

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES D'ART. CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU VIADUC SUR LA MAYENNE, A CHATEAU-GONTIER (53). RECONSTRUCTION DU VIADUC FERROVIAIRE SUR L'AY, A SARRAS (07). LES NOUVEAUX RÉSERVOIRS D'EAU DE VALENCE (26). AMÉNAGEMENT DE L'ILE SEGUIN (92) : PONT SEIBERT. PASSERELLE NORD DE L'ILE SEGUIN SUR LA SEINE. VIADUCS DE COK EN TURQUIE. CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART DE LA PORTE DE GESVRES. PONT RAIL DE FRANCHISSEMENT DE LA PORTE DE LA CHAPELLE

N°980 SEPTEMBRE 2022



LES NOUVEAUX
RÉSERVOIRS D'EAU
DE VALENCE (26)
© DEMATHIEU BARD
CONSTRUCTION

**LES TRAVAUX
PUBLICS** FEDERATION
NATIONALE

Je ne suis pas petite, ma conception est compacte

La pelle sur pneus A 916 Compact Litronic

Un travail sûr, productif et performant dans un espace restreint. Avec un faible rayon de giration arrière de 1,80 m et un contrepoids lourd évidemment.

www.liebherr.com

LIEBHERR

Pelles sur pneus



Venez nous rencontrer à

bauma

Munich, 24 - 30 octobre
Plus d'informations sur
www.liebherr-bauma.com

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

Directeur de la publication
Bruno Cavné**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 (Fntp),
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),
Jacques Robert (Arcadis),
Claude Servant (Eiffage),
Nastaran Vivan (Artelia),
Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente****TBS GROUP**
Service Abonnement Revue Travaux
235, avenue le Jour se Lève
92100 BOULOGNE BILLANCOURT
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.frFrance (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité**Rive Média
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.frDirecteur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31Site internet : www.revue-travaux.com**Édition déléguée**Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.comLa revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la responsabilité
de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de
refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts
de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux).Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même
partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
ISSN 0041-1906

« JE N'AI JAMAIS RÊVÉ QUE DE PONTS »



© DR

La passion des ouvrages d'art est notre moteur ! Elle anime toute la profession : les architectes, les ingénieurs, les constructeurs et les maîtres d'ouvrage. Sans passion, il n'y a pas d'avancée, pas de rêve. Cette passion est même plus large et touche une grande partie de la population comme l'a si bien écrit le philosophe et académicien Michel Serres : « *Je n'ai jamais rêvé que de ponts, écrit que d'eux, pensé sur ou sous eux ; je n'ai jamais aimé qu'eux.* »

Concevoir des ponts, des viaducs, des passerelles reste un acte fort, puissant, symbolique : un geste de paix si important en cette période de trouble en Europe, et l'actualité nous le montre tous les jours.

Concevoir un ouvrage d'art, c'est avant tout une histoire de femmes et d'hommes, le travail d'une équipe qui élabore des idées, analyse des données multiples, partage les sensibilités et les savoir-faire. Cette communion des co-concepteurs est la seule qui aboutisse à de grandes réalisations, à des projets innovants qui améliorent la vie. Quelle fierté alors de gagner en équipe un concours et de voir se réaliser quelques mois ou quelques années plus tard le fruit d'un tel travail. Je pense au Pont Chaban Delmas à Bordeaux conçu avec mon père Charles Lavigne et mon épouse, l'architecte Cécilia Amor Mahia, à la passerelle de Chartres, au viaduc en arc de la Mayenne et tant d'autres...

Les commandes d'ouvrages d'art évoluent avec le temps et les époques : ponts routiers et autoroutiers dans les années 1980, ponts ferroviaires dans les années 1990/2000, ponts urbains et ponts mobiles

dans les années 2000/2010 et les passerelles dédiées aux modes doux qui se développent largement aujourd'hui. Quelle que soit l'échelle du projet, les enjeux sont toujours les mêmes, comme aime à le rappeler Michel Virlogeux : les trois préceptes de Vitruve « *Firmitas, Utilitas et Vénustas* » n'ont pas pris une ride. Nos ponts doivent marier l'élégance, la résistance, la durabilité, s'inscrire dans le sens des efforts et être dans le même temps des belvédères sur le grand paysage, des places à vivre.

Enfin nous avons en France un patrimoine exceptionnel en termes d'ouvrages d'art qui résulte de l'histoire du génie français dans le domaine. Nous sommes les fils de grands concepteurs comme Jean-Rodolphe Perronet, Paul Séjourné, Gustave Eiffel ou Eugène Freyssinet et plus récemment Michel Virlogeux, Jean Marc Tanis, Michel Moussard, Jean-Bernard Datry et l'architecte Charles Lavigne qui m'a transmis cette passion. J'en oublie tant d'autres...

Ils nous ont montré la voie. Nous sommes des fils de bâtisseurs !

Nous héritons de ce savoir-faire et nous devons continuer à écrire cette histoire des ponts. Relançons en France les grands projets qui ont toujours fait notre fierté et permettent à notre profession de s'exporter pour relever les défis de demain. Nous sommes fiers du viaduc de Garabit, du pont de Normandie, du viaduc de Millau. Osons développer encore et toujours ces grands projets, ces grandes infrastructures utiles aux populations pour mailler la France et relier les femmes et les hommes.

L'histoire des ponts est essentielle et les ponts doivent aussi s'inscrire dans l'Histoire. C'est ce que nous avons fait à Québec où le nouveau pont de l'île d'Orléans sur le Saint Laurent reflète dans sa conception et son architecture l'histoire maritime du Québec découvert par Jacques Cartier.

Pour terminer, comment ne pas penser au drame qui se déroule en Europe. Il faudra demain reconstruire des villes et des ponts et retisser les liens. Il faudra reconstruire des ouvrages de qualité pour rebâtir le patrimoine de demain et redonner au pays sa fierté et sa liberté.

THOMAS LAVIGNE
ARCHITECTE

OUVRAGES D'ART

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

VIADUC FERROVIAIRE SUR L'AY, À SARRAS (07) © MAIA SONNIER



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC
IVICA ZIVANOVIC**
FREYSSINET -
L'INNOVATION POUR RAISON D'ÊTRE

26 CMBC -
SAVOIR-FAIRE ET HAUTE TECHNICITÉ
EN CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

34

**CONCEPTION ET
CONSTRUCTION DU
VIADUC SUR LA MAYENNE**
à Château-Gontier (53)

41

**RECONSTRUCTION
DU VIADUC FERROVIAIRE
SUR L'AY**
à Sarras (07)

48

**LES NOUVEAUX
RÉSERVOIRS D'EAU**
de Valence (26)

56

**AMÉNAGEMENT
DE L'ÎLE SEGUIN (92)**
Nouveau pont Seibert

64

**PASSERELLE NORD
DE L'ÎLE SEGUIN**
sur la Seine

72

**VIADUCS DE ÇOK
EN TURQUIE**
L'affirmation du lieu

80

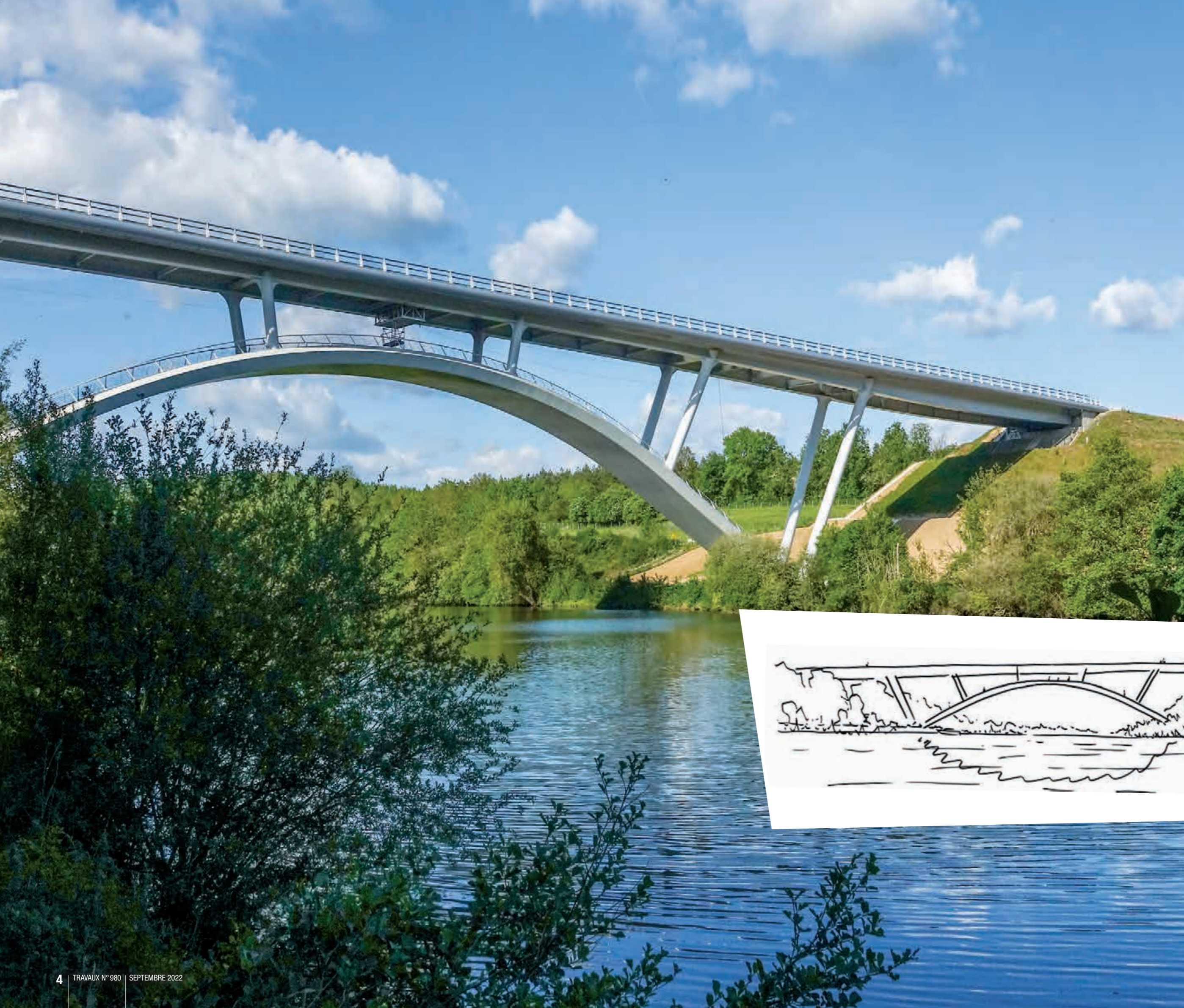
**CONCEPTION
DES OUVRAGES D'ART
DE LA PORTE DE GESVRES**
à Nantes

86

**PONT RAIL
DE FRANCHISSEMENT
DE LA PORTE
DE LA CHAPELLE**
du CDG Express

VIADUC SUR LA MAYENNE UN COUP DE CRAYON INSPIRÉ

Sce, Thomas Lavigne Architecte Ouvrages d'Art et Apc Ingénierie, en MOE complète, ont conçu ce viaduc de 300 m sur la Mayenne, sans appui dans son lit mineur, construit par le groupement Nge, Vbsc, Guintoli. C'est un pont en arc supportant le tablier par l'intermédiaire de quelques pilettes. Son dessin est unique. (Voir article page 34).



© DR

LE NOUVEAU PONT SEIBERT RAPPELLE LE TEMPS OÙ L'ON DONNAIT AUX PONTS LE NOM DE LEUR CONSTRUCTEUR

Ingérop et Chantiers Modernes, respectivement mandataires d'un groupement de maîtres d'œuvre et d'un groupement d'entreprises, réalisent ce nouveau pont Seibert d'accès à l'île Seguin sur la Seine. L'ancien pont Seibert, du nom de son constructeur, construit en 1931, était l'un des deux accès historiques aux usines Renault installées sur l'île à l'époque. Le nouvel ouvrage, métallique, d'une portée de 150 m, comporte une travée bowstring de 80 m au-dessus de la Seine. La charpente a été fabriquée en usine et acheminée en tronçons. (Voir article page 56).



LE SÉNAT SE PENCHE À NOUVEAU SUR LE MAUVAIS ÉTAT DES PONTS ROUTIERS



Le pont de la Palombe, à Bordeaux, inauguré en juillet 2022, enjambe les voies ferrées au sud de la gare Saint-Jean.

© ERIETA ATTALU - BORDEAUX METROPOLE

Une première commission d'enquête du Sénat a enquêté en 2019, sur l'état des ponts routiers. Elle avait fait un certain nombre de propositions dont 80% ont été suivies. Mais, hélas, trois ans après, les sénateurs tirent un bilan contrasté. Les moyens tant financiers qu'en matière d'ingénierie, sont insuffisants pour enrayer la spirale de la dégradation.

Le compte n'y est pas. Le Sénat continue de tirer la sonnette d'alarme sur l'investissement insuffisant concernant l'entretien des ponts routiers. Le tragique effondrement du pont Monrandi de Gênes (Italie) survenu en 2018, fut un révélateur. Ainsi, la chambre haute du parlement a dépêché, l'année suivante, une commission d'enquête d'évaluation et de propositions pour améliorer l'état des ouvrages d'art, en France. Trois ans après, les sénateurs ont tiré un premier bilan intitulé « *Sécurité des ponts : face au "chantier de siècle", l'urgence d'une action publique plus ambitieuse.* »

→ **30 000 à 35 000 ponts en mauvais état**

Premier fait « *révélateur des lacunes de notre politique d'entretien des ouvrages d'art* », il est impossible de connaître de manière précise le nombre de ponts en France. Il y en aurait entre 200 000 et 250 000, neuf sur dix étant gérés par les communes, les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) et les départements. L'État gère environ 12 000 ponts sur les réseaux routiers nationaux concédés et non concédés. 30 000 à 35 000 seraient en mauvais état structurel, un chiffre qui a augmenté significativement depuis les conclusions de la commission d'enquête en 2019 (+10 000). La dégradation des ponts et les pro-

blèmes de sécurité qui en découlent est un phénomène qui touche les collectivités locales de plus petite taille. Celles-ci n'ont pas les moyens suffisants pour les entretenir. Pour le Sénat, les travaux de réparation des 23 000 ponts du bloc communal nécessitent des investissements à hauteur de 2,2 à 2,8 milliards d'euros.

→ **Besoin de 90 M€ par an**

Alors, les préconisations de la commission d'enquête de 2019 seraient-elles restées lettre morte ? Le Sénat note que « *80% des propositions ont été suivies d'effet et ont fait l'objet de mesures annoncées par le gouvernement, mais la réponse publique demeure nettement insuffisante.* » Ainsi la mise en œuvre, en décembre 2020, du Programme national ponts (PNP), piloté par le Cerema, est considérée comme "une réelle avancée". Les moyens déployés sont cependant insuffisants "pour enrayer la spirale de dégradation". 11 540 communes ont été volontaires pour le recensement et l'évaluation de leurs ouvrages d'art pour 40 M€ déployés sur 3 ans alors que le Sénat estime à plus de 90 M€ les besoins par an. Le retard accumulé depuis 2020 s'élève déjà à 350 M€, par rapport aux recommandations de 2019. « *Mais surtout aucun financement n'est prévu pour accompagner les collectivités qui en ont besoin pour procéder à des*

travaux de réparation et de reconstruction de leurs ponts routiers. » pointe-t-il. Car si les départements ont accru leurs dépenses, le soutien plus fort de l'État semble nécessaire.

→ **Ingénierie**

Au-delà des moyens financiers, la création d'un système d'information géographique national (SIG) pour géo-référencer tous les ouvrages d'art en France est une solution avancée. Cela permettrait d'orienter, par les systèmes GPS, le trafic des poids lourds susceptible de poser des problèmes de sécurité. Un "carnet de santé" définissant les caractéristiques des ponts routiers ainsi que la politique de surveillance et d'entretien à prévoir, devrait aussi être mis en place. Le Sénat propose aussi d'intégrer les dépenses de maintenance des ouvrages d'art dans la section investissement des budgets des

collectivités pendant une période transitoire de dix ans, à compter de 2023, de définir un cadre juridique global et de planifier l'entretien et la réparation des ponts. Pour mener à bien ces actions, les collectivités devront bénéficier de moyens d'ingénierie, de méthodologie et de moyens humains mobilisés du Cerema, de mutualisation de la gestion des ponts au niveau départemental comme le prévoit la loi "3DS" qui permet le transfert de maîtrise d'ouvrage d'une collectivité à une autre. En effet, une grande majorité des communes et petites intercommunalités n'est pas équipées pour assurer ces missions. 90% des élus du bloc communal interrogés par le Sénat ont indiqué ne pas disposer des ressources techniques et humaines en interne. L'ensemble de ces dispositions a été adopté à l'unanimité par les sénateurs, en juin 2022. ■



Destiné à désenclaver le quartier de la gare d'Austerlitz à Paris, le futur pont de la Salpêtrière de 85m de long, sera livré en 2023.

© CLAPROD, S&P PHOTOGRAPHIE - EIFFAGE METAL

CONJONCTURES DANS LE CONTEXTE DE LA GUERRE EN UKRAINE.



Les matériaux de construction sont impactés par la guerre en Ukraine.

Quel impact le conflit ukrainien peut-il avoir dans le secteur de la construction et des travaux publics ?

Les premiers effets concernent plus particulièrement l'activité des matériaux. Un net repli est constaté. « *Les signes de fléchissement de l'activité se confirment dans les matériaux de construction comme dans le reste de l'économie. La période de rebond qui avait suivi la levée des restrictions sanitaires post-pandémie semble bien avoir pris fin avec le déclenchement du conflit ukrainien qui est venu accentuer plus encore des difficultés d'offre déjà présentes.* » considère le service statistique de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem) dans une note de conjoncture de juin 2022.

Les volumes de production de granulats ont diminué de 8,8% entre mars et avril 2022 et de 8,5% en une année (données avril 2021 CVS-CJO). Cette baisse s'explique par le fléchissement de l'activité en matière de construction lié aux difficultés d'approvisionnement des chantiers. Mais selon l'Unicem « *ce chiffre doit être nuancé, car le mois d'avril 2021 avait été particulièrement dynamique comparé à un mois d'avril moyen.* »

→ Repli sur le marché global des matériaux

Pour le Béton prêt à l'emploi (BPE), les mêmes tendances s'affirment avec une production en baisse de 7,2% entre mars et avril 2022 et une chute de 10,1% au regard d'avril 2021 qui, lui aussi, avait été une période faste pour le BPE. Un repli de 1,9% sur les quatre premiers mois de cette année est effectif sur le marché global des matériaux qui outre les granulats et le BPE comprend les adjuvants, le ciment, les tuiles, le béton produit pour le bâtiment et les travaux publics.

« *Dans le BTP, l'équation qui consiste à assurer la réalisation des chantiers avec des process productifs sous tension et de plus en plus coûteux reste difficile à résoudre tandis que, côté TP, les carnets qui peinaient déjà à se regarnir depuis la crise sanitaire paient le prix d'un sursaut d'attentisme de la part des collectivités.* » note l'union professionnelle.

Ainsi le volume de travaux réalisés pour le secteur des TP enregistre en recul assez important, moins 18,3% entre avril 2021 et 2022. Depuis janvier, le chiffre d'affaires global des entreprises du secteur connaît une légère progression (+0,7%), mais compte tenu de la hausse des coûts de production l'activité en

volume ressort sur une tendance négative (-7,7%). Le secteur attend donc la sortie de projets portés par les collectivités locales, qui pour l'heure se font attendre.

→ Mesures rapides pour les énergies renouvelables

Une autre sonnette d'alarme est tirée par le Syndicat des énergies renouvelables (SER) compte tenu de l'arrêt depuis le 15 juin, des importations de gaz russe. Dans un communiqué, le SER explique que « *dans un contexte marqué par une faible disponibilité des moyens de production conventionnels et par la guerre en Ukraine, (...) les énergies renouvelables sont aujourd'hui absolument stratégiques pour garantir notre sécurité d'approvisionnement.* » Or les fortes hausses des coûts des matières premières et de remontée des taux d'intérêt pourraient condamner des projets tant dans le photovoltaïque que dans la production de biométhane. « *Le SER a proposé une série de mesures, comme l'indexation des niveaux de soutien public ou la possibilité pour les futurs projets de vendre de l'énergie sur le marché avant l'activation de leur contrat. Nous nous tenons aux côtés des responsables politiques pour que ces mesures puissent être mises en œuvre le plus rapidement possible.* » a indiqué Jean-Louis Bal, son président. ■

COUP DE POUCE DE 100 €

Le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics (CCCA-BTP) a lancé un nouvel appel à candidatures destiné aux organismes de formation des métiers du BTP. Intitulé le "Pass jeune apprentissage BTP" ce dispositif a pour but d'offrir une aide de 100 € par apprenti. Ce bonus s'inscrit dans un contexte actuel économique d'inflation pour de nombreuses familles. Il est destiné à tous les jeunes en première et deuxième année d'apprentissage dans un métier du BTP en niveau 3 (CAP), niveau 4 (bac pro, BP) et niveau 5 (BTS) et dans une entreprise de la filière, avec un contrat signé et une période d'essai validée. Près de 86 000 apprentis sont concernés. Ce dispositif est expérimental et va se déployer jusqu'en juin 2023.

BACHELOR CHARGÉ D'AFFAIRES BTP

Trois organismes de formation professionnelle* de Bretagne, se sont associés pour créer une offre de formation commune en apprentissage, bac+2, le Bachelor chargé d'affaires BTP. Il sera dispensé en alternance à raison d'une semaine par mois dans l'une des trois structures partenaires et trois semaines en entreprise. Le BTP qui reste dynamique en Bretagne, souffre de manque de compétences. Cette formation permet d'accéder au métier de chargé d'affaires qui aura la responsabilité de piloter les opérations, de leur commercialisation jusqu'à la livraison des projets.

* CESI, réseau de campus d'enseignement supérieur et de formation professionnelle, le CFA - pôle formation de l'Union des Industries et Métiers de la Métallurgie (UIMM) Bretagne et Bâtiment CFA Bretagne.

ÉNERGIES MARITIMES, UNE FILIÈRE EN DÉVELOPPEMENT

Les objectifs pour la filière des énergies renouvelables maritimes sont clairs : 40 GW produit à l'échéance 2050 et 20 000 emplois créés d'ici 2035, soit plus de 1 000 par an. Selon l'Observatoire des énergies de la mer*, ce secteur est sur cette trajectoire, ayant recruté en 2021, 6 591 emplois équivalents temps plein soit une augmentation de 36 % par rapport à l'année précédente. Avec respectivement 34 % et 28 % des emplois, la Normandie et les Pays de la Loire sont des régions phares de la filière. Les créations d'emplois sont issues d'une part des chantiers de construction des 4 parcs éoliens flottants et d'autre part des usines de production pérennes. En 2 ans (2020 - 2021), 3,5 Md€ ont été investis, soit plus que tous les investissements précédents dans la filière. L'accélération de l'éolien flottant, la relance des projets de fermes pilotes pour l'hydrolien mais aussi l'avancée de l'houlomoteur, système encore en démonstration de convertisseur des vagues en électricité, ouvrent de nouvelles perspectives. Les chantiers des sites d'éoliens flottants de Courseulles-sur-Mer, Saint-Nazaire, Fécamp, et Saint-Brieuc sont en cours, avec l'installation des premières fondations en mer et autres travaux de câblage et raccordement à terre.

* L'observatoire des énergies de la mer a été créé par le Cluster Maritime Français (CMF) qui travaille le Syndicat des énergies renouvelables (SER), le Groupement des Industries de Construction et Activités Navales (GICAN) et avec France Énergie Éolienne (FEE). Il est soutenu par l'ADEME.



© BVIDEOL

Éoliennes offshore développées par l'entreprise BW Ideol.

NOUVEAU CONTRAT DE CONCESSION POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE DE GAZ

Plus de 4 ans de négociations auront été nécessaires entre GRDF et les deux associations d'élus locaux, France Urbaine et la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), pour adopter un nouveau modèle de contrat de concession pour la distribution publique de gaz. Cet engagement est destiné aux collectivités propriétaires des réseaux de distribution locaux de gaz et qui doivent le concéder à GRDF.

Ce document offre un cadre contractuel entre les parties prenantes permettant des adaptations locales en matière de performance, d'indicateurs, de transition énergétique ou de mobilité décarbonée.

→ Programmes pluriannuels de cinq ans

« Ce nouveau modèle de contrat s'inscrit dans une dynamique d'indépendance énergétique nationale appuyée sur le développement local des solutions écologiques de production de biogaz et d'hydrogène, portées notamment par les autorités organisatrices de la distribution d'énergie, membres de la FNCCR. Les investissements opérés sur le réseau auront ainsi tout à la fois leur intérêt pour la qualité de la distribution et de la collecte du gaz renouvelable dans les territoires. » explique Xavier Pintat, Président de la FNCCR. Cet accord s'inscrit dans l'objectif national de neutralité carbone à l'échéance 2050.

Ce contrat comporte un volet renforcé sur le plan de la sécurité que le concession-



© TE 38

Le nouveau contrat de concession concerne 85 % des collectivités locales.

naire devra respecter. GRDF devra ainsi délivrer des informations aux collectivités sur les incidents et les mesures nécessaires pour y remédier. Le schéma directeur des investissements gaz sera décliné en programmes pluriannuels de cinq ans et sera assorti d'indicateurs de suivi de performance. Cela permettra plus de transparence et une meilleure visibilité

pour les autorités concédantes. Les investissements concernent la sécurité industrielle, la modernisation des ouvrages et la qualité de service. Un comité national de suivi réunissant les trois acteurs, examinera les difficultés rencontrées permettant aux partenaires de suivre l'exécution des certaines dispositions ainsi que les réclamations. ■

UN QR CODE POUR CANALISATIONS, LAURÉAT DES TROPHÉES DE L'INNOVATION

Acteur de la formation professionnelle des métiers de bâtiment et des travaux publics, le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics (CCCA-BTP), a organisé les premiers trophées de l'innovation du WinLab*, son incubateur créé en 2017. Neuf lauréats ont ainsi été récompensés pour leurs projets qui devaient s'inscrire « dans le cadre d'une initiative innovante structurante, à même de transformer une organisation, un comportement ou un usage, par la mise en œuvre concrète d'une idée originale, utile

et répliquable. » Ces récompenses doivent permettre de connaître les innovations pensées par les organismes de formation aux métiers du BTP, les valoriser et accroître ainsi l'efficacité des solutions et des parcours de formation proposés.

→ Mieux identifier les vannes

Plus spécifiquement pour les travaux publics, dans la catégorie "évolution des métiers", le projet lauréat mené par le BTP CFA d'Occerre (Seine-et-Marne) s'intitule "Le QR code, une nouvelle pratique de chantier". Pour remédier aux difficultés d'identification des vannes

pour les entreprises de TP, les formateurs et leurs apprentis en 2^e année de CAP Constructeur de réseaux de canalisations, ont élaboré un QR code des canalisations. Celui-ci intègre l'interdisciplinarité (entre l'atelier de dessin et le CRAF du CFA) et la possibilité de communiquer entre deux systèmes informatiques (logiciel AutoCAD et QR code). En scannant le QR code, l'ensemble du plan de réseaux s'affiche avec sa fiche technique et sa traçabilité. Cet outil numérique sera reproductible sur tous les types de réseaux de canalisations. ■

On your site*

Nous sommes de retour ici dans notre fief – sur le plus grand salon de la construction au monde. Nous vous présenterons entre autres des nouveautés mondiales et, comme le veut la tradition à la Bauma : le futur.

LIEBHERR

www.liebherr-bauma.com

24 – 30 octobre 2022, Messe München

Stand principal en extérieur : stand 809-810 et 812-813 • **Composants :** hall A4, stand 326
Technique du béton : hall C1, stand 425 • **Outils :** hall B5, stand 439
THINK BIG ! Formation chez Liebherr : Foyer ICM, hall B0, stand 105

*A vos côtés.

UN GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR UNE NOUVELLE LIGNE DE TRAMWAY, À NICE

La Ligne 5 du tramway de la métropole de Nice Côte d'Azur (Alpes-Maritimes) est sur les rails. Le groupement TramVen, composé de la société Ingérop (mandataire) spécialisée dans l'ingénierie et le conseil pour les projets de mobilité, associée à Egis et au cabinet LA/BA Architecte, se sont vu attribuer le marché de maîtrise d'œuvre.

Longue de 7,6 km et composée de 16 stations, la nouvelle ligne de tram est située à l'est de Nice et doit relier la capitale régionale aux communes de la Trinité et de Drap. Elle permettra d'irriguer des secteurs de la métropole niçoise en pleine mutation et fera aussi le lien entre différents équipements culturels tels que "Le 109" pôle des cultures contemporaines de Nice, le théâtre Lino Ventura, la salle Jean Ferrat ou encore le musée d'art contemporain (Mamac). La fréquentation future est estimée à 50 000 voyageurs par jour, pouvant entraîner une baisse de 20 à

© 2022 TRAMWAY DE LA MÉTROPOLE NCA



La Ligne 5 de 7,6 km de long sera complètement mise en service en 2028.

25% du trafic véhicules aux heures de pointe.

→ Projet vertueux

Le groupement de maîtrise d'œuvre doit développer cette ligne de transport urbain dans des délais très courts. En effet, la mise en service de la partie centrale est prévue fin 2025 pour une livraison de la totalité de la ligne en 2028. Le groupement devra répondre aux objectifs envi-

ronnementaux voulus par le maître d'ouvrage, la métropole de Nice Côte d'Azur. Le projet se veut vertueux avec une certification HQE (Haute Qualité Environnementale). La lutte contre les îlots de chaleur est un des axes de cette opération dont le parcours devra être végétalisé dans la continuité et l'imperméabilisation des sols, limitée. Un programme de recyclage des matériaux doit aussi être élaboré. La Ligne T5 s'inscrit dans un projet d'aménagement des espaces urbains qui doit intégrer les mobilités douces, avec une piste cyclable le long du tramway. Trois parkings de plus de 250 places seront implantés pour faciliter le report du transport individuel vers le tramway.

Les équipes d'Ingérop et d'Egis ont travaillé, via le groupement Essia, entre 2010 et 2019 à la création des Lignes T2 et T3. Et depuis 2021, elles assurent la maîtrise d'œuvre de la Ligne T4 à travers le groupement Tram4West. ■

VINCI CONSTRUIT UN RÉSERVOIR D'EAU AU CANADA

À 15 km à l'ouest de Calgary, Vinci Construction, à travers sa filiale de terrassement, va réaliser le réservoir d'eau de Springbank, pour le compte de la province d'Alberta.

L'objectif est de protéger les habitants de cette province des inondations de la rivière Elbow, comme celles qui se sont produites, en 2013.

Les travaux, pour un montant total de 263 millions d'euros sur 3 ans, comprennent la réalisation d'un ouvrage de régulation sur l'Elbow, d'un barrage en terre de 29 m de hauteur et 3,8 km de longueur, fonctionnant avec une prise d'eau et un canal de dérivation long de 4,3 km. Le chantier prévoit aussi les aménagements et ouvrages d'art sur les voiries concernées.



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° 981 " Spécial JO 2024 Paris "
- TRAVAUX n° 982 " Sols et fondations "



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

UN CHANTIER COMPLEXE POUR NGE

Afin d'améliorer les conditions de circulation de l'axe Nantes-Pornic, quatre filiales de l'entreprise NGE se sont mobilisées pour la construction d'un nouvel ouvrage de franchissement au-dessus de la rivière Acheneau. Le projet commencé en mars 2022, met en œuvre le doublement du viaduc existant en 2x2 voies sur la RD751. 160 m de paroi berlinoise seront nécessaires à l'édification de la nouvelle structure, longue de 206 m et constituée de 8 travées. Le chantier d'une durée de 32 mois va s'avérer complexe, car la circulation est maintenue, sur cet axe routier très fréquenté.

LACROIX EXPÉRIMENTE À PARIS LE DISPOSITIF 4SAFEMOBILITIES

Le projet 4SafeMobilities développé par l'entreprise Lacroix et ses partenaires Wintics et Standby-Mercura, développe une technologie dans le domaine de la Smartcity. L'objectif est de fluidifier et de sécuriser les mobilités aux carrefours et aux passages piétons. Ce projet est en cours d'expérimentation sur une intersection du 13^e arrondissement de Paris. Il prend en compte les usagers les plus vulnérables de la route, piétons cyclistes mais aussi les transports en commun et les véhicules d'urgence.

« C'est pour répondre aux enjeux d'une mobilité durable que des collaborations comme celle-ci, entre public et privé, doivent continuer à se développer dans le but de proposer des solutions toujours plus proches des attentes des citoyens, » considère Guillaume Grolleau, Directeur général de l'activité City de Lacroix.

→ Prise de décision autonome

4SafeMobilities est une solution qui associe Intelligence artificielle à la technologie V2X. Ainsi les informations de fréquenta-



En juin 2022, a eu lieu une démonstration en conditions réelles du projet 4SafeMobilities à Paris.

tion du carrefour sont traitées en temps réel pour que le "contrôleur de feux" prenne de façon autonome des décisions. Cela s'intègre dans un plan de gestion du trafic. L'intelligence artificielle est hébergée localement sans recours au

cloud et peut se brancher sur des caméras préexistantes.

Le projet a été lauréat en 2021, de la 3^e édition des "Quartiers d'innovation urbaine" proposé par l'incubateur Urban Lab de Paris & Co. ■

VISITE DES INSTALLATIONS SOLAIRES DE BAYWA R.E., AUX PAYS-BAS



© SOPHIE LE RENARD

Chaque panneau solaire a une puissance électrique de 500 W.

Des panneaux photovoltaïques flottent au milieu d'un lac artificiel d'extraction de sable, sur la commune de Druuten, à l'Est des Pays-Bas. Le site Uivermeertjes de 10 hectares, est le deuxième plus grand d'Europe. Mis en service il y a un an, il fait partie des projets développés par le groupe allemand de BayWa r.e. acteur du secteur des énergies renouvelables, avec 10 GW en exploitation dans le monde. L'entreprise avait organisé une visite de presse pour montrer les atouts de cette production d'énergie qui peut être reproductible sur notre territoire national. Elle dispose actuellement de treize parcs photovoltaïques de ce type pour une production de 200 MW.

→ Un câble unique en partie enterré

Ce parc flottant est composé de 56 056 panneaux solaires supportés par 3 510 flotteurs pour une puissance de 29,7 mégawatts crête (MwC). 120 onduleurs et 13 transformateurs, flottants, complètent l'installation.

« La production annuelle correspond à l'équivalent des besoins domestiques de 10 000 foyers. » explique Benoît Roux, directeur solaire BayWa r.e. pour la France. Installé en quelques semaines, le parc solaire flottant est configuré pour permettre à la lumière et à l'air d'atteindre la surface de l'eau. Les câbles de moyenne tension relient un câble unique en partie enterré sous l'eau, qui rejoint ensuite la centrale électrique.

Cet ensemble photovoltaïque est positionné au centre du lac, dans sa partie la plus dense, relié par des poteaux de deux mètres de profondeur. Mais ces installations sont néanmoins un peu mobiles, pouvant bouger au rythme du vent. L'entreprise certifie que les infrastructures « peuvent bien résister aux intempéries et aux tempêtes. »

Les berges, réservoirs de biodiversité pour la faune et la flore, sont éloignées des panneaux et ne semblent pas être impactées par les installations électriques.

On peut même apercevoir des cormorans, des canards et une famille de cygnes passant au loin.

→ Opportunité intéressante, en France

« En France, BayWa r.e. analyse la possibilité de développer cinq projets similaires. Sur un lac du même type dans le Loiret, l'étude est la plus avancée. Mais c'est un système encore méconnu dans l'hexagone qui se heurte à une méfiance par rapport aux conséquences sur la biodiversité. Un inventaire des oiseaux remarquables est ainsi réalisé à chaque projet. En cas d'absence d'espèces rares, cela peut représenter une opportunité intéressante pour les sites de carrières en fin d'activités. » note Benoît Roux qui estime le potentiel français de production d'électricité à partir d'un parc solaire flottant « à 10 GWh, si le cadre réglementaire évolue, en étant moins contraignant. »

L'entreprise allemande axe aussi son développement sur "l'agrivoltaïsme", soit la pose de panneaux solaires au-dessus de champs de fraises, framboises, pommes et autres produits maraîchers. Des exploitations néerlandaises et allemandes sont dotées de ces structures et des projets sont en cours en France, développés par une branche spécialisée de BayWa r.e.

Pour Cécile Augrain responsable de cette filière d'agrivoltaïsme dans l'hexagone « Même s'il on constate une baisse de rendement autour de 3%, ces dispositifs permettent de protéger les cultures des intempéries et limitent les températures par rapport à des serres classiques. Les chambres d'agriculture commencent à s'y intéresser. » ■

LE DESSALEMENT SOLAIRE, UNE SOLUTION D'ACCÈS À L'EAU POTABLE

La PME Mascara, spécialisée dans le dessalement solaire sans impact de carbone, a récemment inauguré ses nouveaux locaux de production industrielle, situé à Chartres (Eure-et-Loir).

Une vingtaine de personnes travaillent sur ce site. L'ambition de cette entreprise est de continuer à accroître son impact grâce au nombre et à la taille de ses projets dans les régions où l'eau est rare. Car dans certains pays, le dessalement est la seule solution pour obtenir de l'eau potable, Mascara intervient, en effet, dans 30 pays, situés sur 4 continents. L'innovation apportée par la technologie Osmosun® permet de dessaler sans engendrer de fortes émissions de gaz à effet de serre, comme c'était le cas au préalable. Une usine de dessalement à énergie solaire a été mise en service en juin 2022 à Madagascar. Ces nouvelles installations qui disposent de cette technologie industrielle, produisent 60 m³ d'eau par jour, à partir d'eau souterraine saumâtre.

