tôles (conséquence de la pénurie des aciers au sortir de la pandémie de Covid-19).

Les tronçons de charpente constituant l'ensemble de l'ouvrage, à l'exception de la travée de rive, ont été acheminés par la route jusqu'au port fluvial de Gennevilliers, situé à l'ouest du site du futur Village des Athlètes. Ils y ont été assemblés de février à octobre 2022, et revêtus de leur protection anticorrosion (à l'exception de la couche de finition). Les gaines de précontrainte (PEHD) ont été intégrées aux tronçons en atelier, puis raboutées par manchonnage électro-soudé sur l'aire d'assemblage. Le colis, d'un poids de 1 500 t, a été déplacé le 18 octobre sur un duo de barges couplées qui devait le transporter à son emplacement définitif (figure 14). Cette opération délicate et spectaculaire a été réalisée par l'entreprise Sarens, à l'aide de deux paires de SPMT. La charpente a ensuite été

transférée, sur la barge, sur quatre tours auto-vérinables CS1000, avant évacuation des SPMT et de leurs plate-lages, qui leur avaient servi de chemin de roulement pour enjamber le mur de quai et les 5 m de dénivelé entre ce dernier et la barge.

L'ouvrage a ensuite été dévériné de 9 m, suffisamment pour qu'il puisse passer sous les six ponts qui jalonnaient son trajet. Puis le convoi, d'une longueur totale de 180 m (complété par une 3^e barge de sécurité à l'avant, et par deux bateaux pousseurs), a largué les amarres pour remonter la Seine sur 8 km.

16- Transport et pose.

16- Transport and installation.

À l'arrivée du convoi, le tablier a été relevé à nouveau, pour le positionner à une altitude d'environ 11 m. La mise en place de la structure métallique à son emplacement définitif, par rotation et translation de la barge, a eu lieu dans la nuit du vendredi 28 octobre, sous fermeture du chenal de navigation et des voies sur berge.

La charpente a alors été déposée sur des appuis provisoires. En P1, sur un point fixe provisoire consistant en 4 chaises métalliques réglables posées sur la semelle en béton, supportant les platines d'appui des appareils à grain (le bétonnage de la partie avant des sabots en béton étant réalisé en dernier). Et en C0, sur des tours camardeaux, à +5,50 m par rapport à son niveau final.

Cette configuration "nez relevé" (figure 15) a permis d'assurer un parfait alignement des joints de rabouillage entre la charpente principale et les



© SERNAVISON / SAP PHOTOGRAPHIE



16b

© SERNAVISON / SAP PHOTOGRAPHIE



16c

© SERNAVISON / SAP PHOTOGRAPHIE



© SAP PHOTOGRAPHIE

17

17- L'ouvrage vu depuis P1, at night, mai 2023.

17- Structure seen from P1, at night, in May 2023.

tronçons de la travée arrière, posés à la grue. Cette compensation avait pour objet de connecter l'ossature à la culée contrepoids C2 de manière neutre, c'est-à-dire sans y enfermer d'efforts induits par le phasage de construction. Après raboutage des tronçons métalliques et des gaines de précontrainte, le schéma statique définitif a été obtenu par le dévérinage sur CO, entraînant le chargement des appareils d'appui à grain en pied de béquilles et la mise en traction des bielles d'ancrage dans la culée C2.

Au moment de la rédaction de cet article, le gros œuvre est achevé, et la précontrainte du tablier a été mise en

CHIFFRES CLÉS

LONGUEUR TOTALE : 138 m

LARGEUR : 16 m (hors belvédère)

QUANTITÉS PRINCIPALES :

- Charpente métallique : 1 800 t
- Béton de structure : 6 500 m³ (C35/45, C50/60), armatures passives : 1 350 t
- Précontrainte extérieure (tablier) : 1 100 m de câbles 37T15S
- Précontrainte intérieure (culée C2) : 1 000 m de câbles 42T15S
- Barrettes : 180 m (1,2 m x 6,20 m et 1,2 m x 7 m)
- Pieux : 120 m (Ø 1 400 mm)

DÉLAI DE RÉALISATION : 26 mois de travaux de juin 2021 à août 2023

COÛT DES TRAVAUX : 29,15 M€ HT (lot 1 : 25,70 M€ HT ; lot 2 : 1,50 M€ HT ; lot 3 : 1,70 M€ HT ; lot 4 : 0,25 M€ HT)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Département de la Seine-Saint-Denis (CD93)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Artelia (mandataire) / Lavigne & Chéron Architectes / Philippon & Kalt Architectes Paysagistes

GROUPEMENT D'ENTREPRISES TITULAIRE DU LOT 1 (Ouvrage d'Art) : Eiffage Génie Civil (mandataire) / Eiffage Fondations / Eiffage Métal / Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux / Aevia / Capocci

BUREAUX D'ÉTUDES D'EXÉCUTION DU LOT 1 : Biep / Greisch / Equilibre

tension. La pose des superstructures et équipements, les travaux de plantation et les finitions, sur le pont et les berges, constitueront la dernière ligne droite avant une réception prévue au mois d'octobre 2023.

Le pont du Village des Athlètes a été conçu pour répondre à l'ambition de réaliser un ouvrage emblématique, capable de servir de marqueur pour les Jeux à venir mais surtout, et au-delà, de contribuer en héritage à la profonde mutation du territoire dans lequel il s'inscrit, pour le bien de ses habitants.

Ouvrage à la fois très technique et très élégant, il aura bénéficié d'une conception particulièrement soignée, d'une réalisation très rigoureuse et d'une mise en place astucieuse, et aura permis des échanges fructueux entre le maître d'œuvre, les entreprises et leurs bureaux d'études d'exécution. Il constituera un exemple inédit d'application de la technique de la précontrainte des structures mixtes acier-béton. □

ABSTRACT

THE BRIDGE OF THE ATHLETES VILLAGE, A SINGLE MAIN SPAN CROSSING THE SEINE

NABIL YAZBECK, ARTELIA - ADRIEN CORBIERE, ARTELIA - RENÉE SALAME, ARTELIA - MATHIEU JEROME, EIFFAGE METAL - VIVIEN HALLER, EIFFAGE GENIE CIVIL

In Seine-Saint-Denis, north of Paris, a vast process of transformation and redevelopment of the areas along the Seine is underway, with the urban renovation of the housing estates and working-class neighbourhoods on one side, and the redevelopment of industrial waste land on the other side. The location of the Athletes Village for the 2024 Olympic Games in this area acted as a catalyst. In the heart of the Village, the new bridge has a central position, linking its two parts, separated by the Seine. After the Games, the inhabitants of these districts will benefit from a new connection to the public transport system. This bridge crosses the Seine with a single main span around 110 metres long. Its refined, tense shapes are the result of a special static scheme in which the structure is anchored in a rear counterweight abutment to straddle the Seine, and use of the prestressing technique for composite steel-concrete structures. □

EL PUENTE DE LA VILLA DE LOS ATLETAS, UN HAZ SOBRE EL SENA

NABIL YAZBECK, ARTELIA - ADRIEN CORBIERE, ARTELIA - RENÉE SALAME, ARTELIA - MATHIEU JEROME, EIFFAGE METAL - VIVIEN HALLER, EIFFAGE GENIE CIVIL

Al norte de París, en el departamento de Seine-Saint-Denis, se está llevando a cabo un amplio proceso de transformación y reconversión de las orillas del Sena, con la renovación urbana de los barrios y distritos residenciales obreros, por una parte, y la reconversión de terrenos industriales, por otra. La implantación en este territorio de la Villa que albergará los atletas de los Juegos Olímpicos de 2024 ha desempeñado un papel de acelerador. En el centro de la Villa, el nuevo puente ocupa un lugar central, enlazando sus dos partes separadas por el Sena. Después de los Juegos, los habitantes de estos barrios contarán con una nueva conexión con la red de transporte público. Este puente discurre sin contacto sobre el Sena, abriendo una luz principal de casi de 110 m. La elegancia y la tensión de sus formas son el resultado de un esquema estático específico, en el que la obra se ancla a un estribo de contrapeso posterior para franquear el Sena, y del uso de la técnica de pretensado de estructuras mixtas de acero y hormigón. □



1
© CCI

RENFORCEMENT ET RÉPARATION DU VIADUC D'ACCÈS AU PONT DE TANCARVILLE

AUTEURS : OLIVIER ROSSI, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, SETEC TPI - ANTHONY LÉBOUC, INGÉNIEUR TRAVAUX, FREYSSINET - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, DIRECTEUR DE PROJET, SETEC TPI - CLÉMENT FASQUEL, ADJOINT AU DIRECTEUR DES CONCESSIONS, CCI SEINE ESTUAIRE

LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE (CCI-SE) A ENGAGÉ UN PLAN PLURIANNUEL D'ENTRETIEN DE SES OUVRAGES EN CONCESSION ENTRE 2020 ET 2027, DANS L'OBJECTIF DE RESTITUER LES OUVRAGES DANS UN BON ÉTAT D'ENTRETIEN À L'ISSUE DE LA CONCESSION PROLONGÉE JUSQU'EN 2031. LES DIAGNOSTICS RÉALISÉS SUR LE VIPP (VIADUC À TRAVÉES INDÉPENDANTES À POUTRES PRÉFABRIQUÉES PRÉCONTRAINES PAR POST-TENSION) D'ACCÈS AU PONT DE TANCARVILLE ONT MIS EN ÉVIDENCE DES PATHOLOGIES NÉCESSITANT NOTAMMENT LA MISE EN ŒUVRE D'UNE PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE ADDITIONNELLE AINSI QUE DE RENFORTS EN COMPOSITE CARBONE COLLÉS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Mis en service en 1959, le pont de Tancaresse est un pont suspendu franchissant la Seine entre Tancaresse (Seine Maritime) et Marais-Vernier (Eure). Sa travée centrale de 608 m reste à ce jour le record national de portée pour un pont suspendu. En rive gauche, l'ex-

trémité Sud du pont suspendu est raccordée à la route par un viaduc d'accès de 400 m de longueur avec une pente de 6,5%. Il s'agit d'un ouvrage de type VIPP en béton précontraint constitué de 8 travées indépendantes de 50 m (figure 2). Transversalement, le tablier est composé de 5 poutres

1- Vue
d'ensemble.

1- General
view.

préfabriquées et précontraintes par post-tension, reliées par 5 entretoises et un hourdis coulé en place de 18 cm d'épaisseur (figure 3). Le hourdis et les entretoises sont précontraints transversalement. Le tablier reçoit 4 voies de circulation de 3 m et 2 trottoirs de 1,2 m.



2

© CCI

LE DIAGNOSTIC

La précontrainte longitudinale des poutres est assurée par des câbles de technologie Stup (Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte - ancêtre de Freyssinet). Il s'agit de câbles Stup 12Ø7 constitués de 12 fils de 7 mm de diamètre en acier à haute limite élastique, logés dans une gaine en feuillard métallique.

Les fils de précontrainte ont fait l'objet de mesure de tension résiduelle par essai à l'arbalète par Setec Lerm (figure 5). Les mesures effectuées ont mis en évidence des pertes différées supérieures à celles prévues dans les

2- Le viaduc d'accès.

3- Coupe transversale.

2- The access viaduct.

3- Cross section.

calculs de conception de l'ouvrage. À la suite de ce constat, Setec tpi a réalisé un recalcul complet de l'ouvrage en calibrant la tension résiduelle des câbles existants sur les résultats des mesures à l'arbalète. En parallèle, les

chargements routiers pris en compte dans le recalcul de l'ouvrage ont été ajustés par rapport aux hypothèses de conception d'origine afin de permettre le passage de convois exceptionnels de 72 t et les convois militaires de type Mc120 sur cet ouvrage d'importance stratégique. Cette étude a montré un excès de traction au niveau du talon des poutres principales, dû principalement au recalage de la tension résiduelle des câbles de précontrainte existants. Des dépassements de contrainte ont été observés sur le hourdis en flexion transversale sous les nouvelles charges d'essieux localisées.

LA PRÉCONTRAINTE EXTÉRIURE ADDITIONNELLE

Le déficit structurel des poutres principales en flexion longitudinale est compensé par l'ajout de câbles de précontrainte extérieurs. Chaque poutre est renforcée par 2 câbles de précontrainte avec un tracé en "bateau" (figure 4).

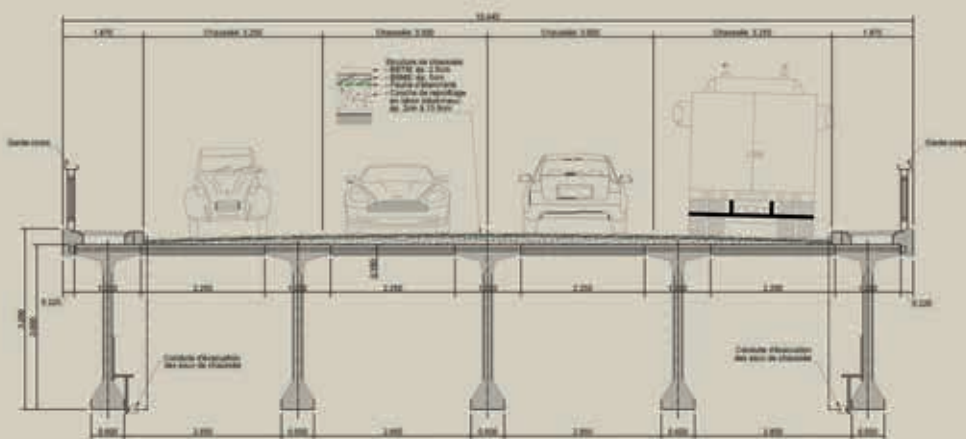
La puissance de la précontrainte additionnelle est ajustée selon la ligne d'influence transversale du tablier, avec 2 câbles 5T15s pour les poutres de rive, et 2 câbles 3T15s pour les poutres centrales. Cette disposition permet de recomprimer les zones tendues, tout en garantissant un niveau de compression des talons admissible pour l'ouvrage à vide.

Aux abouts, ils sont ancrés au niveau de la fibre moyenne des poutres par des blochets en béton.

Le transfert d'effort à la structure existante se fait par frottement au niveau de l'interface entre l'âme de la poutre existante et le blochet coulé en place et précontraint transversalement par 4 barres de clouage de diamètre 40 mm ou 32 mm en fonction de la puissance des câbles (figure 6).

L'implantation théorique des barres de clouage prend en compte le tracé des câbles de précontrainte existants, qui sont relevés dans les zones d'about. Cette implantation est confirmée sur site par un relevé précis des armatures passives et actives dans les zones de blochets (figure 7).

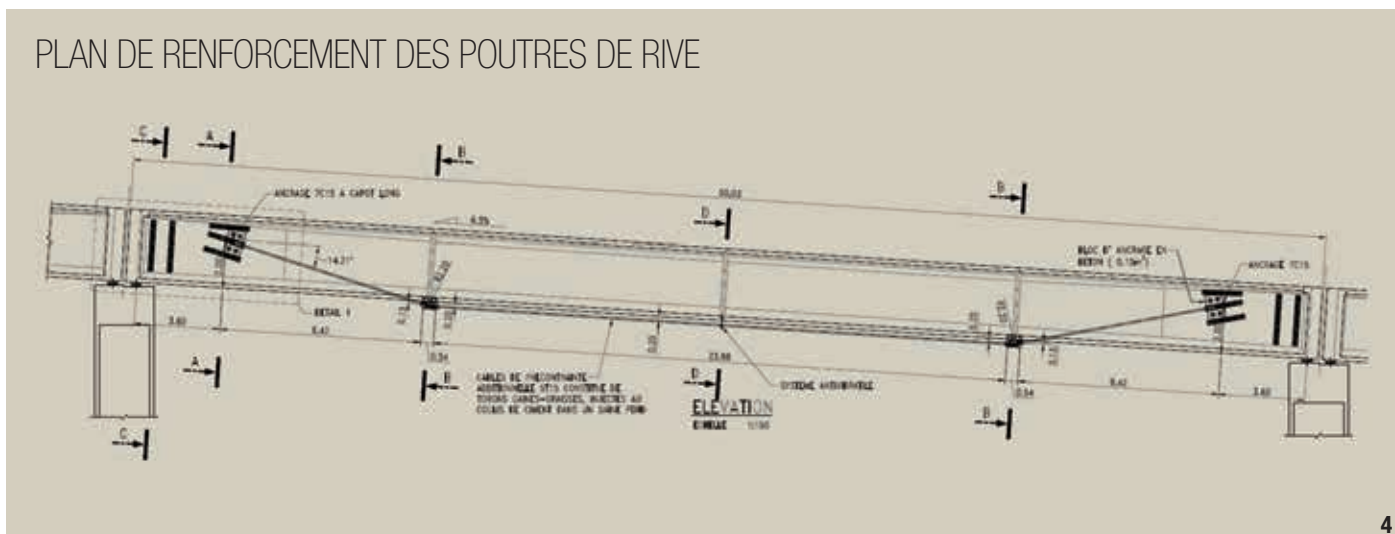
COUPE TRANSVERSALE



© SETEC

3

PLAN DE RENFORCEMENT DES POUTRES DE RIVE



4

© FREYSSINET



5

© SETEC



6

© CCI

Les âmes des poutres de rive sont renforcées par des bandes de Foreva® TFC (Tissu Fibre Carbone) horizontales à proximité des blochets d'ancrage afin d'équilibrer les efforts d'entraînement des nouveaux câbles. Les câbles sont déviés au niveau des entretoises de ¼ de travée par des déviateurs métalliques (figure 8). Les tubes déviateurs sont évasés à leurs extrémités afin d'accommoder les déviations angulaires parasites et ainsi éviter l'endommagement des gaines à la mise en tension.

L'ensemble du système de précontrainte par câble et par barre est conçu de sorte à être entièrement remplaçable. Cette exigence se traduit par la mise en œuvre de torons gainés graissés (TGG) disposés dans une gaine principale injectée au coulis de ciment. Les gaines étant injectées avant la mise en tension des monotorons, celles-ci sont réglées et maintenues à intervalle régulier afin de leur donner la géométrie définitive avant injection. Les capots d'ancrage des câbles et les gaines des

4- Plan de renforcement des poutres de rive.

5- Essai à l'arbalète.

6- Blochet en béton.

7- Implantation des blochets.

4- Edge beam strengthening plan.

5- Crossbow test.

6- Concrete tie brace.

7- Location of tie braces.

barres de clouage sont injectés à la cire pétrolière. Les sur-longueurs des torons et des barres sont calculées pour permettre une prise en charge ultérieure, pour la réalisation d'un pesage, d'une re-tension ou d'une détente.



7

© SETEC



8
© CCI



9
© CCI

LES RENFORTS EN TISSU DE FIBRE DE CARBONE (FOREVA® TFC)

Le hourdis est renforcé en flexion transversale par des bandes de TFC disposées au niveau de la fibre inférieure (figure 9).

Afin de maximiser l'efficacité de ces renforts, ces travaux sont réalisés sous coupure des voies au-dessus des zones renforcées. En effet les vibrations engendrées par la circulation sur l'ouvrage sont préjudiciables à la qualité du collage des bandes sur le support béton préparé. Une vibration excessive engendre un décollement local des bandes et des vides à l'interface, diminuant ainsi l'adhérence de la bande. De plus, il est nécessaire de coller les bandes sur le hourdis déchargé de toute charge routière afin de coller les bandes sur un état de déformation quasi nul de la section. Cette mesure permet de maximiser la participation des bandes de TFC à la reprise des charges routières. Un contrôle exhaus-

tif de la qualité de mise en œuvre des bandes de TFC est réalisé à la caméra thermique. Cette opération consiste à légèrement chauffer la zone renforcée, puis à l'inspecter avec la caméra thermique qui met en évidence les bulles d'air emprisonnées (figure 10). Les zones de vide importantes sont reprises si nécessaire.

Ainsi, ces travaux nécessitent des neutralisations et des basculements de voies récurrents afin de maintenir l'ouvrage en exploitation tout en respectant les contraintes exprimées ci-avant. Le phasage impose un suivi rigoureux des temps de prise de la résine du composite au niveau de chaque zone, afin de garantir la prise de celle-ci avant

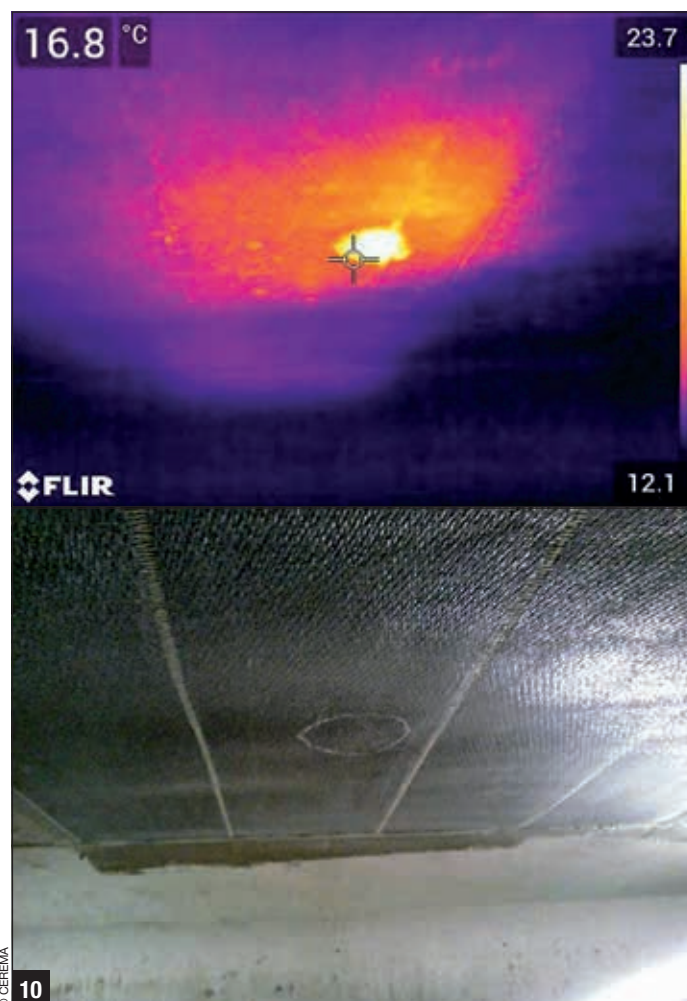
la réouverture de la voie à la circulation. Les abouts de poutre font également l'objet d'un renforcement par des bandes de TFC disposées verticalement sur les âmes. Celles-ci viennent en complément des armatures passives verticales des âmes et assurent l'équilibre de la bielle d'about (figure 11).