Le dessalement solaire est une solution pour contribuer à soulager la crise humanitaire que connaît l'île malgache, souffrant de sécheresse, de tempêtes de sable et d'infestations de criquets. Ces unités de dessalement contribueront à améliorer l'accès à l'eau tant pour la consommation humaine et que pour l'irrigation de culture vivrières. Elles sont déployables en urgence et apportent une solution pérenne.



© SOPHIE LE RENARD

Les câbles flottants sont conçus pour ne pas entraver la biodiversité du lac.



© MASCARA

Unité de dessalement de l'eau à Madagascar.

DES ENGINS DE FORAGE ÉLECTRIQUES

L'entreprise autrichienne Liebherr-Werk Nenzing GmbH a présenté six nouveaux engins de construction alimentés par des batteries électriques. Des grues sur chenilles ainsi que des machines de battage et de forage pour toutes les applications courantes dans le domaine des fondations profondes, seront alimentées par une énergie sans émission de gaz à effet de serre. Autre qualité mise en avant par le constructeur : l'absence de bruit que dégagent désormais ces machines, un aspect utile pour les chantiers en milieu urbain. Le chargement de la batterie se fait à l'aide d'une alimentation électrique de chantier conventionnelle. L'engin peut continuer à fonctionner pendant la charge. La machine de battage et de forage LRH200 existe dans une version sans câble "unplugged" pour une puissance de 400 kWh pour 8 à 10 heures de fonctionnement. Le modèle de 200 kWh, a une autonomie autour de 5 heures. Les deux types d'engins lèvent des pieux jusqu'à 24,5 m de long pour un poids maximal de 16 tonnes. Autre innovation technique, la pression au sol est affichée dans la cabine de l'opérateur qui connaît en permanence si la machine s'approche d'une zone critique. Les batteries des grues nouvelle génération sont conçus pour des opérations de levage moyenne de huit heures. Le centre de gravité est calculé automatiquement et l'opérateur en est ainsi averti.



Le modèle LB30, engin de forage dans sa version sans câble.

INNOVATIONS TECHNIQUES EN MATIÈRE D'ASSAINISSEMENT



Nouveaux kits d'obturation partielle, modulables et en PVC.

Des innovations sont nécessaires pour faire face aux variations de flux dans les eaux usées et éviter les débordements qui nuisent à l'environnement. En effet, leur débit dans les réseaux d'assainissement augmente et sature les canalisations devenues sous-dimensionnées et surchargées. C'est un des effets du changement climatique (fortes pluies et sécheresse) mais aussi de l'augmentation des populations urbaines. Les équipes en recherche et développement de l'entreprise Wavin ont conçu des nouveaux accessoires pour les regards Tegra afin de lutter contre ces épisodes engendrant des inondations. Ainsi de nouveaux kits d'obturation partielle et une nouvelle pelle obturatrice (Tegra 1000G2 Wavin) dévient les flux de trop plein.

→ Éviter les débordements

Pour éviter les risques de débordements des eaux usées dans le milieu naturel, il est préférable de mettre en place un système d'assainissement qui collecte de manière séparée les eaux usées et les eaux pluviales. Lors du passage d'un réseau unitaire à un réseau séparatif, il faut pouvoir contrôler le débit par temps sec ou pluvieux. Positionnés en sortie de regards, les nouveaux obturateurs partiels Wavin réduisent la section de passage de 5% à 50%, et évitent ainsi les débordements dans les réseaux. Modulable et en PVC résistant aux agressions chimiques liées aux eaux usées, ils s'installent facilement.

Autre innovation, une nouvelle pelle obturatrice, principalement utilisée pendant

les travaux de réparation et d'entretien destinés aux réseaux d'assainissement gravitaires des eaux usées et pluviales. Disponibles en deux diamètres (200 ou 250/315 mm), elles bloquent les entrées ou les sorties des regards lors des opérations de maintenance.

La ville de Dinard (Ille-et-Vilaine) a entrepris le passage en réseau séparatif de son système d'assainissement. « Lors de débits surabondants nous sommes approchés de la société Wavin pour mettre en place un équipement spécifique. La simplicité d'installation, la modularité et l'adaptabilité des nouveaux kits d'obturation partielle répondaient à nos attentes. » explique Christian Fontaine, adjoint au maire en charge des travaux. ■

UN GUIDE POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

Le centre de recherche et d'innovation sur le béton (Cerib) et la Fédération de la filière béton (Fib) ont élaboré un guide des solutions préfabriquées en béton pour la gestion des eaux pluviales qui peuvent être utilisées à différentes étapes du cycle urbain. L'eau de pluie ruisselée peut se charger de différentes particules ou polluants. Mais il est possible de la prétraiter. Elle peut ensuite être stockée avant d'être restituée au réseau ou au milieu naturel, à un débit régulé. Ce guide technique de

90 pages aborde toutes les fonctions qu'il est nécessaire d'assurer pour gérer les eaux pluviales aussi bien la collecte et les infiltrations que le stockage, le prétraitement, la régulation ou encore la restitution.

→ Questions techniques

De façon didactique, avec schémas et tableaux de données à l'appui, ce document répond à un certain nombre de questions techniques. En voici un aperçu non exhaustif : quelles sont les données nécessaires pour déterminer le volume

d'un bassin de stockage ? Comment se fait l'alimentation des bassins de stockage ? Comment réaliser les bassins de stockage enterrés en tuyaux et en cadres préfabriqués en béton ? Dans quelles conditions les éléments creux en béton préfabriqués permettent-ils de constituer le stockage des chaussées à structure réservoir ? Dans quelles conditions les bassins de stockage à ciel ouvert sont-ils implantés ? Le guide aborde aussi les obligations réglementaires. ■

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

OUVRAGES D'ART

964

SOLS ET FONDATIONS

965

SPÉCIAL GARES

966

ÉNERGIE

967

VILLE ET PATRIMOINE

968

TRAVAUX SOUTERRAINS

969

INTERNATIONAL

970

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

971

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

ÉNERGIE

975

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

976

TRAVAUX SOUTERRAINS

977

INTERNATIONAL

978

COMETCOM

*Offre valable jusqu'au 31/12/22

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 964 x | <input type="checkbox"/> 969 x | <input type="checkbox"/> 974 x |
| <input type="checkbox"/> 965 x | <input type="checkbox"/> 970 x | <input type="checkbox"/> 975 x |
| <input type="checkbox"/> 966 x | <input type="checkbox"/> 971 x | <input type="checkbox"/> 976 x |
| <input type="checkbox"/> 967 x | <input type="checkbox"/> 972 x | <input type="checkbox"/> 977 x |
| <input type="checkbox"/> 968 x | <input type="checkbox"/> 973 x | <input type="checkbox"/> 978 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 31/12/22 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 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

FRANCK LIRZIN

Paris
face au
changement
climatique

© ÉDITIONS DE L'AUBE

Franck Lirzin explore les enjeux de réchauffement climatique à l'échelle de Paris.

« PARIS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE »

« Paris est ville a-climatique, elle n'a jamais ressenti la nécessité de protéger ses bâtiments des rigueurs de l'hiver ou de les rafraîchir pendant les chaleurs de l'été. » constate Franck Lirzin, ancien conseiller d'Emmanuel Macron à Bercy, dans un essai revigorant "Paris face au changement climatique" aux Éditions de l'Aube.

Il évalue les mesures possibles pour éviter à la capitale « de connaître le même climat que Marseille aujourd'hui, en 2050. » La question de l'eau est au centre de sa réflexion. Les précipitations devraient diminuer mais leur intensité, au contraire devraient s'accroître. Des crues comme celle de la Seine de juin 2016, pourraient se reproduire tous les 5 ans et par ailleurs les besoins en eau vont augmenter. « Pourtant, il existe des solutions de rafraîchissement totalement écologiques et pouvant être mises en œuvre à grande échelle. Leur principe est de créer des échanges thermiques avec des supports comme le sol, l'eau ou l'air extérieur ayant une température différente. »

détaille-t-il. Il rappelle ainsi les avantages des pompes à chaleur réversibles, des puits canadiens ou autres solutions collectives de gestion du froid.

« Il n'est pas nécessaire d'attendre d'hypothétiques innovations de rupture pour enclencher l'adaptation du patrimoine, nous savons le faire dès maintenant. » note Franck Lirzin.

LA GESTION DU RISQUE À LA SUITE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN



Deux immeubles de la rue de Bourgogne à Orléans en situation de péril.

© CEREMA NORMANDIE-CENTRE

Le Cerema est intervenu à Orléans (Loiret) à la suite d'un phénomène de mouvement de terrain impactant deux immeubles d'habitation, dans une rue située en cœur de ville. La présence de cavités souterraines naturelles ou issues de l'activité humaine est une réalité sur l'ensemble le territoire Orléanais.

L'amorce d'un processus de ruine des bâtiments était avérée.

En tant qu'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO), les équipes du Cerema avaient pour mission la définition des mesures de prévention à mettre en œuvre en urgence. En effet, il fallait gérer le risque de suraccident. Une campagne de reconnaissance géotechnique a été exécutée permettant de caractériser la nature du sous-sol. Ces éléments ont ainsi nourri le dossier de demande d'arrêt de catastrophe naturelle.

→ **Technicité élevée**

Le Cerema a suivi et inspecté, en priorité, les opérations de tamponnage des conduites de réseaux enterrées (eau, gaz, électricité). Puis afin de mesurer les déplacements en temps réel, le matériel de monitoring sur les façades des bâti-

ments et sur la voirie a été installé. Pour identifier les anomalies proches de la surface, 33 profils de géoradar ont ainsi été effectués. À la suite de ces inspections, il a été décidé de combler en urgence 20 m³ de vides. « L'exécution de la campagne de reconnaissance géotechnique relève d'une technicité élevée, cette dernière étant réalisée en milieu périlleux. Sa conception doit être réalisée de manière à limiter l'impact des investigations sur la stabilité résiduelle des immeubles en cours de ruine. » explique les experts du Cerema.

La méthodologie employée par le Cerema a abouti à mettre en place un programme d'actions. 15 essais de pénétration dynamique pour mesurer la résistance du sol et huit sondages différents pour apprécier la nature du sol chacun à 20 m de profondeur ainsi que la mesure des niveaux de nappe phréatique par trois piézomètres, ont été mis en place. Une caméra a filmé les vides découverts lors des sondages et ainsi permis de topographier les lieux. Et enfin des mesures de vibrations ont permis d'apprécier l'impact des investigations sur les bâtiments.

→ **Solutions de prévention**

L'ensemble de ces mesures aide à observer que 20 % des hauteurs de sondages et essais ont traversé des zones d'anomalies. Même si les mouvements des bâtiments ne sont toujours pas définitivement stabilisés avec des déplacements résiduels de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm/j. Les solutions de prévention déployées sur ce site sont bénéfiques pour réduire la vulnérabilité des personnes et des biens soumis aux risques d'effondrement du sol. Le Cerema était déjà intervenu à Orléans entre 2019 et 2021, réalisant 2 kilomètres de sondages de reconnaissance de vides. Le centre de recherche avait aussi participé au traitement d'un mouvement de terrain à proximité de la voie SNCF les Aubrais-Orléans. Sur les problématiques de mouvements de terrain, le Cerema élabore des cartes informatives des sous-sol concernés, des diagnostics par rapport à la stabilité de carrières souterraines, des télémessures in situ, des calculs de fondations et traitement des vides. Il propose aussi solutions techniques (parades actives et passives) et réalise le suivi de travaux. ■

La CNETP regroupe **8 800 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues auprès de **284 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en œuvre du régime de chômage intempéries 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 Intempéries 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

ÉVÉNEMENTS

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

• 27, 28 ET 29 SEPTEMBRE

Congrès de la FNCCR

Lieu : Rennes (Couvent des Jacobins)
<https://fnccr-rennes.groupcorner.com/fr>

• 6 OCTOBRE

Steel in 2022, les rencontres de l'acier

Lieu : Paris
<https://www.construiracier.fr>

• 22 ET 23 NOVEMBRE

5^e édition du colloque Build & Connect

Lieu : Strasbourg (Palais de la Musique et des Congrès)
<https://www.buildandconnect.eu/fr/colloque-2022-2206>

FORMATIONS

• 6 ET 7 OCTOBRE

Transport urbain par câble : pertinence, faisabilité, contraintes et mise en œuvre

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

• 20 OCTOBRE

Solutions bas carbone pour une éco-construction

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

• 17 ET 18 NOVEMBRE

Recyclage des enrobés, enrobés tièdes et chimie verte

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

• 5 ET 6 DÉCEMBRE

Chantiers furtifs ! Comment améliorer l'acceptabilité des chantiers et projets interurbains

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

NOMINATIONS

LES CANALISATEURS

Pierre Rampa a été nommé à la présidence des Canaliseurs en remplacement d'Alain Grizaud, président depuis 2012.

SIGNIFY FRANCE

Isabelle Trobollé devient présidente de l'entreprise spécialisée dans l'éclairage, Signify France. Elle succède à Jean-Luc Lavenir en fonction depuis 2017.

UNION ROUTIÈRE DE FRANCE

Le Conseil d'administration de l'Union routière de France a élu à la présidence de l'association Thierry Archambault. Préalablement cette fonction était

occupée par Jean Mesqui, aujourd'hui nommé président d'honneur.

CCCA-BTP

Christophe Possémé, a été élu président du Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics (CCCA-BTP). Son prédécesseur, Éric Routier présidait l'association depuis 2019.

SYNDICAT DES ÉNERGIES RENEUVELABLES

Jules Nyssen succède à Jean-Louis Bal à la présidence du Syndicat des énergies renouvelables. Il prendra ses fonctions le 24 octobre 2022.

FREYSSINET

L'INNOVATION POUR RAISON D'ÊTRE

Chez Freyssinet, le développement est permanent puisque le constructeur intervient tant dans les métiers de la réparation / restauration ou du maintien d'ouvrages ou de structures en service que dans ceux de la construction neuve, avec des compétences allant des haubans à la précontrainte en passant par les équipements d'ouvrage et les méthodes de construction de ponts. Certains développements viennent d'être mis au point ou sont sur le point d'être expérimentés sur chantier. Ivica Zivanovic, directeur technique adjoint de Freyssinet fait le point sur ces innovations qui contribuent à optimiser les qualités techniques, économiques ou environnementales des ouvrages sur lesquels elles sont mises en œuvre.

Entretien avec Ivica Zivanovic, directeur technique adjoint de Freyssinet. PROPOS RECUEILLIS PAR

MARC MONTAGNON



1- Ivica Zivanovic, directeur technique adjoint de Freyssinet.

Quelle est l'innovation la plus récente, peut-être encore un peu méconnue, en matière de renforcement des structures ?

Comme vous le savez, Freyssinet a introduit en 1995 la technique des Tissus en Fibres de Carbone (TFC), qui est une innovation majeure dans le domaine de la restauration et de la réparation de structures et a apporté des avantages significatifs par rapport à la technique des plats métalliques collés.

En 2019-2020, nous avons introduit sur le marché un procédé avec un tissu en fibres de carbone à fort grammage (1100 g/m²). Le fort grammage évite l'application de plusieurs couches du

tissu de base et permet d'obtenir l'épaisseur nécessaire en une seule opération. De plus, le tissu de fibres de carbone à fort grammage a nécessité une évolution importante avec la mise au point d'une résine d'application adaptée et dont le temps de durcissement a été diminué. Objectif : faciliter l'installation de la solution en combinant à la fois une optimisation du temps de mise en œuvre du procédé (comparée à la technique traditionnelle) et par ailleurs pour des interventions de nuit ou par temps froid, en limitant les durées d'interruption d'exploitation d'un ouvrage.

Cette performance a été obtenue grâce à une nouvelle formulation de la résine

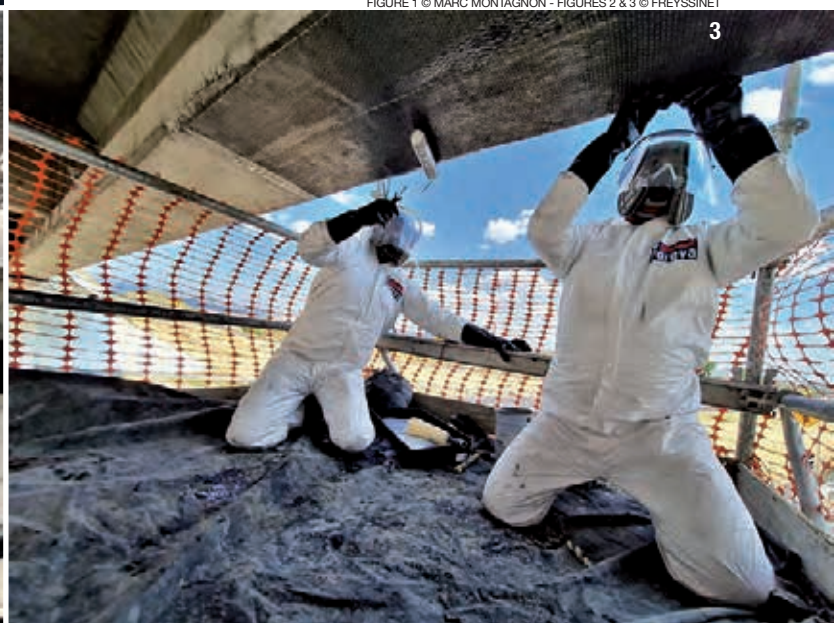


FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © FREYSSINET

d'application. Cette formulation assure une diffusion au travers du tissu à fort grammage et une prise plus rapide grâce également à un nouveau système de chauffage assurant la polymérisation accélérée de la résine sur la paroi.

En effet, dans le domaine des composites, il est classique de pré-imprégner le tissu avant sa pose afin d'être sûr de la migration de la résine au travers du tissu appliqué sur le parement en béton. Avec les développements que nous venons de réaliser, il n'est plus nécessaire de réaliser cette pré-imprégnation, ce qui facilite l'application du tissu. La résine est mise en place directement sur le support béton puis le tissu en fibre de carbone sec, lequel présente, de plus, l'avantage d'être monocouche. Le tissu est appliqué sur la couche de résine fraîche déposée sur le support puis marouflé afin de faire migrer la résine à travers les fibres.

2- En 2019-2020, Freyssinet a introduit le procédé de tissu en fibres de carbone à fort grammage (1 100 g/m²).

3- L'application de Foreva TFC1100 à fort grammage pour le renforcement de structures par tissus de carbone collé.

4- Essai en laboratoire du système dit "Actif" de dégivrage des gaines de hauban.

5- Essai en laboratoire de gaines de haubans intégrant des faisceaux de "LED".

IVICA ZIVANOVIC : PARCOURS

Ivica Zivanovic est ingénieur de l'Institut Polytechnique des Sciences Avancées (IPSA 1987).

Il commence sa carrière en 1989 chez Freyssinet comme ingénieur recherche et développement.

Il s'implique donc très rapidement dans la technique, qui le passionne depuis toujours, tout en réalisant une combinaison qu'il considère comme gagnante alliant recherche puis études et chantier, depuis la conception sur l'ensemble des métiers de Freyssinet jusqu'aux techniques de chantier : méthodes de construction et calculs de structure, assistance chantier et suivi de production.

Il assure par ailleurs des missions de suivi de fabrication pour des projets dédiés dans l'usine Freyssinet Products Company (FPC) située maintenant à Saint-Eusèbe en Saône-et-Loire.

Il s'oriente ensuite vers le management des équipes techniques et est amené peu à peu à coordonner l'ensemble de l'action R&D de Freyssinet.

La combinaison de ces compétences lui permet de suivre de nombreux chantiers importants en France et dans le monde : "West Kowloon" à Hong Kong (1994), ouvrage à voussoirs préfabriqués avec pose en encorbellement, "Barelang" en Indonésie (1997), pont en arc avec tablier préfabriqué mis en place par poussage et haubanage provisoire des voussoirs centraux de l'arc, et plus récemment la précontrainte sur la centrale nucléaire EPR de Flamanville (2014-2015), dans la Manche.

Il assure également des missions techniques, au début des années 90, pour les chantiers du viaduc de l'Elorn ou le pont de l'Iroise (1991/1994) en Bretagne, et le pont de Normandie (1991/1995), près du Havre.

Ivica Zivanovic est directeur technique adjoint de Freyssinet International depuis 2007.

La résine a été tout particulièrement formulée afin de maintenir en place le poids du tissu avant durcissement tout en garantissant une imprégnation optimale des fibres. De ce fait, les travaux de nuit dans un tunnel ferroviaire ou de métro, par exemple, ou à la sous-face d'un viaduc sous circulation routière peuvent être réalisés dans des délais sensiblement réduits.

Un premier chantier mettant en œuvre ces développements sera réalisé pro-

chainement, les essais et maquette échelle 1 en présence du client ayant été effectués avec succès fin 2021. Dans les métiers de la réparation, l'innovation majeure est également le développement d'une solution de béton projeté ultra haute performance (BFUHP-S). Les premiers chantiers réalisés à partir de 2019 visent à renforcer structurellement les buses métalliques, très présentes sur les réseaux routiers et autoroutiers en Europe.

Des recherches sont-elles menées dans le domaine des haubans ?

Nous travaillons actuellement sur le dégivrage des gaines de haubans pour les pays ou les zones géographiques où les fortes chutes de neige ou de pluies verglaçantes associées à des températures basses peuvent amener la glace à s'accumuler sur les gaines des haubans. Les phases de dégel brutal constituent alors un risque pour les usagers du pont, en raison de la taille des blocs de glace pouvant chuter sur les véhicules ou usagers des voies de circulation.

Le phénomène s'est produit sur le pont de Port Mann au Canada en 2020. Après une accumulation importante de neige sur l'ouvrage, des blocs de glace de taille importante se sont détachés des haubans lors du dégel et sont tombés sur la chaussée en circulation.

Ou encore récemment (fin 2020) sur le pont de l'île Rousski à Vladivostok (Russie) où, à la suite de pluies verglaçantes, une accumulation de glace s'est créée sur les haubans.

Le détroit est soumis à des conditions météorologiques extrêmes, avec des tempêtes, des trombes d'eau et des changements rapides de temps, sur des plages de température sur l'année pouvant varier de -50°C à +40°C.

Afin de remédier à ces problématiques, Freyssinet a développé un système de dégivrage dit "actif" visant à provoquer au moment opportun (ou voulu), par exemple lors d'une interruption volontaire de la circulation, la chute de la glace par excitation ou mise en vibration des gaines de haubans, tout en réduisant la taille des éléments qui pourraient chuter. ▶

© FREYSSINET



© FREYSSINET



6 & 7- Le pont de Cocody sera l'un des premiers à être équipés de haubans intégrant des faisceaux de LED.

8- Appui en élastomère fretté à cœur de plomb mis en œuvre dans le cadre du projet de Métro de Jakarta.

9- L'architecture en zone urbaine du viaduc de la Ligne 18.

10 & 11- Pour le pont de Çannakale, Freyssinet a réalisé la conception (piles et tabliers) et la construction des viaducs V1 et V6 en intégrant des dispositions telles que des piles à quatre colonnes surmontées d'un chevêtre assurant une souplesse relative.



6

© AFP NEWS

LE PONT DE COCODY

La construction du pont Cocody-Plateau, en Côte d'Ivoire, s'inscrit dans le cadre du projet de sauvegarde et de valorisation de la Baie de Cocody, qui s'étend du bassin du Gourou jusqu'à l'embouchure de la Comoé à Grand Bassam. L'ouvrage principal haubané qui enjambe la baie lagunaire a une longueur de 630 m sur 25,7 m de large.

Un viaduc d'accès est situé côté Est de la Baie (Cocody). Long de 258 m et composé de 2x2 voies de circulation et de deux passages de 1,50 m chacun pour les cycles et les piétons, il permet un raccordement direct au boulevard de France. Un autre viaduc d'accès côté Ouest de la Baie (Plateau), long de 147 m, est composé d'une voie de circulation et d'un passage de 1,50 m pour les cycles et les piétons, permettant un accès direct à l'ouvrage principal depuis la partie Sud du boulevard de Gaulle.

L'ensemble avec les deux échangeurs, leurs bretelles de liaison, les voies d'accès et l'adaptation des voies existantes représente un ouvrage de 1,5 km.

cet ouvrage vont intégrer des faisceaux de "LED" permettant d'obtenir des haubans lumineux.

Abidjan sera dotée d'un pont à haubans de toute dernière génération, qui reliera les deux communes du Plateau et de Cocody. L'ouvrage d'une longueur de 1,5 km avec un pont haubané de 634 m, doit permettre d'améliorer la fluidité du trafic entre les deux communes abidjanaises.

Au niveau des équipements d'ouvrage, quelles innovations pouvez-vous évoquer, en cours de développement ou déjà effectives ?

Les équipements d'ouvrage font l'objet, chez Freyssinet, d'une action régulière de développement depuis plusieurs années.

En particulier, nous avons beaucoup travaillé sur les dispositifs d'isolation des ouvrages par rapport à leurs fondations en regard, en particulier, des sollicitations sismiques dont elles pourraient être l'objet.

Ce système, dit "actif", a été développé en partenariat, en laboratoire dans un premier temps, puis à partir d'une maquette de démonstration à l'échelle 1 sur un hauban de 50 m de longueur sur un des sites de Freyssinet à Saint-Eusèbe en Saône-et-Loire. À noter que le système "passif", con-

sistant à rendre les gaines de hauban suffisamment lisses pour éviter l'adhérence de la neige n'a pas donné de résultats jugés suffisamment convaincants et pérennes.

Les haubans Freyssinet sont constitués, rappelons-le, de torons individuellement protégés contenus dans une gaine

générale en polyéthylène haute densité. Le système est logé directement dans le faisceau de torons au sein de la gaine générale.

Une autre innovation est en cours de mise en œuvre, quant à elle, sur le chantier du pont de Cocody en Côte d'Ivoire : les gaines des haubans de



© FREYSSINET

7



© FREYSSINET

8



9

Ceci s'est traduit par le développement d'appuis à cœur de plomb et d'appuis pendulaires susceptibles de dissiper l'énergie par distorsion de l'élastomère et déformation du cœur de plomb pour les premiers ou par frottement pour les seconds.

Comme la précontrainte, les appuis permettent d'optimiser le dimensionnement des ouvrages au niveau des armatures et des quantités de béton. Dans les constructions en zones sismiques, la demande est forte pour conférer à la structure des systèmes d'appui et d'isolation efficaces.

Les appuis pendulaires avec un coefficient de frottement maîtrisé permettent de dissiper une énergie importante et d'éviter des sollicitations sévères aux culées, piles et fondations. Cela peut être obtenu par des schémas statiques ou par disposition d'appuis (de différents types si nécessaire) choisis lors de la conception des ouvrages et complétés par des dispositifs amortisseurs selon les sollicitations dynamiques à reprendre.

LIGNE 18 DU GRAND PARIS EXPRESS : UN VIADUC DE 14 km

Fin mars 2022, le premier lanceur qui sert à réaliser le tablier du viaduc de 14 km de longueur sur la Ligne 18 a été installé sur les piles de départ, sur le site de la future gare d'Orsay-Gif.

Cette poutre de lancement d'une centaine de mètres de long et de près de 500 t a été hissée grâce à deux grues mobiles, de 750 t chacune. Elle a entamé sa course courant avril 2022, pour s'élancer en direction du poste électrique de Saint-Aubin, vers Saclay. Une mission qui devrait prendre un an et demi et permettra de poser 3,5 km de tablier, soit environ 900 voussoirs. Un deuxième lanceur a été monté et positionné dans les toutes dernières semaines, depuis la ZAC de Corbeville. À son programme : la réalisation de quelques 3 km de tablier, entre Orsay et Palaiseau.

Freyssinet dispose d'une offre complète dans ce domaine autour notamment des appuis à cœur de plomb, des appuis pendulaires et des dispositifs amortisseurs.

Il existe plusieurs manières de dissiper l'énergie. Dans un amortisseur à fluide visqueux, on vient laminer de l'huile entre deux chambres. Dans un appui pendulaire, l'énergie est dissipée par

frottement à partir de surfaces sphériques en contact et à l'interface desquelles est interposé un matériau de glissement. Ces appuis peuvent être utilisés tant pour les structures légères que pour les plus massives. Ce type d'appui cumule ainsi deux fonctions : le support de l'ouvrage et la dissipation d'énergie par frottement en cas de séisme.

Quant à l'appui à cœur de plomb, il constitue un ensemble composite formé d'un sandwich néoprène/métal et d'un cylindre en plomb au centre, en général. Il confère un amortissement plus élevé, jusqu'à 30%, en cas de sollicitation dynamique. Il constitue une façon optimale d'isoler sismiquement une structure. Des appuis de ce type ont été installés sur la ligne des viaducs du métro de Jakarta en Indonésie. Ils permettent d'assurer deux fonctions (outre celle de supporter la structure), l'une étant de limiter les déplacements du tablier en service et l'autre étant de dissiper l'énergie en cas de séisme ; ils réduisent significativement les dimensions des piles et des pieux.

L'installation d'appuis de ce type sur un ouvrage peut permettre d'économiser de façon significative les quantités d'acier et de béton. Typiquement, dans le cas de l'ouvrage à Jakarta, les efforts induits sous séisme ont été réduits de 70% alors que les déplacements ont été augmentés de l'ordre de 37%. Avec les appuis à cœur de plomb, le coût total du projet a été réduit de l'ordre de 20% grâce au système d'isolation. D'importantes économies de matériaux ont également été réalisées sur le chantier de Çanakkale en Turquie, grâce aux méthodes constructives de Freyssinet.

"Çanakkale 1915" ou "Pont 1915" est un ouvrage suspendu au-dessus du détroit des Dardanelles, qui relie la mer Egée à la mer de Marmara, dans le nord-ouest du pays. C'est le plus long pont suspendu au monde : sa travée centrale mesure 2023 mètres. Dans la continuité du pont 1915, une nouvelle autoroute de 88 km relie désormais la ville de Malkara, dans la province turque de Tekirdag, à Çanakkale, au bord du détroit des Dardanelles. ▶

10



11



21

Le pont compte six voies de circulation et a été inauguré en mars 2022. Pour cet ouvrage, Freyssinet a réalisé les méthodes de construction et la construction des deux viaducs d'approche du pont suspendu, composé de deux tabliers chacun ainsi que la précontrainte des piles et des massifs d'ancrage des câbles de suspension de l'ouvrage.

Freyssinet a réalisé la conception (piles et tabliers) et la construction des viaducs V1 et V6 en intégrant des dispositions constructives telles que des piles à quatre colonnes surmontées d'un chevêtre assurant une souplesse relative. Des adaptations ont également été faites au niveau des culées équipées d'amortisseurs à fluide visqueux afin de limiter les déplacements.

Les solutions techniques innovantes portées par Freyssinet ont permis de réduire significativement les quantités de béton et d'armatures utilisées pour la construction des deux viaducs, de l'ordre de 35%.

D'autres innovations sont-elles déjà opérationnelles dans le domaine des ponts ?

Une autre innovation a été développée il y a quelques années pour les selles de déviation en BFUHP en tête des pylônes de ponts à haubans.

Classiquement, sur un pont à haubans, un ancrage est présent à chaque extrémité du hauban au niveau du tablier ainsi qu'en tête de pylône. Une autre configuration est celle des ancrages uniquement sur le tablier ; dans ce cas, le hauban doit passer dans une selle de déviation noyée dans le pylône.

Cette pièce noyée dans le pylône est particulière du fait que le hauban moderne développé par Freyssinet est constitué de torons individuellement



12

© CISION PR NEWSVIRE

LE PONT "ÇANAKKALE 1915"

La Turquie a inauguré en mars 2022 le plus long pont suspendu au monde au-dessus du détroit des Dardanelles. Le pont de "Çanakkale 1915" est long de 4608 m et a une portée entre les deux piles de 2023 m.

Ce pont est le premier à enjambrer ce bras de mer d'une soixantaine de kilomètres qui relie la mer Egée à la mer de Marmara, frontière naturelle entre l'Europe et l'Asie. L'ouvrage, d'un coût total de 2,5 milliards d'euros, vient s'ajouter aux trois autres ponts d'Istanbul faisant le trait d'union entre les deux continents et permet de relier la Thrace orientale à l'Anatolie en contournant Istanbul. Son inauguration est intervenue le jour anniversaire de la victoire navale des forces ottomanes le 18 mars 1915 face aux alliés dans la bataille des Dardanelles. Les combats, qui durèrent jusqu'en janvier 1916, débouchèrent sur la victoire des Ottomans face aux troupes britanniques et françaises.

protégés. La selle comporte donc des trous individuels permettant le passage de chacun des torons, afin de pouvoir les remplacer individuellement.

À l'inverse de ce qui se passe lorsque les torons sont fixés par deux ancrages aux extrémités, où il n'y a pas de sollicitation en partie courante du hauban, avec une selle de déviation au niveau du pylône, une sollicitation supplémen-

taire se situe sur chaque toron constitutif du hauban en partie courante pour reprendre les efforts dissymétriques engendrés sur la travée de l'ouvrage en fonction des charges d'exploitation. Ceci impose d'avoir des torons individuellement protégés - armature à 7 fils, en acier galvanisé - revêtus d'un produit de protection (au lieu de la cire pétrolière pour un hauban sans selle)

à l'interface fils en acier et la gaine individuelle en polyéthylène haute densité. Autrement il n'est pas possible d'exercer un effort important en partie courante sans risque de provoquer une déchirure de la gaine de protection.

Freyssinet a donc développé le toron dit "Cohestrand®" dans lequel la cire pétrolière est remplacée par une résine créant l'adhésion entre la gaine individuelle en polyéthylène haute densité et le toron 7 fils en acier galvanisé.

Dans le cas particulier des haubans avec selle de déviation, la partie "toron Cohestrand®" n'est nécessaire qu'au droit de la selle de déviation mais pas en partie courante de part et d'autre de la selle. Ainsi, pour optimiser à la fois le prix de revient et la fonction, Freyssinet a développé un équipement permettant de fabriquer un toron avec de la cire ou de la résine de manière alternée sur la longueur, et la gaine polyéthylène haute densité.

Ce dispositif, alternant toron "classique" et toron "Cohestrand®" est fabriqué industriellement, en continu,



© FREYSSINET

13



© FREYSSINET

14



© SETEC
15

dans l'usine de Freyssinet en Thaïlande. Cette technique "Cohestrand®" a été développée à l'origine pour les câbles porteurs de ponts suspendus où, à l'inverse des ponts à haubans, les câbles sont sollicités en partie courante par les suspentes et les colliers de suspentes qui portent le tablier du pont. Dans cette configuration, la fonction "Cohestrand®" est nécessaire sur toute la longueur des câbles, ce qui n'est pas le cas pour les ouvrages haubanés dont les pylônes sont équipés de selles de déviation.

En matière de digitalisation, quelle est la démarche de Freyssinet ?

Dans un contexte de renforcement de la réglementation, Freyssinet a plus que jamais cette approche créative et cette capacité à innover et à anticiper tant dans le domaine de la construction que dans ceux de la réparation, du renforcement et de la maintenance des structures.

Par exemple, les équipes de Sixense, société sœur de Freyssinet, ont réalisé

UN EXEMPLE DE RESTAURATION : LE VIADUC DE SAHASINAKA

Freyssinet, en coentreprise avec Sogea-Satom, filiale du groupe Vinci, a finalisé en 2020 les travaux de confortement du viaduc de Sahasinaka à Madagascar. Les travaux ont consisté à renforcer les deux voûtes centrales, à reprendre des fissures sur les piles, à réaliser une dalle en béton sur le tablier existant, à renforcer l'étanchéité de l'ouvrage et à renouveler la voie ferrée sur 350 m de longueur. Ce projet majeur pour l'île permet de sécuriser et de pérenniser la circulation ferroviaire de marchandises et de voyageurs sur cet axe très emprunté.

la conception, la fabrication et l'installation du système de surveillance structurelle (SHMS) du pont haubané de Komárom, reliant la Hongrie et la Slovaquie. Opérationnel dès la construction du pont, le système Eversense® permet de suivre le comportement de la structure, d'alerter en cas d'activités anormales et d'assurer la sécurité des utilisateurs. L'opérateur du pont peut également utiliser les données générées pour en planifier la maintenance. Aujourd'hui, innovation rime avec digitalisation.

En appui de nos efforts de diversification, une plateforme digitale collaborative a été développée afin de capitaliser sur nos savoir-faire dans le domaine de la réparation. Elle a été déployée dans 30 pays depuis 2019 et s'est imposée rapidement comme une ressource clef pour nos équipes.

Freyssinet s'est également investi dans la digitalisation de son métier historique, la précontrainte.

Concrètement, le premier chantier de grande ampleur dans lequel les opérations de précontrainte, notam-

12- Le pont de "Çanakkale 1915" est long de 4608 m et a une portée entre les deux piles de 2023 m.

13 & 14- Les ouvrages de Cua Dai et de Song Hieu, au Vietnam, comportent des selles de déviation dans les pylônes.

15- Freyssinet, en coentreprise avec Sogea-Satom, filiale du groupe Vinci, a finalisé en 2020 les travaux de confortement du viaduc de Sahasinaka à Madagascar.

16- Extrémité d'une selle de déviation avec des torons Cohestrand®.

17- Le viaduc de Thu Thiêm 2 au Vietnam dont le pylône incurvé de 113 m de haut est devenu le nouveau symbole de la ville d'Hô Chi Minh.

ment de mise en tension des câbles, seront numérisées se déroulera sur la Ligne 18 du Grand Paris Express.

Ce chantier est celui de la construction d'un viaduc de 6 km de longueur pour une nouvelle ligne de métro entre l'aéroport d'Orly et Versailles-Chantiers. Il s'agit d'un ouvrage en voussoirs préfabriqués - de l'ordre de 5000 unités - qui seront mis en place à l'aide de plusieurs poutres de lancement.