LES MOYENS D'ACCÈS SUSPENDUS

Compte-tenu de l'ampleur des travaux à réaliser, la mise en place de moyens d'accès conséquents s'est avérée nécessaire afin de réaliser les travaux en intrados depuis une plateforme sécurisée. La hauteur du tablier, d'environ 40 m au point le plus haut, a poussé le groupement d'entreprises emmené par Freyssinet à proposer un échafaudage entièrement suspendu au tablier de l'ouvrage (figure 12).

Le phasage consiste à installer un échafaudage suspendu sur 4 travées en simultané, monté et démonté selon l'avancement des travaux sur les 8 travées de l'ouvrage. Le respect du planning de réalisation nécessite la mobilisation des équipes de Nuvia Access pendant l'intégralité de la durée du chantier afin de monter et démonter les plateformes suspendues à l'avancement. Les accès depuis le sol se font par l'intermédiaire de tours au niveau des piles de l'ouvrage.

Le pont de Tancarville est situé dans une zone naturelle protégée (Natura 2000, Parc naturel régional, zone humide). Le confinement intégral des plateformes de travail permet de limiter les nuisances et de récupérer les déchets des travaux de sablage du béton, qui sont nécessaires pour la préparation de surface des zones renforcées par bandes de carbone collées.



10
© CEREMA

8- Déviateur métallique.

9- Renforts Foreva® TFC en sous face du hourdis.

10- Contrôle à la caméra thermique.

8- Steel deviator.

9- Foreva® TFC reinforcements on the underside of the deck section.

10- Inspection by thermal camera.

Le confinement permet également de maîtriser la température et l'hygrométrie des zones renforcées par bandes de carbone collées.

Pendant les périodes hivernales, le chauffage des zones confinées permet de garantir et d'optimiser la prise de la résine et ainsi maîtriser le planning de l'opération.

LA GESTION DE L'EXPLOITATION EN PHASE TRAVAUX

Le pont de Tancarville est fréquenté en moyenne par 18 000 véhicules par jour, dont environ 4 500 poids-lourds. Il est donc impossible de couper la circulation pendant la durée des travaux. Cette contrainte d'exploitation impose un phasage de balisage complexe s'adaptant aux différents travaux. La chaussée est divisée en 3 parties, permettant la circulation des véhicules à chaque instant sur 1 voie montante et 1 voie descendante. Une voie est fermée à la circulation (figure 13).

Le balisage s'ajuste en fonction de la pose du TFC, collé en sous face des hourdis. Pendant ces travaux, la voie se trouvant au droit de la zone de pose doit être exempte des charges d'exploitation et de vibrations. Les différents travaux prévus en extrados de tablier sont ensuite articulés dans ce balisage imposé par le TFC.

Les 36 avaloirs présents sur la chaussée ainsi que leur système d'évacuation sont remplacés. Le nouveau système d'assainissement composé d'un avaloir fixé sur une cuvette encastrée dans le hourdis impose la création d'une poutre de renfort en sous-face. De ce fait, les avaloirs doivent absolument être changés à l'avancement de l'échafaudage tout en étant en phase avec la voie balisée sur le tablier.

Le balisage est également utilisé pour le bétonnage des blochets en béton. Un système de conduite est installé depuis l'échafaudage et emmené sur la chaussée afin de pouvoir y brancher le camion-toupie. Ce système est déplacé d'un côté et de l'autre du tablier en fonction de la voie fermée à la circulation.

À partir de novembre 2023, les gros travaux de réfection de la chaussée seront lancés.

L'intégralité du tablier sera rabotée, puis une nouvelle étanchéité par feuille sera installée. Ces travaux se dérouleront encore une fois par tiers de chaussée. Une fois la feuille d'étanchéité remplacée, une couche de reprofilage en EME (Enrobé à Module Elevé) sera mise en œuvre, permettant de donner au tablier

11- Renforts Foreva® TFC en zone d'about des poutres.
12- Plateforme de travail suspendue.

11- Foreva® TFC reinforcements in the beam end area.

12- Suspended work platform.

une forme de toit sur sa coupe transversale.

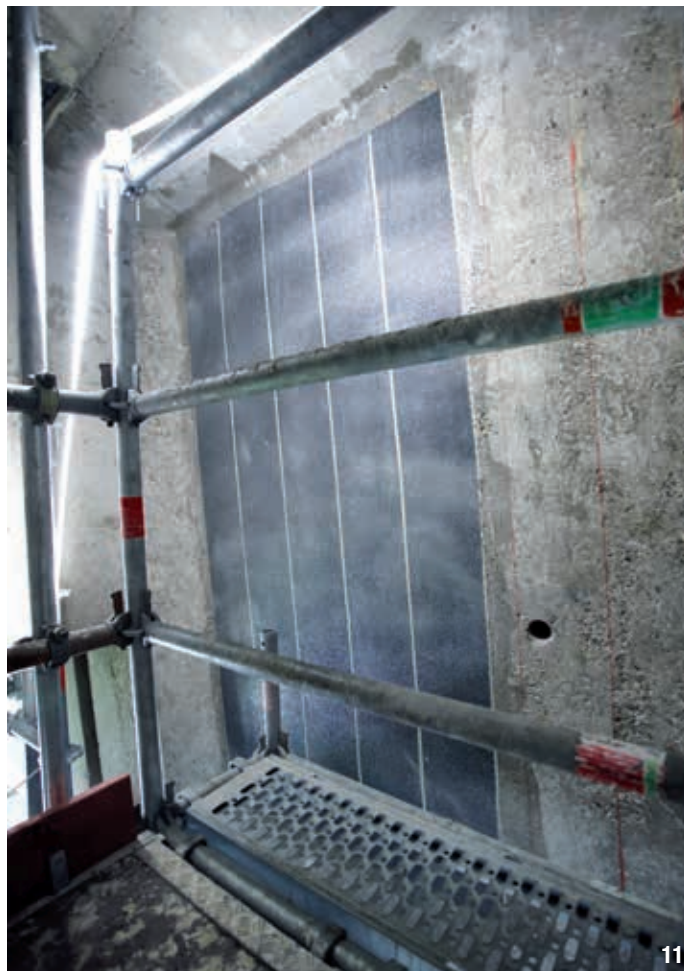
Une attention particulière sera portée aux reprises d'étanchéité et de reprofilage aux tiers de chaussées.

Deux nuits de coupure totale du pont sont prévues :

→ La 1^{re} permettant de réaliser la couche de roulement en enrobé d'une épaisseur de 2,5 cm sur l'ensemble du tablier. Cette solution a été retenue afin de ne pas avoir de reprises d'enrobés par tiers de chaussée et ainsi optimiser la tenue de ce dernier dans le temps ;

→ La 2^e coupure est prévue en fin de chantier afin de réaliser un essai de chargement du tablier. Cet essai consiste à charger chaque travée à l'aide de camions, puis de mesurer, grâce à un suivi topographique, la flèche du tablier induite par ces charges d'exploitation. Cette épreuve pourra ainsi valider la réception des travaux.

Une fois la couche de roulement terminée, un nouveau balisage par tiers



11

sera mis en place. Celui-ci permettra de réaliser les 3 lignes de joints de chaussée de 12 m chacun en WD+80 sur les piles intermédiaires. Les 4 autres joints intermédiaires sont remplacés par des attelages. Les 2 joints de chaussée actuels des culées sont conservés.

L'ATTELAGE DES TRAVÉES

Dans le cadre du projet de renforcement et de réparation du pont, il a été décidé d'atteler les travées deux à deux. Cette nouvelle disposition, définie en concertation avec le maître d'ouvrage, permet de réduire le nombre



12



© CCI 13

13- Neutralisation de la voie amont.

13- Neutralisation of the upstream lane.

de joints de chaussée de 9 à 5. Cette optimisation permet de réduire le coût d'entretien de l'ouvrage et d'augmenter le confort des usagers.

Une solution d'attelage par tirants-butons précontraints a été retenue. Cette solution consiste à installer des butons précontraints entre les entretoises d'about de deux travées adjacentes. Les butons et les barres pré-

CHIFFRES CLÉS

BUDGET TOTAL DE L'OPÉRATION : 7,2 millions d'euros
PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE ADDITIONNELLE : 15,3 t
BLOCHETS EN BÉTON COULÉ EN PLACE : 50 m³
BARRES DE CLOUAGE DES BLOCHETS : 320 unités Ø32 mm et Ø40 mm
DÉVIATEURS MÉTALLIQUES : 20 t de charpente métallique
RENFORTS FOREVA® TFC (Tissu Fibre Carbone) : 3 000 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : CCI Seine Estuaire
MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec tpi
GROUPEMENT D'ENTREPRISE : Freyssinet France (mandataire), Nuvia Access, Sade, Toffolutti

contraintes permettent de répartir les efforts horizontaux thermiques et de freinage entre les deux travées, sans mise en butée des tabliers ou ouverture du joint.

La conception du système permet de maintenir la libre rotation des abouts de poutre afin de conserver le fonctionnement isostatique sous charges verticales. Cela se traduit par la mise en place d'appareils d'appui en élastomère fretté à l'interface entre les butons et l'entretoise, ainsi que d'écrous sphériques au niveau des barres précontraintes.

Les appareils d'appui existants ont été recalculés afin de vérifier qu'ils permettent de reprendre les déplacements horizontaux après attelage. □

ABSTRACT

STRENGTHENING AND REPAIR OF THE ACCESS VIADUCT TO TANCARVILLE BRIDGE

OLIVIER ROSSI, SETEC TPI - ANTHONY LÉBOUC, FREYSSINET - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - CLÉMENT FASQUEL, CCI SEINE ESTUAIRE

The repair and strengthening of the access viaduct to Tancarville bridge will make it possible to operate this major French legacy structure to its full capacity, for many more years. Using modern strengthening technologies such as external prestressing formed of sheathed and individually lubricated tendons or bonded carbon fibre strips, it will be possible to extend the lifetime of this structure inaugurated in 1959. After two years of design work performed by Setec tpi between 2021 and 2022, strengthening work performed by the consortium led by Freyssinet began in January 2023 and is expected to continue until the spring of 2024. □

REFUERZO Y REPARACIÓN DEL VIADUCTO DE ACCESO AL PUENTE DE TANCARVILLE

OLIVIER ROSSI, SETEC TPI - ANTHONY LÉBOUC, FREYSSINET - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - CLÉMENT FASQUEL, CCI SEINE ESTUAIRE

La reparación y el refuerzo del viaducto de acceso al puente de Tancarville permitirán aprovechar todas las capacidades de esta importante obra del patrimonio francés durante muchos años más. El uso de tecnologías modernas de refuerzo, como el pretensado exterior formado por cables trenzados revestidos y lubricados individualmente o las bandas de fibra de carbono adheridas, permitirá prolongar la vida útil de esta construcción, inaugurada en 1959. Tras dos años de estudios a cargo de Setec tpi, entre 2021 y 2022, las obras de refuerzo por parte del consorcio de empresas liderado por Freyssinet comenzaron en enero de 2023 y está previsto que finalicen en primavera de 2024. □



1
© GUY SAUVAGE

LE PONT DE COCODY À ABIDJAN

AUTEURS : JEAN VASSORD, DIRECTEUR TECHNIQUE, ARCADIS - GUY SAUVAGE, REPRÉSENTANT DE L'ARCHITECTE PIERRE FAKHOURY - ZE YI WU, EXPERT OUVRAGES D'ART, EGIS/ADP - EMMANUEL ROUSSET, CHEF DE PROJET OUVRAGES D'ART, EGIS - HILAIRE DOFFOU, MAÎTRE D'OUVRAGE UG-PABC

SITUÉ EN PLEIN CŒUR DE LA VILLE, CE 5^e PONT SUR LA LAGUNE A POUR OBJECTIF DE CRÉER UNE LIAISON DIRECTE ENTRE LE QUARTIER ADMINISTRATIF DU PLATEAU À L'OUEST ET LA COMMUNE DE COCODY EN PLEIN DÉVELOPPEMENT À L'EST. ASSOCIÉ AU RÉAMÉNAGEMENT DU CARREFOUR DE L'INDÉNIÉ, IL PERMETTRA D'AMÉLIORER FORTEMENT LA CIRCULATION DANS CE SECTEUR. AVEC SA FORME DYNAMIQUE ET AUDACIEUSE, VOULUE PAR L'ARCHITECTE PIERRE FAKHOURY, CET OUVRAGE VISIBLE DE JOUR COMME DE NUIT A NÉCESSITÉ DE RELEVER PLUSIEURS DÉFIS TECHNIQUES.