Ce viaduc traversera d'est en ouest le plateau de Saclay. ▶

© FREYSSINET



16

© FREYSSINET



17

L'agence Explorations Architecture en assure la maîtrise d'œuvre architecturale en collaboration avec Artelia et Ingérop au niveau de l'ingénierie. Ce viaduc constituera la partie visible la plus importante du projet Grand Paris Express. Il inclura trois gares aériennes qui desserviront les nouveaux quartiers du plateau de Saclay.

Il est assez rare en Europe, et a fortiori en France, de réaliser des lignes aériennes d'une telle ampleur. Le projet implique une très grande exigence tant technique qu'architecturale d'autant qu'il sera construit dans une zone agricole et forestière extrêmement sensible sur le plan de la protection environnementale.

Quelle conclusion ?

Si, aujourd'hui, Freyssinet fait partie des leaders mondiaux dans ses métiers et ses spécialités, c'est parce que nous avons à cœur d'insuffler l'excellence dans notre ingénierie et nos prestations. Cela fait partie de l'ADN de l'entreprise, au même titre que notre esprit d'entrepreneur ; refuser le statu quo, optimiser, inventer de nouvelles techniques et les mettre en œuvre.

Quelques derniers exemples : les équipes Freyssinet viennent d'achever la construction du pont à haubans Thu Thiem 2, dont le pylône incurvé de 113 m de haut est devenu le nouveau symbole de la ville d'Hô Chi Minh au Vietnam. L'ouvrage, d'une longueur totale de 1 465 m, relie la nouvelle zone urbaine de Thu Thiem au centre-ville et fluidifie le trafic dans l'est de la métropole.

Un autre exemple récent de la recherche permanente d'innovation de Freyssinet est celui de l'installation des haubans ultra-haute performance avec des torons en acier de nuance 2160 MPa

FREYSSINET : DATES ET TECHNIQUES-CLÉS EN BREF

1928 : LA PRÉCONTRAINTE

Travaillant sur les plans de la halle Freyssinet, gare de fret aujourd'hui réhabilitée, Eugène Freyssinet dépose le brevet intitulé "Procédé de fabrication de pièces en béton". Il créera le mot "précontrainte" en 1932.

1938 : LE VÉRIN PLAT

Conçu par Eugène Freyssinet lors de la construction du barrage de Beni Bahdel en Algérie.

1938 : L'ANCRAGE PAR CÔNE

1957 : LES APPUIS EN NÉOPRÈNE

1967 : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE MISE EN TENSION D'ANCRAGE D'ARMATURES

1974 : SYSTÈME DE HAUBANS

1989 : PRINCIPE DE L'ISOTENSION®

Système breveté de mise en tension de haubans permettant d'assurer une force égale entre les torons individuellement protégés constitutifs de chaque hauban.

1991 : DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE C POUR LES APPLICATIONS DE GÉNIE CIVIL

1995 : LE TISSU DE FIBRES DE CARBONE (TFC)

Pour le renforcement des structures, il remplace la technique des plats métalliques collés.

2005 : COLLIER DE SUSPENSION AVEC COHESTRAND®

Le câble constitué de torons Cohestrand® protège efficacement l'acier contre la corrosion.

2015 : EOLIFT®

Le procédé Eolift® est utilisé pour ériger des tours éoliennes en béton de grande hauteur. Il permet de s'affranchir des contraintes de dimensionnement et de l'utilisation de grues de forte capacité.

2020 : PAROI MOULÉE EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Les technologies et les méthodes de construction originales de Freyssinet - comme la précontrainte - sont par nature économes en matériaux. Après une phase de validation sur le chantier du Grand Paris Express, Freyssinet a mis sur le marché en 2020, en étroite collaboration avec Soletanche Bachy, une technologie de parois moulées en béton précontraint. Cette innovation permet de réduire l'épaisseur de 20% par rapport aux parois moulées classiques en béton armé, et donc les quantités de béton et de ferrailage. Elle contribue ainsi à la préservation des ressources de la planète et à la lutte contre le réchauffement climatique.

sur le pont Saemangeum en Corée du Sud, après qualification du système de haubans selon les recommandations de la fib (Fédération Internationale du Béton) en novembre 2020. Des tests sont également en cours pour des câbles de nuance 2400 MPa pour la précontrainte des ponts.

Enfin, pour conclure sur une note liée aux enjeux importants de l'économie circulaire et du climat, un nouvel équipement a été développé pour Freyssinet France en collaboration avec les équipes Technique et Matériel, dans le cadre de nos efforts pour mieux collecter et recycler les déchets de chantier. Cet équipement permet de séparer de façon industrielle la gaine en polyéthylène haute densité et l'acier des torons constitutifs des câbles de haubans démontés, afin de pouvoir recycler et valoriser chacun de ces matériaux. L'équipement a été testé et mis en œuvre en 2021 suite au remplacement de trois haubans du pont de Normandie en France. □

18- Le pont de Saemangeum en Corée du Sud est équipé de haubans ultra-haute performance avec des torons en acier de nuance 2160 MPa.

19- La poutre de lancement du viaduc de la Ligne 18 du Grand Paris Express sur le chantier duquel les opérations de précontrainte, notamment de mise en tension des câbles, seront numérisées.



© FREYSSINET

18



© FREYSSINET

19

NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques.
Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas de besoin.
Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP,
nous ferons toujours route commune.



PRO BTP
GROUPE

www.probtp.com





© CMBC
1

CMBC SAVOIR-FAIRE ET HAUTE TECHNICITÉ EN CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

CONSTRUCTION MÉTALLIQUE HENRI BOUISSE ET COMPAGNIE A ÉTÉ FONDÉE EN 1958. DEVENUE CMBC DEPUIS SON RACHAT EN 2015 PAR JÉRÔME SCOFFONI, ELLE EST DÉSORMAIS UNE ENTREPRISE MODERNE DOTÉE D'UN BUREAU D'ÉTUDES INNOVANT ET D'UN ATELIER SOPHISTIQUE, IMPLANTÉS EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR. ELLE DISPOSE DE LA PREMIÈRE USINE DE FABRICATION DE CHARPENTE MÉTALLIQUE CERTIFIÉE CE EXC4 DANS LE SUD DE LA FRANCE. AUJOURD'HUI CMBC FAIT PARTIE DES PME INDÉPENDANTES QUI FONT RÉFÉRENCE DANS LE MILIEU DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE (CHARPENTE, COUVERTURE, BARDAGE, MÉTALLERIE ET SERRURERIE), MISANT SUR DES PROJETS COMPLEXES À TECHNICITÉ ÉLEVÉE. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE ET DE SA PHILOSOPHIE AVEC JÉRÔME SCOFFONI, SON NOUVEAU PATRON.

Tout a commencé au début des années 30 avec Henri Bouisse, artisan spécialisé en construction métallique qui exerçait son métier dans la région de Cavaillon, dans le Vaucluse. L'activité se développant régulièrement, il crée une entreprise artisanale qu'il

enregistre au registre du commerce en 1958 sous le nom de Construction Métallique H. Bouisse et Compagnie (CMBC). Son fils puis son petit-fils prennent la suite et poursuivent le développement de l'entreprise qui emploie jusqu'à

**1 - Chantier
de l'usine Sanofi
de Sisteron.**

120 personnes et exécute de nombreux travaux pour la SNCF avec la technique la plus couramment utilisée à l'époque, celle de l'acier riveté à chaud. La crise de l'année 2008 met toutefois à mal son développement et ce n'est qu'à partir de 2012 que CMBC réussit

le redressement qui lui permet de poursuivre son activité de façon satisfaisante.

Alors qu'elle se trouve encore au creux de la vague et que Jean-Paul Bouisse souhaite passer le relais, intervient sa reprise en 2015 par Jérôme Scoffoni, un jeune cadre dirigeant de 37 ans, ingénieur X-Ponts, alors directeur d'Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux. Souhaitant reprendre à titre personnel une PME dans le secteur de la construction, il rencontre Jean-Paul Bouisse et s'associe pour cette reprise avec Christian Sauvadon, directeur administratif et financier de CMBC depuis plus de 20 ans, gage de stabilité et de continuité dans la reprise.

Il faut dire que l'entreprise CMBC, forte de ses références, est séduisante tant par l'expérience de ses équipes que par son outil industriel, notamment un atelier de 7 000 m² construit en 2009 et équipé d'une chaîne de fabrication automatique.

L'objectif de Jérôme Scoffoni est clair : il veut repositionner CMBC sur le créneau de la technicité et de la complexité. Une stratégie illustrée peu de



2

JÉRÔME SCOFFONI : PARCOURS

Jérôme Scoffoni est ingénieur de l'École Polytechnique (X97) et de l'École des Ponts et Chaussées (2002) Il est titulaire d'un masters of science "Transportation engineering" de l'université de Berkeley en Californie (2003).

Il commence sa carrière en 2003 à la DDE des Hauts-de-Seine, au service des grands travaux en charge, notamment, du bouclage de l'A86 dans l'ouest parisien dans le cadre de la construction du Duplex A86, avec la création de l'échangeur complexe assurant son raccordement avec le tunnel autoroutier de 10 kilomètres reliant Rueil-Malmaison dans les Hauts-de-Seine à Vélizy-Villacoublay dans les Yvelines.

Entre 2006 et 2007, il rejoint la direction générale du Trésor au ministère des finances en tant qu'adjoint au chef du bureau "aide-projet".

En 2007, il intègre Eiffage Travaux Publics en tant que conducteur de travaux, fonction l'amenant à superviser plusieurs chantiers de génie civil dont celui de la centrale thermique de Bellefontaine en Martinique.

En 2011, il devient directeur d'Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux (ETMF) jusqu'à ce qu'il reprenne, en 2015, l'entreprise de construction métallique CMBC à Cavailon, dont il est président - directeur général.

temps après la reprise par le marché de 1,5 millions d'euros de la structure de l'extension du terminal passagers T2 de l'aéroport de Nice - Côte d'Azur (2016).

« Pour moi, la seule démarche pragmatique à entreprendre pour une PME telle que CMBC afin de contrecarrer la concurrence très vive que nous font les entreprises du Sud de l'Europe, était de nous positionner dans un secteur où seules des compétences techniques de haut niveau peuvent faire la différence. J'ai donc remotivé l'encadrement sur le suivi des affaires. Il faut être capable d'être fiable, de livrer les bâtiments en temps et en heure, avec de la qualité et une certification CE. »

Ce qu'entreprend Jérôme Scoffoni en renforçant le bureau d'études déjà existant mais aussi les équipes et les installations industrielles de Cavailon. Il recrute ainsi, à tous les niveaux d'activité de l'entreprise, des personnels plus qualifiés, tant dans les domaines du calcul et du dessin que de la soudure. Il leur adjoint aussi des ingénieurs d'affaires capables de négocier des marchés dans les secteurs très exigeants que sont ceux du nucléaire, du ferroviaire mais aussi des ouvrages d'art, dans la mesure des capacités industrielles de l'entreprise, sans négliger pour autant ce qui constitue le quotidien des entreprises de construction métallique : charpente, couverture, bardage, métallerie et serrurerie.

De ce fait, les activités de l'entreprise sont extrêmement diversifiées, de la construction la plus simple à la plus complexe : passerelle SNCF, aéroport, médiathèque, ateliers artisanaux, centre de valorisation de déchets, bureaux et entrepôts, grande surface commerciale, technicentre SNCF, atelier de maintenance du métro, salle de spectacle, gymnase, parkings, ouvrages en site nucléaire...

2- Jérôme Scoffoni, président - directeur général de CMBC.

3- Réunion d'ingénieurs du bureau de calculs.

4- Vue d'ensemble du bureau d'études de CMBC.

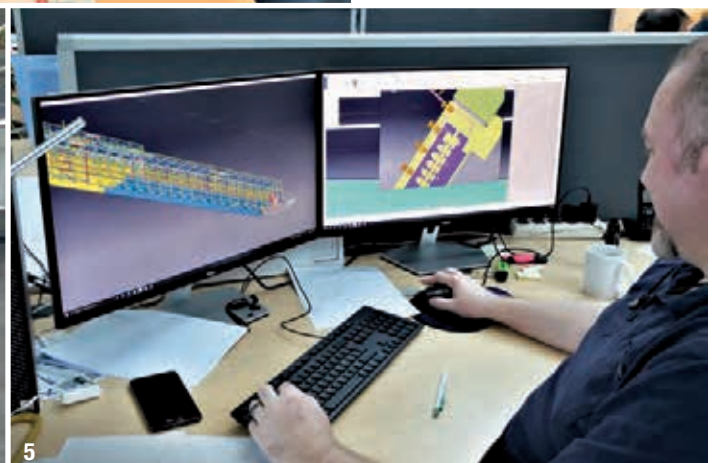
5- « Nos ingénieurs, dotés des logiciels de référence, peuvent appréhender les ouvrages les plus complexes ».



3



4



5



6

© MARC MONTAGNON



7

© MARC MONTAGNON



8

© MARC MONTAGNON

CERTIFICATION CE XC4 DEPUIS 2017

Il faut savoir que, depuis le 1^{er} juillet 2014, les entreprises de construction métallique doivent appliquer la norme NF EN 1090, qui induit le marquage CE, sur les structures en acier et en aluminium. Dans ce domaine, il existe quatre niveaux de certification : EXC1, EXC2, EXC3 et EXC4. CMBC est certifié CE EXC4 depuis 2017, après avoir entamé la démarche de certification en 2015.

« Nos ingénieurs, dotés des logiciels de référence, peuvent appréhender les ouvrages les plus complexes. Équipés d'un scanner 3D, nous sommes à même de faire des relevés d'ouvrages existants ou mitoyens pour garantir une intégration parfaite des projets. »

CMBC est surtout l'une des premières entreprises françaises équipée d'un système de soudage robotisé Beam-Master d'AGT Robotics. Débit, perçage et marquage étaient déjà entièrement automatisés. L'assemblage est désormais assisté par projection laser. L'ensemble de la production est

piloté numériquement pour connaître à chaque instant l'état d'avancement de la fabrication.

« La qualification CE EXC4 garantit une traçabilité totale des aciers que nous utilisons, poursuit Jérôme Scoffoni. Nous qualifions régulièrement nos employés pour qu'ils se consacrent aux tâches à forte valeur ajoutée. Nos contrôleurs COFREND 2 vérifient l'absence de défaut sur nos soudures sous la supervision d'un ingénieur soudeur

6- L'atelier de réception et de préparation des poutres.

7- Le système de soudage robotisé Beam-Master d'AGT Robotics.

8- Premiers essais du robot BeamMaster.

IWE et d'un surveillant IWS internes. Les revêtements anticorrosion sont appliqués par un peintre certifié ACQPA. Notre démarche d'amélioration continue vise le zéro défaut et le développement d'un environnement de travail de qualité pour notre équipe. »

En 2022, l'entreprise réalisera un chiffre d'affaires supérieur à 13 millions d'euros avec un effectif composé de 45 personnes : 15 collaborateurs au bureau d'études, 15 compagnons dans l'atelier, 5 ouvriers sur chantier, 5 chargés d'affaires et 5 collaborateurs pour les études de prix et l'administratif. Elle vient par ailleurs d'ouvrir une agence à Vincennes pour répondre avec plus de proximité aux demandes des chantiers d'Île-de-France, très nombreux avec la construction du Grand Paris Express, les extensions de lignes de métro et l'activité immobilière extrêmement soutenue (bureaux, immeubles d'habitations et locaux industriels) dans l'ensemble de la périphérie parisienne. Le chiffre d'affaires se répartit à 20% dans le nucléaire, 30% dans le ferroviaire, 30% dans les chantiers du Grand

QUATRE CERTIFICATIONS ESSENTIELLES

CMBC dispose de quatre certifications essentielles dans le secteur de la construction métallique :

- **CE : EN 1090 – EXC4.**
- **Qualibat 2413 (technicité supérieure " Construction et structures métalliques ", production annuelle supérieure à 2500 t).**
- **SNCF : qualification 02424 (travaux de régénération d'ouvrage d'art, entreprise pouvant fabriquer des passerelles piétons).**
- **CEFRI : travail en milieu ionisant, (certificat n°1144^F).**



9 © CMBC



10 © CMBC

Paris Express, 10% dans l'aéroportuaire et 10% dans les marchés publics.

NUCLÉAIRE : TRAVAUX DE MISE EN SÉCURITÉ

Dans le nucléaire, CMBC intervient pour les travaux d'entretien et de rénovation de la plupart des sites du Sud-Est : la centrale du Tricastin et le site d'Orano (ex-Areva), situés à Pierrelatte, le CEA de Cadarache et le réacteur Jules Horowitz en Provence - Alpes Côte d'Azur, voisin également du futur réacteur de fusion nucléaire ITER, actuellement dans la phase d'assemblage du Tokamak, et le site du CEA de Marcoule, dans le Gard.

« L'entreprise participe également au programme de construction des Diesel d'Ultime Secours (DUS), précise Jérôme

9- Passerelle SNCF à Cavaillon.

10- Chantier sur le site du CEA de Marcoule.

11- Chantier d'assemblage du Tokamak.

Scoffoni, à la suite de la catastrophe de Fukushima, pour parer au pire scénario catastrophe au sein d'un réacteur nucléaire. Les "Diesel d'Ultime Secours" (DUS) doivent alimenter en électricité les systèmes de refroidissement des centrales nucléaires en cas de panne généralisée. »

Pour ces DUS, CMBC a fabriqué les structures de protection anti-tornade

des DUS de la centrale de Cattenom, réalisées en classe d'exécution EXC3, à laquelle se sont ajoutées les redoutables exigences EDF en matière de soudure et de contrôle qualité.

FERROVIAIRE : PASSERELLES ET TECHNICENTRES

Dans le domaine ferroviaire ou para-ferroviaire, l'entreprise est présente à plusieurs niveaux. Elle réalise des passerelles dont la solidité et la résistance à la corrosion doivent répondre au cahier des charges de la SNCF (norme EN 98-405 et qualification 02424).

Elle participe également à la construction de plusieurs technicentres à Avignon, Marseille, Cannes ainsi qu'à celui de Joncherolles, en co-traitance avec Eiffage Génie Civil à Villeteuse, en

Seine – Saint-Denis, un des sites d'entretien les plus importants de France. Le technicentre de Joncherolles est l'un des trois sites de maintenance de Paris Nord (avec le fret et les rames TGV Eurostar et Thalys). Ses équipes réalisent la maintenance du Transilien et du Francilien, derniers nés des rames circulant en Île-de-France. Les ingénieurs et techniciens y développent un savoir-faire industriel capitalisé depuis 20 ans, afin de porter au plus haut niveau, la sécurité ferroviaire, la fiabilité et la ponctualité des trains, ainsi que le confort offert au voyageur. Les ateliers de Joncherolles se préparent à l'arrivée du RER Nouvelle Génération (RER NG). Le technicentre Paris-Nord sera le premier centre de maintenance de la SNCF à accueillir des trains équipés de capteurs.



11 © CMBC

GRAND PARIS EXPRESS : FORTE IMPLICATION

Les chantiers du Grand Paris Express, qu'il s'agisse des gares ou des centres d'exploitation, ont évidemment retenu l'attention de CMBC qui est complètement impliquée dans la réalisation de plusieurs d'entre eux, notamment de celui de la Ligne 18 à Palaiseau, ainsi que de la gare "Villejuif Institut Gustave Roussy", sur la Ligne 15, en collaboration avec Vinci Construction⁽¹⁾ et, la plus importante, la gare "Saint-Denis – Pleyel", qui sera desservie par plusieurs lignes, avec Eiffage Génie Civil⁽²⁾.

"SAINT-DENIS - PLEYEL" : "RECOUDRE UN QUARTIER"

Gare emblématique du Grand Paris Express, Saint-Denis-Pleyel sera la plus grande gare du projet. 4 nouvelles lignes de métro s'y croiseront d'ici 2030 (Lignes 14, 15, 16 et 17). ▷

Un atout qui permettra de faire du quartier un nouveau pôle d'activité économique. Cette gare permettra de plus la desserte du village olympique en 2024. Ses dimensions sont à l'image du projet gigantesque du Grand Paris Express. La partie souterraine est constituée de 5 niveaux atteignant une profondeur de 30 m, de 120 m de long et 80 m de large.

La partie "aérienne" se développe sur quatre niveaux dont les plateaux ont des dimensions tout aussi inhabituelles pour un ouvrage de cette destination. « CMBC a mené les études charpente et béton ainsi que la fabrication et la pose de la charpente métallique pour Eiffage Génie Civil. La structure de l'ouvrage serait presque classique : poteaux et voiles en béton associés à une ossature de planchers en acier, avec des planchers de 8000 m² sur quatre niveaux, et plusieurs porte-à-faux importants ainsi qu'une enveloppe acier/verre pour les façades, exceptionnellement fine. Des solutions originales ont été développées pour répondre aux différents défis techniques tout en respectant le calendrier imposé par les Jeux Olympiques, notamment par rapport au dimensionnement des structures. »

« C'est au niveau de la conception, due à l'architecte japonais Kengo Kuma, qu'elle révèle son originalité, qui participe également à la difficulté de sa construction. »

Au final, Pleyel sera « non seulement une gare, mais aussi un lieu de rencontres, qui permettra de "recoudre" un quartier éclaté entre les tours et les voies ferrées » précise Kengo Kuma. « Cette gare étant souterraine, nous l'avons conçue autour d'un grand vide, celui-ci étant un point de passage pour la lumière naturelle du ciel jusqu'au fond du bâtiment. Cet espace enfoui à 28 mètres de profondeur est étroitement relié, du sol jusqu'au ciel, par ce noyau. Ce dernier n'est pas un noyau solide mais il est fait de vide. »

CEM PALAISEAU : 64 000 m²

Situé dans le secteur de la Croix Villebois, au nord de l'école Polytechnique, le centre d'exploitation de Palaiseau assurera les fonctions de Site de Maintenance et de Remisage (SMR) du matériel roulant voyageur et de poste de commandement centralisé de la future Ligne 18. Pour prendre la direction de l'Est, les trains emprunteront une voie de débranchement, via les ouvrages dits "Camille Claudel". Au 3^e trimestre 2020, ont démarré les



12

© CMBC



13

© CMBC

travaux de terrassement, plate-forme, réseaux divers et voiries du centre d'exploitation, par l'entreprise Eiffage. Le lancement de la construction des bâtiments a commencé début 2022. Sur une emprise d'environ 64 000 m², le projet comporte :

→ Un site de maintenance des infrastructures pour assurer l'entretien des équipements de la ligne (voies, distribution d'énergie...);

12- Construction du Diesel d'Ultime Secours (DUS) de la centrale de Cattenom.

13- Le technicentre SNCF d'Avignon.

14- Passerelle piétons sur l'autoroute à Aix-en-Provence.

- Un site de maintenance et de remisage pour accueillir des rames de métro automatiques de 45 à 60 m de long ;
- Un poste de commandement centralisé pour coordonner, surveiller et réguler le trafic ;
- Des locaux techniques tels que le bâtiment "Tour en fosse", les locaux électriques et le poste de garde.



14

© CMBC



© SGP/ KENGO KUMA & ASSOCIATES

15



© SGP/ STROMAE ET LUC JUNIOR TAM/ KEN KUMA & ASSOCIATES

16

SAINT-DENIS - PLEYEL : 250 000 VOYAGEURS/JOUR

Le chantier de la gare de Saint-Denis Pleyel est situé au nord de Paris, dans une zone urbaine dense et proche des voies ferrées de la gare SNCF. À terme, la nouvelle gare devrait accueillir 250 000 voyageurs par jour. Situé à quelques encablures du Stade de France, le quartier Pleyel, en Seine-Saint-Denis, est devenu le théâtre de multiples opérations de construction. Cette zone urbaine occupée par plusieurs sièges sociaux d'entreprises doit, à l'horizon 2024, devenir l'une des vitrines du Grand Paris et un des centres névralgiques des Jeux olympiques. À l'est, côté Seine, elle accueillera le village de 51 ha où logeront 1700 sportifs. À l'ouest, elle sera au cœur d'une importante zone de passage avec la gare de Saint-Denis-Pleyel, où doivent transiter chaque jour 250 000 voyageurs.

Quatre lignes de métro automatique (L14 Nord, L15, L16 et L17), mais aussi deux lignes existantes (RER D et Ligne 13) desserviront ce nouveau "hub", dont l'architecture a été imaginée par l'architecte japonais Kengo Kuma. Pour l'heure, les travaux battent leur plein sur le périmètre du chantier. Les fondations, avec la réalisation des parois moulées de la gare, sont achevées. La construction de la superstructure est largement entamée, notamment les planchers, réalisés par CBMC. La surface exceptionnellement grande de l'infrastructure (8 000 m² par niveau, sur quatre étages) a conduit à réaliser des ouvrages d'une grande profondeur (50 m en moyenne) et d'une épaisseur importante (de 1,50 à 1,80 m) pour résister à la poussée des terres. Trente-six poteaux reprennent les efforts que générera la superstructure de cinq niveaux qui surmontera la station.

"VILLEJUIF - INSTITUT GUSTAVE ROUSSY" : ARCHITECTURE DE PLEIN AIR

En ce qui concerne la gare "Villejuif - Institut Gustave Roussy" conçue par l'architecte Dominique Perrault, les difficultés tiennent à sa conception architecturale : « Il faut imaginer cette gare, indique Dominique Perrault, comme un connecteur du monde du dessous au monde du dessus. On a choisi de créer un grand cylindre, ouvert, vide, d'un diamètre de

15- Gare emblématique du Grand Paris Express, Saint-Denis Pleyel sera la plus grande gare du projet.
16- Saint-Denis Pleyel sera non seulement une gare, mais aussi un lieu de rencontres.

70 mètres. Un espace de 30 mètres restera évidé à l'intérieur du cylindre qui accueille balcons et escalators. Cet espace sera ventilé naturellement et le voyageur sera en contact direct avec l'air ambiant et la lumière naturelle qui va rebondir en cascade. Il n'aura pas le sentiment d'être à 50 mètres de profondeur car il sera également en contact avec la température ambiante : quand il fait froid, on aura froid, quand il fait chaud, on aura chaud. »

L'architecte a travaillé avec les ingénieurs de sorte que le design de l'infrastructure corresponde au design de la gare. L'idée est d'accompagner les flux, d'utiliser les infrastructures dans une qualité architectonique comme une sculpture. Il ne s'agit pas de décoration mais d'une conception fusionnelle entre l'ingénierie et l'architecture. Et la particularité de la gare est de ne pas être surmontée d'un bâtiment, c'est une architecture de plein air.



17

© SGP/ DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTURE



18

© SGP/ DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTURE

17- " Villejuif - Institut Gustave Roussy " : une architecture de plein air.

18- La gare " Villejuif - Institut Gustave Roussy " : un grand cylindre ouvert.

19- Le " continuum " de l'aéroport d'Orly.

20- Le gymnase d'Avignon.

AÉROPORTUAIRE : PRÉSENCE PERMANENTE

Si le chantier d'extension du terminal de l'aéroport de Nice - Côte d'Azur a marqué, dès 2016, la nouvelle orientation vers la technicité de l'entreprise, depuis, CMBC est intervenue régulièrement sur plusieurs des chantiers d'extension ou de modernisation de plusieurs aéroports : en 2018, terminal des compagnies low cost de Montpellier Méditerranée, en 2019, réalisation du continuum entre les terminaux 3 et 4 de l'aéroport d'Orly, en 2022, construction de la passerelle reliant les satellites 1 et 7 du terminal T1 de Roissy - Charles De Gaulle.

DIVERSIFICATION INDUSTRIELLE ET MULTI-SECTORIELLE

Un autre domaine dont CMBC s'est fait quasiment une spécialité est celui des tours supports de radars militaires pour Ineo Défense avec laquelle elle a conclu un contrat global. C'est ainsi qu'elle a déjà participé à la construction de cinq de ces ouvrages un peu partout en France, dont certaines culminent à 30 mètres.



19

© CMBC



20

© CMBC

À côté de bâtiments industriels "classiques" (bureaux et entrepôts, parkings aériens, surfaces commerciales), d'ouvrages publics tels que des gymnases ou salles omnisports (Bollène, La-Seyne-sur-Mer, Brignoles, La-Roque-d'Anthéron), de salle de spectacles (Castelnau-le-Lez), de médiathèque (Septèmes-les-Vallons), CMBC réalise des infrastructures en acier nécessitant des compétences techniques élevées. C'est le cas, par exemple, du centre de stockage de déchets radioactifs de très faible activité de Onet Technologies à Pierrelatte (26), du centre de valorisation des déchets de La-Tour-d'Aigues (84), de l'usine Transfix de La-Garde (83), du technicentre SNCF de la gare Saint-Charles à Marseille (13), du gymnase Genicoud à Avignon (84), de la passerelle piétonne au-dessus de l'A51 à Aix-en-Provence (13) avec Eiffage Génie Civil, de l'héliport de Briançon (05), de la salle de cinéma Imax du Pathé à Plan-de-Campagne (13), de l'usine de prémurs Spurgin à La-Roque -d'Anthéron (13). La liste est longue...

L'une des dernières réalisations en cours, qui mérite une attention par-

21- Chantier d'extension du terminal T2 de l'aéroport de Nice - Côte d'Azur.

22- Le centre de stockage de déchets radioactifs de très faible activité de Onet Technologies de Pierrelatte.

23- Une tour radar d'Ineo Défense en cours de montage.

© CMBC



EXTENSION DU TERMINAL T2 DE L'AÉROPORT DE NICE-CÔTE D'AZUR

Première plateforme régionale française, l'aéroport de Nice Côte d'Azur souhaitait augmenter sa capacité en améliorant les flux de circulation dans ses terminaux et en offrant plus de surfaces commerciales aux passagers. L'ensemble du terminal était concerné par cette réorganisation dont la première étape est l'extension du terminal, permettant ensuite l'enchaînement des autres opérations suivant un chantier à tiroirs.

Le projet est réalisé conjointement par Jean-Marie Duthilleul pour AREP et Paul Andreu. L'extension s'intègre entre deux ouvrages existants : Le terminal 2, de forme conique inversée, conçu par Paul Andreu en 2003 et la "passerelle 54", une vaste salle d'embarquement internationale créée en 2010 pour permettre l'accueil de gros porteurs (type A380).

Localisé coté piste, le projet s'inscrit dans un environnement contraint par les exigences et réglementations aéroportuaires. Le bâtiment créé est conçu sur pilotis au-dessus des voies de services. Il doit également prendre en compte le site : zone sismique, milieu agressif (pollution), bord de mer (air salin et exposition au vent), orientation plein sud (confort thermique et lumineux). De plus, l'ensemble du chantier devait se faire en site occupé et maintenu en activité dans un délai serré.

Par la configuration des bâtiments auxquels elle se rattache, la façade a été dessinée courbe, de manière à créer un effet cinétique et à accentuer le rôle d'articulation entre les édifices existants.

L'enveloppe du bâtiment comprend un bandeau vitré continu par niveau, partiellement dissimulés derrière un bardage fait de clins verticaux en métal perforé. Les parties opaques de la façade sont constituées de panneau isolé à ossature légère couvert d'un bardage métallique. La vêtue perforée permet d'enrichir l'expression architecturale en donnant une profondeur à la façade en créant des jeux d'ombres et de contrastes. Le calepinage vertical combiné à la géométrie courbe du bâtiment permet de donner un rythme et un effet cinétique à l'édifice.

ticulière en raison des exigences de construction qu'elle impose aux entreprises qui en sont chargées, est la nouvelle usine de Sanofi à Sisteron, dans les Alpes de-Haute-Provence, construite par CMBC en partenariat avec NGE. En effet, Sanofi veut faire de cette usine une vitrine de l'industrie 4.0 sous toutes ses formes. Sanofi a posé le 9 juin 2021 la première pierre de la nouvelle Unité de Lancement de Petits Volumes (ULPV) sur son site de chimie pharmaceutique de Sisteron. L'ULPV va lui permettre d'assurer le lancement de la production des nouveaux principes actifs issus de sa R&D en chimie. L'unité est construite à partir d'un modèle 3D qui se révèle tout aussi déterminant qu'exigeant pendant la phase de construction, tant au niveau de la mise en œuvre des structures et des équipements que, pour le futur, de leur suivi.

« Les années de crise nous ont conduits à profondément modifier notre façon de travailler, conclut Jérôme Scoffoni. Nous avons restructuré l'outil de production, anticipé la réduction du temps de travail, l'évolution des conditions de travail et recentré notre activité sur le montage d'opérations complexes. Nous cherchons toujours à élever le niveau qualitatif de nos prestations. »

L'entreprise base sa stratégie industrielle sur une très grande rigueur dans la sélection des affaires en appel d'offres. Aujourd'hui, grâce à cet effort d'adaptation, elle est en ordre de marche pour poursuivre son développement grâce à sa technicité. □

1- Chantiers Modernes Construction (Vinci Construction).

2- Groupement Eiffage Génie Civil (mandataire) avec Razel-Bec, Eiffage Rail, TSO et TSO Caténaires.



© CMBC



© CMBC



CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU VIADUC SUR LA MAYENNE, À CHÂTEAU-GONTIER (53)

AUTEURS : ARNAUD BOUARD, RESPONSABLE TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, SCE - ANDRÉ CAPELI, RESPONSABLE DE L'ÉQUIPE OUVRAGES D'ART, SCE

LE VIADUC SUR LA MAYENNE S'INSCRIT DANS LE CADRE DU CONTOURNEMENT NORD DE CHÂTEAU-GONTIER À MAÎTRISE D'OUVRAGE DU CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE LA MAYENNE, POUR LEQUEL IL ÉTAIT NÉCESSAIRE DE RÉALISER UN OUVRAGE ROUTIER FRANCHISSANT L'ENSEMBLE DE LA VALLÉE DE LA MAYENNE (300 m ENVIRON), MAIS SANS DISPOSER D'APPUI EN SON LIT MINEUR (120 m ENVIRON). LE CHOIX D'UN PONT EN ARC SUPPORTANT LE TABLIER PAR L'INTERMÉDIAIRE DE QUELQUES PILETTES SEULEMENT A TOUT DE SUITE CONFÉRÉ À CET OUVRAGE UN CARACTÈRE UNIQUE, AU NIVEAU TANT DE SA CONCEPTION QUE DE SA RÉALISATION.

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Dès les premières phases de conception, la proximité du substratum rocheux a été vérifiée pour s'assurer de la faisabilité d'un pont en arc s'intégrant à la vallée comme souhaité par le parti architectural.

Par ailleurs, les niveaux altimétriques des points à relier de part et d'autre de la vallée se situent à environ 28 m au-dessus de celui de la Mayenne. Dans ces conditions, un pont en arc portant un tablier mixte par l'intermédiaire de pilettes inclinées (figure 2) répondait à l'ensemble des contraintes

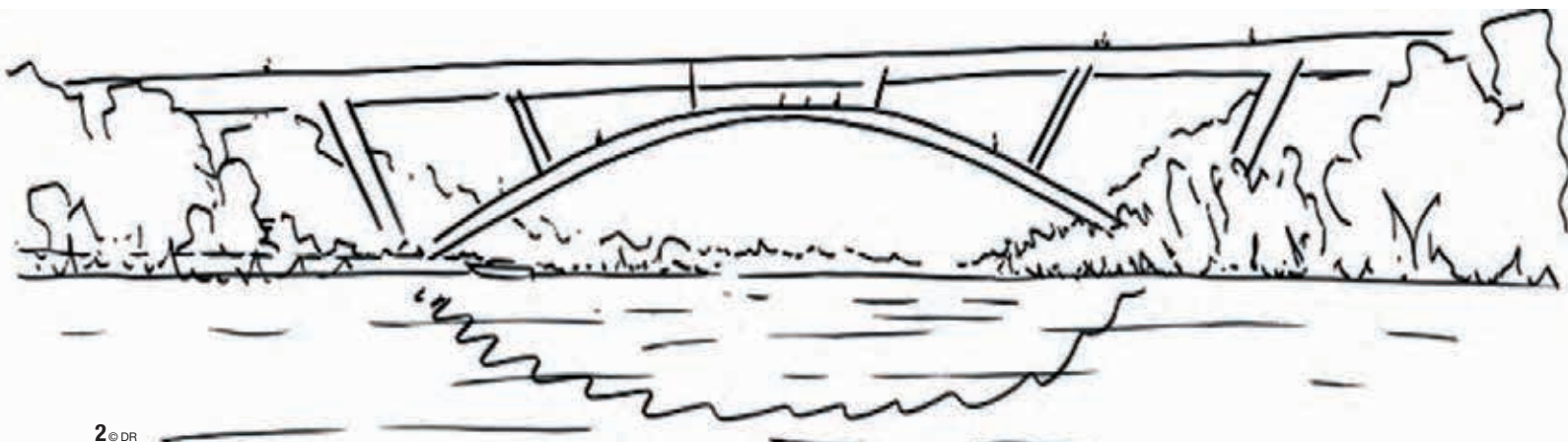
1- Pose de
la clef de l'arc.

1- Placing the
arch keystone.

du site et permettait en plus aux piétons de franchir la Mayenne en empruntant directement l'arc.

TABLIER MIXTE À HAUTEUR VARIABLE

Le tablier porte deux voies routières de 3,50 m chacune (+ deux bandes



2 © DR

dérasées de 1,0 m), ainsi qu'une voie de 3,0 m dédiée aux modes doux côté Nord, le tout formant un excentrement des voies par rapport à l'axe de symétrie transversale de l'ouvrage. La largeur totale du hourdis est ainsi de 14,18 m en comptant les longrines de rive nécessaires à l'ancrage des dispositifs de retenue de niveau H2. Une structure type bipoutre mixte répond parfaitement à ces besoins tout en conférant au tablier un caractère sobre et efficace comme recherché visuellement.

Néanmoins, la position excentrée de la Mayenne par rapport à la longueur totale de la brèche à franchir imposait un ouvrage globalement dissymétrique et un balancement des travées non optimal vis-à-vis du fonctionnement hyperstatique des poutres mixtes (figure 3). De plus, la hauteur des poutres était dictée par le parti architectural qui visait à générer une courbure longitudinale du dessous de poutre en harmonie avec l'arc et les portées adjacentes.