CONTEXTE

Réalisé dans le cadre du Projet de Sauvegarde et de Valorisation de la Baie de Cocody, initié par le gouvernement de la Côte d'Ivoire avec l'appui du Royaume du Maroc, cet ouvrage constitue un élément du programme d'amélioration des conditions de circulation dans le centre d'Abidjan voulu par le chef de l'État.

Cette nouvelle liaison directe Est-Ouest permettra de réduire le trafic dans le secteur du carrefour de l'Indénié et

apportera une nette amélioration en termes de temps de parcours et de sécurité aussi bien pour les véhicules que pour les piétons et cycles. Il participe à la mise en valeur de la baie qui comprend l'assainissement de la lagune et aussi la création d'une marina à l'ouest et d'un parc urbain à l'est. Le projet s'étend depuis la cathédrale Saint-Paul à l'ouest, jusqu'à l'église Saint-Jean à l'est en franchissant la baie de Cocody avec un ouvrage principal de 630 m de longueur et

1- Pont principal haubané.

1- Main cable-stayed bridge.

25,70 m de largeur comportant une travée haubanée de 200 m au-dessus du chenal en cours d'aménagement et laissant un tirant d'air de 20 m. La hauteur du pylône est de 108 m (figures 1, 2 et 3).

Un viaduc d'accès côté Est de 258 m de longueur permet un raccordement direct au Boulevard de France.

Un demi-échangeur entre ces 2 ouvrages permet aux résidents des quartiers voisins d'accéder à l'ouvrage et ainsi directement au Plateau, tout en conservant un accès vers l'Indénié.

À l'ouest, un viaduc de 147 m de longueur et 9 m de largeur permet un accès à l'ouvrage principal depuis la partie Sud du boulevard De Gaulle.

VUE D'ENSEMBLE DU SITE DE L'AMÉNAGEMENT ET DE SAUVEGARDE DE LA BAIE DE COCODY



© PHOTO THÉÂTRE PARC

2

CONCEPTION GÉNÉRALE ET ARCHITECTURALE PONT PRINCIPAL

La conception générale est largement conditionnée par les choix architecturaux. En effet, Pierre Fakhoury souhaitait un ouvrage remarquable et emblématique dans ce site très visible depuis de nombreux secteurs d'Abidjan. Il souhaitait notamment un ouvrage franchissant l'ensemble du chenal dans un geste dynamique, avec un tablier très mince, garantissant une transparence visuelle pour tous les usagers de la future marina et du parc urbain. La solution d'un pont haubané est

2- Vue d'ensemble du site de l'aménagement et de sauvegarde de la Baie de Cocody.

3- Vue générale du projet.

2- General view of the Cocody Bay improvement and safeguard site.

3- General view of the project.

apparue la mieux adaptée pour respecter ces critères.

Par ailleurs, la volonté de ne pas entrer en conflit visuel avec les piliers de la cathédrale Saint-Paul a imposé l'implantation du pylône uniquement en rive gauche et donc d'avoir un ouvrage dissymétrique (figure 4).

La disposition du haubannage en semi-éventail à l'avant et groupé en queue de cheval à l'arrière pour les haubans de retenue ancrés dans une culée lest est liée à cette conception.

La répartition des autres travées a ensuite été effectuée dans un souci de limiter le nombre d'appuis du fait

des caractéristiques très médiocres du sol nécessitant des fondations très profondes, et de profiter au mieux de la hauteur du tablier conditionnée par la travée principale.

OPTIONS POUR LE TABLIER

Pour le tablier, les principales options étudiées ont concerné les matériaux : béton, acier ou mixte acier/béton. La solution béton a été rejetée car, du fait de l'espace important des haubans souhaité par l'architecte, elle conduisait à un tablier trop lourd et des haubans dépassant les unités disponibles sur le marché. La solution d'un tablier entièrement métallique avec dalle orthotrope n'a pas été retenue du fait du coût de fabrication élevé et des incertitudes sur la tenue à long terme de l'étanchéité et du revêtement de chaussée.

La solution d'un caisson métallique surmonté d'un hourdis béton est apparue comme le meilleur compromis. Elle a l'avantage de ne pas trop alourdir le tablier et donc de ne pas trop pénaliser les fondations tout en conservant des haubans relativement espacés.

La forme du tablier (caisson fermé) est imposée par la nécessité d'avoir un tablier raide en torsion, du fait du choix architectural d'un haubannage axial (figure 5).

Pour garantir une uniformité et une parfaite cohérence de l'ensemble du tablier, la solution tablier mixte a été retenue pour l'ensemble du pont. ▷



© GUY SAUVAGE

3



4 © GUY SAUVAGE

OPTIONS POUR LE PYLÔNE

La conception du pylône a fait l'objet d'un grand nombre d'études architecturales au stade APS et même au stade Projet.

Ces études ont porté dans un 1^{er} temps sur la forme générale, puis après le choix de l'architecte Pierre Fakhoury de la forme en boomerang avec 2 jambes inclinées formant une arche monumentale au-dessus du tablier, elles ont porté sur la hauteur et les inclinaisons des différentes parties, sur la planéité des surfaces et des raccordements. La solution finale comprend 2 jambes inclinées vers l'arrière, puis un mât légèrement incliné vers l'avant.

Au niveau du matériau, le choix s'est rapidement fixé sur du béton, dont le coût et les possibilités de mise en œuvre sont apparues plus économiques qu'une solution métallique. Cette solution est aussi mieux adaptée au souhait architectural d'une surface plane et

lisse, de couleur blanche et accrochant bien la lumière dans le cadre de la mise en valeur envisagée.

Le haubannage est constitué de 11 haubans axiaux sur la travée principale variant de 65 à 114 torons T15 et de longueur variant de 69 à 192 m et de 4 paires de haubans de retenue de 127 torons T15 de longueur variant de 154 à 182 m, ancrés dans la culée lest.

Les haubans de retenue sont munis d'une protection incendie sur 10 m de hauteur. En outre, des câbles paratonnerre sont mis en place au-dessus des nappes de haubans pour assurer la protection foudre.

Une autre particularité de cet ouvrage concerne la mise en lumière. Outre un système de projecteurs mettant en valeur le tablier et le pylône, l'ouvrage comporte des haubans lumineux. Ce dispositif mis au point par Freyssinet et installé pour la 1^{re} fois sur un

4- Interaction Cathédrale / Pont.

5- Courbure architecturale du tablier dans la travée principale.

6- Détail des LED sur haubans.

4- Cathedral / Bridge interaction.
5- Architected curving of the deck in the main span.

6- Detail of LEDs on stay cables.

ouvrage d'art, consiste à intégrer dans les gaines des haubans des lignes de réglettes LED trichromiques (4 lignes sur chaque hauban avec un espacement de 2 m) permettant une animation dynamique programmée (figure 6).

ÉTUDES D'EXÉCUTION

ORGANISATION

Les études d'exécution ont été réalisées par le bureau d'études Checc avec l'assistance technique d'Egis qui a également effectué le contrôle externe (Egis Bangkok).

Le contrôle extérieur/Visa a été effectué par le groupement Lci/Tec 4/Yooshin pour le compte du bailleur et par Arcadis pour le compte du maître d'ouvrage.

MODÉLISATIONS GLOBALES

Le pont principal a été étudié en phase Exécution au moyen d'un modèle global réalisé sous le logiciel RM Bridge édité par Bentley, intégrant l'ensemble de la structure modélisée par des éléments barres : tablier haubané, pylône principal, travées d'approche, appuis et fondations. Les haubans ont été modélisés par des éléments spécifiques représentant le comportement des câbles. Ce modèle a permis de déterminer



5

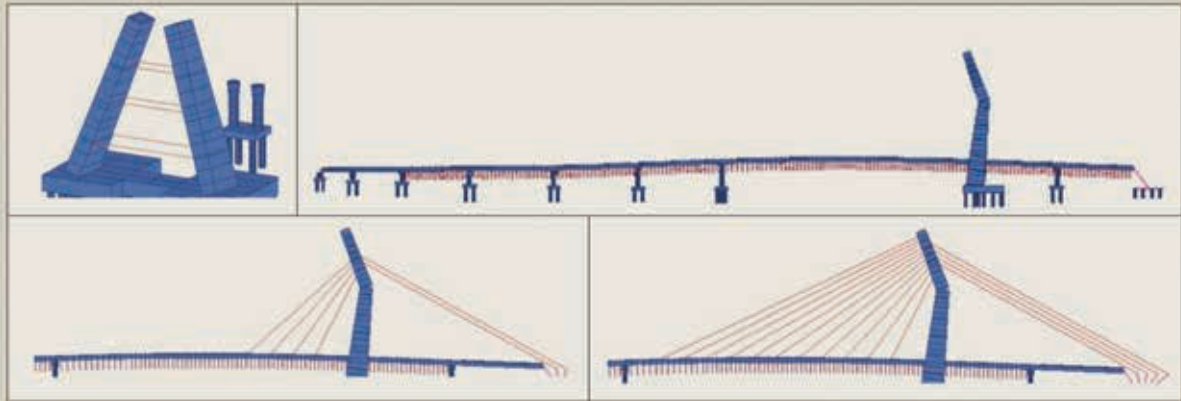
© GUY SAUVAGE



6

© GUY SAUVAGE

EXTRAITS DU MODÈLE GLOBAL PRÉSENTANT DES PHASES SPÉCIFIQUES DE CONSTRUCTION



© PHOTO THÉQUE EGIS

7

7- Extraits du modèle global présentant des phases spécifiques de construction.

8- Extrait de modèle de calcul local de la charpente métallique.

9- Déchargement des tronçons de tablier.

10- Approvisionnement et ripage des voussoirs.

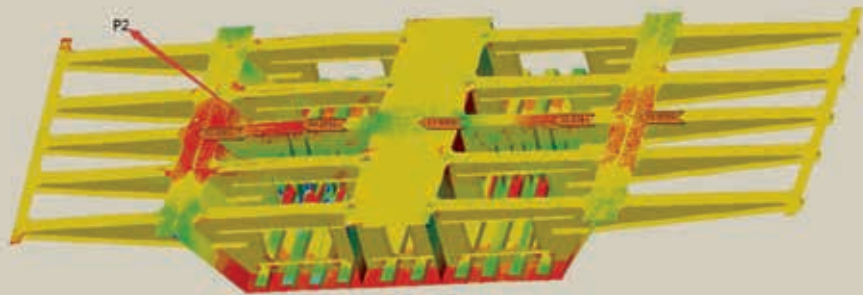
7- Excerpts from the overall model showing specific construction phases.

8- Excerpt from the local design calculation model of the steel structure.

9- Unloading deck sections.

10- Segment procurement and skidding.

EXTRAIT DE MODÈLE DE CALCUL LOCAL DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE



© PHOTO THÉQUE EGIS

8

les sollicitations et déformations des différents éléments structurels, sous toutes les combinaisons de charges réglementaires, intégrant les charges permanentes, les surcharges de trafic, les effets du vent et de la température. En parallèle, dans le cadre du contrôle externe, un modèle de contre-calcul a

été réalisé sous le logiciel PCP édité par le Cerema, permettant une vérification détaillée de l'analyse globale.

Le maître d'œuvre et la mission de contrôle disposaient, de même, de modèles de calcul visant ainsi un contrôle détaillé des dimensionnements réalisés. Une phase importante des

études d'exécution a été la vérification de la convergence de ces différents modèles globaux.

ÉTUDE DU TABLIER MIXTE

Le tablier en caisson mixte a été étudié suivant la méthodologie classique d'étude d'ossature mixte. ▶



9

© GUY SAUVAGE



10

© GUY SAUVAGE



11

© GUY SAUVAGE

Chaque item a néanmoins impliqué un traitement particulier du fait des spécificités de l'ouvrage - largeur importante du tablier, présence de 4 âmes (2 verticales centrales et 2 latérales inclinées), tôles élancées, tablier haubané (figure 8) :

- Analyse structurale ;
- Détermination des largeurs efficaces des tôles, les âmes étant principalement de classe 4 ;
- Vérification des tôles principales, des augets et des raidisseurs longitudinaux aux ELS et aux ELU ;
- Vérification de la flexion locale, des diaphragmes, encorbellements et zones d'ancrages des haubans ;
- Vérification des instabilités globales et locales, vérification à la fatigue ;
- Vérification du hourdis en béton en flexion globale et locale.

Une étude de la flèche verticale du tablier sous charges permanentes a permis de déterminer la contreflèche de fabrication du caisson métallique (10 cm maximum au niveau de la travée haubanée).

Enfin, compte tenu du choix de réalisation du hourdis par des dalles préfabriquées pleine épaisseur, le calepinage des goujons, des dalles et du ferrailage a été réalisé de manière détaillée afin de vérifier l'absence de conflit au niveau des clavages.

ÉTUDE DE LA CULÉE C9

La culée C9 est une structure creuse en béton armé fondée sur 24 pieux de 2 m diamètre de 72 m de longueur,

dans laquelle se trouvent la chambre d'ancrage des 4 paires de haubans de retenue et la poutre transversale massive à l'ouest où le tablier mixte est encastré.

Pour étudier la distribution et la transmission des efforts importants entre tablier, haubans et fondations, un modèle aux éléments finis de type plaque a été établi sur le logiciel Scia Engineer. Les torseurs des efforts calculés par le modèle global sur Rmbridge

11- Assemblages des voussoirs.

12- Cintre dans la baie de Cocody.

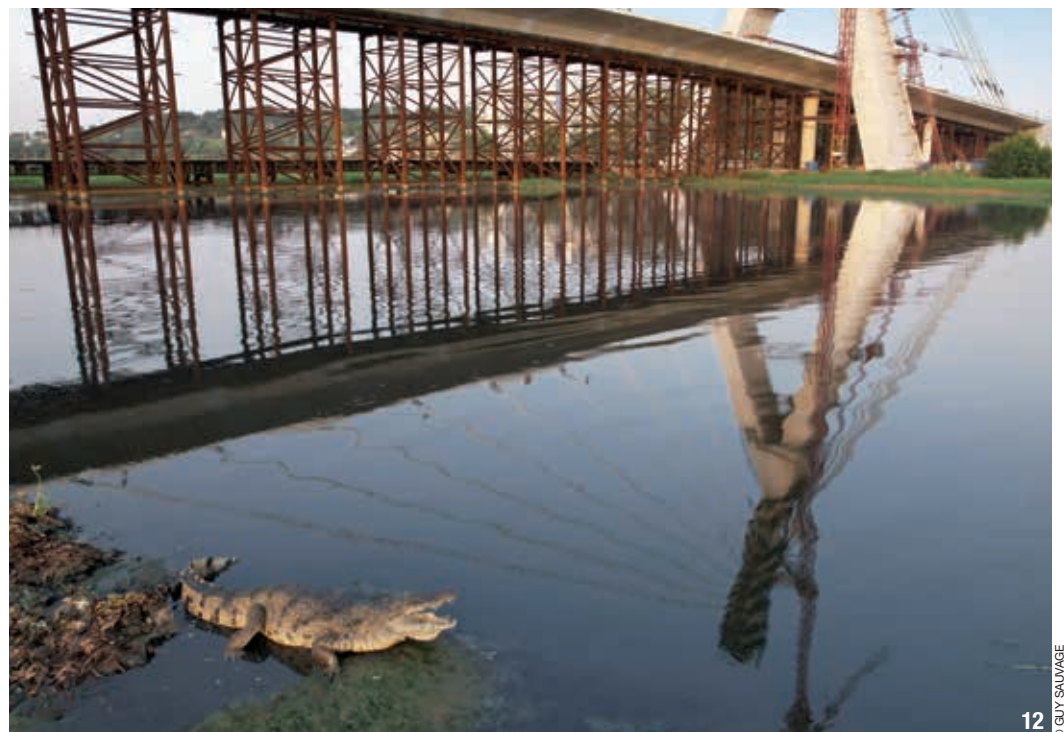
11- Segment assembly.

12- Centring in Cocody Bay.

ont été introduits dans le modèle local Scia et les efforts trouvés dans chaque pièce ont été utilisés pour calculer le ferrailage requis. Le phasage de construction de la dalle de circulation, composée de nervures et d'un hourdis, a été introduit dans le modèle Scia.

ÉTUDE DU PYLÔNE

Compte tenu de sa géométrie particulière et de la distribution des haubans centraux et de retenue le long de son



12

© GUY SAUVAGE

mât, le pylône est le siège d'importants moments de flexion rendant nécessaire une précontrainte verticale composée de :

- 16 câbles d'unité 27T15S dans le mât et sa jonction avec les jambes, sur la face côté culée ;
- 8 câbles d'unité 27T15S dans chaque jambe et son encastrement dans la semelle, sur la face côté travée haubanée

Cette précontrainte étant non adhérente (gaines métalliques avec injection de cire), le pylône a été calculé en section béton armé, avec comme critère dimensionnant l'ouverture de fissure à l'ELS Fréquent.

Les torseurs des forces ont été calculés au niveau de chaque levée du pylône par le modèle global et utilisés pour calculer le ferrailage requis en flexion, effort tranchant et torsion. Les aciers de diffusion du prisme local sous les ancrages des câbles de la précontrainte et des haubans ont été calculés avec une force de $0.96F_{prg}$, tandis que le ferrailage d'équilibre général dans la zone d'ancrage des haubans est calculé avec une force de $0.7F_{prg}$.

Afin de calculer le ferrailage dans la semelle du pylône, un modèle aux élé-



13
© GUY SAUVAGE

13- Pose des dalles préfabriquées du hourdis.
14- Culée lest C9.

13- Placing precast slabs of the deck section.
14- Counterweight abutment C9.

ments finis volumiques a été établi sur le logiciel Midas pour obtenir les efforts par tranche dans les deux massifs sous les jambes et le tirant central.

PHASAGE DE CONSTRUCTION ET MISE EN TENSION DES HAUBANS

Le phasage de construction a été pris en compte de manière complète et détaillée dans les calculs avec notam-

ment la construction du pylône levée par levée, la mise en place de butons transversaux provisoires, la pose de la charpente du tablier sur cintre, la pose et le clavage des dalles préfabriquées, et la mise en tension phasée des haubans (figure 7).

La première mise en tension des haubans a été réalisée une fois la charpente du tablier installée sur cintre et les dalles préfabriquées posées mais non clavées. Le moment négatif à mi-travée haubanée résultant de cette mise en tension a ainsi pu être appliqué à la charpente seule, limitant en conséquence la fissuration dans le hourdis en béton. Après clavage des dalles préfabriquées, la deuxième et dernière mise en tension a été calibrée pour reprendre essentiellement le poids des superstructures et anticiper les effets de retrait et fluage au cours de la vie de l'ouvrage.

Le réglage fin des tensions dans les haubans a permis ainsi d'atteindre un compromis optimal entre sollicitations dans le caisson mixte, déformée verticale du tablier sous charges permanentes, quantité de précontrainte nécessaire dans le pylône et effort appliqué à la culée lest. ▷



© GUY SAUVAGE

14



15

© GUY SAUVAGE

RÉALISATION FONDATEMENTS

Les différents sondages réalisés tant en phase conception qu'en début de travaux ont montré que la lithologie générale pouvait se résumer en 3 niveaux.

Entre 0 et 20 m de profondeur, une succession de matériaux très lâches, limoneux, argileux, voire vaseux avec une matrice de sable peu abondante, puis de 20 à 45 m, des matériaux peu à moyennement compacts avec $p_1^* \geq 1.0$ MPa et enfin, de 45 m à plus de 80 m, une couche de sable plus ou moins consolidée mais présentant des caractéristiques pressiométriques bonnes ($p_1^* \geq 4$ MPa).

Ceci a conduit à prévoir l'ensemble des ouvrages sur des pieux de gros diamètres (entre 1,60 et 2,20 m) ancrés dans la couche de sable compact (soit des longueurs de pieux entre 45 et 80 m) et équipés de viroles métalliques en tête dans les couches très lâches.

Les essais de chargement de pieux prévus au marché et réalisés par l'entreprise Crbc, ont donné des valeurs de portance largement inférieures aux valeurs basées sur les essais pressiométriques.

Les experts de l'entreprise, de la mission de contrôle et du MOE ont alors préconisé de revoir la méthodologie d'exécution et notamment la gestion de la bentonite et le curage en fond de pieu, de raccourcir les pieux afin de réduire la durée d'exécution et de limiter ainsi les risques de décompression du terrain et enfin d'injecter la pointe afin de pouvoir mobiliser le terme de pointe sans déformations excessives.

PONT PRINCIPAL

Les piles constituées de fûts circulaires de 3 m de diamètre, évasées en tête ont été réalisées en béton blanc à l'intérieur de coffrages métalliques. Ces piles sont fondées en général sur 6 ou 8 pieux de 2 m de diamètre.