2- Esquisse initiale de Thomas Lavigne.
3- Vue en élévation de l'ouvrage.

2- Initial sketch by Thomas Lavigne.
3- Elevation view of the structure.

Enfin, la dernière particularité de ce tablier est d'être encastré sur des pilettes inclinées possédant une certaine souplesse, et non pas appuyée sur des piles verticales rigides. Des itérations de calculs sur les épaisseurs des tôles ont donc été nécessaires pour aboutir à une répartition matière optimale de la charpente métallique mais sans multiplier exagérément le nombre de sections différentes par travée.

L'ARC, LE CŒUR DE L'OUVRAGE

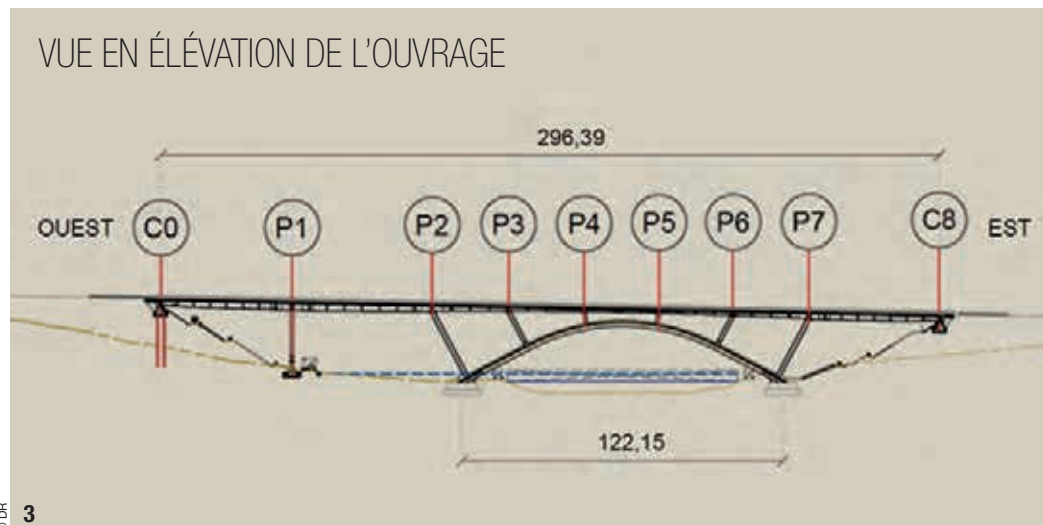
D'une portée de 122 m entre axes de massifs, l'arc constitue bien évidemment le cœur de l'ouvrage. L'acier a vite été retenu comme matériau constitutif pour le gain de poids évident (et donc de poussée vers les appuis) que cela représente par rapport à une solution béton. De plus, l'utilisation de ce matériau sous forme d'un caisson permettait d'affiner l'arc jusqu'à une épaisseur totale de 1,50 m seulement.

La liaison entre massifs béton et arc acier a ensuite été conçue sous la forme d'appareils d'appui sphériques, créant ainsi une articulation à chaque pied d'arc. La position de ces rotules a été déterminée vis-à-vis des crues de la Mayenne, afin qu'elles ne soient jamais immergées. C'est pourquoi les massifs enterrés se prolongent sur une dizaine de mètres et constituent ainsi des naissances en béton de l'arc. L'élanement de l'arc métallique vaut donc finalement environ 6 ($L / H \approx 107 / 18 \approx 6$).

Vue en coupe transversale, la position des pilettes en rive de l'arc impliquait de prévoir des tôles de forte épaisseur pour les semelles et les âmes situées sous ces pilettes, ce qui a fait apparaître naturellement les "caissons de rive" de l'arc. Néanmoins, la dissymétrie possible des charges en pieds de pilettes d'une même paire impliquait également que l'ensemble de la section de l'arc soit rigide en torsion pour limiter sa flexion transversale.

C'est pourquoi les deux "caissons de rive" de l'arc ont été englobés à l'intérieur d'un caisson multicellulaire unique, et non simplement reliés entre eux par des entretoises par exemple.

En ce qui concerne la conception "intérieure" du caisson, l'aspect le plus important réside dans le nombre très limité de pilettes supportant le tablier. De fait, chaque pilette transfère des charges ponctuelles très importantes à l'arc qui est donc non seulement comprimé, comme tout arc, mais surtout fortement fléchi, comme illustré sur le graphe des moments ELU (figure 4). Autrement dit, l'arc n'est pas funiculaire de ses charges principales (section entièrement comprimée) et sa flexion au droit des pilettes est telle que ses semelles inférieures peuvent se retrouver tendues sous certains cas de charges, malgré la compression globale de la section apportée par l'effet d'arc. La principale conséquence de ce constat sur la conception interne du caisson réside dans l'importance du phénomène de trainage de cisaillement (TC dans la suite) aux ELS du fait de la largeur importante du caisson (8 m) par rapports aux "portées" entre pilettes (de 22 à 26 m). L'adaptation du caisson au TC était donc impérative pour faire travailler efficacement la matière mise en œuvre. ▽



3 © DR

Le nombre d'âmes de la section a donc été fixé pour que le TC ne génère pas plus de 25% de réduction des semelles, afin que les ELS ne deviennent pas dimensionnants par rapport aux ELU. C'est ainsi que la section de l'arc en caisson multicellulaire à 5 âmes internes est apparue (figure 5). Une fois la section globale ainsi établie, il restait encore à jouer sur les épaisseurs de ses semelles pour adapter au mieux les caractéristiques mécaniques de toutes les sections à ses sollicitations, qui varient énormément tout au long de l'arc. Différentes itérations de calcul ont donc été menées pour converger vers un niveau de contraintes équilibré de 300 MPa environ aux ELU, aussi bien en fibre supérieure qu'inférieure, et tout en prenant en compte le voilement local des plaques comprimées selon l'EN1993-1-5.

Pour minimiser les effets du voilement de chaque semelle comprimée, il s'agit de choisir entre un raidissage ou un léger épaissement par rapport au strict besoin en section brute. L'approche retenue a consisté à n'augmenter une épaisseur que si cela s'avérait bénéfique pour le comportement global de la section, comme au sein des caissons de rive pour lesquels de fortes épaisseurs étaient également favorables à la diffusion locale des charges en pied de pilette.

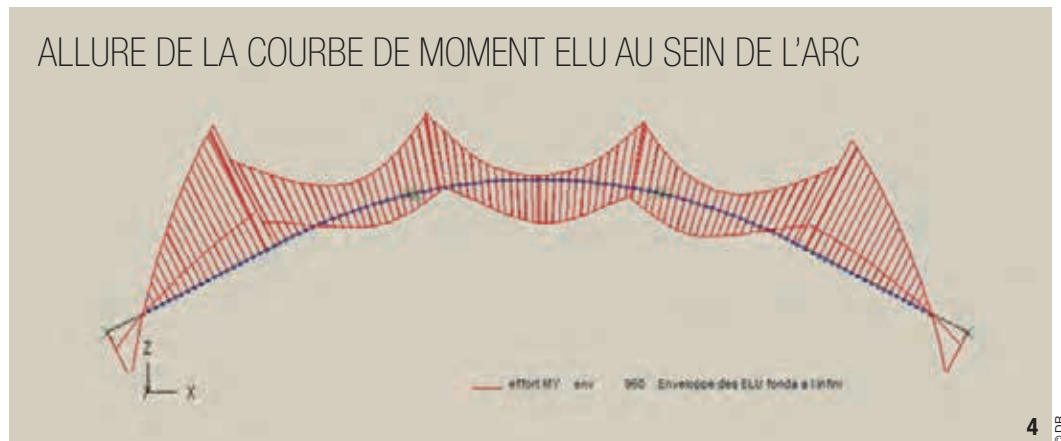
À l'inverse, pour toute la zone centrale destinée à supporter les charges légères de l'escalier piétons et à former un caisson fermé, il était plus intéressant de maintenir des tôles fines et de les raidir en conséquence (figure 5).

LES PILETTES, TOUTES UNIQUES

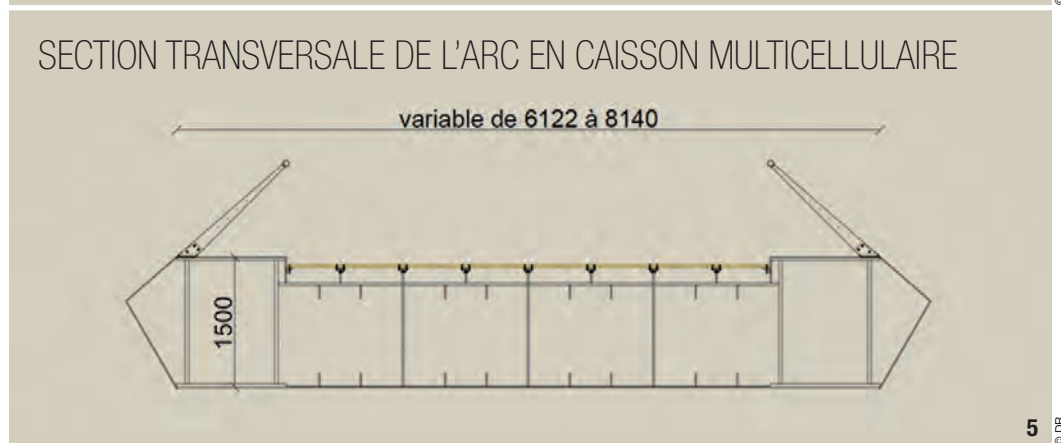
En ce qui concerne les pilettes, leur nombre et leur inclinaison ont été établis en lien étroit avec le parti architectural recherché.

Par ailleurs, l'un des phénomènes qui s'est révélé très important lors de leur étude est que leur inégalité de longueurs au sein d'un même ensemble (P2/P7 ; P3/P6 ; P4/P5) induite par la pente longitudinale du tablier de 2% leur conférerait des comportements tous différents. Certaines se sont ainsi avérées beaucoup plus fléchies que d'autres au regard de leur compression.

Il a donc fallu jouer sur les épaisseurs des tubes pour les justifier en contraintes en les épaisissant, mais pas trop pour ne pas drainer plus d'efforts par rigidification de la structure. La solution la plus pertinente trouvée a été de prévoir des rabotages de tubes



4 © DR



5 © DR

d'épaisseur plus importante en pied et en tête par rapport à la zone centrale, qui restait ainsi suffisamment souple. Les sujets de fatigue ont également été analysés en détail, notamment en tête à la jonction avec les poutres, où des plats d'enfourchement passant au travers des tubes et découpés en arrondi ont été prévus pour épanouir et diffuser au mieux les efforts. Des modèles locaux aux éléments finis type plaques ont été réalisés pour ces jonctions et

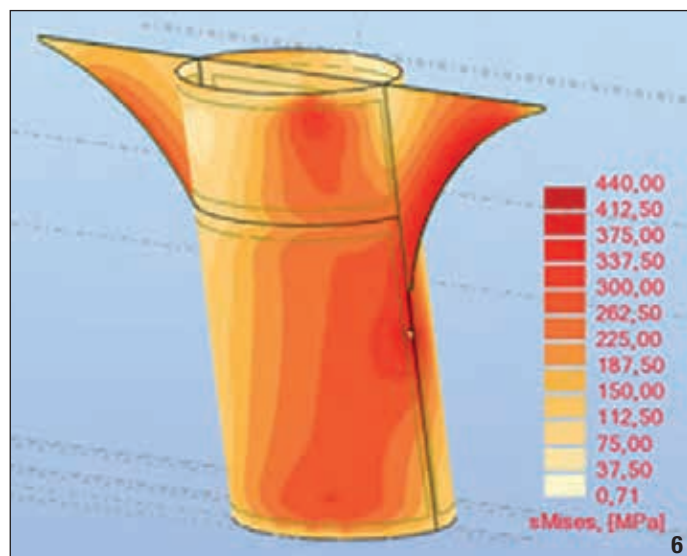
ont démontré la nécessité d'emploi localisé d'acier de nuance S460, en plus des raidissages locaux (figure 6).

DIMENSIONNEMENT

Au-delà de ces grandes lignes de conception, l'intégralité de l'ouvrage a bénéficié de toutes les vérifications calculatoires requises par les Eurocodes vis-à-vis des charges routières (LM1, convois C2 et E2F1), des effets sismiques ou encore climatiques

(échanges avec le Cstb de Nantes au sujet du vent).

Ces justifications se sont appuyées sur un modèle global à barres établi dès les premières phases de conception sur St1 (Cerema) et qui a également été utilisé pour déterminer les modes d'instabilités globales de l'ouvrage. Le premier d'entre eux correspond au flambement de l'arc dans son plan (figure 7), associé à un coefficient critique d'amplification des charges



6 © DR

- 4- Allure de la courbe de moment ELU au sein de l'arc.
- 5- Section transversale de l'arc en caisson multicellulaire.
- 6- Modèle local tête de pilette.

- 4- Shape of the curve of the ULS moment in the arch.
- 5- Cross section of the multi-cellular box-girder arch.
- 6- Local model of small-pier head.

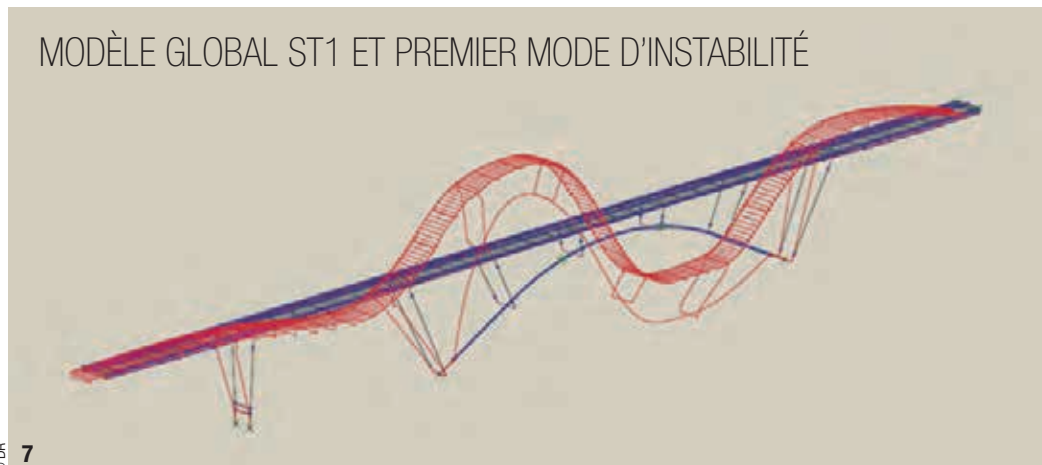
- 7- Modèle global St1 et premier mode d'instabilité.
- 8- Remblai rive gauche (C8) en cours de montage.
- 9- Fond de fouille du batardeau de P7.
- 10- Naissance d'arc en cours de ferrailage.

7- Overall model St1 and first instability mode.

8- Left-bank embankment (C8) during erection.

9- Bottom of excavation of the P7 cofferdam.

10- Start of arch undergoing reinforcement.



© DR 7

de 10, depuis lequel il est possible de remonter à une longueur de flambement de 36 m, soit $0,31 * L_{dev}$.

L'ENVIRONNEMENT ET LE CHANTIER

La programmation des travaux est dictée par une volonté d'évitement

et, à défaut, de réduction des impacts engendrés. Dans le cadre de la protection des espèces protégées (insectes, reptiles et amphibiens), le déplacement des espèces a été réalisé avant les travaux de débroussaillage. Aussi, les mesures suivantes ont été appliquées au chantier :

- Suivi du chantier par un ingénieur-écologue, avec un passage hebdomadaire ;
- Balisage des zones sensibles en phase chantier (notamment les zones humides) ;
- Mise en place de clôtures petite faune sur tout le pourtour du chantier ; ▷



© DR 8



© DR 9



© DR 10



11

© IM&COM

→ Mise en place des bassins de décantation afin d'éviter tout départ de fines ou de pollution dans la Mayenne. Il faut remarquer qu'un captage d'eau potable se trouve en aval du chantier.

MÉTHODES DE CONSTRUCTION

La méthodologie de réalisation de l'ouvrage de la Mayenne a été intégrée dès sa phase de conception, notamment en raison de la configuration du site pour laquelle de nombreuses méthodes semblaient inappropriées. Il s'agit en effet de réaliser un tablier de 300 m environ au-dessus d'une vallée remarquable, avec la préoccupation d'éviter, ou du moins réduire, les impacts environnementaux et de les compenser le cas échéant. Une attention particulière a été portée à la zone humide (au droit de chaque pied d'arc). Cette région est très sensible et tout impact, même temporaire, doit être évité.

TERRASSEMENT

La construction de l'ouvrage a démarré par la réalisation des remblais de grande hauteur au droit de chaque culée (jusqu'à 25 m du pied à la tête du remblai). La géotechnique du site étant caractérisée par un substratum schisteux recouvert des matériaux limoneux et alluvionnaires, une purge a dû être réalisée sur la base de chaque remblai. Au droit du remblai C0, à l'ouest, la configuration en talweg du terrain naturel et la présence de venues d'eau a impliqué la réalisation d'un système de drains à l'interface entre le terrain naturel et le remblai d'apport. Il a fallu

près de 150 000 m³ de matériaux pour la réalisation des remblais. 100 % des matériaux ont été extraits du tracé routier à proximité immédiate de l'ouvrage.

FONDACTIONS

La culée C0 est fondée sur 8 pieux forés tubés de 21,5 m de longueur et 800 mm de diamètre qui traversent le remblai d'apport pour s'ancrer dans le substratum schisteux. La culée C8 est fondée superficiellement en tête du remblai (culée perchée).

11- Pose du dernier tronçon de tablier.

12- Ripage d'un tronçon de tablier à l'aide de la grue et de multi-roues.

11- Placing the last deck section.
12- Skidding a deck section using the crane and a multi-wheel vehicle.

Le substratum schisteux étant peu profond, la pile P1 ainsi que les pieds d'arc sont fondés superficiellement. La réalisation des fondations de l'arc a nécessité le recours à des batardeaux dont les dimensions en plan sont de 17,40 m x 17,40 m et la hauteur de 6 m environ. Les palplanches (PU18) ont été battues à refus et ancrées d'environ 30 cm dans le schiste fracturé. Malgré la proximité immédiate de la Mayenne, aucun problème d'étanchéité n'a été observé.



12



© DR 13

13- Ripage d'un tronçon de tablier à l'aide de la grue et de multi-roues.

14- Pose d'une pilette.

15- Système de reprise d'effort tranchant en phase de vérinage.

13- Skidding a deck section using the crane and a multi-wheel vehicle.

14- Placing a small pier.

15- System for absorbing shear forces in the jacking phase.

Les pieds d'arc ont été réalisés en 3 fois :

- La base de la semelle de 12 x 14 m et 2 m de hauteur ;
- La partie entre la semelle et la naissance de l'arc de 9 x 11 m et 2,5 m de hauteur ;
- La naissance de l'arc, qui a nécessité une méthode spécifique notamment pour la partie avant courbe dans laquelle s'insèrent les pièces d'ancrage métalliques nécessaires à la diffusion des efforts transmis par les pilettes P2 et P7 (figure 10).

CHARPENTE

La charpente métallique a été entièrement fabriquée à Eeklo, en Belgique, et transportée par tronçons jusqu'au chantier. L'ensemble de la charpente



© DR 14



© DR 15

a été assemblée sur site et transportée par multi-roues entre l'aire d'assemblage et l'aire de prise en charge par la grue. Tous les tronçons ont été posés à la grue.

Afin de supporter l'arc et le tablier pendant les phases provisoires il a été construit 2 palées provisoires en rivière et 3 à terre (une au droit de P1, une au droit de P2 et l'autre au droit de P7). Celles en rivière ont été réalisées à l'aide d'un atelier fluvial. Ses appuis, composés d'un platelage sur chevette métallique, sont fondés chacun sur 8 pieux métalliques de diamètre 800 mm mis en œuvre par préforage et battage afin d'assurer un ancrage dans le schiste compact.

L'arc a été transporté en 10 morceaux et assemblé sur site pour former 3 grands tronçons de 300 t et 100 t environ. Les tronçons ont été posés à l'aide d'une grue de 650 t de capacité de levage (SL 3800) avec superlift dont le contrepois a atteint 325 t pour être capable d'amener la clef de l'arc (100 t) dans un rayon de 60 m (figure 1).

Pour le transport entre l'atelier en Belgique et le chantier, le tablier a été découpé longitudinalement en 15 tronçons et transversalement en 2. Sur site, ces tronçons ont été assemblés en 5 tronçons plus grands. 4 tronçons ont été posés "traditionnellement" à l'aide de la grue (figure 11) et 1 tronçon a nécessité l'action conjointe de la grue et de multi-roues. Ce dernier a été assemblé derrière la culée C0 et ripé avec la grue supportant la partie aérienne et des multi-roues la partie terrestre (figures 12 et 13).

La pose des pilettes s'est opérée après la pose de l'arc et des tronçons du tablier (figure 14).



16
© DR

LA MISE SUR APPUIS DE L'ARC

Après pose et soudure de tous les éléments de la charpente métallique, il a été procédé à la mise sur appui définitif de l'arc, avant réalisation du hourdis. Ceci étant, les appuis sphériques ont été dimensionnés pour absorber les rotations dues à la construction du hourdis. Un système de soutènement de l'arc en phase de vérinage (figure 15) a été utilisé afin de permettre la mise en place des appareils d'appui sphériques. Ce système consiste en un ensemble de tiges noyées dans le béton avec des manchons affleurants en sous face du pied d'arc qui servent à visser des tiges supportant des profilés métalliques. Un système similaire sera utilisé pour les éventuels futurs remplacements d'appareils d'appui.

HOURDIS

Le hourdis a été réalisé à l'aide de deux équipages mobiles (figure 16). Au total 25 plots ont été réalisés (23 à l'équipage mobile et 2 au droit des culées à l'aide des coffrages traditionnels).

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 150 000 m³ de remblais
- 1 400 m³ de béton et 250 t de ferrailage pour les pieds d'arc
- 1 300 m³ de béton et 370 t de ferrailage pour le hourdis
- 1 900 t de charpente métallique (1 200 t pour le tablier et les pilettes et 700 t pour l'arc)
- Plus de 1 100 documents visés

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Conseil Départemental de la Mayenne
MOE COMPLÈTE (architecture, conception et suivi travaux) : groupement Sce (mandataire) - Thomas Lavigne Aoa (architecte) - Apc Ingénierie (géotechnique)
CONTRÔLE EXTÉRIEUR TRAVAUX : Cerema (GC), Bureau Véritas (charpente)
ENTREPRISES TRAVAUX : groupement Nge Génie Civil (mandataire) - Vbsc (Charpente métallique) - Guintoli (terrassements).
PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Etpo (batardeaux et estacade en rivière), Emca (ferrailage), Nge Fondations (pieux culée C0), Sler (corniches et garde-corps), Ecmb (platelage bois), Metalesa (dispositifs de retenue), Rca (joints de chaussée), Asten-Bergeret (étanchéité), Eurovia (chaussée), Arcadis (étude d'exécution des bétons et contrôle extérieur du métal).

16- Équipages mobiles.

16- Mobile rigs.

La longueur des plots varie entre 13 et 15 m. La définition du pianotage a été faite dès le démarrage des études d'exécution. Pour limiter la fissuration du hourdis, les plots en travée ont été bétonnés en premier et ceux sur appuis en dernier. Le choix de l'utilisation de deux équipages a été fait dès l'offre pour une question de planning. Les ferrailages du hourdis ont été préfabriqués sur place, à l'arrière de la culée C0, puis lancés à l'aide d'un charriot roulant entre les files des connecteurs des poutres. La pose a été faite de C8 en revenant vers C0. Étant donné la hauteur variable des poutres du hourdis, le déplacement des équipages a représenté un vrai challenge pour les équipes travaux. En rythme de croisière, un équipage réalisait 1 plot par semaine. □

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE VIADUCT OVER THE MAYENNE, AT CHATEAU-GONTIER

ARNAUD BOUARD, SCE - ANDRÉ CAPELI, SCE

The arch bridge crossing the Mayenne River was the winner of the design contest initiated by the Departmental Council of Mayenne. It consists of a composite double-girder type deck and a steel arch (multicellular box girder) which supports the deck and also provides a passageway for pedestrians between the banks of the Mayenne. For the bridge's construction, cofferdams had to be installed on the edges of the river, together with temporary bents (on land and in the river), and a Superlift crawler crane of 650-tonne lifting capacity had to be used. The deck section was executed using two mobile rigs. □

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO SOBRE EL MAYENNE, EN CHATEAU-GONTIER

ARNAUD BOUARD, SCE - ANDRÉ CAPELI, SCE

El puente en arco que cruza el río Mayenne ha recibido el premio del concurso de diseño lanzado por el Consejo departamental de la Mayenne (dpto. 53), en Francia. Está formado por un tablero mixto de dos vigas y un arco metálico (en cajón multicelular), cuya función es a la vez sostener el tablero y permitir el paso de los peatones entre ambas orillas del Mayenne. Su construcción ha precisado la instalación de ataguías en las orillas del río y empalizadas provisionales (terrestres y fluviales), así como el uso de una grúa sobre orugas de 650 t de capacidad de elevación con superlift. El forjado del tablero se ha llevado a cabo mediante dos carros móviles de encofrado. □



1
© MAÏA SONNIER

RECONSTRUCTION DU VIADUC FERROVIAIRE SUR L'AY, À SARRAS (07)

AUTEURS : MICHEL GERBER, MAÎTRE D'OUVRAGE, SNCF RÉSEAU - LILA OUKHALED, MAÎTRISE D'ŒUVRE ÉTUDE, SNCF RÉSEAU - STÉPHANE LAURAND, MAÎTRISE D'ŒUVRE TRAVAUX, ARCADIS - ÉMILIE CALLAMARD, DIRECTEUR DE TRAVAUX DU GROUPEMENT, MAÏA SONNIER

DANS LE CADRE DE LA POLITIQUE D'ENTRETIEN DE SON PATRIMOINE, SNCF RÉSEAU PROCÈDE RÉGULIÈREMENT À DES REMPLACEMENTS D'OUVRAGES ANCIENS. LE REMPLACEMENT DU VIADUC DE L'AY EST UNE OPÉRATION TOUT À FAIT REPRÉSENTATIVE DE CES CHANTIERS. ELLE PRÉSENTE LES CONTRAINTES HABITUELLES DE RESPECTS DE L'ENVIRONNEMENT, DE CONCERTATION AVEC LES RIVERAINS, DE MINIMISATION DES IMPACTS SUR L'EXPLOITATION. NÉANMOINS, DANS LE CAS D'ESPÈCE, LES CONTRAINTES APPORTÉES PAR LES CULÉES EXISTANTES CONDUISENT À UN OUVRAGE D'UNE LARGEUR IMPORTANTE OÙ LES POUTRES LATÉRALES EN "I" ONT ÉTÉ REMPLACÉES PAR DES CAISSONS.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage permet à la ligne ferroviaire n° 800 000 de Givors (69) à Grézan (30) de franchir la rivière l'AY, affluent en rive droite du Rhône à hauteur de Saint-Vallier et Sarras.

L'ouvrage et la ligne ont une longue histoire. Un premier ouvrage à une voie datant du 19^e siècle a été emporté par une crue en 1907. La culée côté Sud a aussi été emportée par cette crue d'un débit estimé à 300 m³/s (figure 2). Cette culée a été reconstruite à l'arrière de la précédente, la portée du tablier passant alors de 30 m à 49 m. La culée côté Nord a été conservée et élargie pour accueillir l'ouvrage actuel, achevé en 1909, et portant deux voies.

Un pont provisoire (figure 3) a été en service entre 1907 et 1909, à l'aval immédiat du pont actuel. Ce pont provisoire et les différentes constructions ont laissé de nombreux vestiges dans l'AY.

Les caractéristiques de la ligne ferroviaire et de l'ouvrage actuel sont les suivantes :

- Groupe UIC 4 ;
- Plateforme à double voie électrifiée (1 500 V continu) ;
- Tracé en plan en alignement ;
- Pose de voie directe ;
- Vitesse de la ligne : 120 km/h ;
- Trafic actuel : trains de fret essentiellement.

L'AY a un bassin versant de 112 km² entre l'altitude 1 200 m et l'altitude

120 m à la confluence avec le Rhône. La dernière crue notable date d'août 1963 avec un débit estimé à 275 m³/s. Elle n'a pas occasionné de nouveaux dommages sur l'ouvrage.

Cependant, afin de résister aux crues et de permettre la production d'électricité, des aménagements du Rhône et de l'AY ont eu lieu en 1971 notamment.

Ainsi, dans ce secteur, le fleuve et son affluent sont canalisés et le niveau d'eau est conditionné par la retenue de Saint-Vallier. L'AY fait ainsi partie, au droit du franchissement, du domaine concédé par l'État à la CNR.

Des digues concédées viennent mourir sur les culées maçonnées de l'ouvrage (figure 4).

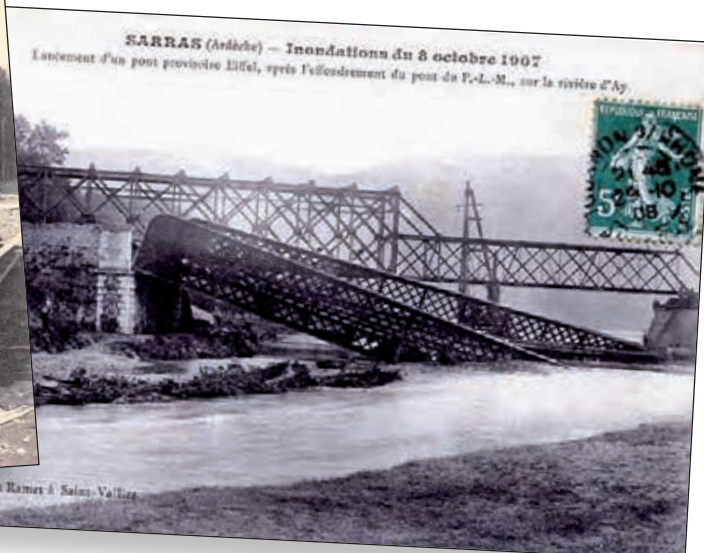
CONTEXTE DES RÉGÉNÉRATIONS D'OUVRAGES

Dans le cadre de l'entretien de son patrimoine, SNCF Réseau procède régulièrement à des évaluations des ouvrages et mène une politique préventive de régénération des viaducs. Plus particulièrement, une enquête de 1998 sur les OA métalliques de longueur supérieure à 30 m construits entre 1900 et 1940 sur les lignes de groupe UIC 1 à 6, a classé cet ouvrage 21^e sur la liste des 90 ouvrages concernés. Le remplacement du tablier était alors préconisé sur le long terme.

L'ouvrage a par la suite fait l'objet de plusieurs visites du service de surveillance des ouvrages d'art de SNCF Réseau, ▷



2 © DR



3 © DR

faisant apparaître des déconsolidations des cornières, des membrures supérieures, des pièces de pont et des attaches des longerons sur les pièces de pont. Ces signes sont ceux d'une fatigue globale de l'ouvrage. Par ailleurs une fracture de maçonnerie importante existe au droit de la culée Nord élargie en 1909. Ces éléments de diagnostic ont confirmé la nécessité d'un remplacement à moyen ou long terme.

Compte tenu de son âge et du trafic supporté (trains de fret lourds) une réparation de ses avaries ne prolongerait sa vie que de quelques années, le remplacement a été programmé dès 2021, sans envisager une campagne de travaux de réparation intermédiaire.

CONTRAINTES

L'environnement de l'ouvrage impose de nombreuses contraintes pour la conception de l'ouvrage dans sa dis-

position finale mais aussi pour la phase de construction.

CONTRAINTES FERROVIAIRES

Les contraintes ferroviaires rencontrées sur le site sont les contraintes habituelles : le maintien des circulations à l'exception de plages de travaux définies deux ans à l'avance.

Au cours de la phase AVP, avait été étudiée une solution de coupure longue de la ligne (avec déviation du trafic sur la ligne 830 000 en rive gauche du Rhône) et de construction de l'ouvrage dans l'axe des voies.

Malgré des économies sur le montant des travaux, cette solution n'a pas été retenue car les contraintes sur la ligne 830 000 étaient trop fortes. Il s'agissait notamment d'une augmentation notable du trafic et d'une diminution des possibilités de maintenance pour cette seconde ligne portant principa-

2- Vue depuis l'ancienne culée Sud, emportée par la crue.

3- Carte postale montrant le viaduc de l'Ay et son pont provisoire en 1907-1909.

4- Vue de l'ouvrage et des digues CNR sur l'Ay.

2- View from the former South abutment, carried away by the flood.

3- Postcard showing the Ay viaduct and its temporary bridge in 1907-1909.

4- View of the bridge and the CNR levees on the Ay.

lement un trafic de voyageurs. C'est donc la solution de coupures courtes, sous forme d'Opération Coup de Poing (OCP), qui a été retenue. Soit 4 week-ends de travaux consécutifs pour réaliser les pieux et une semaine pour la mise en place du tablier. Les travaux à proximité d'une voie exploitée s'accompagnent de la surveillance des installations pendant les travaux (géométrie des voies, niveau de vibration, ...).

HYDRAULIQUE ET CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Afin de ne pas modifier le gabarit hydraulique en phase définitive, la sous-face du tablier projeté est légèrement supérieure à celle du tablier actuel. Par ailleurs il n'est ni possible de réduire la portée de l'ouvrage ni acceptable de placer un appui en rivière.

En revanche, une étude hydraulique a été confiée au service ingénierie de



4

© MAÏA SONNIER

la CNR pour déterminer les contraintes hydrauliques pendant la période des travaux, pour prendre en compte l'impact des palées provisoires sur les lignes d'eau.

Un dossier d'autorisation temporaire au titre des articles L 214.1 à L 214.6 du Code de l'environnement ("loi sur l'eau") a été déposé auprès de la DREAL.

Il établit un régime d'autorisation pour des travaux en rivière valable 6 mois d'octobre 2020 à mars 2021 (mise en

5- Coupe de l'ouvrage projeté. Plan DCE.

6- Nouveau chevronne reconstruit contre la culée existante.

5- Cross section of the planned structure. Tender document drawing.

6- New pier cap reconstructed against the existing abutment.

place des palées), et il fait l'objet d'un renouvellement à l'automne 2021 pour la dépose de ces demières.

DIGUES ET CODE DE L'ÉNERGIE

Les travaux impactent ponctuellement les digues de protection contre les crues qui font partie du domaine concédé par l'État à la CNR. SNCF Réseau a donc dû produire à la CNR un "Dossier EXE" pour travaux tiers, qui a ensuite alimenté un Dossier de modification d'ouvrage de la conces-

sion par des travaux tiers, au titre de l'article R 521-40 du Code de l'énergie. L'arrêté inter-préfectoral (Drôme et Ardèche) a été pris le 19 octobre 2020. Il s'agit bien d'une obligation complémentaire à celles qui sont à remplir par le maître d'ouvrage pour le dossier "loi sur l'eau".

AUTRES INTERFACES

Le chantier a été mené après une concertation avec les élus de la commune de Sarras pour organiser les dispositions d'accès au chantier (un des accès était le stade communal), des nuisances sonores, de la déviation d'un chemin de randonnée et du choix de la peinture du nouvel ouvrage.

La diminution des nuisances sonores induites par le remplacement d'un tablier avec des voies en pose directes par un tablier ballasté est un élément important d'acceptation du projet et des travaux par les riverains.

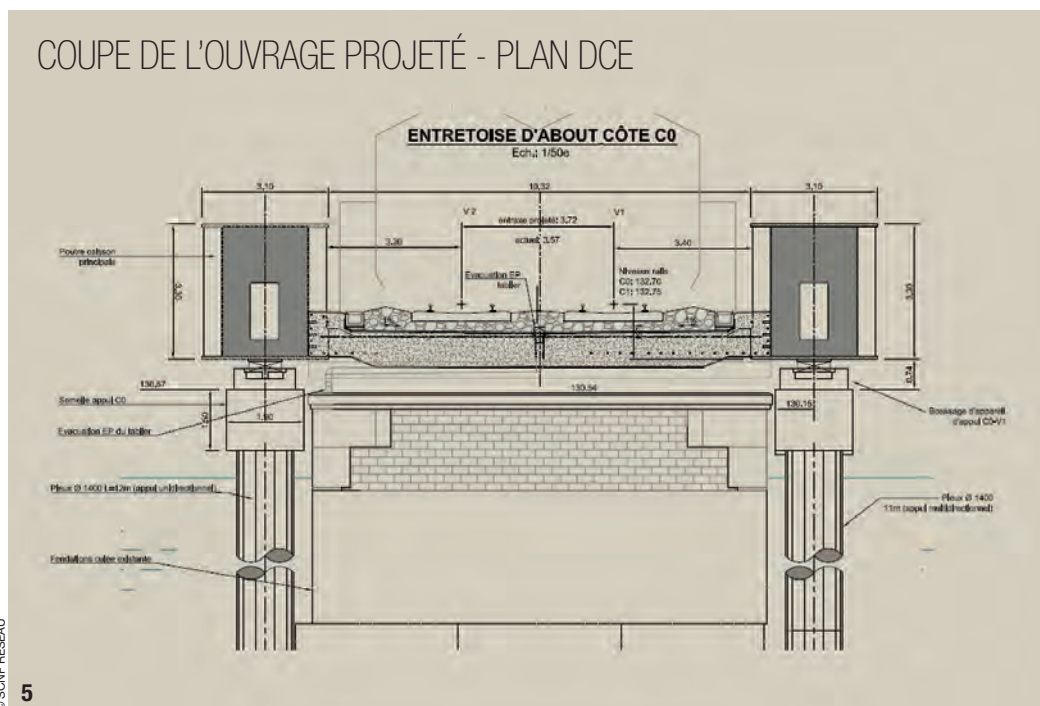
CONCEPTION

TYPE DE TABLIER ET DE VOIE

Les études d'AVP se sont très rapidement orientées vers un pont-rail avec tablier à poutres latérales (RaPL), avec des poutres hautes. Ceci permet de respecter au mieux les dispositions créées par le pont treillis existant et de conserver le niveau de sous-face du tablier, ce qui est favorable au maintien du gabarit hydraulique. Deux variantes ont été étudiées.

Une première solution a été étudiée avec une pose de voie directe. Elle aurait permis de minimiser le poids de l'ouvrage projeté (ballast et structure porteuse) et ainsi de réutiliser les culées existantes. Cependant, celles-ci nécessitaient alors des renforcements lourds (micropieux), la solution était plus onéreuse et apportait plus de contraintes sur l'exploitation ferroviaire en phase travaux. En outre, cette solution ne permettait pas de réduire les nuisances sonores et ce type de voies est plus difficile à entretenir. Cette solution a été rapidement écartée.

La seconde solution étudiée a été un tablier ballasté, nécessairement plus lourd et devant alors reposer sur des culées nouvelles de part et d'autre des anciennes (figure 5). Cette solution a bénéficié de la préférence des services voies et de l'exploitation. Par ailleurs, les consommations plus importantes de matière, bien qu'importantes comme expliquées ci-dessous, ont été amorties par des gains sur le planning et l'absence de renforcement de la culée existante (figure 6).

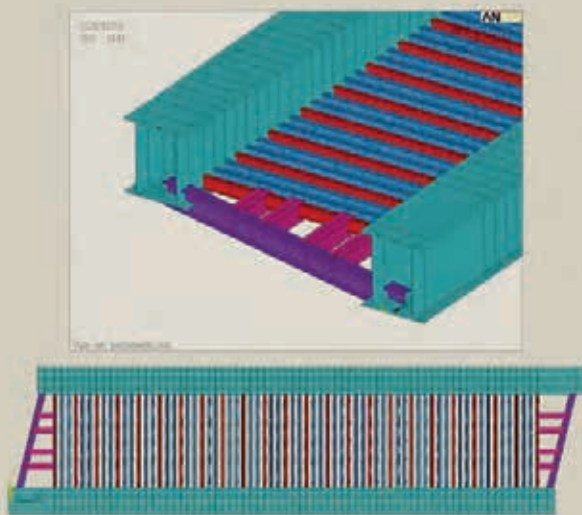


© SNCF RÉSEAU 5



© ARCADIS 6

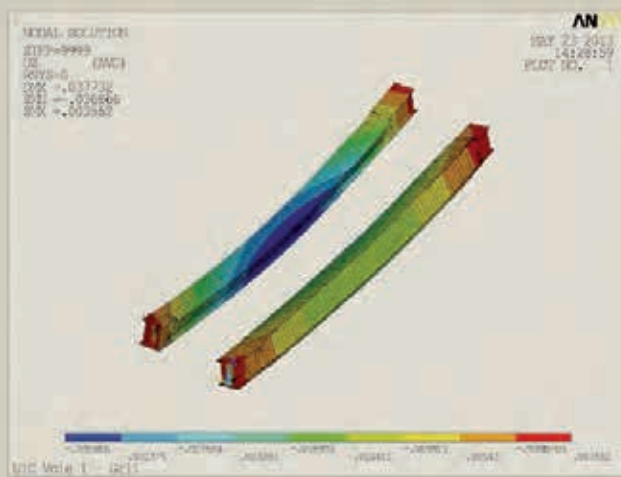
MODÉLISATION ANSYS DE L'OUVRAGE, PHASE AVP



7

© SCNF RÉSEAU

FLÈCHE VERTICALE ET ROTATION DES POUTRES SOUS CHARGEMENT UIC71



8

© SCNF RÉSEAU

DÉTAIL DU TABLIER

L'ouvrage est alors régi par de nombreuses contraintes.

L'absence de possibilité d'appuis en rivière et la nécessité de conserver les culées existantes tout en reconstruisant de nouvelles accolées aux anciennes, conduisent à réaliser un tablier isostatique d'une portée minimale égale à celle de l'ancien tablier, soit 49,20 m. La portée retenue est de 55,51 m. Par ailleurs, les mêmes contraintes conduisent aussi à un ouvrage qui sera plus

large que l'ancien, pour une largeur complète de 13,42 m (figure 7).

Ces contraintes associées au poids propre important et aux surcharges des trains de fret (y compris coefficient $\alpha = 1,33$ pour les lignes Fret international), ont imposé de remplacer les poutres latérales en I par des caissons. Ces poutres-caissons présentent une section rigide vis-à-vis des instabilités globales (torsion, déversement, ...) et locales (voilement de l'âme, ...) (figure 8).

CONCEPTION DES CULÉES

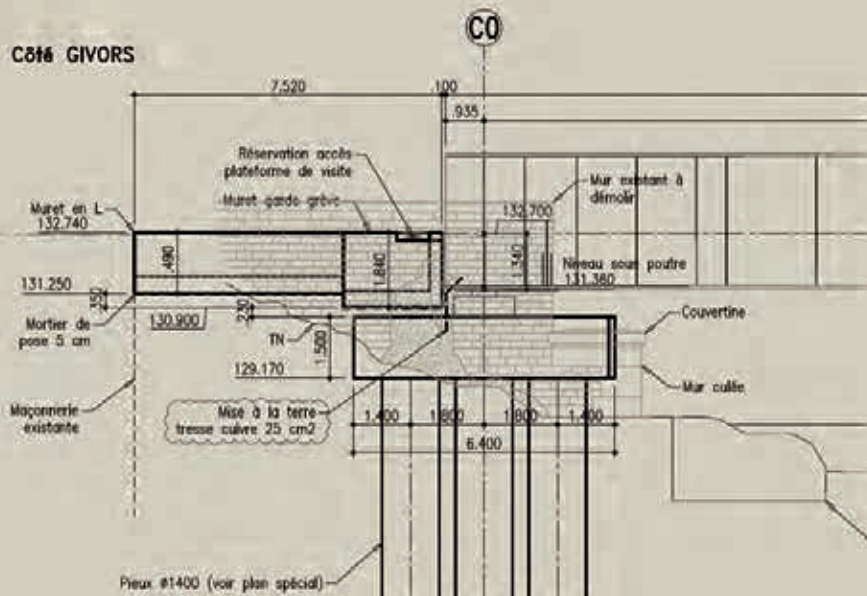
Pour les raisons évoquées précédemment, le choix s'est donc porté sur des appuis indépendants des culées existantes. Les appuis déportés latéralement, de part et d'autre de chaque culée, soient 4 au total, un sous chaque appareil d'appui du tablier, sont accolés à la culée existante mais séparés par un joint sec. Le choix s'est porté sur des pieux Ø1400 de longueur 13 m, au nombre de 3 par appui car les caractéristiques mécaniques des

sols au droit de l'ouvrage sont faibles à moyennes (figure 9). Des barrettes ont été envisagées au stade de l'AVP mais ont été abandonnées car elles nécessitent d'importants travaux de remblaiement au préalable pour disposer d'une plateforme de travail adéquate.

PHASAGE

Le tablier est prévu préfabriqué en rive, puis lancé en rivière sur des palées provisoires. L'enlèvement de l'ancien ouvrage et le ripage de l'ouvrage neuf

VUE D'UN APPUI - EXTRAIT DE PLAN D'EXÉCUTION



9

© MAIA SONNIER

7- Modélisation Ansys de l'ouvrage, phase AVP.

8- Flèche verticale et rotation des poutres sous chargement UIC71.

9- Vue d'un appui. Extrait de plan d'exécution.

7- Ansys modeling of the structure, preliminary design phase.

8- Vertical deflection and rotation of the beams under UIC71 load.

9- View of a support. Excerpt from the construction drawing.



10

© MAÏA SONNIER

sont prévus pendant une Opération Coup de Poing (OCP).

CALENDRIER DE L'OPÉRATION

Le calendrier des travaux, sur période de 20 mois, a été dicté par les contraintes environnementales et ferroviaires suivantes :

→ La mise en place des palées provisoires en rivière entre décembre 2020 et mars 2021, période peu favorable du point de vue hydraulique, du fait du risque de crue, mais

imposée pour préserver l'environnement et les frayères ;

- La réalisation des pieux des appuis définitifs en 4 week-ends sous OCP en mai 2021 ;
- La finalisation des appuis, la préfabrication et le lancement du tablier entre mars 2021 et octobre 2021 ;
- La mise en place sous OCP lors de la semaine du 11 novembre 2021 ;
- Le repli des palées en rivière, entre décembre 2021 et mars 2022, à nouveau sur une période préservant les frayères.

DÉROULEMENT DU CHANTIER

MISE EN ŒUVRE DES PIEUX

Il était initialement prévu des pieux forés tubés avec tubes définitifs. Bien que moins contraignante que des barrettes, cette solution nécessiterait tout de même des estacades pour approcher la foreuse. Le titulaire a donc proposé une solution variante de pieux à tube battu ouvert, dont la mise en œuvre peut se faire avec une grue positionnée sur la digue, sans estacade conséquente (figure 11). Une fois

battus, les tubes ont été excavés puis ferrillés et bétonnés. Le tubage n'a pas été pris en compte dans la résistance à long terme (figure 12).

Les nombreux vestiges issus de la construction initiale (pierre, bois, têtes ferrillées d'anciens pieux de palées provisoires), bien qu'identifiés sur les plans, ont constitué des obstacles importants au battage des tubes.

Un des pieux a dû être décalé de manière définitive et d'autres raccourcis de plusieurs dizaines de centimètres lors de l'excavation. ▷

10- Assemblage de la charpente sur appuis provisoires.

11- Mise en fiche des pieux BAO vue depuis la rive opposée.

12- Fin de battage des tubes des 3 pieux BAO d'un des 4 appuis.

10- Frame assembly on temporary supports.

11- Driven steel pile setting seen from the opposite bank.

12- End of tube driving for the 3 driven steel piles of one of the 4 supports.



11

© ARCADIS



12

© ARCADIS



13

© MAÏA SONNIER

La solution par pieux à tube battu semble néanmoins être plus robuste face à ce type d'obstacle qu'une solution forcée. En effet, les obstacles les plus petits sont chassés par le tube au fur et à mesure de son enfoncement.

TRAVAUX DE CHARPENTE MÉTALLIQUE

En atelier, la première phase de fabrication de la charpente métallique consistait à réaliser 10 tronçons d'environ 11 m de longueur et d'un poids de 80 t. La finition en atelier allait jusqu'à la pose du revêtement anticorrosion et la peinture. Ils étaient ensuite livrés, par convois exceptionnels, sur la plateforme destinée à l'assemblage le long de la ligne existante. Les éléments transversaux étaient, quant à eux, livrés parachévés par convoi classique (figure 10). Dans un deuxième temps, le montage sur site a été réalisé sur des appuis provisoires de 4 m de hauteur afin que la charpente soit directement à hauteur en vue de son lancement par-dessus la crête de digue. Le déchargement et l'alignement des différents caissons nécessitaient une grue mobile de 350 t. Les caissons étaient ensuite soudés jusqu'à reconstituer les 2 poutres caissons de 55 m qui supportent le tablier. En parallèle, les entretoises transver-

sales étaient assemblées sur la partie centrale du tablier.

La charpente a enfin été lancée au-dessus de l'Ay au moyen d'un treuil de 20 t. Les emprises disponibles ont permis la préfabrication et le lancement en une phase. La charpente accostait en rivière sur 4 files d'appuis équiréparties constituées de Poutres Reconstituées Soudées reposant sur des tubes métalliques battus. Les semelles inférieures des

13- Ouvrage en fin de lancement.

14- Pendant l'OCP après les ripages.

13- Structure at the end of launching.

14- During lighting operation after skidding.

caissons peintes glissaient directement sur des chaises équipées de patins en néoprène et téflon graissés (figure 13). Après le lancement, un dévérinage a été nécessaire pour placer le tablier en configuration pour son bétonnage puis son ripage pendant l'OCP.

GESTION DE L'OCP

Pour l'opération de substitution des tabliers, la ligne était coupée sur une



14

© MAÏA SONNIER



© MAÏA SONNIER
15

15- Déconstruction de l'ouvrage existant.

15- Deconstruction of the existing structure.

période de 158 heures. Sur cette plage horaire, 98 heures étaient dédiées aux travaux du marché de génie civil, les 60 heures restantes appartenant aux métiers de la voie, des caténaires et de la signalisation pour déposer et reposer l'armement et les équipements de la ligne.

Afin de respecter les délais, les travaux de démolition des culées existantes étaient conduits en parallèle sur chaque berge et tous les engins sensibles étaient doublés par sécurité. S'ensuivait le ripage de l'ancien tablier de 600 t en aval de la ligne, la reconstitution des têtes d'appuis, le ripage du tablier neuf de 2100 t, son dévérinage

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 154 heures d'Opération Coup de Poing (OCP)
- 420 m³ de béton et 75 t de ferrailage pour les appuis (12 pieux)
- 540 m³ de béton et 80 t de ferrailage pour le hourdis
- 600 m² d'étanchéité pour le tablier
- 900 t de charpente métallique et 2200 m² de peinture

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Réseau, DGII, Agence Projets Auvergne Rhône-Alpes

MOE GÉNÉRALE ET ÉTUDES : SNCF Réseau, DGII, Agence Projets Auvergne Rhône-Alpes ainsi que DTR GC OA

MOE TRAVAUX, MOE DIGUES & BARRAGES, MISSION G4 : Arcadis

ENTREPRISES TRAVAUX : groupement Maia Sonnier (mandataire, génie civil), Matière (charpente métallique), Maia Fondations (pieux provisoires et définitifs)

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Cogeci (études d'exécution génie civil), Mammoet (ripage), Sotarpi (peinture), Asten (étanchéité), Sme (démolition de l'ancien ouvrage)

et le scellement des appareils d'appui à pot au mortier à prise rapide.

Ainsi, en 40 heures sans interruption, le nouveau pont était en place sur ses appuis. Cette durée relativement courte par rapport à d'autres opérations s'explique par la faible ampleur des travaux à réaliser sous OCP sur les culées existantes du fait de l'existence de nouveaux appuis.

Cela laissait 58 heures pour la reconstitution de la plateforme ferroviaire de raccordement à chaque extrémité. Il s'agissait alors de poser des murs de soutènements préfabriqués sur site, de réaliser leurs ancrages dans la maçonnerie existante et de monter les remblais de bloc technique. La plateforme était ainsi livrée aux entreprises de voie et caténaire pour rétablir la circulation des trains (figure 14).

DÉPOSE DE L'ANCIEN OUVRAGE

Au cours de l'OCP, l'ancien ouvrage métallique a été ripé à l'aval de la ligne sur 2 chemins de ripage équipés en rivière. En vue de soulager sa structure lors des différentes étapes de son démantèlement, un appui intermédiaire a été reconstitué par un assemblage de caissons nautiques supportant des tours d'étalement. L'enfoncement des caissons a été volontairement forcé à une cote de 60 cm par dévérinage afin de garantir que le pont ne soit jamais en capacité de décollement malgré les différentes variations du niveau de la rivière. Des bâches ignifugées ont été installées en sous-face du pont pour protéger la rivière des risques de pollution au plomb lors du désossage. Le pont a ensuite été découpé au chalumeau en tronçons élémentaires, évacués par bennes de 20 m³. Cette solution, qui nécessite la mise en œuvre d'une protection conséquente en rivière, s'est avérée plus économique qu'un enlèvement par ripage qui aurait nécessité d'autres files d'appuis en rivière (figure 15). □

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE RAILWAY VIADUCT OVER THE AY, AT SARRAS

MICHEL GERBER, SNCF RÉSEAU - LILA OUKHALED, SNCF RÉSEAU - STÉPHANE LAURAND, ARCADIS - ÉMILIE CALLAMARD, MAÏA SONNIER

The Ay railway viaduct crosses the river of the same name on the right bank of the Rhône at Sarras. With an isostatic span of 55 metres, it replaces two previous generations of bridges on this site. It is a railway bridge with side girders which are formed not by I-beams but by box girders to increase their bearing capacity. The deck, formed of 900 tonnes of steel and 1350 tonnes of concrete, was put in place by launching and then skidding during a lightning operation in 158 hours while the railway line was closed. The works lasted a total time of 16 months. □

RECONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO FERROVIARIO SOBRE EL AY, EN SARRAS

MICHEL GERBER, SNCF RÉSEAU - LILA OUKHALED, SNCF RÉSEAU - STÉPHANE LAURAND, ARCADIS - ÉMILIE CALLAMARD, MAÏA SONNIER

El viaducto ferroviario del Ay cruza el río homónimo en el margen derecho del Ródano, en el municipio francés de Sarras (dpto. 07). Con una luz isostática de 55 m, sustituye a dos generaciones anteriores de construcciones en este emplazamiento. Se trata de un puente ferroviario con vigas laterales no formadas por "I" sino por cajones para aumentar su capacidad portante. El tablero, que contiene 900 t de acero y 1350 t de hormigón, se ha instalado por lanzamiento y posterior ripado, durante una operación relámpago de 158 horas de corte de la línea ferroviaria. La duración total de las obras ha sido de 16 meses. □



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION 1

LES NOUVEAUX RÉSERVOIRS D'EAU DE VALENCE (26)

AUTEURS : LINE BABIOL, CHEF DE PROJET INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES, BRLI - JENNIFER SUDRIEZ, CONDUCTRICE DE TRAVAUX PRINCIPALE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN FALALA, INGÉNIEUR MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GEOFFREY BAUMANN, INGÉNIEUR STRUCTURES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, RESPONSABLE STRUCTURES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LA NÉCESSITÉ POUR LA VILLE DE VALENCE DE SÉCURISER LA RESSOURCE EN EAU A CONDUIT À IMPLANter UN NOUVEAU CHÂTEAU D'EAU SUR LE PLATEAU DE LAUTAGNE. LES CONTRAINTES DU SITE ET LA VOLONTÉ DE CRÉER UN NOUVEL OUVRAGE SYMBOLE POUR LA VILLE SONT À L'ORIGINE D'UN PROJET AMBITIEUX, MÉLANT TECHNICITÉ DE CONSTRUCTION ET ROBUSTESSE DE L'OUVRAGE FINI, AU SERVICE D'UNE ARCHITECTURE ÉLÉGANTE À HAUTE VALEUR ENVIRONNEMENTALE.

VALENCE, VILLE AUX 3 CHÂTEAUX

Le projet d'un nouveau château d'eau pour la ville de Valence est né d'une double ambition : celle de sécuriser la ressource en eau (alimentation en eau du Centre hospitalier défense incendie du plateau de Lautagne et besoins liés à l'urbanisation) et celle de renforcer

l'identité valentinoise en faisant écho au château d'eau emblématique, créé par le sculpteur grec Philolaos en 1971. Pour ce projet, l'implantation retenue est le plateau de Lautagne, la plus haute des 4 terrasses alluviales qui composent la ville de Valence. C'est sur cette place située à 180 m d'alti-

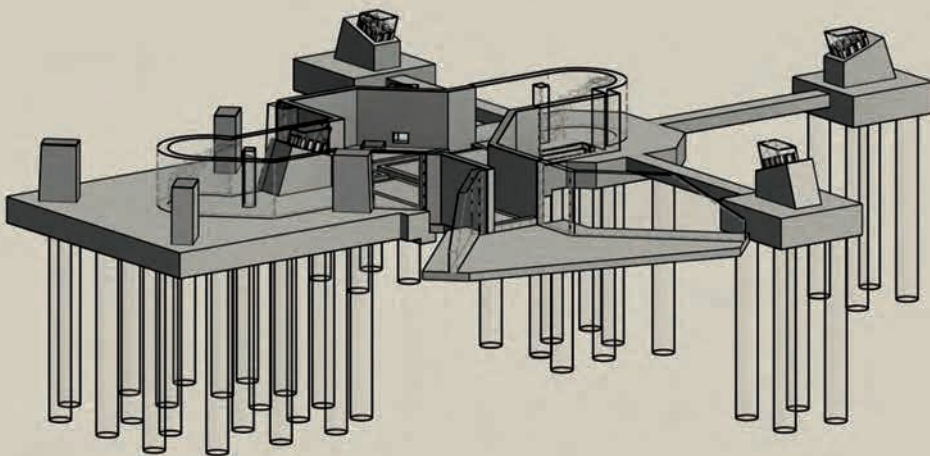
1- Vue générale du réservoir.

1- General view of the tank.

tude en entrée de ville et visible depuis la route à quatre voies qui la contourne par l'est, que le futur château d'eau représente donc un marqueur positif du paysage, à l'interface de la ville et de l'espace agricole. En 2017, le bureau d'études Brl ingénierie en groupement avec l'atelier d'ar-

FONDATION DES OUVRAGES

3D du radier



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

2

chitecture Perrin François Seidel (Pfs) fait naître un projet ambitieux, à forte valeur architecturale, technique et environnementale. Il représente non seulement le lien entre la ville et l'espace agricole mais également celui entre les deux châteaux existants qui surveillent la ville : le château de Crussol, ruine de pierre perchée sur la falaise de l'autre côté du Rhône, et le château d'eau de Philolaos, structure claire, élancée et semblant en mouvement.

Le projet architectural est basé sur le double contraste entre la rugosité de la pierre et le parement lisse du béton blanc, et celui des racines prises en terre face à l'orientation vers le ciel. La conception retenue est formée de deux cuves perchées sur des poteaux asymétriques et sur lesquels rampent une résille blanche mate et des panneaux en inox qui reflètent la lumière (figure 1).

UNE CONCEPTION DE TOUS LES DÉFIS

Cette conception architecturale engendre des défis techniques importants. La capacité de stockage est de 2500 m³, pour une hauteur totale de l'ouvrage de 35 m. L'asymétrie des appuis conduit à un chargement complexe des poteaux et fondations sous efforts de service courants (poids et pression du liquide, vent, effets thermiques). La complexité est accrue du fait du zonage sismique de la ville de Valence (zone 3 - aléa modéré).

Une étude vibratoire a été menée en analysant les modes propres de la

2- Fondation des ouvrages.

3- Modèle d'exécution Scia.

2- Structures foundation.

3- Scia construction model.

structure et les fréquences de résonance. Un modèle sous le logiciel Robot a été élaboré pour prendre en compte par la suite l'ensemble des effets dynamiques associés. Or, si les Eurocodes 8 parties 1 et 4 donnent un cadre général sur la définition du spectre de calcul et des effets dynamiques des réservoirs au sol, ils n'apportent en revanche que peu de détails sur la méthode calculatoire à suivre pour les réservoirs sur tours. La solution retenue est de croi-

ser différentes approches calculatoires comme celles proposées, par exemple par Housner ou les annales de Victor Davidovici, afin de définir précisément les valeurs des masses impulsive et convective de l'eau ainsi que la hauteur des vagues convectives créées.

Les itérations de calcul et de conception ont conduit à des fondations formant un réseau de pieux forés de 20 m de profondeur sous chaque poteau et reliés en tête par un massif de liaison de 1 m d'épaisseur. Cette conception a permis de respecter le projet architectural tout en conférant la sécurité nécessaire à un ouvrage au comportement complexe sous sollicitations dynamiques (figure 2).

Par ailleurs, bien que non structurelles, certaines parties de l'habillage architectural présentent également des enjeux techniques importants, notamment pour relier deux poteaux avec des portées dépassant la dizaine de mètres. Une étude comparative a été menée sur divers matériaux : métal peint, résine minérale, béton teinté et a fait l'objet de plusieurs maquettes, échantillons et planches d'essais. Les solutions retenues pour l'exécution sont des panneaux composites spittés sur les jupes des réservoirs, et un béton projeté sur des structures porteuses métalliques et modélisé manuellement pour les parties inférieures.

Au-delà de la technique et de l'esthétique, la conception a voulu aussi démontrer un engagement pour soutenir la biodiversité. Des nichoirs à oiseaux, par exemple pour le faucon pèlerin, sont intégrés à la structure. Une éolienne et des panneaux solaires sont également intégrés au projet afin de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement du château d'eau.

CALCUL DE L'OUVRAGE EN EXÉCUTION

Les études d'exécution de génie civil ont été menées par le bureau d'études loa. À l'exception des pieux, toute la structure a été modélisée dans un unique modèle : radier, poteaux, bracons, poutres, dalles de fond de réservoirs, fût intérieur, voiles périphériques, toiture, galerie technique avec murs de soutènement. Ce modèle a été fait avec le logiciel Scia Engineer de la société Nemetschek (figure 3).

Deux modèles ont été utilisés : un modèle pour les calculs court terme et un modèle pour les calculs long terme. Le modèle court terme utilise un module instantané du béton et des raideurs de sol court terme.



3 © DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Les résultats de ce modèle sont exploités pour l'étude sismique. Le modèle long terme utilise un module différé du béton et des raideurs de sol long terme. Les résultats de ce modèle servent à l'étude en service et pour la phase de construction.

Les études d'exécution des pieux ont été faites par Soletanche Bachy. L'interaction sol-structure dans le modèle structure a été prise en compte en modélisant des barres infiniment rigides verticales au droit des pieux et en leur affectant des raideurs en translation et rotation. Sous les semelles superficielles (radier de la galerie, murs de soutènement), la souplesse du sol a été intégrée en déclarant une raideur verticale. Ces paramètres géotechniques ont été fournis par le bureau d'études de sol. La structure étant caractérisée par des éléments fins s'appuyant sur des éléments plus massifs (poteaux ou bracons sur bassin ou fondation), il est nécessaire d'adapter le modèle afin d'éliminer les pics de sollicitation sous un effort ponctuel non représentatif. Pour la liaison bracon/semelle de

fondation, un bras rigide horizontal a été modélisé dans l'épaisseur de la semelle pour répartir la charge ponctuelle en une charge répartie sur la grande dimension du poteau.

Au droit des joints de dilatation, des dalles distinctes ont été modélisées pour assurer l'indépendance structurelle des deux éléments. Au droit des zones munies de goujons, des connexions par rotules au bord ont été faites dans le modèle pour assurer la compatibilité du déplacement vertical des deux structures. Les dalles de couverture des réservoirs supportent des édifices divers en béton armé. Pour ne pas tenir compte de la raideur de ces éléments dans les calculs structurels des dalles de couverture, ces parties n'ont pas été modélisées en tant qu'élément structural mais par des surcharges verticales. Ce même choix de modélisation a été fait pour la résille d'habillage. Une surcharge verticale uniformément répartie a été appliquée sur la totalité de la surface extérieure des voiles de cuve. Les escaliers hélicoïdaux en béton ont été préfabriqués en usine et posés

depuis le haut du réservoir. Chaque volée d'escaliers repose sur des profils métalliques en console, fixés dans le fût intérieur par chevillage. La charge verticale et le moment d'encastrement ont été introduits dans le modèle global. La géométrie des deux réservoirs et de leurs appuis n'étant pas régulière, l'étude sous charges horizontales de vent et de séisme a été faite en considérant plus que les deux directions classiques du plan. 16 cas de charges de vent correspondant à autant de directions de vent différentes ont été pris en compte, soit un maillage de 22,5°. Pour chaque cas de charge de vent, des efforts horizontaux ont été appliqués sur la cuve et sur les poteaux. Pour l'étude sismique, 8 cas de charges

horizontaux ont été considérés, soit un maillage de 45°. Une accélération de référence a_{gr} de 1,1 m/s², associée à une catégorie d'importance IV a été retenue (réservoir d'eau potable). Avec un sol classé en catégorie B, les efforts inertiels ont été estimés à 0,21 g dans la direction horizontale et 0,11 g dans la direction verticale. Ces cas de charges ont été introduits dans Scia par un poids propre dans la direction concernée et avec la pondération associée. Cela a permis d'obtenir directement les efforts inertiels des coques et barres modélisés. Pour les éléments non modélisés, des charges complémentaires de séisme ont été créées. L'incrément de poussée dynamique a été pris en compte pour les terres par l'ajout d'une surcharge calculée suivant Mononobé Okabé. L'incrément de poussée hydrodynamique a également été intégré. La pression impulsive et convective de l'effluent sur le voile de cuve a été prise en compte. Chaque cuve a été considérée alternativement pleine ou vide afin de déterminer les effets enveloppe sur les poteaux et fondations.

4- Vue générale du site et de la grue.

4- General view of the site and the crane.





5

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

PHASAGE ET MÉTHODE GÉNÉRALE

Le château d'eau étant composé de deux réservoirs, le phasage général a été relativement simple à établir.

Naturellement, les tâches ont été enchaînées pour optimiser les zones de préfabrication, les outils coffrant et les moyens de levage. La proximité des deux réservoirs a permis d'avoir une grue à tour commune aux deux ouvrages.

Pour éviter les étaitements de grande hauteur et les interactions entre les deux réservoirs, des préfabriques foraines et au sol ont été privilégiées. La plateforme de chantier a permis de créer deux zones de préfabrication survolées par la grue. Ces deux aires sont situées de part et d'autre des réservoirs (figure 4).

Les travaux ont débuté par la réalisation des pieux sous chaque réservoir. Le radier, commun aux deux réservoirs, a ensuite été réalisé. Les pieds des réservoirs ont été préfabriqués dans le même temps. Le premier fût construit est celui du petit réservoir. L'atelier de réalisation des fûts a ensuite été transféré au grand réservoir, la section des fûts étant identiques pour les deux. Les fûts ont été réalisés jusqu'à l'arase inférieure

5- Réglage des pieds préfabriqués.
6- Toiture préfabriquée.

5- Adjusting the prefabricated legs.
6- Prefabricated roof.

de la dalle de fond des réservoirs, afin d'obtenir une surface d'appui pour les éléments préfabriqués des réservoirs. Dès l'achèvement du premier fût, la pose des pieds a commencé. Cela a libéré une aire de préfabrication et a permis de réaliser les prédalles du petit réservoir. La pose des pieds du grand réservoir et la pose des prédalles du petit réservoir ont été faites en parallèle. Les prédalles du grand réservoir

ont ensuite été préfabriquées, posées et clavées. Entre temps, les bracons reliant les pieds aux fûts ont été posés. Ces phasages particuliers ont nécessité une attention particulière à la bonne réalisation des zones de clavage et de croisement des armatures des éléments préfabriqués (figure 5).

Les voiles périphériques des réservoirs ont ensuite été réalisés. Ils ont été coulés toute hauteur en deux plots pour le petit, en trois plots pour le grand. Les voiles intérieurs ont été réalisés dans un second temps. Ce phasage a permis de maintenir l'accès à l'intérieur par le fût central.

Le toit a ensuite été construit, toujours en éléments préfabriqués, posés puis clavés entre eux. Enfin, les acrotères courbes et de hauteur variable de 4 m et les édicules centraux ont été bétonnés en place depuis la toiture (figure 6). La jupe coiffant les poteaux a ensuite été posée puis les ouvrages ont été habillés par un maillage de tôle inox pour former le visuel final.

LE FÛT CENTRAL

Le fût central a un diamètre extérieur de 3,7 m, une épaisseur de voile de 0,40 m. Il a été réalisé par levées successives de 5 m.



6

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Après étude, l'utilisation d'un coffrage glissant a semblé inadapté au phasage général de réalisation. Des coffrages courbes de petits rayons ont été retenus pour leur capacité d'adaptation au rayon avec des clefs sur mesure. Une passerelle spécifique a été conçue. Elle a sécurisé l'accès au coffrage extérieur, son montage a été facilité par un palonnier et la mise en place de sabots spécifiques (figure 7).

Le même coffrage a été utilisé pour la partie inférieure et supérieure sur les deux ouvrages. Pour accélérer les cadences, le ferrailage a été préfabriqué sur la zone de chantier. Afin d'éviter son retournement, l'anneau complet a été fabriqué en position verticale contre un support métallique spécialement conçu.

LES PIEDS MONUMENTAUX

Chaque réservoir possède 4 pieds d'une hauteur de 18,5 m. Les pieds sont composés d'une poutre en sous face de la dalle, d'un poteau incliné qui redescend jusqu'à la semelle et de bracons qui relient le poteau au fût (figure 8).

La solution consistant à couler en place ces pieds monumentaux a été exclue. Elle nécessitait la mise en place d'un coffrage de grande hauteur et de nombreux coffres intérieurs en bois pour réaliser les poteaux, les poutres et les bracons. Une solution de préfabrication



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

7- Coffrage du fût central.

8- Vue générale des pieds et du fût.

7- Formwork for the central barrel.

8- General view of the legs and barrel.

au sol, permettant un travail de qualité et en sécurité pour un coût moindre a donc été retenue.

Les poteaux ont été préfabriqués sur leurs extrados (figure 9). L'ensemble poteau-poutre a été préfabriqué en 2 étapes : d'abord la poutre puis le poteau. Une fois la poutre préfabriquée,

elle a été levée, tournée et disposée en about du coffrage du futur poteau. Le poteau a ensuite été ferrailé et bétonné. Cette technique a permis de réaliser le clavage entre les deux éléments directement pendant le bétonnage du poteau. Cette méthode a permis de ne travailler qu'avec des coffres horizontaux et d'utiliser au maximum la zone de préfabrication.

La position horizontale du poteau sur l'aire de préfabrication a facilité la mise en place du ferrailage au droit de la future zone de clavage au niveau des bracons. Chaque poteau a été équipé d'un axe de retournement situé juste au-dessus du centre de gravité.

Le poteau a ensuite été levé avec deux grues puis tourné à la verticale. À la fin du retournement, la totalité de la charge levée (60 t) est reprise par une seule grue, le poteau était alors tourné dans sa position finale.

En pied, chaque poteau est ensuite liaisonné à la semelle à l'aide d'ancrages Peikko. Grâce à ce système, le montage est simplifié et l'assemblage s'apparente à de la charpente métallique. La liaison en tête est réalisée plus classiquement par un clavage béton armé dans des zones de réservations dédiées (figure 10).

Dans un premier temps, les grues ont été placées pour pouvoir poser les quatre poteaux en changeant une seule fois de position.



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

9- Préfabrication des pieds.

10- Ancrages Peikko.

11- Supportage des prédalles de fond des réservoirs.

9- Prefabrication of the legs.

10- Peikko anchor bolts.

11- Supporting structure of the tank bottom precast slabs.

Dans un second temps, les bracons semi-préfabriqués ont été mis en place puis clavés sur les poteaux et le fût. Ces nœuds de liaison complexes (notamment du fait du séisme) ont nécessité un travail fin sur la conception du ferrailage et une méthodologie de mise en place lente et détaillée.

LA DALLE

Les quatre poteaux découpent naturellement la dalle en quatre quarts. Une fois encore, la préfabrication a permis d'éviter la mise en place d'étais lourds et de grande hauteur, et de maximiser la place disponible au sol. En effet, les pieds des deux réservoirs se croisent au niveau de la galerie

technique, créant une zone de conflit de travaux non souhaitable.

Des quarts de prédalles de 30 cm d'épaisseur et de 40 t (pour le grand réservoir et 10 t pour le petit) ont été fabriqués sur le chantier puis posés avec une seule grue. Chaque prédalle prend appui sur les poutres et poteaux

déjà réalisées. Ces éléments étant préalablement équipées de consoles métalliques. Cette méthodologie a permis un réglage altimétrique fin des dalles préfabriquées et donc du réservoir à construire.

Les prédalles ont été optimisées en épaisseur pour permettre le levage et

le bétonnage sans surconsommation d'armatures.

La flèche estimée des prédalles lors du bétonnage de la dalle de compression est diminuée à l'aide de profilés intermédiaires inférieures, retirés après la réalisation des voiles de réservoir (figure 11). ▷

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

11

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LE RÉSERVOIR

La différence de diamètre entre les deux ouvrages ne rendait pas avantageuse l'utilisation d'un coffrage glissant. Cette contrainte et la nécessité de réaliser un ouvrage étanche dans la masse (et donc de limiter les reprises de bétonnage) ont conditionné le choix d'un coffrage de voile toute hauteur. Des banches de grand rayon et d'une hauteur de 12 m ont été utilisées. Compte tenu de la hauteur et de leur position à 19 m au-dessus du sol, un abaque spécifique de vent a été établi, permettant de garantir la stabilité provisoire des banches.

Pour le petit réservoir, le phasage de réalisation des voiles est le suivant : pose des banches extérieures, stabilisation par l'intérieur, ferrailage depuis l'intérieur puis fermeture du coffrage. Cette méthode, initialement retenue car plus sécuritaire, s'est avérée à l'usage non optimale en termes de cadence, notamment pour la pose du ferrailage (figure 12). Pour le grand réservoir, le phasage et la méthode générale ont été revus pour garantir à la fois sécurité et cadence. Les peaux intérieures ont été posées en premier. Le ferrailage a été préfabriqué au sol, par paillasse, puis posé par l'extérieur avec des nacelles grande hauteur. L'accès à la peau extérieure a été rendu possible par l'installation de passerelles-pignons placées sur des contre- consoles. Un platelage de circulation de 1,5 m avec les garde-corps incorporés est ajouté tout autour des réservoirs, permettant de recréer des conditions optimales d'exploitation et de sécurité (figure 13). Le coffrage extérieur est placé et stabilisé à la fin du montage du ferrailage, de façon plus simple et sans interaction avec d'autres éléments provisoires.

HABILLAGE ARCHITECTURAL

L'habillage architectural imaginé par le cabinet d'architectes Perrin François Seidel se compose de 2 parties respectivement appelées "jupe" et "cuve". La cuve est la zone recouvrant l'ensemble des cuves des réservoirs depuis le radier jusqu'à l'arase supérieure des acrotères. Elle est constituée de tôles inox de 1 m x 3 m partiellement recouvertes d'une résille en Poly Méthacrylate de Méthyle Acrylique (PMMA) blanc mat.

Ces tôles, au nombre de 400, sont fixées mécaniquement aux voiles des cuves par des chevilles à frapper inox avec interposition de joint polymère et de rondelle inox pour permettre la libre dilatation des pièces vis-à-vis du



12

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

gradient thermique (écarts thermiques importants entre le béton qui est à la température de l'eau et la jupe qui est exposé au rayonnement solaire).