15- Semelle du pylône en cours de ferrailage.

16- Coffrage du pylône.

17- Installations des haubans.

15- Pylon footing undergoing reinforcement.

16- Pylon form-work.

17- Stay-cable installation.

ment. Cette méthode de pose a été finalement retenue par l'entreprise, à la place de la méthode de lançage sur palées provisoires initialement prévue, afin d'assurer une meilleure géométrie et le respect du profil en long imposé par l'architecte (figures 10, 11 et 12). Les tronçons posés sur le cintre ont été ripés jusqu'à leur position définitive puis soudés.

Les hourdis ont été préfabriqués sous forme de dalles pleine épaisseur puis posés à la grue mobile à leur emplacement (figure 13). Les clavages ont ensuite été réalisés sur place après la 1^{re} mise en tension des haubans. Culée C9 : La culée C9 est une boîte lest dans laquelle le tablier métallique est encastré et sur laquelle sont ancrés les haubans de retenue (figure 14).

PYLÔNE

La semelle du pylône est constituée de 2 massifs de 32 m x 24 m reliés par un tirant de 17,5 m x 11 m avec épais-

TABLIER MÉTALLIQUE

Le tablier métallique a été réalisé en Chine par l'entreprise Zpmc. Les 56 tronçons de longueur variant entre 6 et 13 m et d'un poids de 150 t environ, ont été acheminés par bateau jusqu'au port d'Abidjan, puis par barge jusqu'au site (figure 9). Ils ont ensuite été posés sur le cintre général réalisé préalablement.



16

© GUY SAUVAGE



17

© GUY SAUVAGE



© GUY SAUVAGE

18

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : État de Côte d'Ivoire -
Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier (MEER)

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Unité de Gestion du Projet
de Sauvegarde et de Valorisation de la baie de Cocody
et de la Lagune Ebrié (UG-PABC)

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Marchicamed

FINANCEMENT : Banque Islamique de Développement (BID)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Pierre Fakhoury Architecte -
Sous-traitant Arcadis : Ingénierie et GSL : Mise en lumière

MISSION DE CONTRÔLE : Groupement : Lci / Tec 4 / Yooshin

ENTREPRISE : China Road and Bridge Corporation (CRBC) -
Sous-traitant Haubans et LED : Freyssinet - Gva

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Bureau d'études Checc /
Assistance technique Egis

CONTRÔLE EXTERNE DES ÉTUDES : Egis

CONTRÔLE EXTÉRIEUR DES ÉTUDES :

Groupement : Lci / Tec 4 / Yooshin

VISA DE CONFORMITÉ : Pierre Fakhoury Architecte /
Sous-traitant Arcadis Ingénierie

**18- Essai de Mise
en lumière LED.**

**18- LED lighting
test.**

seur de 5 m, soit 8640 m³ de béton (figure 15). Elle est fondée sur 42 pieux de 2,20 m de diamètre et de 79 m de longueur.

Le pylône en béton blanc a été découpé en 28 levées de 3,73 m, réalisées à l'aide de coffrant grim pant (figure 16). Un système de butonnage a été mis en place pour la construction des jambes avant d'atteindre la zone de jonction. La précontrainte verticale a été mise en œuvre au fur et à mesure de la construction.

Le phasage initial de haubanage prévoyait 3 étapes : une 1^{re} mise en tension sur la charpente métallique seule, puis une retension après décentrement et pose des dalles préfabriquées et enfin une retension finale après clavage des hourdis. L'entreprise a modifié celui-ci en cours de travaux avec seulement 2 étapes. La 1^{re} mise en tension a été réalisée après pose des dalles et avant décentrement (figure 17).

La mise en lumière est réalisée avec des lignes de LEDs, intégrées dans les gaines des haubans.

Elle est complétée par des projecteurs éclairant le pylône et le tablier. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

FONDACTIONS PROFONDES - 171 pieux de 1,2 à 2,2 m de diamètre :
10 700 m

BÉTON POUR PIEUX : 31 500 m³

BÉTON POUR APPUIS : 26 000 m³

BÉTON POUR JAMBES ET MÂT DU PYLÔNE : 6 500 m³

BÉTON POUR TABLIERS : 10 000 m³

ACIER DE CHARPENTE MÉTALLIQUE TABLIER : 7 500 t

HAUBANS : 400 t

PRÉCONTRAINTÉ : 230 t

ACIERS PASSIFS : 9 000 t

TERRASSEMENTS DÉBLAIS : 110 000 m³

TERRASSEMENTS REMBLAIS : 55 000 m³

INCLUSIONS RIGIDES SOUS REMBLAIS : 85 000 m

ABSTRACT

COCODY BRIDGE IN ABIDJAN

JEAN VASSORD, ARCADIS - GUY SAUVAGE, REPRÉSENTANT DE L'ARCHITECTE
PIERRE FAKHOURY - ZE YI WU, EGIS/ADP - EMMANUEL ROUSSET, EGIS -
HILAIRE DOFFOU, UG-PABC

This fifth bridge in Abidjan, designed by the architect Pierre Fakhoury with the subcontractor Arcadis, is an exceptional structure. The first cable-stayed bridge in Ivory Coast and West Africa, with its original shape, visible day and night in the heart of the city, it will become the symbol of Abidjan. When it comes into operation soon after a long and sometimes difficult construction period, it will help to significantly improve traffic conditions in this fast-growing city. □

EL PUENTE DE COCODY EN ABIYÁN

JEAN VASSORD, ARCADIS - GUY SAUVAGE, REPRÉSENTANT DE L'ARCHITECTE
PIERRE FAKHOURY - ZE YI WU, EGIS/ADP - EMMANUEL ROUSSET, EGIS -
HILAIRE DOFFOU, UG-PABC

Este quinto puente de Abiyán, diseñado por el arquitecto Pierre Fakhoury con Arcadis en calidad de subcontratista, es una obra excepcional. Primer puente atirantado de Costa de Marfil y de África Occidental, con una forma original, visible de día y de noche en pleno centro de la ciudad, está llamado a convertirse en el símbolo de Abiyán. Su próxima entrada en servicio tras un largo y en ocasiones difícil período de realización contribuirá significativamente a mejorar las condiciones de tráfico en esta ciudad en fuerte desarrollo. □

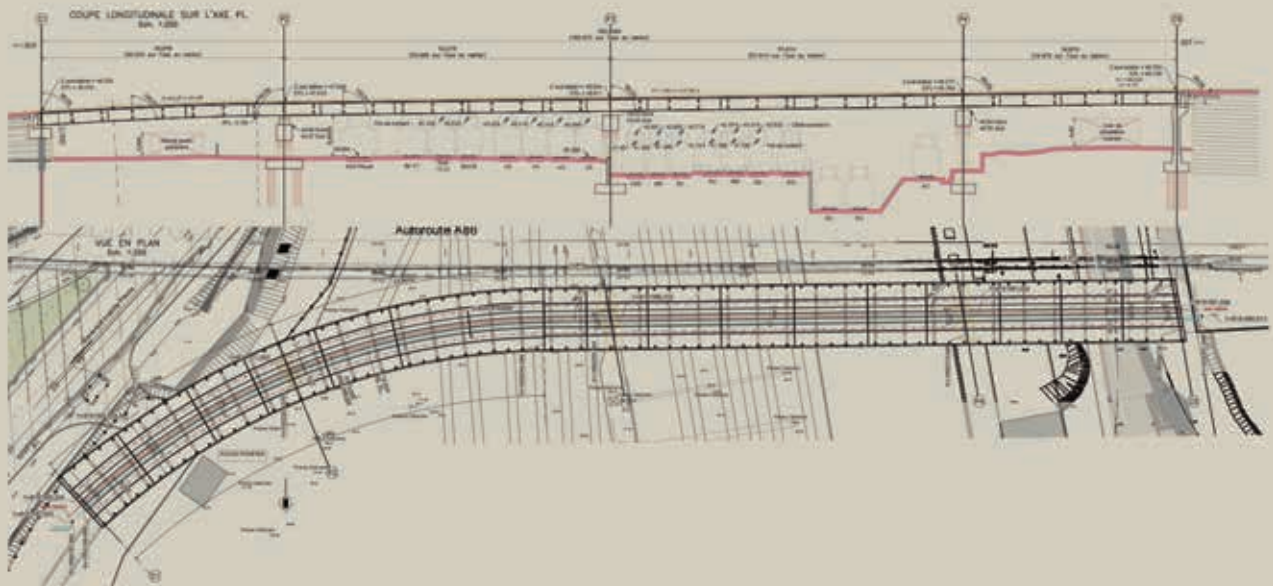


VIADUC PLEYEL (93) - UNE NOUVELLE BRETELLE D'ENTRÉE SUR L'A86

AUTEURS : SYLVAIN BOYER, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, INGÉROP - JULIEN RIDENE, RESPONSABLE TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - MAURO LINZI, DIRECTEUR DE PROJET, CIMOLAI - HERVÉ VADON, ARCHITECTURE, STRATES OUVRAGES D'ART

DANS LE CADRE DE L'ORGANISATION DES JO PARIS2024, IL EST PRÉVU DE RÉAMÉNAGER L'ÉCHANGEUR PLEYEL DE L'A86 QUI PERMET DE RELIER LES SITES D'ÉPREUVES SPORTIVES (STADE DE FRANCE, CENTRE AQUATIQUE OLYMPIQUE) AVEC LE NOUVEAU VILLAGE OLYMPIQUE. LE VIADUC PLEYEL SE SITUE DANS LA PARTIE SUD DE L'ÉCHANGEUR À SAINT-DENIS (93), IL PORTERA BIENTÔT LA NOUVELLE BRETELLE D'ENTRÉE SUR L'A86 INTÉRIEURE. L'OUVRAGE EST UN CAISSON MIXTE EN ACIER AUTOPATINABLE CONSTRUIT AU-DESSUS DES VOIES FERRÉES DU FAISCEAU PARIS NORD (EUROSTAR, THALYS, RER, TRANSILIEN).

COUPE LONGITUDINALE - VUE EN PLAN



© CIMOLAI
2

LE CONTEXTE DU PROJET

INSERTION DU PROJET DANS SON ENVIRONNEMENT

Les contraintes de tracé imposaient la décomposition du franchissement de la nouvelle bretelle d'entrée sur l'A86 en deux parties :

- Une partie en viaduc au-dessus du faisceau des voies ferrées ;
- Une partie en estacade pour le branchement de la bretelle sur la RN410 (côté Ouest).

1- Vue du viaduc en sous-face.

2- Coupe longitudinale - Vue en plan.

1- Underside view of the viaduct.

2- Longitudinal section - Plan view.

Le viaduc (figure 1), au profil en long différent de celui du franchissement autoroutier existant, va créer une nouvelle façade Sud, bien visible depuis la gare du RER D et depuis les bureaux récents qui bordent l'est du faisceau ferroviaire mais aussi pour les futurs usagers de la nouvelle gare du Grand Paris ou pour les clients de l'hôtel qui prendra place dans la tour Pleyel. Il demande donc une certaine vigilance dans le traitement architectural des élé-

ments qui le composent. Cet ouvrage phare de la modification de l'échangeur Pleyel avait également besoin d'une structure pérenne, avec le minimum d'entretien et de maintenance possible. C'est pour cette raison que nous avons milité pour l'utilisation de l'acier autopatinable pour le caisson et les consoles, matériau qui commence à se faire connaître en France dans la conception des ouvrages de la gamme des petits viaducs. ▶

Ce matériau très pérenne a une faculté unique de se fondre dans les paysages urbains. Un effet "caméléon" qui a tendance à faire disparaître l'ouvrage dans la ville.