Chaque tôle est fixée par 60 chevilles au béton afin de résister aux conditions extrêmes de vent.

Afin de pallier la différence de dilatation des deux matériaux constitutifs de cet habillage (inox et PMMA), ce dernier est traité de manière à ne pas être bridé par les chevilles. Des empochements sont ainsi réalisés afin de laisser la rondelle plaquer uniquement la tôle et non le PMMA.

Des caches usinés à la dimension viennent ensuite masquer ces empochements afin de garantir un rendu uniforme de la résille.

Le PMMA est lui-même rendu solide de l'inox par de l'adhésif haute performance et des rivets pop blancs.

12- Coffrage extérieur des parois du réservoir.

13- Coffrage des parois du grand réservoir.

12- External formwork for the tank walls.

13- Formwork for the walls of the large tank.



13

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

La pose de ces plaques, rendue complexe par la hauteur d'intervention, la prise au vent des plaques et le nombre de fixations à mettre en place est réalisée par les équipes de génie civil.

Des gabarits sur mesure, cintrés pour épouser la forme du béton, permettent le positionnement des tôles et la présentation face au voile béton. Les tôles sont sécurisées sur le gabarit par des ventouses articulées.

Le gabarit, équipé de la tôle, est gruté depuis le sol par un chariot télescopique de grande capacité.

Deux équipes de compagnons répartis dans deux nacelles assurent le guidage et le réglage des tôles avant perçage final et mise en place des chevilles (figure 14).

La jupe est la zone qui descend sous la partie en tôles inox jusqu'à se raccrocher aux poteaux. Elle est constituée d'une charpente métallique primaire spittée à la structure béton, cette



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

14- Pose des panneaux inox-PMMA.

14- Placing stainless steel-PMMA panels.

14

charpente supportant un béton projeté architectural prolongeant la cuve.

Cette structure primaire est renforcée et complétée afin d'épouser la forme dessinée par l'architecte. Un grillage est soudé sur ces charpentes primaires et secondaires afin de permettre l'accroche du béton projeté.

La projection du mortier se déroule en plusieurs passes. La sculpture de la forme définitive intervient sur la dernière couche projetée, par retrait de matière à l'aide de peignes. L'utilisation d'un béton projeté blanc permet d'obtenir une homogénéité de teinte avec le PMMA de la cuve.

La jupe présente également des tôles inox incorporées dans la charpente, remplissant parfois certaines alvéoles tandis que d'autres sont laissées évadées.

L'ensemble des travaux sur la jupe : mise en place de la charpente, soudage sur place, projection et sculptage du mortier, a entièrement été réalisé à la nacelle par les équipes du sous-traitant Aab.

Le rendu final de la combinaison de ces 2 parties est spectaculaire donnant l'impression d'une dentelle venue envelopper les 2 monumentales structures en béton. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 1 600 m³

SURFACE DE COFFRAGE MOBILISÉE POUR LES VOILES DES CUVES : 400 m²

SURFACE DE COFFRAGE MOBILISÉE POUR LES FÛTS CENTRAUX : 100 m²

NOMBRE DE TÔLES INOX D'HABILLAGE ARCHITECTURAL : > 400 u

NOMBRE DE FIXATIONS TOTAL DES TÔLES D'HABILLAGE : 25 000 u

SURFACE DES BANCS DE PRÉFABRICATION AMÉNAGÉS SUR SITE : 432 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Eau de Valence Romans Agglo

MAÎTRISE D'ŒUVRE :

Brl Ingénierie - Atelier Perin François Seidel Architectes

GROUPEMENT ENTREPRISE :

Demathieu Bard Construction - Soletanche Bachy - Berthouly

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION : Ioa

FOURNITURE TÔLES D'HABILLAGE ARCHITECTURAL + RÉALISATION DES JUPES EN BÉTON PROJETÉ : Aab

CUVELAGE À L'INTÉRIEUR DES RÉSERVOIRS DE STOCKAGE D'EAU POTABLE : Etandex

ABSTRACT

NEW WATER TANKS IN VALENCE

LINE BABIOL, BRLI - JENNIFER SUDRIEZ, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN FALALA, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GEOFFREY BAUMANN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

The new water tower in Valence is the result of a strong architectural ambition implemented by an ambitious design. The very slender structure built in a seismic zone required great technical expertise during the design and then the construction phases, notably using optimised methods and organisation. A large number of construction techniques for in-situ casting, prefabrication and installation of architectural members were employed to achieve the objectives set for the finished structure. □

LOS NUEVOS DEPÓSITOS DE AGUA DE VALENCE

LINE BABIOL, BRLI - JENNIFER SUDRIEZ, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN FALALA, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GEOFFREY BAUMANN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

El nuevo depósito elevado de agua de Valence es fruto de una sólida voluntad arquitectónica, apoyada por un diseño ambicioso. La construcción, muy esbelta y construida en zona sísmica, ha exigido una gran técnica en los estudios y en la posterior realización, lograda gracias a la optimización de los métodos y la organización. La multitud de técnicas de construcción en términos de colado in-situ, prefabricación y colocación de elementos arquitectónicos ha estado a la altura de los objetivos fijados para la obra terminada. □



1
© DUHAMEL KARIOTY

AMÉNAGEMENT DE L'ÎLE SEGUIN (92) - NOUVEAU PONT SEIBERT

AUTEURS : PATRICE AUFFRET, EXPERT CHARPENTE METALLIQUE, INGEROP - NICOLAS LEGORGEU, RESPONSABLE MARCHÉ DE TRAVAUX, INGEROP - PAUL GROLLEAU, ARCHITECTE, AEI - VINCENT SIELI, DIRECTEUR TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - FREDERIC VAN COPPENOLLE, DIRECTEUR TRAVAUX CHARPENTE METALLIQUE, BAUDIN CHATEAUNEUF

DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT DES TERRAINS DES ANCIENNES USINES RENAULT SUR L'ÎLE SEGUIN, LE PONT SEIBERT, UN DES DEUX ACCÈS HISTORIQUES, A ÉTÉ DÉMOLI ET LA CONSTRUCTION D'UN NOUVEAU FRANCHISSEMENT EST SUR LE POINT DE S'ACHEVER. CET OUVRAGE MÉTALLIQUE DE 150 m DE LONG, CONSTITUÉ D'UNE PARTIE EN ARC AU-DESSUS DE LA SEINE, SUPPORTERA LA CIRCULATION D'UNE LIGNE DE BUS SUR SA PARTIE CENTRALE, AINSI QUE DES MODES DOUX SUR LES CONSOLES EN RIVE DE L'OUVRAGE.

PRÉSENTATION DU PROJET DU NOUVEAU PONT SEIBERT LE PONT SEIBERT HISTORIQUE

Le Pont Seibert était un des deux ponts historiques permettant d'accéder à l'île Seguin depuis la commune de Meudon. Il a été construit en 1931 par l'entreprise qui lui a donné son nom. Totalement intégré à l'usine Renault, il était composé d'une travée sur Seine en structure Warren d'une longueur

de 82 m, puis de travées métalliques simples et d'une travée en béton côté Meudon. Sa largeur utile était d'environ 10,5 m. Avec la fermeture de l'usine et les projets d'aménagement sur l'île, sur la RD7 et à Meudon, de nouveaux usages ont émergé : passage de modes doux (piétons et cycles), TCSP, promenade et événementiel. Ces derniers sont alors en contradiction avec les données géométriques du pont

**1- Vue générale
de l'ouvrage.**

**1- General view
of the bridge.**

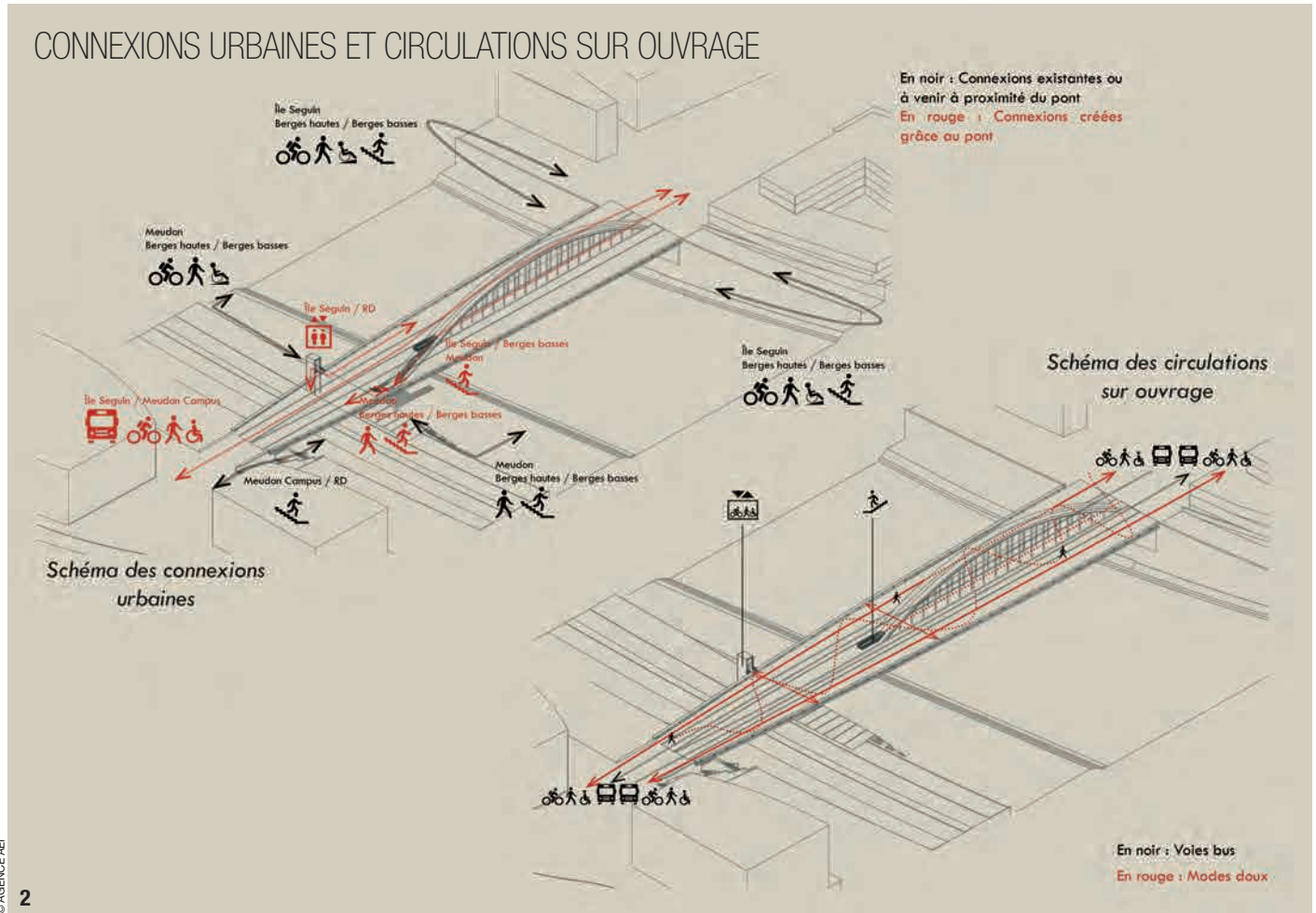
Seibert d'origine. Pour ces différentes raisons techniques et d'usages, le remplacement du pont Seibert a été acté et sa dépose a été réalisée en 2018.

STRATES URBAINES

Les aménagements récents (Meudon Campus, berges de l'île Seguin, transformation de la RD7 en boulevard urbain et parc des berges) et ceux à venir (voies bus, île Seguin) concentrent sur le pont Seibert des nouveaux enjeux de connexion et des nouveaux besoins.

À cet emplacement, le franchissement doit :

CONNEXIONS URBAINES ET CIRCULATIONS SUR OUVRAGE



- 1- Proposer des continuités urbaines pour les cheminements modes actifs et bus ;
- 2- Révéler les aménagements urbains récents ;
- 3- S'inscrire dans un paysage en évolution.

COMPOSITION URBAINE ET RAPPORT À LA SEINE

À l'échelle du territoire, le pont Seibert permet de mailler le réseau du point de vue des déplacements (transports en commun ou modes doux). À ce titre, le pont Seibert concentre de nombreux enjeux liés à la mobilité et à son rôle d'espace public majeur. Plus qu'un franchissement, le pont Seibert est pensé comme un prolongement des parvis et places à proximité, rôle renforcé par son emplacement au-dessus de la Seine (figure 1).

La composition générale de l'ouvrage est faite d'une arche entrecoupée d'une horizontale très marquée. Ainsi, l'arche magnifie la Seine et souligne les aménagements paysagers qualitatifs à proximité. L'horizontale marque, quant à elle, le lien entre l'île Seguin et Meudon au-dessus de l'eau.

- 2- Connexions urbaines et circulations sur ouvrage.
- 3- Vue depuis le pont vers l'île Seguin.

- 2- Urban connections and traffic on the bridge.
- 3- View from the bridge to Seguin Island.

CONNEXIONS CRÉÉES ET USAGES

Au cœur de l'ouvrage, les voies de bus, contiguës côté Meudon, s'écartent pour laisser place aux arcs. Sur les rives, l'espace est dédié aux modes doux (piétons et cycles). L'accessibilité au pont est garantie grâce à une accroche urbaine à niveau sur la placette Meudon et sur le parvis Daydé. L'ensemble du tablier est à un niveau équivalent afin d'appuyer le principe de grand plateau urbain (figure 2).

La force du pont Seibert réside dans la multiplicité de parcours et les liaisons piétonnes qu'il propose aux usagers entre les différents niveaux.

L'ascenseur sur le quai haut assure une liaison entre le franchissement, et plus largement l'île, et les berges rive gauche. L'escalier situé dans l'arc donne accès au parc des berges depuis l'île.

MATÉRIAUX

La matérialité du pont Seibert correspond à une volonté d'homogénéité d'ensemble alliée à une recherche de durabilité et de travail fin des calepinages et modénatures (figure 3).

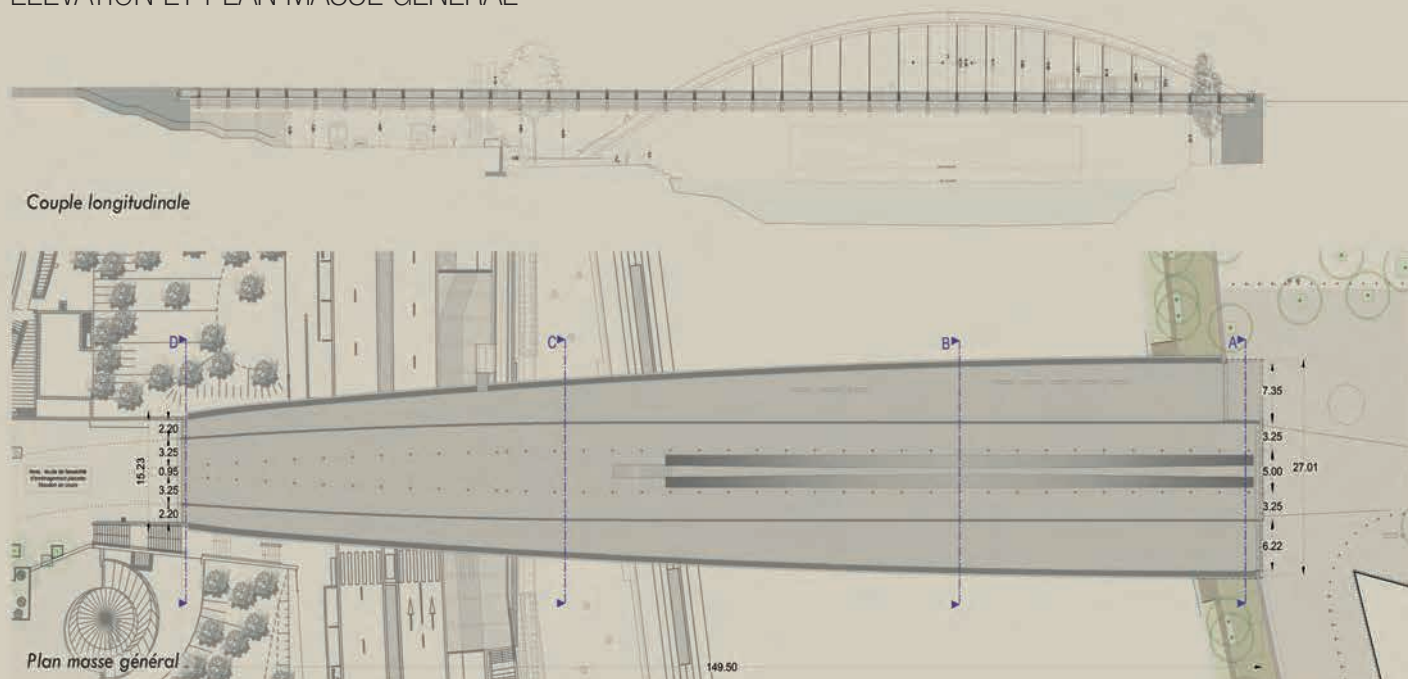
La charpente métallique de l'ouvrage est la première expression de son architecture. Elle reçoit un complexe de protection anticorrosion et de finition afin de garantir sa durabilité, constitué de 3 couches de classe d'environnement C4 agréée par l'Acqpa.

Dans un souci de cohérence, les équipements situés dans la continuité de la structure comme les garde-corps sont également métalliques.

Le revêtement du pont Seibert est en béton, décliné selon les différents usages.



ÉLÉVATION ET PLAN MASSE GÉNÉRAL



4

© AGENCE AEI RCR INGÉROP

La partie centrale, située sur le caisson métallique, reçoit une finition béton coulé en place alors que les portions latérales, au niveau des consoles, sont revêtues de BFUP (Béton Fibré à Ultra haute Performance), permettant de réduire l'épaisseur des dalles à 7 cm, pour une portée de 3,70 m.

L'étanchéité et la protection du plate-lage métallique du caisson sont assurées par une couche de protection de type SEL (Système d'Étanchéité Liquide) à base de résine époxy-bitume à froid.

L'inox brossé ou laminé à chaud est présent pour les équipements plus fins (bornes d'éclairage, bordures, maille des garde-corps). Ainsi, au niveau du sol, un lanierage réalisé avec des fers plats permet de redécouper la plateforme et de redonner une échelle de place piétonne au franchissement.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

DIMENSIONS ET GÉOMÉTRIE

Le pont franchit une brèche d'environ 150 m de long. L'arche principale qui culmine à 11 m au-dessus du tablier, soutient le pont et se dédouble transversalement pour laisser émerger une faille en son cœur. La largeur du pont varie entre 13 m, au niveau de la culée côté Meudon (C0), et 27 m en arrivant sur l'île Seguin (C2) (figure 4).

COMPOSITION ARCHITECTURALE ET STRUCTURELLE

Au-dessus de la Seine, de part et d'autre des arches auto-ancrées, l'ensemble des voies et des espaces du franchissement est porté par un caisson central à dalle orthotrope, constituant la travée bowstring (portée 80 m), appuyé simplement sur C2 et avec un arc encastré en P1-B. La portion per-

4- Élévation et plan masse général.

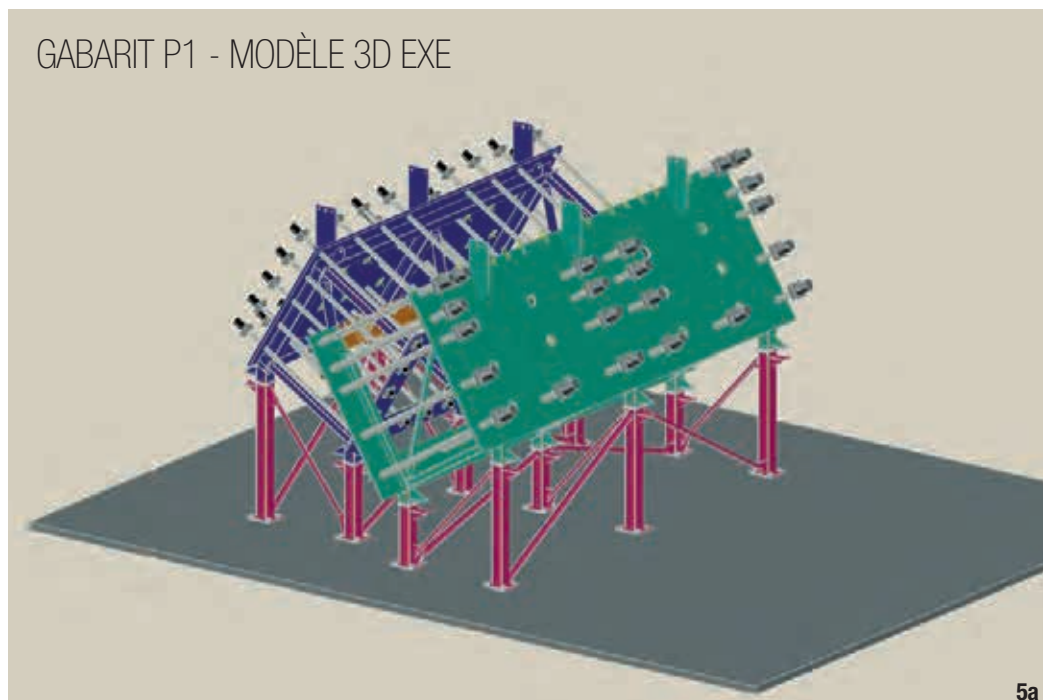
5a- Gabarit P1 - Modèle 3D EXE.

4- Elevation view and general layout plan.

5a- Gauge P1 - 3D EXE model.

mettant de franchir la RD (portée 40 m) est constituée uniquement de ce tablier horizontal, appuyé simplement sur C0 et encastré en P1-A. La portion sur les berges (portée 30 m) est encastrée en P1-A et P1-B. Les trottoirs sont installés en console sur le tablier. Afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage, l'appui central est renforcé par une béquille vers Meudon.

GABARIT P1 - MODÈLE 3D EXE



5a

© BAUDIN CHATEAUNEUF



© BAUDIN CHÂTEAINEUF
5b

La charpente métallique est constituée de 2000 t d'acier S355K2, N ou NL suivant l'épaisseur des tôles. L'épaisseur maximale (85 mm), est obtenue à l'intersection avec l'arc, au niveau des âmes centrales du caisson.

ÉTUDES EN PHASE CONCEPTION
L'ouvrage a été dimensionné pour reprendre les charges routières des

5b- Gabarit P1 - Mise en place du gabarit.
6- Coupe transversale de l'ouvrage.

5b- Gauge P1 - Installing the gauge.
6- Cross section of the structure.

Eurocodes de classe 2 ainsi que la charge de foule. Les suspentes ont également été dimensionnées pour éviter les risques de fatigue sous l'action du vent.

Les sollicitations dans l'ouvrage en phase de conception ont été déterminées à partir d'un modèle filaire réalisé avec le logiciel ST1 du Cerema. Ce modèle a également permis de

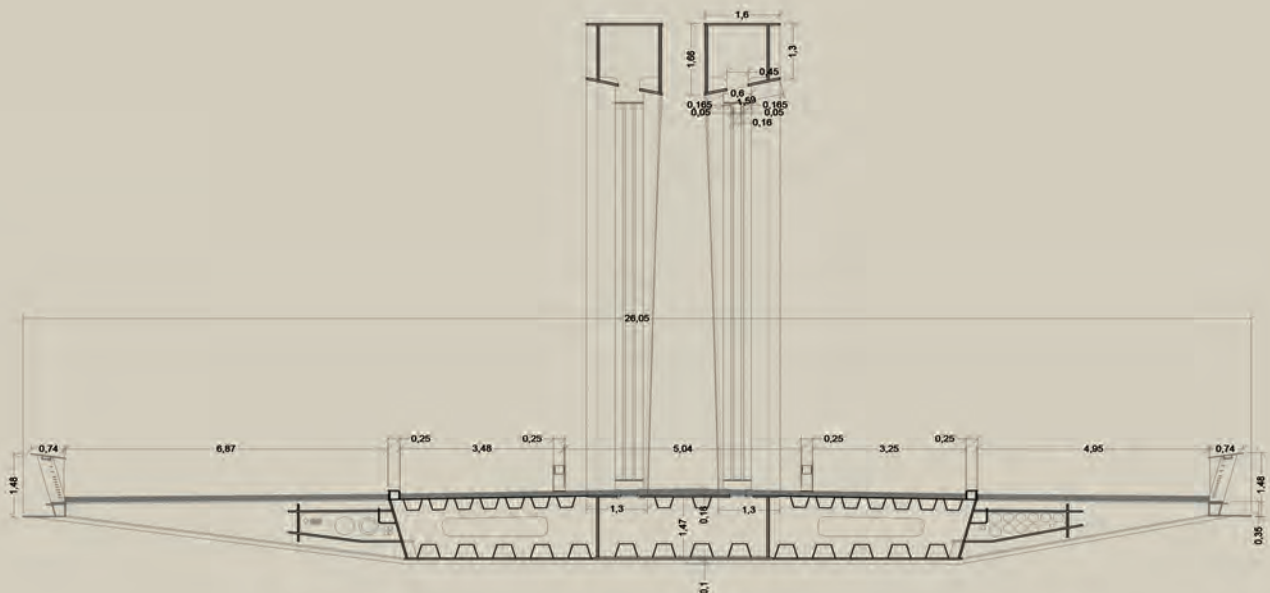
réaliser les études dynamiques et de flambement. Des modèles locaux aux éléments finis sous le logiciel Sofistik ont également été établis afin de justifier la charpente métallique au niveau des nœuds de liaison entre le tablier, l'arc et les branches inclinées.

LES PILES ET CULÉES CULÉES

Les positions des culées sont quasiment identiques à celles de l'ouvrage démolé. Dès la conception, la position des pieux existants des anciennes culées, issue des plans d'origine de 1931, a été intégrée pour le calepinage des pieux du projet. La culée C0 est fondée sur 8 pieux Ø1200, et la culée C2 sur 15 pieux Ø1200. Lors de la réalisation, seul un pieu a dû être décalé côté culée C2 suite à la rencontre d'un pieu existant lors du forage. La construction de la culée C2 a été réalisée en 2 temps :

- 1- Pieux et semelle, soutènement en palplanches avec tirants passifs, puis remblaiement à l'arrière du rideau de palplanches (hauteur 8 m) ;
- 2- Mur de front, chevêtre et mur garde-grève, recépage des palplanches et désactivation des tirants, puis remblais liquides sur toute la hauteur entre le rideau de palplanches et la culée permettant de ne pas apporter d'efforts dans les pieux lors du ripage du tablier (pression de 13 t/m² au droit de la zone d'évolution des remorques automotrices à l'arrière de la culée).

COUPE TRANSVERSALE DE L'OUVRAGE



© AGENCE AEI RCR INGÉROP
6

MASSIFS D'ANCRAGE P1

Les deux paires de béquilles sont ancrées sur le massif P1 fondé sur 10 pieux Ø1 200 implantés de façon à éviter les pieux existants des anciennes piles.

Le niveau inférieur de la semelle étant situé environ 1 m sous le niveau de la nappe, un batardeau en palplanches a été réalisé, ainsi qu'un bouchon hydraulique liaisonné aux têtes de pieux. Après réalisation de la pile et remblaiement, les palplanches ont été recépées.

L'ancrage des béquilles est assuré par 2x18 barres McAlloy Ø50 sur P1-B et 2x15 barres McAlloy Ø36 sur P1-A. Afin de s'assurer de la précision attendue de mise en place des barres, un gabarit de montage intégrant les barres, étudié à partir d'une modélisation 3D, a été élaboré en phase EXE et posé avant ferrailage de l'ouvrage (figure 5). L'ouvrage n'étant encastré que sur cette pile, les efforts très importants ont nécessité la mise en œuvre de béton C60/75 ainsi que d'une couche de matage de mortier sans retrait à prise rapide après la mise en place des béquilles et mise en tension des barres une fois l'ouvrage à sa position définitive.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

TABLIER

La hauteur du caisson métallique est constante à 1,50 m environ sur toute



7

© BAUDIN CHÂTEAUNEUF

sa longueur. Il est constitué de trois alvéoles (figure 6), la partie centrale est renforcée au niveau des ancrages des arcs afin de permettre d'équilibrer la poussée de ces derniers. Le tablier assure quant à lui le tirant de la partie "bowstring". La rigidité du caisson permet de reprendre la torsion sous charge permanente générée par la dissymétrie transversale de l'ouvrage.

Les consoles s'inscrivent dans le prolongement des diaphragmes du caisson espacés de 4,0 m. Elles sont constituées de caissons et ajourées de façon

7- Fabrication des caissons du tablier.

8- Mise en place des tronçons d'arcs sur palées provisoires.

7- Manufacture of deck box girders.

8- Placing arch sections on temporary bents.

à permettre le passage des réseaux qui alimenteront les différents équipements de l'île. La largeur des consoles varie de 3,5 m à 7,2 m.

ARCS ET SUSPENTES

La partie de tablier située sur la Seine est suspendue à deux demi-arcs centraux par l'intermédiaire de suspentes métalliques. L'arc s'élève à 11,0 m au-dessus du tablier conférant ainsi au bowstring un élancement au 1/7°. Les arcs sont constitués de caissons trapézoïdaux de largeur et de hauteur



8

© BAUDIN CHÂTEAUNEUF



© INGÉROP
9

variable. La hauteur varie entre 1,80 m au niveau de l'ancrage sur le tablier et 1,66 m à la clé. La largeur varie de 1,30 m à 1,60 m. En l'absence d'entretoise, la stabilité au flambement des arcs est assurée par leurs ancrages dans le tablier.

Les suspentes sont constituées de 3 lames métalliques soudées sur les diaphragmes des arcs et du tablier. Ainsi, le réglage de la tension dans les suspentes n'est pas possible lors de la mise en place, ce qui nécessite une analyse minutieuse du processus de soudage.

9- Palée provisoire pile P1 et béquilles.

10- Arrière- bec de la travée Bowstring.

9- Temporary bent of pier P1 and struts.

10- Launching tail of the bowstring arch span.

FABRICATION ET TRANSPORT

Les éléments métalliques constituant l'ouvrage (tablier, arcs, béquilles, consoles et suspentes) ont été fabriqués et peints dans les ateliers Baudin Chateaufort à Châteaufort-sur-Loire (figure 7).

Afin de pouvoir transporter l'ouvrage depuis l'usine jusqu'à l'île Seguin, les éléments de la charpente ont été réalisés en plusieurs tronçons, acheminés sur site par transport routier. Pour permettre le transport par convois exceptionnels, l'ouvrage a été fabriqué suivant

le tronçonnement suivant : 24 tronçons de tablier, 8 tronçons d'arcs, 4 béquilles, 73 consoles, 26 tronçons de caisson de rive, 30 suspentes. Les éléments les plus imposants avaient une longueur allant jusqu'à 24 m (arc), et un poids jusqu'à 75 t (tronçon tablier).

Des montages à blanc du tablier et des arcs ont été réalisés en atelier afin de confirmer la géométrie des pièces fabriquées et garantir la conformité de l'assemblage à réaliser sur le chantier. Les interfaces entre la charpente métallique et les nombreux équipements (habillage en sous-face des consoles, dalles BFUP, garde-corps de rive, ...) ont imposé des tolérances de fabrication de +/-5 mm en tout point de l'ouvrage.

ASSEMBLAGE SUR SITE

Après leur arrivée sur l'île Seguin, les tronçons de charpente ont été assemblés en 2 travées sur une plateforme dédiée : la travée RD7 (longueur : 50 m) et la travée bowstring (longueur : 100 m).

Les opérations d'assemblage se sont déroulées dans l'ordre suivant :

- Assemblage du tablier de la travée RD7 ;
- Assemblage du tablier de la travée bowstring ;
- Assemblage des arcs sur palées provisoires (figure 8) ;
- Assemblage des suspentes ;



10
© INGÉROP

- Mise en place des béquilles en P1 sur appuis provisoires ;
- Mise en place des appareils de montage :
 - Palée provisoire en P1 de capacité 1 200 t (figure 9),
 - Arrière-bec sur la travée bowstring de capacité 1 000 t (figure 10),
 - Calages en C0 et C2,
 - Butons de renforcement de la travée bowstring,
 - Poutres de roulement en P1.

MISE EN PLACE DE L'OUVRAGE

La mise en place de l'ouvrage s'est déroulée en 2 phases de 4 jours et 4 nuits.

1^{re} PHASE : MISE EN PLACE DE LA TRAVÉE RD7

La travée RD7 a été prise en charge sur la plateforme d'assemblage par 2 lignes de SPMT (remorques automotrices). Après acheminement par les SPMT jusqu'à la culée C2, la travée a été transférée sur une palée supportée

par 2 autres lignes de SPMT positionnées sur une barge accostée côté île. Après navigation de la barge vers les berges de Meudon, la travée RD7 a été transférée jusqu'à sa position finale, au-dessus de la RD7, par les 2 lignes de SPMT, en passant de la barge aux poutres de roulements installés sur les berges puis la RD7 (figure 11).

2^e PHASE : MISE EN PLACE DE LA TRAVÉE BOWSTRING

La travée bowstring a été acheminée jusqu'à la culée C2 à l'aide de 3 lignes de SPMT. L'avant de la travée a été transférée sur une palée de ripage positionnée sur la barge et l'arrière a été pris en charge par l'arrière-bec (figure 12). Après avoir traversé la Seine à l'aide de la barge et des SPMT positionnés sous l'arrière-bec, la structure a été ripée jusqu'à sa position finale.

CLAVAGE ET DÉVÉRINAGE AU NIVEAU DEFINITIF

Après mise en place et réglage, les 2 travées ont été dénivelées à un

niveau provisoire à l'aide de 4 tours de dévérinage pour permettre le soudage du joint de clavage sans brisure de la géométrie.

Cette opération réalisée, les 4 béquilles ont été levées à l'aide de vérins, réglées puis soudées au tablier. Après soudage des béquilles, le matage entre les béquilles et la pile P1 a été réalisé avec un mortier de scellement à prise rapide.

Une fois la résistance du matage atteinte, les barres d'ancrage des béquilles sur P1 ont été mises en tension, puis l'ouvrage a été dénivelé à son niveau définitif (mise en tension des 36 barres Ø50 avec un effort de 1 300 kN par barre, et mise en tension

des 30 barres Ø36 avec un effort de 700 kN par barre).

La pose et le matage des appareils d'appui a été réalisé après le bétonnage du tablier.

OUVRAGES PROVISOIRES POUR LA MISE EN PLACE

Sur les berges de Meudon, pour la reprise des charges durant le dévérinage de la travée Bowstring, un massif sur HEB450 a été réalisé afin de retransmettre les charges sur les fondations existantes de l'ancien pont. Les caractéristiques des fondations existantes ont été extraites des documents d'archive mis à disposition, et leur capacité portante vis-à-vis des charges rapportées a été vérifiée par calcul.

Les HEB ont été scellés sur le bouchon hydraulique du batardeau. Cela a permis d'éviter de nouvelles interfaces avec les fondations existantes. Les massifs supports des tours de dévérinage de la travée RD7 et des poutres de roulement des kamags au

11- Mise en place de la travée RD7.

11- Placing RD7 span.





12

© DUHAMEL KARIOTY

droit de la pile P1 ont été réalisés sur 28 micropieux.

Côté île Seguin, afin de transférer chaque travée sur la barge, les poutres de ripage situées au niveau des berges ont été appuyées sur la semelle de la culée C2, sur laquelle des consoles provisoires en béton armé ont été ajoutées. □

12- Mise en place de la travée Bowstring.

12- Placing the bowstring arch span.

PRINCIPALES QUANTITÉS

POIDS DU TABLIER MÉTALLIQUE : 1 420 t

POIDS ARCS / BÉQUILLES / SUSPENTES MÉTALLIQUES : 580 t

BÉTON : 1 200 m³

ARMATURES DE BÉTON ARMÉ : 170 t

ÉTANCHÉITÉ / REVÊTEMENT BÉTON SABLÉ DU TABLIER : 1 900 m²

EFFECTIF EN POINTE : 50 personnes

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SPL Val de Seine Aménagement

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingérop (mandataire), Aei

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

Chantiers Modernes Construction (mandataire), Terideal, Baudin Chateaufneuf

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS / FOURNISSEURS :

- Bureaux d'études : Eogc (génie civil), Greisch (charpente métallique), Seco (contrôle externe)
- Fondations profondes : Botte Fondations
- Démolitions / terrassements : Saperfe
- Fourniture et mise en œuvre armatures béton : Mecab
- Éclairage / réseaux secs / réseaux humides : Bouygues Energies et Services
- Garde-corps de rives : Ecmb
- Métalleries dans les consoles du tablier : Metalset
- Dalles BFUP : Méditerranée Préfabrication
- Mise en place de l'ouvrage : Sarens
- Étanchéité du tablier : Eurovia

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF SEGUIN ISLAND - NEW SEIBERT BRIDGE

PATRICE AUFFRET, INGEROP - NICOLAS LEGORGEU, INGEROP - PAUL GROLLEAU, AEI - VINCENT SIELI, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - FREDERIC VAN COPPENOLLE, BAUDIN CHATEAUNEUF

Construction of the new Seibert Bridge forms part of the development plan for Seguin Island in Boulogne-Billancourt. The general composition of the structure fits in with its environment, and the choice of materials corresponds to the planned new uses. The steel structure, of 150-metre span, consists of a central box girder, with the part in the Seine being suspended from two central half-arches via metal hangers. The steel frame was manufactured in the factory, then transported in sections to Seguin Island, where it was assembled in two spans. Each span was skidded from the assembly platform, then carried by a barge on the Seine to its final position. □

ORDENACIÓN DE LA ISLA SEGUIN - NUEVO PUENTE SEIBERT

PATRICE AUFFRET, INGEROP - NICOLAS LEGORGEU, INGEROP - PAUL GROLLEAU, AEI - VINCENT SIELI, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - FREDERIC VAN COPPENOLLE, BAUDIN CHATEAUNEUF

La construcción del nuevo Puente Seibert se inscribe en el proyecto de ordenación de la Isla Seguin, en el municipio francés de Boulogne-Billancourt (dpto. 92). La composición general de la construcción denota un vínculo con su entorno y la selección de materiales permite responder a los nuevos usos previstos. La construcción metálica, con una luz de 150 m, está formada por un cajón central, cuyo tramo sobre el Sena está suspendido de dos semi-arcos centrales mediante tirantes metálicos. La estructura metálica se ha construido en fábrica y se ha transportado a la Isla Seguin por tramos, donde se ha ensamblado en 2 secciones. Cada una de las secciones se ha ripado desde la plataforma de ensamblaje, y seguidamente se ha transportado mediante un pontón por el Sena hasta su posición definitiva. □



PASSERELLE NORD DE L'ÎLE SEGUIN SUR LA SEINE

AUTEURS : SYLVAIN BOYER, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, INGÉROP - PIERRE-ANDRÉ SMETRYNS, CHEF DE PROJET, VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - DANIEL CLARIS, ARCHITECTE, AGENCE DUTHILLEUL

À BOULOGNE-BILLANCOURT (HAUTS DE SEINE), LA PASSERELLE NORD DE L'ÎLE SEGUIN A POUR OBJECTIF DE RELIER PAR VOIE AÉRIENNE LA STATION DE MÉTRO PONT-DE-SÈVRES (LIGNE 9) AU COMPLEXE DE LA SEINE MUSICALE SITUÉE SUR L'ÎLE SEGUIN. À TERME, UN ACCÈS DIRECT À LA GARE SOUTERRAINE PONT-DE-SÈVRES (LIGNE 15 SUD) EST ÉGALEMENT PRÉVU. LE TABLIER DE LA PASSERELLE EST UN CAISSON MÉTALLIQUE DÉDIÉ AUX MODES DOUX ET POSSÈDE UNE TRAVÉE DE 118,5 m AU-DESSUS DE LA SEINE AVEC UN ÉLANCEMENT MOYEN DE 1/78^e.

LE CONTEXTE DU PROJET INSERTION DU PROJET DANS SON ENVIRONNEMENT

En totale harmonie avec son environnement, la passerelle (figure 1) s'insère dans la ville de la manière la plus évidente possible, dans la continuité des formes urbaines et des cheminements piétons.

Participant du nouvel aménagement de l'île Seguin et de la recomposition du quartier du pont de Sèvres, elle enrichit le dispositif intermodal qui assemble

la nouvelle gare Pont-de-Sèvres de la Ligne 15 Sud du métro du Grand Paris Express, la station de la Ligne 9 du métro parisien, la gare routière des autobus de la RATP et plus au sud, l'arrêt Brimborion du tramway T2.

Elle arrime l'île Seguin à la ville, permettant un lien naturel et sans obstacle vers la "Vallée de la Culture" et les jardins de l'île Seguin depuis les quartiers voisins d'habitation ou de bureaux et depuis les différents modes de transport.

**1- Vue aérienne
de la passerelle.**

**1- Aerial view of
the foot bridge.**

Le lien avec la nouvelle gare de la Ligne 15 Sud est très direct, grâce à une future plateforme de connexion (avec ascenseurs et escaliers) accolée à la passerelle en rive de Seine, à la verticale de la gare (figure 2).

Le cheminement piéton entre la station de métro Pont-de-Sèvres (Ligne 9) et la Seine Musicale située sur l'île Seguin est aérien et dure 5 minutes environ pour une distance parcourue de 278 m. Sur l'ensemble de ce trajet, les usagers circulent au-dessus de deux types d'ouvrages : une rampe en béton sur les 60 premiers mètres puis une passerelle métallique sur les 218 m restants. Le présent article se concentre principalement sur la passerelle métallique.



© AGENCE DUTHILLEUL
2

CHRONOLOGIE

Les études de conception de cet ouvrage d'art démarrent en 2015. Le DCE de la passerelle Nord de l'île Seguin est établi en 2017, l'ouvrage constitue une tranche conditionnelle du marché de travaux pour la réalisation du tronçon T3A de la Ligne 15 Sud. Ce marché comprend notamment la réalisation de deux gares (Pont-de-Sèvres, Issy-RER), 3 km de tunnel ainsi que des ouvrages annexes. La tranche conditionnelle est ensuite affermie

2- Perspective d'insertion urbaine.

3- Coupe longitudinale - Vue en plan.

2- Perspective view of urban integration.

3- Longitudinal section - Plan view.

par la Société du Grand Paris pour un démarrage des travaux de construction de la passerelle à partir de 2019.

DESCRIPTIF DE L'OUVRAGE

La passerelle métallique est de type poutre continue sur appuis à deux travées de longueur totale 218 m. La travée la plus longue C1-P2 est située au-dessus de la Seine et mesure 118,5 m. La seconde travée P2-PC3 est située au-dessus du parvis côté Boulogne et mesure 99,5 m.

En section courante, la largeur utile du cheminement piétons et cycles est de 6 m. Le tracé en plan est constitué par un alignement droit sur une longueur de 203,4 m à partir de C1 et se termine par une courbe de rayon 125 m sur les derniers 14,6 m avant PC3 (figure 3).

Le profil en long de la passerelle suit une pente de 3,75 % pour la travée en Seine et de 3,95 % pour la seconde travée. Ces valeurs permettent de respecter les critères de cheminement des PMR. Une zone de pente nulle est située à proximité de l'appui intermédiaire P2 de façon à pouvoir raccorder la future plateforme d'accès à la gare souterraine Pont-de-Sèvres (Ligne 15 Sud).

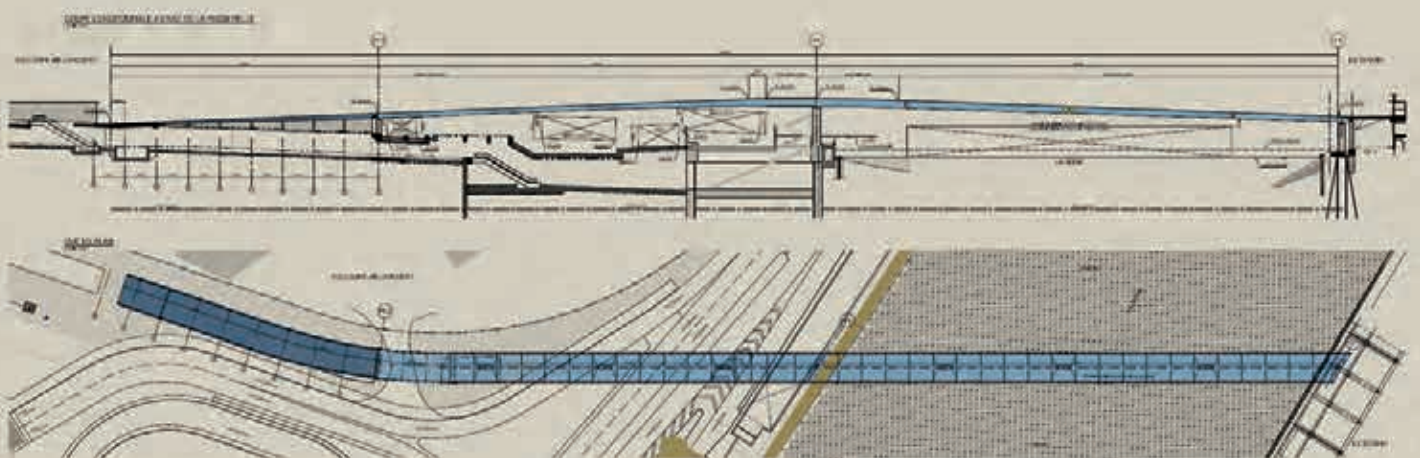
TABLIER

Le tablier de la passerelle est de type caisson métallique tri-cellulaire en acier à haute résistance S460 (figure 4).

La hauteur variable du caisson au droit des appuis C1, P2 et PC3 est respectivement de 1,25 m, 1,80 m et 1,10 m. Ces équarrissages permettent d'atteindre un élanement moyen pour la travée en Seine de 1/78°.

En section courante, la largeur de la passerelle est de 6,6 m hors tout. La pente transversale de l'ouvrage est en forme de toit avec une pente à 1,4%. Cette valeur permet de respecter le dévers maximal autorisé pour le cheminement des PMR. Des caniveaux techniques latéraux permettent le cheminement des câbles électriques le long de la passerelle. L'intérieur du caisson est étanche et non visitable. ▷

COUPE LONGITUDINALE - VUE EN PLAN



3

© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION

4- Coupe transversale courante.

5- Fûts de pile P2.

6a- Amortisseur Dynamique Accordé (vertical).

6b- Amortisseur Dynamique Accordé (transversal).

4- Standard cross section.

5- Pier shafts P2.

6a- Tuned dynamic damper (vertical).

6b- Tuned dynamic damper (transverse).

Le tablier métallique est dimensionné à l'Eurocode à l'aide de la charge de foule dense continue de 500 kg/m² et d'un véhicule de service de type nacelle négative de 3,5 t. Le dimensionnement des platages orthotropes raidis inférieurs et supérieurs aboutit à des épaisseurs de tôles comprises entre 40 mm et 70 mm. Les raidisseurs sont en forme de simples plats de section 200 mm par 20 mm. L'épaisseur des tôles d'acier des âmes intérieures et extérieures est comprise entre 14 mm et 18 mm. L'espacement des diaphragmes courants d'épaisseur 20 mm est de 5,4 m.

Compte tenu de la souplesse importante du tablier métallique, l'analyse dynamique indique des basses fréquences qui peuvent se révéler sensibles aux effets du vent. Une étude spécifique du comportement aéroélastique de la passerelle a donc été réalisée (galop, détachement tourbillonnaire ...). La forme rectangulaire simple de la section du tablier a permis d'utiliser directement les résultats de la littérature.

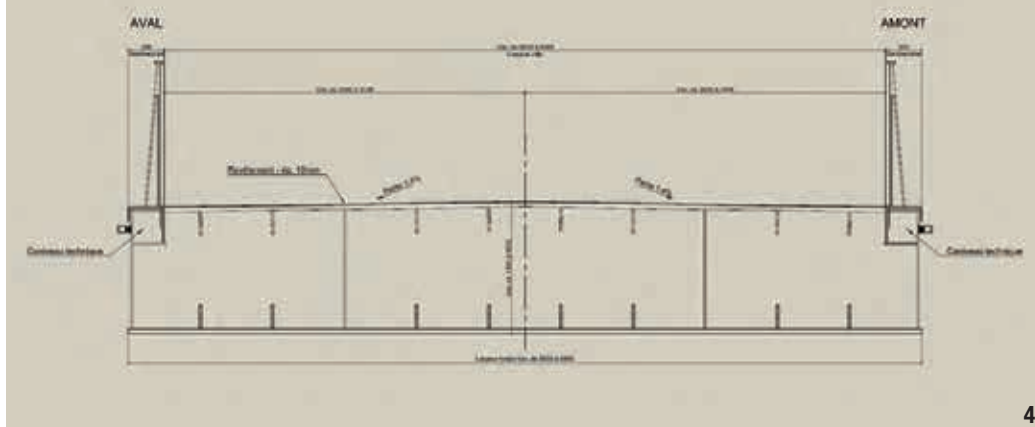
APPUIS ET FONDATIONS

Le biais des files d'appuis C1, P2 et PC3 est respectivement de 58,6°, 56,5° et 90°.

Les appuis de la passerelle sont constitués par des fûts circulaires en béton (figure 5) centrés sur les âmes intérieures du caisson métallique distantes de 3,0 m transversalement.

Le diamètre des fûts de pile est de 1,3 m pour les appuis en rive C1 et PC3 et de 1,7 m pour l'appui intermédiaire P2.

COUPE TRANSVERSALE COURANTE



© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION



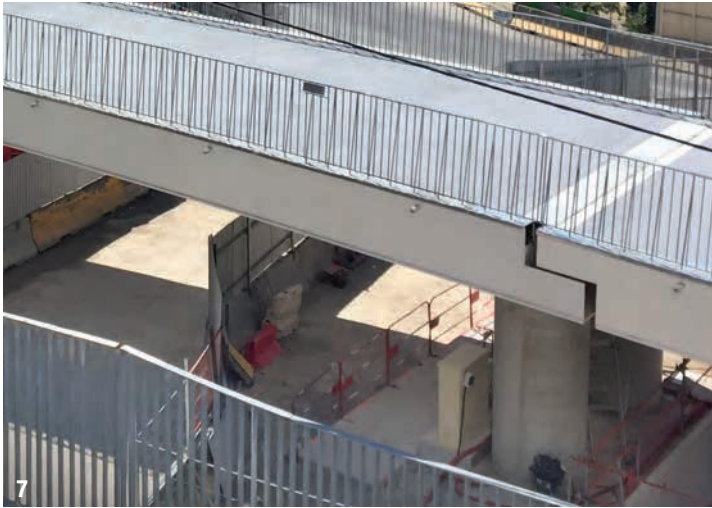
© INGÉROP



© INGÉROP



© INGÉROP



7
© INGÉROP



8
© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION

L'appui C1 est situé sur l'île Seguin. Il vient s'insérer dans une zone fusible de la coursière Nord de l'île. Les deux fûts de pile de C1 viennent s'encastrent dans une semelle en béton fondée sur 24 micropieux de longueur 20 m environ et d'inclinaison maximale 20°. Les deux fûts de pile de l'appui P2 viennent s'encastrent en tête de la paroi moulée de la gare souterraine Pont-de-Sèvres.

Les deux fûts de pile de l'appui PC3 viennent s'encastrent sur la dalle de couverture du couloir de correspondance souterrain entre le métro Ligne 9 et le métro Ligne 15 Sud.

7- Équipements sur ouvrage.

8- Fabrication de la charpente en atelier.

9- Chargement TR1 à l'usine en Belgique.

7- Appurtenances on the bridge.

8- Frame manufacture in workshop.

9- Loading TR1 at the factory in Belgium.

ÉQUIPEMENTS

Compte tenu des foules denses de piétons qui peuvent être amenées à emprunter la passerelle, par exemple lors de la sortie d'un concert de la Seine Musicale pour rejoindre le métro, il a été retenu un niveau de confort maximum sur la passerelle associé à une classe I de trafic. Il s'agit des critères les plus sévères du guide Setra/Afgc. Les études ont révélé qu'il existe 3 modes à amortir : un mode transversal (2 ondes) et deux modes longitudinaux (4 et 5 ondes).

Plusieurs cellules sont donc munies de trappes d'accès dans le platelage

supérieur afin de pouvoir accueillir des amortisseurs dynamiques accordés à l'intérieur du caisson métallique (figures 6a et 6b).

Les appareils d'appui sont orientés suivant l'axe longitudinal de l'ouvrage. Le point fixe longitudinal se situe sur l'appui intermédiaire P2. Les blocages transversaux se situent sur la file d'appui aval.

Les appareils d'appui sont de type sphérique avec surface de glissement plus performante que le PTFE, ils permettent de reprendre d'importantes rotations sur les culées. Ils ont été fournis par Freyssinet.

L'éclairage fonctionnel de la passerelle est réalisé à l'aide de projecteurs 180° espacés de 7,2 m en tête des garde-corps à barreaudages. L'éclairage dynamique de la passerelle est réalisé à l'aide de balises RGBW espacées de 3,6 m et fixées sur les flancs latéraux de la passerelle (figure 7).

Le platelage métallique supérieur de la passerelle est revêtu d'un système d'étanchéité liquide en résine époxy-bitume avec teinte de finition gris clair (RAL 7040). Le complexe d'étanchéité retenu bénéficie d'un avis technique du Cerema.

Au droit des culées C1 et PC3, des joints de dilatation de type couteau sont mis en place (figure 7). À noter que la fixation du joint côté charpente est réalisée par une engravure remplie de béton. De plus, les joints bénéficient d'un avis technique du Cerema.

CONSTRUCTION DU TABLIER FABRICATION EN ATELIER

La fabrication de la charpente métallique a été réalisée dans les ateliers de Victor Buyck Steel Construction en Belgique. La production de la passerelle a commencé en février 2020.



9
© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION



10

© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION

La première étape consistait à préparer et découper les tôles en acier qui ont été commandées spécifiquement pour le projet, en fonction des nuances et dimensions requises. Les collaborateurs de l'atelier ont ensuite assemblé et soudé ces tôles découpées sur mesure, afin d'obtenir neuf sous-tronçons d'une longueur de 20 à 30 m (figure 8). Finalement, les neuf sous-tronçons ont été reconstitués par soudage, en trois tronçons principaux TR1, TR2 et TR3.

Les sections de pont TR1 et TR2 avaient chacune une longueur de ± 57 m et pesaient respectivement 320 t et 450 t. Le tronçon TR3 avait une longueur d'environ 110 m et un poids de 684 t. Durant toute la durée de la fabrication en atelier, des contrôles de qualité ont été mis en œuvre, permettant de vérifier la qualité des soudures ainsi que la conformité géométrique des assemblages. À noter que la contreflèche de la grande travée atteint 1,20 m.

PROTECTION ANTICORROSION

Après l'assemblage et le soudage, les peintres de Victor Buyck ont grainillé les éléments de charpente et les ont revêtus d'un système anticorrosion type C3 en plusieurs couches (RAL 9010 blanc pur). Les caniveaux techniques de part et d'autre de l'ouvrage et les compartiments pour les amortisseurs dynamiques accordés (ADA) ont été revêtus d'un système IM2.

TRANSPORT SUR SITE

Le 29 mai 2021, les deux premiers tronçons TR1 et TR2 de la passerelle ont été chargés en sortie d'usine sur des barges couplées et acheminées vers le chantier, par voie maritime et fluviale (figure 9).

En juillet 2021, la troisième section TR3 a également été transportée à Paris suivant la même route. Les opérations de chargement ont été étudiées en détail préalablement vu leur

10- Déchargement TR2 sur chantier.
11- Palée provisoire.

10- Unloading TR2 on site.
11- Temporary bent.



11

© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION

complexité. Des actions successives de ballastage des barges, de reprise des tronçons de l'ouvrage par deux trains d'essieux SPMT et de ripage ont permis de positionner les sections de l'ouvrage sur des structures provisoires de support, fixées sur les barges.

Après réalisation et vérification du saisissage, les barges couplées sont ensuite parties via le canal Gand-Ter-zeuven et la mer du Nord, via Le Havre, vers le quai à Paris.

POSE TR1 ET TR2

Fin juin 2021, les équipes de Victor Buyck ont installé les deux premiers tronçons TR1 et TR2 à leurs emplacements définitifs sur le chantier (figure 10).

Les équipes sur chantier ont réalisé ces opérations impressionnantes et complexes sans encombre, par ripage successifs, grâce aux 42 essieux SPMT mobilisés sur chantier.

L'installation des tronçons s'est déroulée en plusieurs étapes.

Initialement la barge était positionnée parallèlement au quai et fixée pour les travaux préparatoires. Les lignes d'essieux SPMT ont été positionnés sous le tronçon TR2, afin de le lever et de pouvoir installer les systèmes de vérinage. Après vérinage à la hauteur requise, la barge a été repositionnée perpendiculairement au quai au moyen des treuils hydrauliques montés sur la barge, pendant un arrêt complet de la navigation sur ce bras de la Seine.



12

© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION

Plusieurs opérations successives de ripage et de reprise du tronçon par de nouvelles lignes SPMT ont été nécessaires pour le transfert sur chantier. Une fois sur le chantier, un lestage temporaire de l'ouvrage a été mis en place sur le TR2 afin de pouvoir bien l'équilibrer pendant l'opération de pose. Les équipes ont posé le tronçon sur un train central de SPMT et l'ont vériné à une hauteur de 7 m, pour ainsi procéder au ripage final et à la mise sur appuis.

12- Pose TR3 (110 m et 700 t).
13- Clame provisoire de TR3 sur TR2.

12- Placing TR3 (110 m and 700 tonnes).
13- Temporary clamping of TR3 on TR2.

La mise en place du tronçon TR1 a été faite par une opération analogue. L'installation des deux premiers tronçons a marqué une étape clé des travaux sur chantier.

BLOCAGES ET DISPOSITIFS PROVISOIRES TR1-TR2

Il est important de noter que l'installation des deux premiers tronçons de l'ouvrage, TR1 et TR2, s'est faite sur les appuis définitifs PC3, P2 et à l'aide

d'un appui temporaire intermédiaire sur la plateforme de montage.

Cet appui temporaire était composé de deux palées provisoires, de 6 m de hauteur, appuyées sur des poutres (PRS) de support, reposant sur deux massifs de fondation en béton (figure 11).

Au niveau de la pile centrale P2, le blocage transversal temporaire a été réalisé avec une poutre installée en sous-face de l'ouvrage entre les fûts de pile amont et aval en béton, en venant s'appuyer contre les fûts. Ce dispositif était fixé par boulonnage à des consoles soudées en sous-face de la passerelle.

Le blocage longitudinal a été réalisé avec deux bracons en sous-face de l'ouvrage qui venaient en appui de part et d'autre de P2-amont. Ces dispositifs étaient fixés par boulonnage à des consoles et des goussets soudés en sous-face de la passerelle.

POSE TRONÇON TR3

Le dimanche 15 août, les équipes sur chantier ont posé le troisième et dernier tronçon de la passerelle métallique (figure 12).

Ce tronçon imposant a une longueur de 110 m et un poids de presque 700 t.

Une fois le tronçon arrivé au chantier, les équipes ont préalablement monté cette grande section de pont sur des tours de vérinage provisoires, à une hauteur de plus de 10 m au-dessus de la barge.



13

© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION



© VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION 14

Le dimanche 15 août, une coupure de la circulation fluviale a été réalisée et la barge a été positionnée au milieu de la Seine. Le tronçon a ensuite été dévériné avec précision jusqu'à sa position finale.

Du côté de l'île Séguin, le tronçon a été posé sur les piles constituant la culée C1. Au niveau de la jonction entre les caissons TR2 et TR3, une clame temporaire de forte capacité avait déjà été mise en place en atelier (figure 13). Cette clame a permis de poser et de guider le TR3 directement sur l'about de TR2 lors des opérations d'installation de la passerelle. Par la suite elle a également permis de réaliser le réglage et le blocage transversal, longitudinal et vertical au droit du joint TR2-TR3. Les opérations d'installation de la passerelle ont été réalisées en étroite collaboration avec l'entreprise Sarens et les équipes du groupement Horizon.

TRAVAUX DE FINITION

Ces opérations de montage importantes achevées, les équipes de Victor Buyck ont réalisé les travaux de soudage et de mise en peinture de la jonction entre les tronçons.

Le joint entre TR2 et TR3 étant situé au-dessus de la Seine (figure 14), des

précautions importantes de sécurité ont été prises pour pouvoir réaliser ces travaux dans les conditions optimales. À l'issue de la mise sur appuis définitifs, les structures provisoires ont été retirées.

Finalement les équipes Horizon ont mis en œuvre les équipements de la passe-

14- Cabane soudage entre TR2 et TR3 au-dessus de la Seine.

14- Welding booth between TR2 and TR3 above the Seine.

relle (joint, garde-corps et luminaires) et le revêtement de surface.

ÉPREUVES DYNAMIQUES ET STATIQUES

Les épreuves dynamiques ont été réalisées sur la passerelle par un groupe de 30 personnes venant solliciter successivement les 3 fréquences de vibration à risque identifiées par les calculs théoriques. Les résultats de ces essais indiquent que les fréquences réelles de la passerelle sont très proches des valeurs théoriques. De plus, il a été constaté que le taux d'amortissement réel ξ de chacun des modes de vibration de la structure est proche de 0,8%, cette valeur est environ deux fois supérieure au taux d'amortissement théorique pris en compte dans les calculs pour une structure en acier. Ainsi, 8 Amortisseurs Dynamiques Accordés (ADAs) de masse comprise entre 1,25 t et 1,6 t ont été installés à l'intérieur du tablier métallique de la passerelle. Ces ADAs sont fournis par Gerb et peuvent s'ajuster sur une plage de fréquence donnée au moment de l'installation.

Les épreuves statiques ont été réalisées avec mise en place de lests en bétons de 1,5 t, déplacés selon la sollicitation de la travée recherchée. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE UTILE : 1 308 m² (218 m x 6 m utiles)
CHARPENTE MÉTALLIQUE (S460) : 1 400 t
RATIO CHARPENTE MÉTALLIQUE (S460) : 1 070 kg/m²
APPUIS EN BÉTON : 95 m³
MICROPIEUX : 500 m
SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ LIQUIDE : 1 308 m²
AMORTISSEUR DYNAMIQUES ACCORDÉS : 8 u

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Département des Hauts-de-Seine
MAÎTRISE D'OUVRAGE CONSTRUCTION : Société du Grand Paris
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Setec TPI - Ingérop - Agence Agence Duthilleul
SOUS TRAITANT CONCEPTEUR LUMIÈRE : Patrick Rimoux
GROUPEMENT D'ENTREPRISES HORIZON : Bouygues Travaux Publics (mandataire) - Victor Buyck Steel Construction

ABSTRACT

NORTH FOOT BRIDGE OF SEGUIN ISLAND ON THE SEINE

SYLVAIN BOYER, INGÉROP - PIERRE-ANDRÉ SMETRYNS, VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - DANIEL CLARIS, AGENCE DUTHILLEUL

The North foot bridge of Seguin Island, located in Boulogne-Billancourt (western Paris), provides access to the Seine Musicale arts complex. With a total length of 218 metres, it is a foot bridge dedicated to soft transport modes. Its largest span (118.5 m) is located above the Seine. Its deck is formed of a tricellular steel box girder built of S460 high-strength steel. The average slenderness ratio of the large span is 1/78th. To assess the vibration behaviour of the foot bridge under the action of pedestrians, tuned dynamic dampers must be provided inside the box girder to limit perceived accelerations. □

PASARELA NORTE DE LA ISLA SEGUIN SOBRE EL SENA

SYLVAIN BOYER, INGÉROP - PIERRE-ANDRÉ SMETRYNS, VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - DANIEL CLARIS, AGENCE DUTHILLEUL

La pasarela Norte de la Isla de Seguin, situada en el municipio francés de Boulogne-Billancourt (dpto. 92), permite acceder al complejo La Seine Musicale. Con una longitud total de 218 m, esta pasarela está dedicada a los modos de transporte no motorizado. Su luz principal (118,5 m) se sitúa encima del Sena. Su tablero está formado por un cajón metálico tricelular de acero de alta resistencia S460. La esbeltez media de la luz principal es de 1/78º. La evaluación del comportamiento vibratorio de la pasarela bajo la acción de los peatones exige prever amortiguadores dinámicos unidos al interior del cajón para limitar las aceleraciones sentidas. □



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr



1
© FREYSSINET

VIADUCS DE ÇOK EN TURQUIE : L’AFFIRMATION DU LIEU

AUTEURS : NICOLAS FABRY, EXPERT OPÉRATIONNEL, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET - MARCO NOVARIN, DIRECTEUR TECHNIQUE, ZONE EUROPE CENTRALE ET ORIENTALE ET MOYEN-ORIENT / FREYSSINET - CEMAL NOYAN ÖZEL, INGÉNIEUR EN CHEF, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYŞAS - FRÉDÉRIC PASTOR, INGÉNIEUR EN CHEF, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET

DANS UN LIEU AU PASSÉ CHARGÉ COMME LE DÉTROIT DES DARDANELLES QUI RELIE LA MER EGÉE À LA MER DE MARMARA EN TURQUIE, CE SONT LES CAPRICES NATURELS DU LIEU ET L’EMPREINTE DE SON HISTOIRE QUI ONT GUIDÉ LA PROJECTION D’UNE SÉRIE DE VIADUCS POUSSÉS.

INTRODUCTION

Le tronçon autoroutier reliant Malkara à Çanakkale, en Turquie, complète un vaste programme d’infrastructures visant à former un anneau routier autour de la mer de Marmara. Chacun des tronçons comporte un ouvrage emblématique : troisième pont sur le Bosphore, pont de la baie d’Izmit, et pour ce dernier tronçon, pont sur le détroit des Dardanelles (figure 2).

Pour cette section de 88 kilomètres à travers la péninsule de Gallipoli, Freyssinet a remporté les études d’exécution structurelles de trois viaducs non-courants sur une variante de conception,

ainsi que les études des méthodes et équipements de poussage et la construction des tabliers.

La commande sur les trois viaducs a finalement été ramenée à deux, V1 et V6, après l’annulation du viaduc V8. Le viaduc V6 comprend deux tabliers indépendants, chacun de 1 024 m de longueur entre les axes des culées ; le viaduc V1 deux tabliers de 562 m chacun.

L’enjeu technique principal résidait dans la proximité de la faille nord-antolienne, qui fait de la région une zone à très forte sismicité, avec des accélérations horizontales avoisinant 3g

1- Vue d’ensemble du viaduc V6 lors des derniers cycles de poussage.

1- General view of the V6 viaduct during the final pushing cycles.

au plateau (figure 3). Les viaducs ont été dimensionnés pour un comportement ductile sous l’action d’un séisme de période de retour de 2 475 ans, de manière à pouvoir être réparés et

réouverts à la circulation au plus vite après un séisme.

Au-delà de ces considérations techniques, une attention particulière a été portée à l’histoire de la région, qui reste imprégnée des affrontements de la Première Guerre mondiale. Ainsi, la forme des piles des viaducs est inspirée du monument aux morts de Çanakkale, en écho à ce lourd passé (figure 4).

Un autre enjeu de taille était le planning de réalisation : trois ans pour réaliser les études d’exécution de la structure, les études des méthodes et équipements de poussage ainsi que la construction des trois kilomètres de viaduc.

LOCALISATION DES VIADUCS



© DR 2

2- Localisation des viaducs.

3- Spectres sismiques élastiques de période de retour 2475 ans des viaducs.

2- Viaduct location.

3- Elastic seismic design spectra of return period 2475 years for the viaducts.

VARIANTE PROPOSÉE PAR FREYSSINET

Les variantes métalliques ou mixtes étant peu encouragées, Freyssinet a proposé un tablier poussé mono-caisson en béton précontraint, avec des travées courantes de 66 m de portée, comme meilleur compromis estimé des enjeux du marché, et l'a emporté.

UNE COMPÉTITIVITÉ PORTÉE PAR LE TABLIER

Moins dessus, moins dessous

L'équipe technique de Freyssinet s'est employée à alléger le tablier autant que possible, dans l'esprit des pionniers

français de la fin du siècle dernier, tels que Michel Placidi, dont les travaux pour le tablier du viaduc du Scardon ont été une source d'inspiration (figure 5). Précontrainte transversale et bracons autorisent ainsi un hourdis supérieur d'épaisseur variant entre 22 et 24 cm. Des nervures au droit de chaque paire de bracons permettent d'affiner le hourdis inférieur à 22 cm d'épaisseur.

Grâce à une précontrainte antagoniste provisoire détaillée plus loin dans l'article, la précontrainte longitudinale de service est entièrement déviée. L'effet favorable sur l'effort tranchant se traduit par des âmes d'épaisseur constante contenue à 45 cm.

In fine, la coupe transversale courante du tablier est réduite au squelette minimal requis. Son aire est légèrement

inférieure à 10 m², soit une épaisseur moyenne courante de 60 cm. En intégrant au calcul les déviateurs de précontrainte et les diaphragmes, l'épaisseur moyenne du tablier est portée à 65 cm.

On peut interroger l'opportunité économique de conjuguer précontrainte transversale et bracons pour gagner quelques centimètres d'épaisseur de hourdis supérieur ; on ne recourt habituellement qu'à l'une ou à l'autre de ces dispositions, rarement aux deux. Cependant, dans les conditions sismiques du projet, le surcoût significatif de ce choix de conception était pleinement rentabilisé par les économies réalisées sur les dispositifs parasismiques et sur les appuis, notamment leurs fondations dans un sol de faible compétence. Toute masse épargnée au tablier est une masse non mobilisée par le séisme.

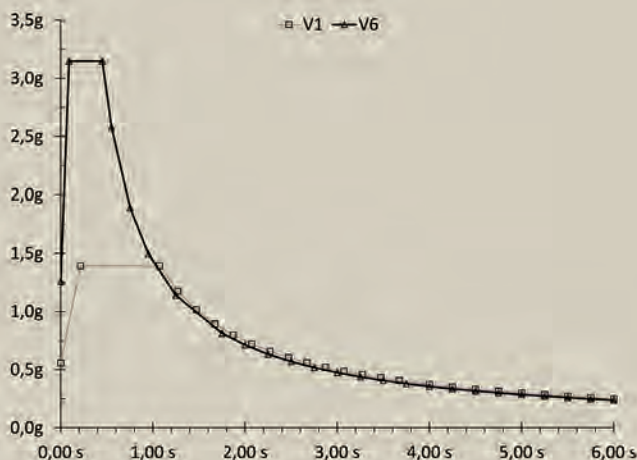
Par ailleurs, la réduction des quantités mises en œuvre sur le tablier a une répercussion positive sur les volumes de béton à couler et ferrailer à chaque cycle, donc sur la vitesse de poussage.

Plus vite avec moins

Le tablier a été conçu pour une mise en œuvre par poussages successifs, avec un coulage en place sur une aire dédiée.

SPECTRES SISMQUES ÉLASTIQUES

de période de retour 2475 ans des viaducs



3
© FREYSSINET

Grâce à la diminution des quantités de béton armé, et selon le cycle de poussage optimisé présenté plus loin, un voussoir courant de 33 m de long pouvait être poussé tous les six jours, sachant que chaque viaduc compte deux tabliers indépendants sur lesquels il était possible d'œuvrer alternativement.

Cette fréquence de poussage semblait la réponse la plus appropriée au planing de construction contraint du client.

La précontrainte antagoniste comme dernier levier d'optimisation

Pour des raisons évidentes, les câbles de précontrainte longitudinaux de tabliers poussés en béton doivent exercer une force résultante centrée sur le centre de gravité des sections pendant le poussage.

C'est la raison pour laquelle il est usuel de projeter un jeu de câbles rectilignes centrés mis en tension dès le poussage, le plus souvent complété par des câbles déviés mis en tension à la fin



4 © DR

du poussage. L'inconvénient en est que les câbles rectilignes sont peu efficaces en service ; le rendement par toron est généralement faible dans ce cas. Au lieu de cela, Freyssinet a opté pour un système de précontrainte antagoniste. La précontrainte longitudinale de service, entièrement déviée, est alors tendue avant le poussage ; on lui adjoint une précontrainte temporaire

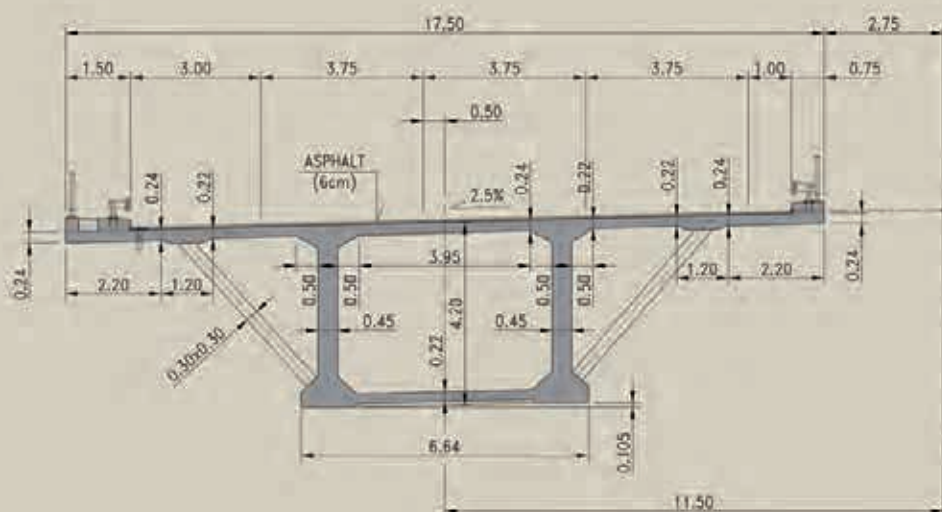
dite antagoniste déviée à l'opposé, dont le rôle est d'annuler au global tout moment de précontrainte, isostatique ou hyperstatique (figure 6). Les câbles antagonistes sont retirés à la fin du poussage, pour ne laisser que des câbles au tracé approprié pour les sollicitations de service. Ce choix a conduit à une économie significative sur les quantités de pré-

4- Le monument aux morts de Çanakkale a figuré sur le dos des billets de 500 000 lira imprimés entre 1993 et 2005. Il incarne un symbole très ancré dans l'imaginaire collectif des habitants de la région.

5- Coupe transversale courante du tablier des viaducs de Çok.

6- Coupe de principe de l'agencement de précontrainte avec câbles antagonistes (en rouge) démontés après le poussage pour ne laisser que les câbles déviés de service.

COUPE TRANSVERSALE COURANTE DU TABLIER DES VIADUCS DE ÇOK



COUPE DE PRINCIPE DE L'AGENCEMENT DE PRÉCONTRAINTE

avec câbles antagonistes (en rouge) démontés après le poussage pour ne laisser que les câbles déviés de service



contrainte, économie d'autant plus importante qu'il était envisageable de réemployer les câbles antagonistes d'un tablier à l'autre, toujours sur une base temporaire.

UNE CONCEPTION PARASISMIQUE PARTICULIÈREMENT FINE

Principe général

Malgré le travail effectué sur la masse de tablier, les sollicitations sismiques imposées aux piles restaient élevées. La recherche d'une souplesse importante vis-à-vis du comportement sismique a conduit à concevoir des piles à quatre colonnes, surmontées d'un chevêtre massif, dont la forme a été inspirée par le monument aux morts de Çanakkale.