CHRONOLOGIE

Les études de conception de cet ouvrage d'art démarrent en 2019. Le DCE du viaduc Pleyel est établi à l'été 2020. À noter qu'un second marché (TOARCHE) pour le réaménagement de la partie Nord de l'échangeur A86 paraît au même moment, il comprend notamment la réalisation d'un ouvrage de type PSIDN, une passerelle piétonne... (cf. *Revue Travaux* "Spécial JO 2024" n°981). Les travaux commencent au début de l'année 2021 et se terminent en fin de l'année 2022.

DESRIPTIF DE L'OUVRAGE

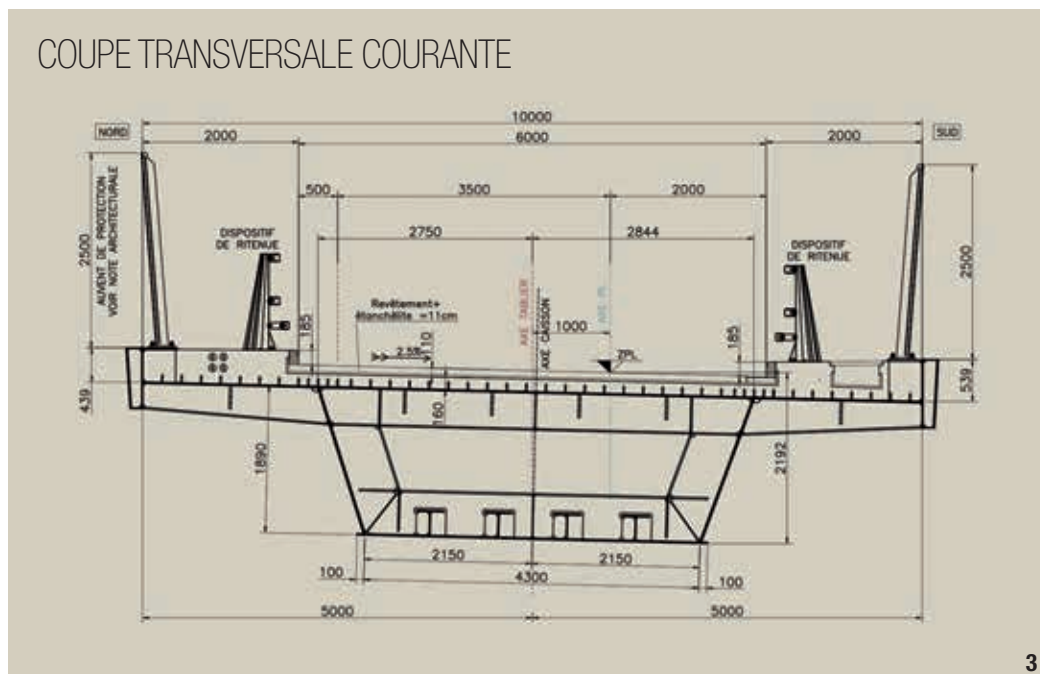
Le viaduc est de type caisson mixte à quatre travées (40-53-58-35 m) de longueur totale 186 m (figure 2). La travée de rive C1-P2 (à l'ouest) franchit une voie d'accès pompier permettant l'accès au technicentre du Landy. La travée P2-P3 franchit les voies ferrées du technicentre du Landy. La travée P3-P4 franchit les voies ferrées du faisceau "Paris Nord" (Eurostar, Thalys, RER, Transilien). La travée de rive P4-C5 franchit la rue Camille Moke qui permet de rejoindre le boulevard Anatole France.

Le tracé en plan comporte une courbe de rayon 113,5 m sur une portion de 82,5 m à partir de C1 et se termine par un alignement droit de 103,5 m jusqu'à C5. Le profil en long de l'ouvrage se trouve sur un rayon de 500 m pour la travée de rive C1-P2 (à l'Ouest) puis suit une pente de 1,3% sur le reste du linéaire jusqu'à C5 où se situe le point haut.

Les remblais d'accès Ouest (100 m) et Est (50 m) sont en sol renforcé. La méthode de réalisation envisagée pour le viaduc est un double lançage depuis les plateformes d'assemblage situées sur les remblais d'accès.

TABLIER

Le tablier est de type caisson métallique fermé (figure 3) en acier S355W de hauteur constante 1,89 m, ce qui lui confère un élancement de 1/30^{ème}. Le choix d'un acier autopatinable (W) permet d'éviter la remise en peinture future de l'extérieur du caisson au-dessus des voies ferrées. En effet, cette opération se serait avérée complexe et coûteuse. L'intérieur du caisson est visitable et non étanche, une peinture



a donc été prévue dans le caisson. En section courante, la largeur du tablier est de 10,4 m hors tout. La bretelle d'entrée sur l'A86 est en dévers unique à 2,5% et sa coupe fonctionnelle se compose d'une BDG de 0,5 m, d'une voie de circulation de 3,5 m et d'une BDD de 2,0 m. Un caniveau d'assainissement est inclus dans la longrine Sud.

3- Coupe transverse courante.

4- Superstructures sur ouvrage.

3- Standard cross section.

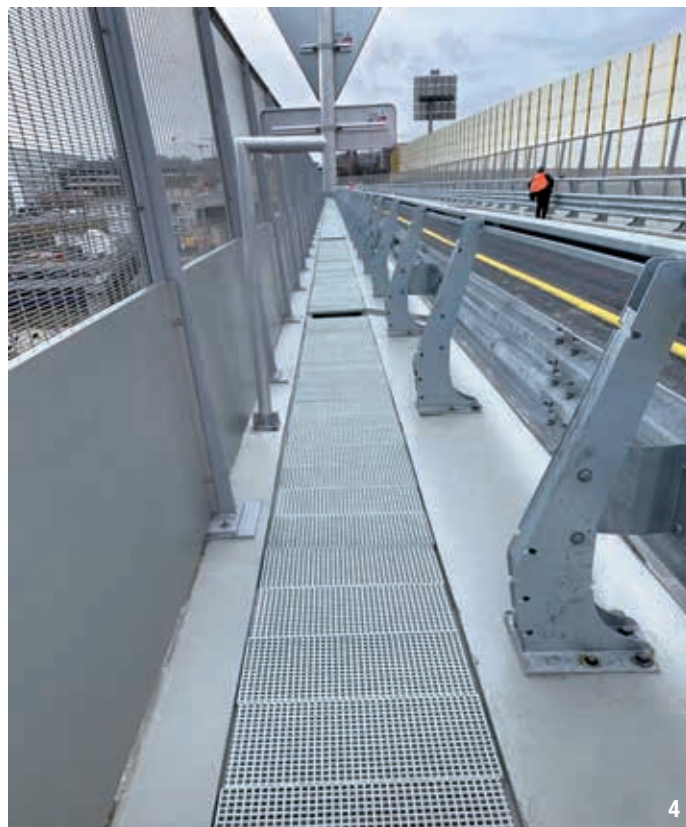
4- Superstructures on the viaduct.

Le hourdis supérieur du tablier est spécifique. Il s'agit d'une dalle mixte constituée d'une tôle métallique coffrante d'épaisseur 16 mm (participant à la résistance globale et locale), connectée avec une dalle béton d'épaisseur 16 cm. Ce choix permet d'alléger la structure et de pouvoir bétonner la dalle in situ sans coupures des voies ferrées SNCF situées en contrebas. Les corniches métalliques latérales sont soudées à la charpente et servent de coffrage.

Le tablier est dimensionné à l'Eurocode (LM1 classe 2/Mc120/PEB). Le plâtrage métallique supérieur est une tôle de 16 mm, raidie longitudinalement par des plats 300x30 mm². Ces raidisseurs sont discontinus au droit des éléments transversaux, ils servent uniquement à raidir la tôle au moment du coulage de la dalle béton. L'épaisseur des âmes est comprise entre 21 mm et 25 mm. Le plâtrage orthotrope inférieur est constitué d'une tôle d'épaisseur variant de 15 mm à 36 mm. Les raidisseurs sont en forme de T de hauteur 335 mm et régulièrement espacés (880 mm), ces raidisseurs sont continus au droit des appuis. Les éléments transversaux sont des cadres espacés de 5 m, des diaphragmes sont prévus sur les appuis.

APPUIS

Les trois piles du viaduc ont été réalisées en 1992 comme mesures conservatoires pour la réalisation de la future bretelle d'entrée sur l'A86. Le projet réutilise donc ces appuis en béton armé constitués chacun de deux



4

© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



5- Fabrication du tablier droit en usine.

6- Découpage transversal du tablier.

7- Grutage demi-caisson (longueur 12 m).

5- Manufacture of the right-hand deck section in factory.

6- Deck cross-cutting.

7- Crane handling of box-girder half (12 metres long).

fûts de section $1,5 \times 1,5 \text{ m}^2$ surmontés d'un chevêtre de $2,5 \times 2,5 \times 8,8 \text{ m}^3$. La présence des appuis existants simplifie le projet. En effet, il aurait été beaucoup plus complexe de réaliser de nouveaux appuis au milieu des voies ferrées de Paris Nord.

De nouvelles culées sont à réaliser dans le cadre du projet. La culée C1 est une culée mixte perchée, intégrée dans le remblai en sol renforcé. Elle est fondée sur quatre pieux, chacun isolé du remblai par une gaine métallique. La culée C5 est une culée à mur de front classique, fondée sur 6 pieux.

ÉQUIPEMENTS

La corniche et l'écran de protection caténaire ont besoin d'être traités avec élégance tout en respectant les contraintes ferroviaires. Cet ensemble linéaire et continu qui équipe les rives a été conçu en acier inoxydable pour au moins deux raisons :

→ La première est que le matériau est noble et qualitatif, qu'il n'a pas besoin de couleur pour exister. C'est la lumière qui lui donne vie. Bleu quand il fait beau, gris si le temps est nuageux ou pluvieux, doré sous le soleil couchant ;

→ La deuxième est sa pérennité ; l'absence de peinture supprime les interventions d'entretien et maintenance, donc source d'économie substantielle sur le long terme.

L'écran de protection caténaire de 2,50 m (figure 4) est conforme aux prescriptions de la SNCF. Les montants en forme de T sont en acier peint avec une teinte RAL 9006. Le remplissage est en deux parties. La partie basse est en tôle d'aluminium brossé. La partie haute en maille tissée est en acier inoxydable, elle passe aussi devant la partie pleine pour mieux associer les deux textures.

DÉCOUPAGE TRANSVERSAL DU TABLIER



6



7

Le garde-corps sur les rampes au-delà de la partie ouvrage prolonge le même traitement que celui de la protection caténaire. La partie basse qui sert de garde-corps de 1,00 m de hauteur est en métal tissé comme la protection caténaire.

Les appareils d'appui (Freyssinet) sont orientés suivant l'axe longitudinal de l'ouvrage. Des néoprènes frettés sont prévus sur les piles et des appareils d'appui à pots glissants sont prévus sur les culées. Les efforts longitudinaux se répartissent donc sur l'ensemble des piles.

Les dispositifs de retenue sur ouvrage sont de niveau H3. C'est finalement le modèle Euro H3-F1 (Comely) qui a été retenu.

RÉALISATION DE L'OUVRAGE FABRICATION EN ATELIER

La fabrication du tablier métallique (figure 5) a été réalisée en Italie dans les usines Cimolai de Roveredo in Piano (PN) et Monfalcone (GO) avec des aciers produits en four électrique utilisant 98,33 % de matériaux recyclés. Compte tenu de la complexité géométrique du tablier (section en caisson courbe, avec dalle orthotrope et corniche esthétique sur les encorbellements), le parfait respect de la géométrie du tablier et les alignements entre tronçons en phase de montage chantier ont été assurés par la rigueur des consignes données et des contrôles effectués mais également par le choix et la possibilité de réaliser en usine les assemblages en continu.

PROTECTION ANTICORROSION

Bien qu'il ait été fait le choix d'un acier W (autopatinable), certaines parties du tablier ont été peintes. La protection anticorrosion a été assurée par des systèmes certifiés ACQPA : en classe C3 pour l'intérieur du caisson et en classe C4 pour la corniche et les abouts du tablier.



8

© CIMOLAI



9a

© CIMOLAI



9b

© CIMOLAI

- 8- Plateforme de lancement Ouest.
- 9a- Chaise à galets.
- 9b- Treuil de traction.
- 10- Accostage de l'avant-bec supérieur sur le tablier en porte-à-faux.

- 8- West launching platform.
- 9a- Launch shoe.
- 9b- Haulage winch.
- 10- Cantilever docking of the upper launching nose on the deck.

Les peintures utilisées sont une époxy-polyamine pour les couches primaires et intermédiaires puis un polyuréthane acrylique pour la couche de finition.

LIVRAISON ET MONTAGE AU CHANTIER

Pour les transports sur chantier, la section transversale du tablier a été divisée en quatre morceaux (figure 6). Ces grandes pièces, de longueur comprise entre 7 et 12 m, ont été livrées au chantier par transport routier (figure 7).

LANÇAGES

La méthode retenue pour la mise en place du tablier métallique a été celle du double lancement caractérisé par :
→ Assemblage de la charpente sur des plateformes à l'arrière des culées, avec contrôle géométrique continu ;
→ La première phase de lancement concerne le tablier droit, lancé depuis la



10

© CIMOLAI

plateforme Est. La seconde phase de lancement concerne le tablier courbe, lancé depuis la plateforme Ouest (figure 8) ;

→ Avancement de la charpente par roulement sur des chaises à galets équipées de guidages transversaux (figure 9a) et ancrées sur des supports en béton. Le lancement s'effectue sur les âmes inclinées du caisson. Un treuil de traction avec contrôle en pente descendante (figure 9b) est utilisé ;

→ Utilisation de deux avant-becs. Un avant-bec inférieur de longueur 12 m pour le franchissement de la portée entre la palée provisoire et la pile P2 et un avant-bec supérieur de longueur 36 m pour appuyer le segment du second lancement sur le premier (figure 10) ;



11

11- Démontage de l'avant-bec par morceaux.
12- Réhausse P2.
13a- Culée C5.
13b- Bétonnage du hourdis.

11- Dismantling the launching nose piece by piece.
12- Heightener P2.
13a- Abutment C5.
13b- Deck section concreting.



12

→ Clavage final des deux segments lancés et jonction soudée au-dessus des voies ferrées grâce à une passerelle de soudure étanche. Cette passerelle dépasse de moins de 1 m sous le tablier.

La plupart des phases de lancements ont été réalisés en franchissant les voies ferrées de nuit sous ITC.

DÉMONTAGE DE L'AVANT-BEC

Du fait de l'environnement du chantier (emprises ferroviaires, proximité du viaduc de l'A86), contraint en termes d'accès, l'avant-bec principal a dû être démonté pièce par pièce à l'aide d'une grue située sur l'ouvrage existant de l'A86 (figure 11). L'intervention de cordistes à la fin de la première phase de lancement (tablier droit) s'est avérée nécessaire.

APPUIS

Le viaduc à 4 travées est donc composé de 5 appuis : 2 culées (C1 à l'ouest et C5 à l'est) et 3 piles intermédiaires (P2, P3 et P4). Les culées C1 et C5 ainsi que la pile P1 sont fondées sur pieux : une rangée de 4 pieux Ø 800 pour C1, deux rangées de 3 pieux Ø 1 200 pour P1 et 2 rangées de 3 pieux Ø 800 pour C5 (longueur de 12 m). Les deux autres piles sont fondées sur fondations superficielles.

Les trois piles ont la particularité d'être situées dans le faisceau de voies ferroviaires en fonctionnement que l'ouvrage enjambe.



13a

© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



13b

© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Ces piles ont déjà été en grande partie réalisées dans le cadre d'un marché précédent : fondations (profondes ou superficielles) et fûts de pile. Seuls les bossages pour appuis en élastomères frettés (30 cm de hauteur environ), les bossages de vérinage (10 cm de hauteur environ) ainsi qu'une réhausse de P2 de hauteur 1,10 m (figure 12) sont à réaliser pour les piles dans le cadre de ce marché.

Le fait que les piles aient été réalisées dans un marché précédent nécessite de les vérifier entièrement (justification géotechnique et béton armé des piles, semelles et pieux pour P2) aussi bien en phase définitive de l'ouvrage qu'en phases provisoires de montage (notamment pour les efforts de lancement de l'ouvrage avec des valeurs importantes à considérer horizontalement - jusqu'à 1 090 kN). À ce titre, les chaises à galets de roulement sont fixées sur les chevêtres existants de pile par des barres scellées.

Les deux culées sont, quant à elles, à construire entièrement. La culée C1 est de conception courante avec un chevêtre sur pieux duquel émerge un garde-grève permettant l'accès au pont via une dalle de transition. La culée C5 (figure 13a) est plutôt une pile-culée d'une hauteur totale de plus de 10 m avec, en tête, un garde-grève excen-



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

tré supportant la dalle de transition. Le tablier s'appuie sur les culées via des appareils d'appui à pot glissant. Le bloc technique à l'arrière des culées est stabilisé en TerreArmée® formant un "U" ne s'appuyant pas sur ces dernières. Architecturalement, la forme en arche des piles existantes a été reconduite pour la pile-culée C5.

Le caisson métallique du tablier étant assemblé et lancé depuis les culées, un mouflage de traction à 12 brins est installé en partie centrale. Par ailleurs, les camarteaux supports des chaises à galets sont fixés aux culées via des barres pré-scellées. Ce sont ces

éléments qui transmettent les efforts horizontaux de lancement de la charpente à l'appui (du chevêtre jusqu'au pieux). Compte tenu de l'environnement du chantier à réaliser dans un contexte ferroviaire, l'ensemble des opérations s'est déroulé dans le respect des réglementations SNCF (IG90033, IG94589, etc.). On peut notamment citer :

→ Les contraintes liées au coefficient de frottement forfaitaire imposé par l'IG90033 au niveau des chaises à galets sur appuis. L'effort résultant à retenir en tête de pile en phase provisoire étant trop important pour permettre la justification des piles

14- Renforcement de la pile P3 au choc de train.

14- Strengthening of pier P3 to resist train impacts.

existantes en phase de lancement, des mesures du coefficient de frottement réel ont dû être réalisées en usine. Ces essais ont permis de réduire le coefficient de frottement par 3 ;

→ Les phases de vérinage et de bétonnage du hourdis (figure 13b) qui ont nécessité la mise en place de contrôles rigoureux afin de s'assurer du bon déroulement des procédures établies en synergie avec les différents acteurs (MOA-MOE-Entreprises-SNCF) ;

→ Le renforcement de la pile P3, qui s'inscrit dans le cadre de l'UIC 777 2-1 faisant référence aux constructions situées au-dessus de voies ferrées. La pile existante située en plein cœur du faisceau de voies présentait un risque d'endommagement par collision important du fait de son architecture voûtée. Afin de prévenir ce risque, il a été réalisé un comblement structurel de la voûte en béton armé entre les deux poteaux (figure 14). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR TOTALE : 186 m

LARGEUR : 6,0 m (utile) – 10,0 (totale)

SURFACE : 1 116 m² (utile) – 1 860 m² (totale)

CHARPENTE MÉTALLIQUE (S355W) : 811 t

BÉTON BAS CARBONE (CEM III) : 1 750 m³

APPAREILS D'APPUIS : 4 u (pot) – 6 u (néoprène fretté)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Direction des Routes d'Île-de-France (DiRIF)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingérop

ARCHITECTE : Strates Ouvrages d'Art

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

Chantiers Modernes Construction (mandataire), Eurovia, Botte Fondation, Vinci Construction Terrassement

TABLIER MÉTALLIQUE : Cimolai S.p.A.

ABSTRACT

PLEYEL VIADUCT - A NEW ENTRY SLIP ROAD ON THE A86 EXPRESSWAY

SYLVAIN BOYER, INGÉROP - JULIEN RIDENE, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - MAURO LINZI, CIMOLAI - HERVÉ VADON, STRATES OUVRAGES D'ART

The Pleyel viaduct, located in the Paris region, connects the sites of sports events (Stade de France stadium, Olympic Aquatic Centre) with the Olympic Village for the 2024 Paris Olympic Games. With a total length of 186 metres, the composite box-girder deck crosses the railway track of the "Paris Nord" sidings (Eurostar, Thalys, RER and Transilien train services). The structure is in self-patinating steel to avoid future repainting above the railway tracks. Moreover, the steel used comes from an electric furnace process using 98.33% recycled materials. The viaduct construction method is double launching: a right-hand section on the East side and then a curved section (radius 113.5 m) on the West side. □

VIADUCTO PLEYEL (DPTO. 93) - UNA NUEVA VÍA DE ACCESO A LA A86

SYLVAIN BOYER, INGÉROP - JULIEN RIDENE, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - MAURO LINZI, CIMOLAI - HERVÉ VADON, STRATES OUVRAGES D'ART

El viaducto Pleyel, situado en la región de París (departamento 93), enlaza los recintos de las competiciones deportivas (Stade de France, Centro Acuático Olímpico) y la Villa Olímpica de los Juegos de París 2024. Con una longitud total de 186 m, el tablero de cajón mixto cruza las vías férreas del haz « Paris Nord » (Eurostar, Thalys, RER, Transilien). La construcción es de acero Corten para evitar futuros trabajos de pintura sobre las vías del ferrocarril. Además, el acero utilizado se ha obtenido mediante un proceso de horno eléctrico, que utiliza un 98,33% de materiales reciclados. El método de realización del viaducto es un doble lanzamiento: una parte recta del lado este y una parte curva (radio de 113,5 m) del lado oeste. □

Digitalisation des activités

Travail collaboratif

Partage des données



**Bienvenue
dans un monde
qui se construit autrement.**

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

Notre métier : assurer le vôtre.

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



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

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

Engineering a Better Solution

Depuis plus de 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI



Échangeur A43/A41,
Chambéry (73)

Remblai renforcé Terramesh® minéral &
Remblai renforcé à parement
béton MacRes®