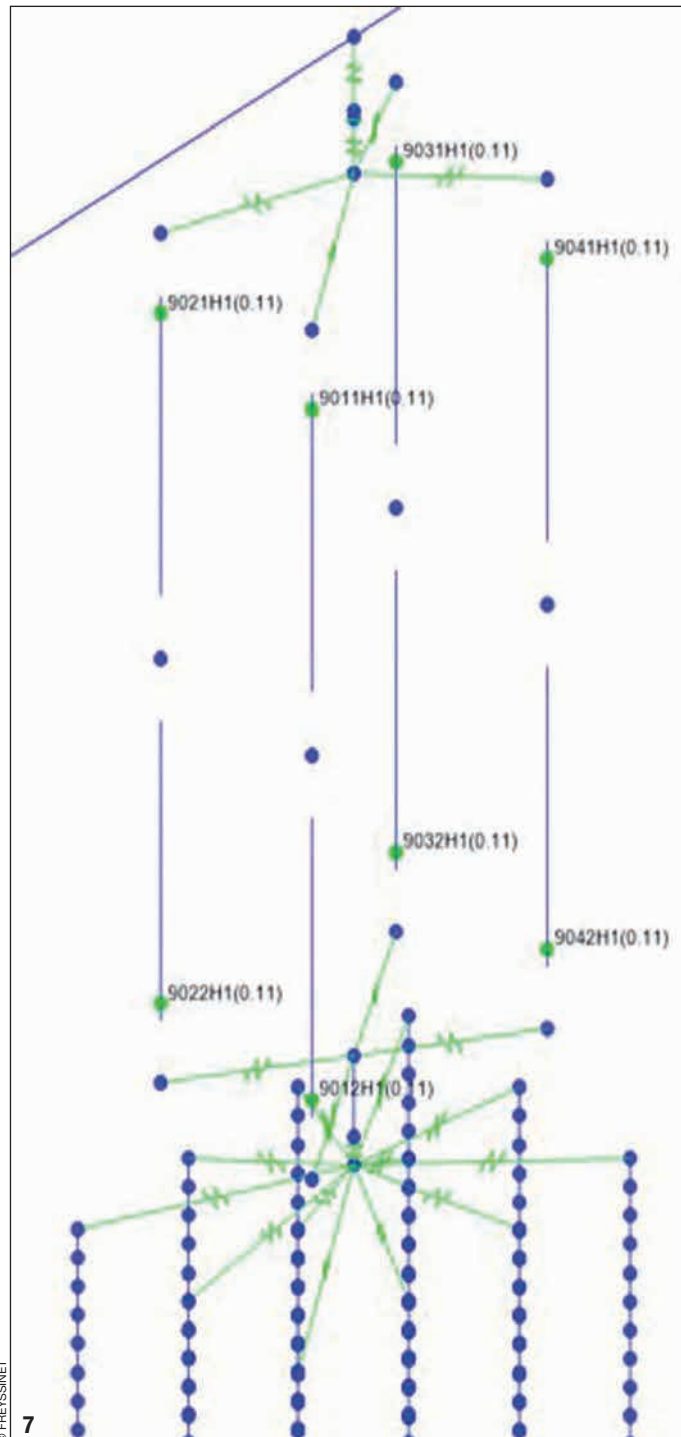
Les viaducs sont fortement amortis dans la direction longitudinale, grâce à des amortisseurs à fluide visqueux qui connectent le tablier aux culées. Les piles sont glissantes dans la direction longitudinale, à l'exception d'un nombre suffisant de piles centrales pour assurer un déplacement sismique du tablier compatible avec les joints de chaussée et les amortisseurs de souffle choisis.

7- Modèle d'une pile avec rotules plastiques et pieux.

8- Coupe longitudinale sur les voussoirs courants des tabliers de Çok.

7- Model of a pier with plastic hinges and piles.

8- Longitudinal section on intermediate segments of the Çok decks.



Le déplacement transversal du tablier est bloqué sur chaque pile. On compte alors sur la formation de rotules plastiques en tête et en pied de colonnes pour dissiper l'action sismique.

Modélisation

La modélisation sismique des ouvrages s'est avérée centrale dans les choix de conception. Assez tôt, il est devenu évident qu'il fallait recourir à des moyens et méthodes de calcul fins pour approcher précisément la réponse sismique des viaducs.

Avec des taux d'amortissement dépassant largement le seuil des 30%, il a fallu recourir à une analyse non-linéaire par pas de temps, alimentée par sept jeux d'accélérogrammes par viaduc. Ce faisant, la contribution non-linéaire des amortisseurs visqueux était correctement rendue, de même que l'apport des rotules plastiques des piles, pour lesquelles on a employé un modèle multi-fibres (figure 7).

En complément, des lois multilinéaires force-déplacement ont été implémentées le long des pieux pour prendre en compte la réaction frontale du sol en place.

Fondations

Toutes les piles sont sur fondations profondes. Malgré la mise à disposition tardive de caractéristiques géomécaniques bien plus pessimistes qu'escomptées, Freyssinet a pu réduire drastiquement les quantités des fondations par rapport à la conception de base.

UNE CONCEPTION AU SERVICE DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION DU TABLIER

SEGMENTATION DU TABLIER

Les deux premiers et deux derniers voussoirs de chaque tablier ont des longueurs particulières afin de rattraper les longueurs des travées de rive, elles aussi particulières.

COUPE LONGITUDINALE SUR LES VOUSOIRS COURANTS DES TABLIERS DE ÇOK



9a, 9b, 9c- Bâtons de poussage passant à travers le hourdis supérieur, à l'intérieur du caisson du tablier, et passant à travers le hourdis inférieur.

10- Élévation de l'aire de poussage, avec une moitié de l'aire de coulage dédiée à couler le U du tablier, et l'autre au hourdis supérieur.

9a, 9b, 9c- Pusher bars passing through the top slab, inside the deck box girder, and passing through the bottom slab.

10- Elevation view of the pushing area, with half of the casting area dedicated to casting of the deck U-beams, and the other half to the top slab.

En dehors de cela, tous les voussoirs sont de même longueur, une demi-travée courante, soit 33 m. Cette longueur est avantageuse en termes de construction, puisqu'elle représente un volume de béton coulable en une fois et requiert une journée de poussage. Tous les voussoirs courants ont été conçus de façon à présenter la géométrie la plus proche possible. La seule différence notable provient de l'inévitable présence ou non d'un diaphragme sur pile, un voussoir sur deux (figure 8). Pour parvenir à ce résultat, les déviateurs ont été positionnés au quart des travées, au lieu de l'habituel tiers qui maximise le rendement de la précon-



trainte déviée. Ce petit écart par rapport à la logique d'optimisation structurelle se justifiait, il a en effet permis de simplifier et standardiser les coffrages du tablier et les cages d'armatures. La conséquence, entre autres, est une vitesse de mise en œuvre accrue. De même, il a été choisi de faire courir

les câbles de précontrainte longitudinaux sur deux travées, et de les ancrer aux déviateurs, et non aux diaphragmes sur pile. Ainsi, les opérations de mise en tension de la précontrainte longitudinale constituaient une tâche lissée, concernant à chaque cycle de poussage deux fois moins de câbles que s'ils avaient

été ancrés aux diaphragmes. Cette conception réduisait le risque de voir les opérations de mise en tension tomber sur le chemin critique de la construction d'un voussoir, et maintenait une activité quasi-constante pour les chargés de précontrainte, au lieu de les solliciter par à-coups.

ÉLÉVATION DE L'AIRE DE POUSSAGE

avec une moitié de l'aire de coulage dédiée à couler le U du tablier, et l'autre au hourdis supérieur



MUTUALISATION DE L'ACCÈS À L'INTÉRIEUR DU TABLIER

Le poussage des tabliers était assuré grâce à des bâtons de poussage. Ces pièces métalliques sont enchâssées à la verticale dans le tablier, à travers des réservations dans les hourdis supérieur et inférieur (figures 9a, 9b et 9c) ; les torons de poussage sont ancrés à leur base et avalés par des vérins situés en aval.

11- Déroulement d'un cycle de poussage courant.

11- Standard pushing cycle sequence.

L'équipe chargée de l'étude s'est astreinte à positionner les réservations nécessaires pour les bâtons de poussage à l'arrière des déviateurs, sur chaque voussoir. Il suffisait alors de surdimensionner légèrement les réservations dans le hourdis supérieur pour les réutiliser comme passage pour les vérins de mise en tension de la précontrainte longitudinale. Ces réservations ont été conservées pendant tout le

poussage afin de permettre également le passage des vérins de détension des câbles de précontrainte antagonistes et l'évacuation de ces derniers.

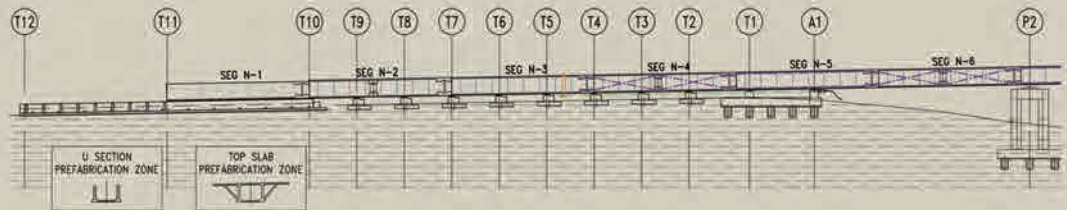
AIRE DE POUSSAGE

L'aire de coulage a été organisée en deux zones distinctes (figure 10). La première zone accueille la cellule de coffrage de la partie en U du tablier.

DÉROULEMENT D'UN CYCLE DE POUSSAGE COURANT

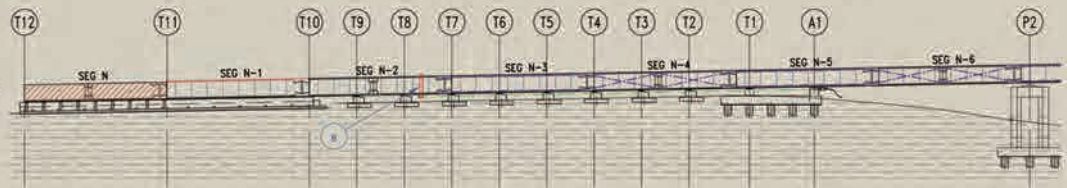
PHASE 0

END OF PREVIOUS LAUNCHING PHASE



PHASE 1

- CONCRETING TOP SLAB OF SEGMENT N-1
- CONCRETING U SECTION OF SEGMENT N
- UNINSTALL PULLING STICK FROM SEGMENT N-5
- STRESS CABLES SX-X & AX-X (SEE NOTE)
- INSTALL PULLING STICK IN SEGMENT N-2



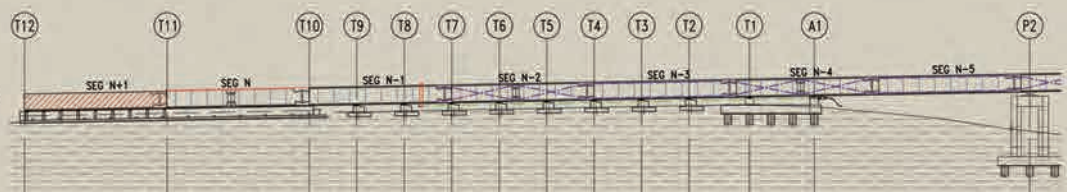
PHASE 2

LAUNCHING 33m



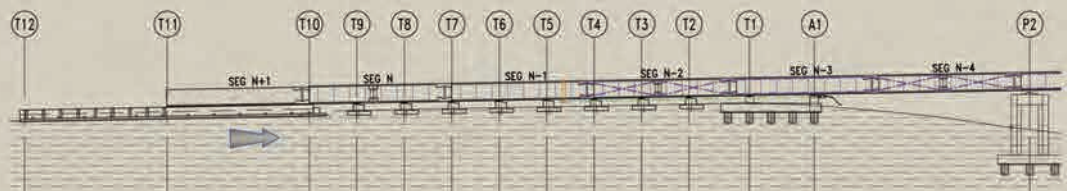
PHASE 3

- CONCRETING TOP SLAB OF SEGMENT N
- CONCRETING U SECTION OF SEGMENT N+1
- UNINSTALL PULLING STICK FROM SEGMENT N-2
- STRESS CABLES SY-Y & AY-Y (SEE NOTE)
- INSTALL PULLING STICK IN SEGMENT N-1



PHASE 4

LAUNCHING SEGMENT N (33m)





12- Détension des câbles antagonistes avec un vérin à longue course.

13- Les câbles antagonistes passent à travers des réservations dans le hourdis supérieur et rejoignent un dévidoir.

12- Antagonistic cable stress relief with a long-travel jack.

13- The antagonistic cables pass through pockets in the top slab and reach a reel.

12

© FREYSSINET

La deuxième est dévolue au coulage du hourdis supérieur.

Cette organisation a simplifié le coffrage des tabliers, à la fois leur conception et leur manutention.

De plus, elle a décorrélé les opérations de mise en œuvre du U et du hourdis supérieur ; l'un pouvait prendre du

retard sur le planning sans incidence sur l'autre.

Le reste de l'aire de poussage consiste en des appuis ponctuels temporaires sur fondations superficielles d'entraxe suffisamment faible pour que le tablier non précontraint puisse supporter son poids propre au jeune âge.

La longueur totale couverte par ces appuis temporaires a été déterminée de manière à pouvoir tendre la précontrainte en dehors de l'aire de coulage des voussoirs, afin d'éviter toute coactivité entre les opérations de bétonnage et de mise en tension.

DÉROULEMENT D'UN CYCLE DE POUSSAGE COURANT

Le U d'un nouveau voussoir est coulé en même temps que le hourdis supérieur du voussoir précédent (figure 11). Pendant ce temps, la précontrainte longitudinale est tendue à partir de l'antépénultième voussoir en lice. Cette opé-



13

© FREYSSINET

TABEAU A : CHIFFRES CLÉS CONCERNANT LES TABLIERS

	Viaduc V6	Viaduc V1
Longueur des tabliers entre axes des culées	1 024 m	562 m
Nombre de voussoirs	33	19
Durée moyenne d'un cycle de poussage courant	6,0 j	6,5 j
Durée moyenne d'un cycle de poussage (incluant les premiers et derniers poussages)	9,5 j	9,8 j
Longueur des voussoirs courants	33 m	33 m
Durée totale du poussage	311 j	187 j
Quantité moyenne d'armatures passives dans le tablier par mètre linéaire	2 228 kg/m	2 327 kg/m
Quantité moyenne de béton dans le tablier par mètre linéaire	11,1 m ³ /m	11,2 m ³ /m
Quantité moyenne de précontrainte* par mètre linéaire (hors antagonistes)	0,42 t/m	0,44 t/m
Quantité moyenne de précontrainte* par mètre linéaire (avec antagonistes)	0,72 t/m	0,75 t/m

* Incluant la précontrainte transversale dans le hourdis supérieur.

ration est plus rapide que l'assemblage des cages d'armatures, l'ajustement des coffrages, le coulage du béton et sa montée en résistance minimale. Il reste donc du temps pour évacuer les vérins de mise en tension et installer les bâtons de poussage par les réservations mentionnées précédemment. Le tablier est alors poussé de 33 m, et un nouveau cycle commence.

RECOUVREMENT DE LA PRÉCONTRAÎTE ANTAGONISTE

Les câbles de précontrainte antagonistes sont bénéfiques pour les phases de poussage, mais pénalisants vis-à-vis des chargements de service.

Il fallait les déposer à la fin du poussage. Puisque les travaux comportaient d'autres viaducs aux tabliers de conception identique, il a été décidé de les réemployer, comme câbles antagonistes seulement.

Deux dispositions de sécurité furent prises en conséquence. Les câbles

antagonistes ne seraient d'abord tendus qu'à 60% de leur résistance ultime à la traction garantie, pour écarter le risque de plastification des torons lors des différentes tensions et détensions à effectuer. On réduirait ensuite la distance entre ancrages des câbles d'une réutilisation à l'autre, de manière à ce que la partie endommagée par les mors

des vérins de mise en tension ne soit pas dans la longueur utile des réemplois suivants.

Les câbles antagonistes furent détendus en une fois par un vérin à longue course (figure 12) et évacués par les réservations dans le hourdis supérieur avant d'être reconditionnés en bobine sous plastique (figure 13).

Aucun autre câble longitudinal de service que ceux tendus sur l'aire de poussage n'était nécessaire par la suite.

CHIFFRES CLÉS CONCERNANT LES TABLIERS

Le viaduc V6 a été construit en premier. Le viaduc V1 a donc bénéficié des leçons tirées du premier chantier. À noter cependant qu'il a été davantage affecté par les contraintes liées à la Covid-19.

Le viaduc V1 est bien plus court que V6, ce qui implique que l'incidence des "coûts fixes", tels que les diaphragmes sur culées par exemple, est plus forte sur les quantités moyennes présentées. Il en va de même pour les premiers et derniers poussages qui prennent plus de temps que les poussages courants et pèsent par conséquent davantage sur les cadences moyennes de V1.

Les chiffres du tableau A sont rapportés par la direction de travaux des viaducs. Il s'agit de durées et quantités réelles.

CONCLUSION

Pour remettre une offre compétitive, il a fallu travailler finement deux aspects de la conception des ouvrages : la légèreté du tablier et les rendements de mise en œuvre. Tout l'enjeu a consisté à proposer une optimisation structurelle au cordeau qui ne pénalise pas les performances opérationnelles de coût et de vitesse de mise en œuvre.

Cette combinaison gagnante trouvée et les travaux exécutés, on peut aujourd'hui découvrir l'allure originale des ouvrages construits, l'écho mémoriel qu'ils suggèrent, et la variété de cadrages qu'ils offrent sur le paysage environnant. Gageons que l'expérience nouvelle du lieu estompera bientôt le discours technique ! □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Karayolları Genel Müdürlüğü

BUREAU DE CONTRÔLE : Tekfen

CONTRÔLEUR EXTERNE : Yüksel Proje

GROUPEMENT DE CONSTRUCTION : Daelim-Limak-SK-Yapı Merkezi

SOUS-TRAITANT POUR LA CONSTRUCTION DU TABLIER :

Freyşas, filiale du groupe Freyssinet

CONCEPTION DES OUVRAGES : département technique de Freyssinet

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION DES OUVRAGES :

département technique de Freyssinet

ABSTRACT

ÇOK VIADUCTS IN TURKEY: ENHANCEMENT OF THE LOCATION

NICOLAS FABRY, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET - MARCO NOVARIN, ZONE EUROPE CENTRALE ET ORIENTALE ET MOYEN-ORIENT / FREYSSINET - CEMAL NOYAN ÖZEL, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYŞAS - FRÉDÉRIC PASTOR, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET

Freyssinet designed and produced the construction drawings for two viaducts on a new motorway section to cross the Dardanelles Strait. Its Turkish subsidiary, Freyşas, built and moved into position by pushing about three kilometres of deck in a short, controlled time. The main keys to the design of these structures are: extremely sophisticated conceptual design to achieve structural optimisation - in particular earthquake resistance, control of erection costs, efficiency of construction methods, and attention paid to the cultural and historical legacy in which the location is steeped. □

VIADUCTOS DE ÇOK, EN TURQUÍA: LA AFIRMACIÓN DEL LUGAR

NICOLAS FABRY, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET - MARCO NOVARIN, ZONE EUROPE CENTRALE ET ORIENTALE ET MOYEN-ORIENT / FREYSSINET - CEMAL NOYAN ÖZEL, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYŞAS - FRÉDÉRIC PASTOR, DÉPARTEMENT TECHNIQUE / FREYSSINET

Freyssinet ha diseñado y realizado los estudios de ejecución de dos viaductos en un nuevo tramo de autopista que cruzará el estrecho de los Dardanelos. Su filial turca, Freyşas, ha construido e instalado por empuje cerca de tres kilómetros de tablero en un plazo corto y controlado. Las principales claves de la concepción de estas construcciones son: un diseño muy avanzado al servicio de la optimización estructural, sobre todo en el aspecto parasísmico, el control de los costes de ejecución, la eficacia de los métodos de construcción y la atención prestada a la herencia cultural e histórica que impregna el lugar. □



1
© GAEL ARNAUD

CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART DE LA PORTE DE GESVRES À NANTES

AUTEURS : DENIS MACE, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, DIRECTEUR TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, ARCADIS

CARREFOUR ENTRE L'AUTOROUTE A11, LE PÉRIPHÉRIQUE NORD ET LE PÉRIPHÉRIQUE EST, LA PORTE DE GESVRES EST L'UN DES ÉCHANGEURS LES PLUS FRÉQUENTÉS DU RÉSEAU NANTAIS. CET IMPORTANT PROJET DE RÉAMÉNAGEMENT SOUS MAÎTRISE D'ŒUVRE VINCI AUTOROUTES NÉCESSITE LA CONSTRUCTION DE 2 OUVRAGES COURBES EN CAISSONS MIXTES : LE VIADUC EST POUR L'ACCÈS AU PÉRIPHÉRIQUE NORD DEPUIS LE PÉRIPHÉRIQUE EST ET LE VIADUC OUEST POUR L'ACCÈS AU PÉRIPHÉRIQUE EST DEPUIS L'A11 EN PROVENANCE DE PARIS.

CONTEXTE

Long de 42 km, le périphérique nantais a une configuration à 2x2 voies sur sa quasi-totalité. Au niveau de la Porte de Gesvres, les voies de liaison qui assurent les échanges entre les périphériques Nord et Est sont configurées à une seule voie. Cela entraîne des difficultés de circulation récurrentes aux heures de pointe, provoquant des congestions importantes sur les voies

principales et des remontées de file. Le projet de réaménagement consiste donc à assurer la continuité du périphérique à 2x2 voies au niveau de cet échangeur entre la Porte de Rennes au niveau du périphérique Nord et la Porte de La Chapelle au niveau du périphérique Est. Cela permettra d'améliorer les conditions de sécurité des flux de rocade, d'une part, et de répondre au manque de capacité actuel et futur en

1- Vue aérienne du chantier d'aménagement de la Porte de Gesvres (périphérique nantais - A11).

1- Aerial view of the Porte de Gesvres development site (Nantes ring road - A11).

réduisant la congestion qui en découle à l'horizon 2035, d'autre part.

Outre les 2 ouvrages principaux détaillés ci-après - viaduc Est et viaduc Ouest - le projet prévoit également (figure 2) :

- La réfection des équipements et la mise aux normes des dispositifs de retenue du PS2 ;
- La démolition de 2 ouvrages existants (PS3 et PS4) ;

- Le remplacement d'un pont route de La-Chapelle-sur-Erdre : le nouvel ouvrage à 2 travées de 22,50 m comportera un tablier à poutres précontraintes par adhérence (PRAD) dont l'aménagement intègre une voie verte ;
- L'élargissement d'un PI au-dessus du Gesvres par ajout de consoles métalliques supportant des passages de service piétons ;
- La réalisation d'un écran acoustique long de 350 m.

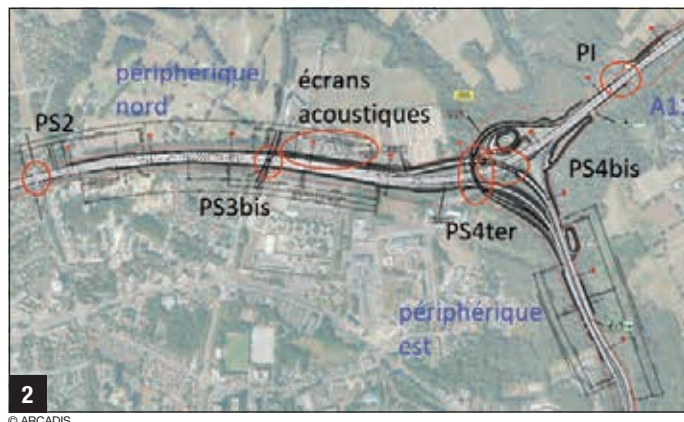
La Direction des Infrastructures de Transport a confié à Vinci Autoroutes la maîtrise d'ouvrage des études de réaménagement en décembre 2013. Les études de conception et la réalisation du DCE par Arcadis se sont déroulées d'octobre 2018 à avril 2020. Le marché principal a été attribué au groupement Bouygues/Colas/Aximum. Bouygues a sous-traité les travaux de charpente métallique à l'entreprise Giugliano. Les travaux ont démarré en février 2021 avec un délai global de 36 mois.

CONTRAINTES

Les contraintes pour la conception des 2 ouvrages principaux sont surtout des contraintes géométriques issues du tracé et du franchissement du périphérique Nord, ainsi que des contraintes liées aux travaux à réaliser sous très fort trafic (90 000 véhicules par jour). Des contraintes supplémentaires sont ensuite apparues pendant la conception.

CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES

Les 2 ouvrages sont situés sur des courbes de rayons 255 m pour le viaduc Est et 120 m pour le viaduc Ouest. Cette particularité géométrique



2- Plan de repérage des ouvrages.

3- Coupe transversale initiale du caisson du viaduc Est.

2- Works layout drawing.

3- Initial cross section of the East viaduct box girder.

a conduit à envisager des solutions de type caissons, bien adaptés aux tracés courbes, pour éviter les problèmes de torsion par rapport aux solutions de type bipoutre. En effet, si une solution de ce type a été envisagée pour le viaduc Est, elle était rédhitoire pour le viaduc Ouest compte tenu de la portée angulaire projetée.

De même, le remblai d'accès au viaduc Est passe sous le viaduc Ouest.

Le tracé et la conception du premier ouvrage avait donc des conséquences directes sur le deuxième, mais également sur les remblais d'accès et les terrassements généraux à effectuer et par conséquent sur l'impact environnemental et foncier du projet. Les solutions de type caissons présentaient alors des élargissements avantageux par rapport aux bipoutres afin de respecter sous chaque ouvrage un gabarit minimum de 4,95 m.

Concernant la répartition des travées, des solutions avec appuis en terre-plein central ont été envisagées puis écartées car cette disposition entraînait des conditions d'accès dangereuses en phase de construction (manque de visibilité en courbe pour l'accès aux piles en terre-plein central). Ainsi, pour chacun des 2 ouvrages, une solution à 3 travées avec une travée principale au-dessus de l'autoroute a été retenue. Pour le viaduc Ouest, les bretelles d'accès périphérique Nord <=> périphérique Est sont situées sous les travées de rive. À noter également que

l'absence d'appui en terre-plein central conduit à des portées supérieures à 32 m pour lesquelles des solutions de type pont à poutres précontraintes adhérentes (PRAD) ou poutrelles enrobées n'étaient plus envisageables (en plus de la contrainte du tracé courbe difficile à traiter).

Les emprises disponibles sur le site pour la mise en place des tabliers par lançage représentaient également une contrainte importante du projet.

CONTRAINTES LIÉES AUX TRANSPORTS EXCEPTIONNELS

Des transports exceptionnels sont à considérer sur le périphérique nantais. Pour le viaduc Est, sont pris en compte le convoi de 94 t qui circule mêlé au trafic courant, et le convoi de 120 t qui circule seul. Pour le viaduc Ouest, uniquement le convoi de 120 t circulant seul a été pris en compte.

CONTRAINTES LIÉES AU RISQUE INCENDIE

Au cours de la conception, le maître d'ouvrage a demandé d'appliquer les recommandations du guide Cerema "Résistance à l'incendie des ponts routiers" tout juste paru en octobre 2018, et d'étudier l'impact sur les ouvrages en cours de conception. La prise en compte du risque incendie n'était jusqu'à présent pas considérée dans les études d'ouvrage d'art et les tabliers métalliques sont classés comme vulnérables au feu. De plus, l'autoroute est concernée par le Transport de Matière Dangereuse.

CONCEPTION INITIALE

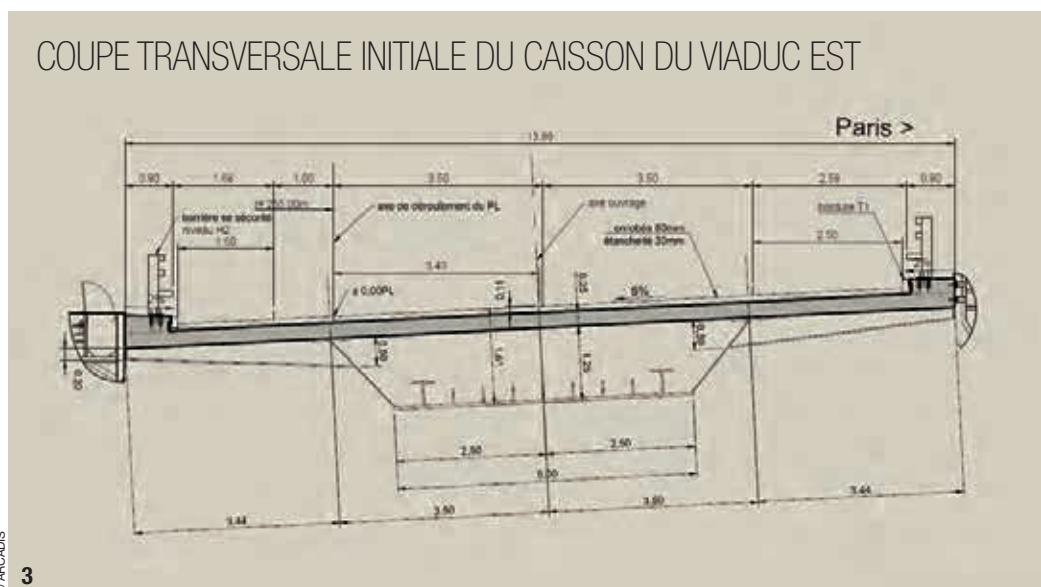
Les solutions de types caissons mixtes à 3 travées se sont imposées rapidement compte tenu des contraintes du site. Les viaducs sont considérés comme des OANC, et ont fait à ce titre l'objet de dossiers EPOA, validés par Décision Ministérielle.

COUPES LONGITUDINALES

La longueur de la travée principale centrale du viaduc Est est de 42,97 m au-dessus de l'autoroute. Afin de limiter la longueur totale de l'ouvrage, et par conséquent son coût, la longueur des travées de rive avait été fixée initialement à 0,65 fois celle de la travée centrale.

La longueur de la travée principale centrale du viaduc Ouest était initialement de 44,27 m au-dessus de l'autoroute. La longueur des travées de rive était respectivement de 35,41 m et 39,40 m pour le passage des bretelles d'accès. ▽

COUPE TRANSVERSALE INITIALE DU CAISSON DU VIADUC EST



COUPES TRANSVERSALES

La coupe transversale fonctionnelle du viaduc Est se compose d'une surlargeur de visibilité de 1,50 m à gauche, d'une Bande Dérasée Gauche de largeur 1,00 m, d'une chaussée à 2 voies de largeur 7,00 m et d'une bande d'arrêt d'urgence de largeur 2,50 m. Celle du viaduc Ouest se compose d'une surlargeur de visibilité de 0,65 m à gauche, d'une Bande Dérasée Gauche de largeur 0,50 m, d'une chaussée à 1 voie de largeur 3,50 m et d'une Bande Dérasée Droite de largeur 2,00 m.

Avec les dispositifs de retenue en rive, les largeurs totales sont de 13,86 m pour le viaduc Est et 8,41 m pour le viaduc Ouest.

La hauteur du caisson métallique (hors hourdis) a été fixée à 1,25 m, soit un élancement proche du 1/35 de la portée centrale. Dans les premières coupes transversales, les caissons métalliques étaient constitués de 2 âmes inclinées et la hauteur des consoles au niveau des âmes n'était pas alignée sur la hauteur des caissons (figure 3).

Les diaphragmes et consoles sont espacés de 4 m environ afin de limiter l'épaisseur du hourdis. Compte tenu de la nécessité de limiter la hauteur des caissons et donc de l'impossibilité de les rendre visitables, ils sont totalement étanches et fermés par une tôle supérieure et des fermetures complètes aux extrémités.



4 © BOUYGUES

Le hourdis est constitué d'une dalle mixte (appelée également dalle Robinson) composée d'une tôle inférieure d'épaisseur 20 mm (raidie afin de limiter sa flèche sous le poids du béton

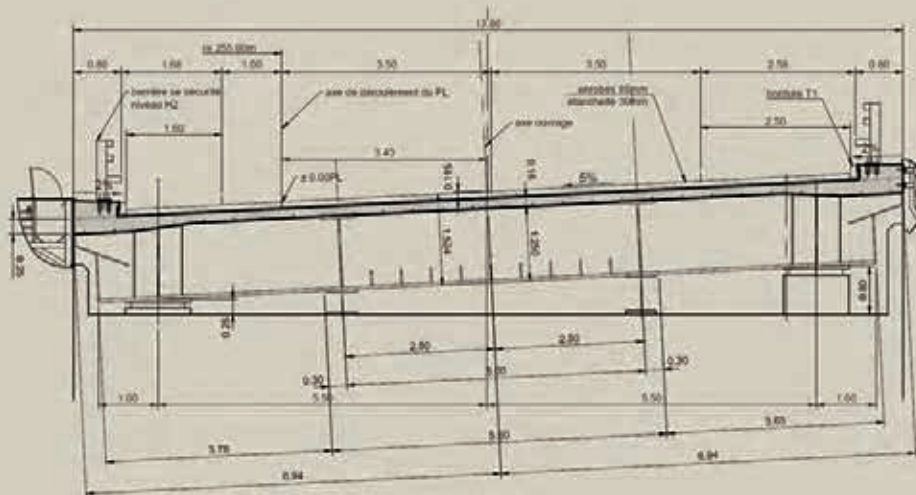
frais pendant les phases de bétonnage) et d'une dalle en béton armé d'épaisseur 16 cm. La tôle inférieure est prise en compte pour le dimensionnement de la section mixte en flexion longitudinale,

mais également en tant qu'armature inférieure de la dalle pour la flexion locale.

Une solution avec un hourdis constitué de dalles préfabriquées a également été envisagée.

Mais, afin de limiter les interventions au-dessus de l'autoroute et donc sa coupure, les caissons auraient dû être lancés avec les dalles préfabriquées, ce qui présentait certains inconvénients : un poids plus élevé lors du lancement conduisant à un surdimensionnement de la charpente en phase provisoire, d'une part, la nécessité de laisser au-dessus des voies en circulation des dalles non clavées entre 2 phases de lançage (soit plusieurs semaines) et le clavage de celles-ci au-dessus des voies, d'autre part.

COUPE TRANSVERSALE DU CAISSON DU VIADUC EST SUR CULÉE



5

© ARCADIS

4- Réalisation de la charpente en usine - Pièce de pont du viaduc Ouest sur culée.

5- Coupe transversale du caisson du viaduc Est sur culée.

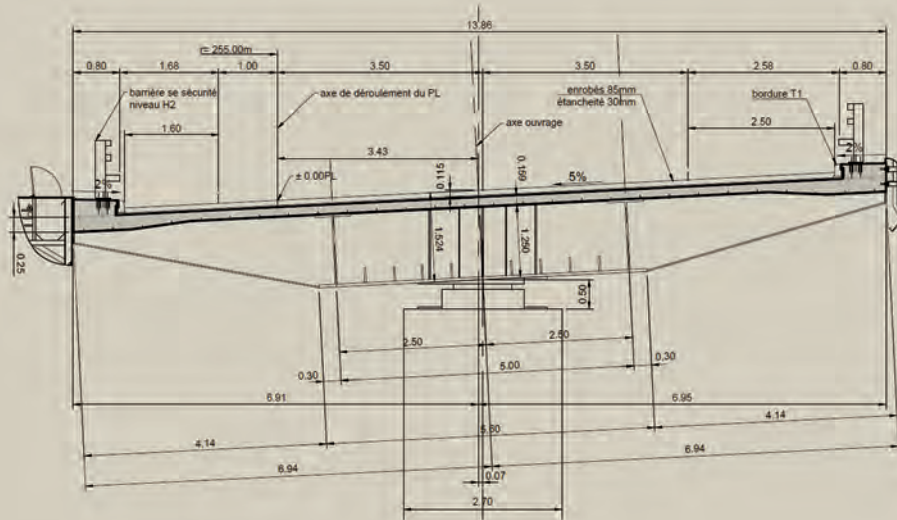
6- Coupe transversale initiale du caisson du viaduc Est sur pile.

4- Frame construction in factory - Transverse girder of the West viaduct on abutment.

5- Cross section of the East viaduct box section on abutment.

6- Initial cross section of the East viaduct box girder on pier.

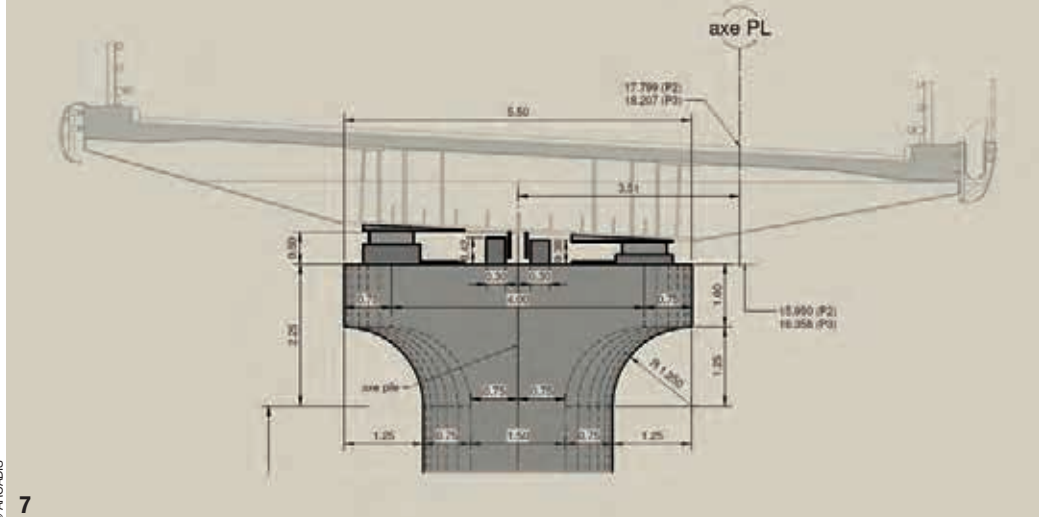
COUPE TRANSVERSALE INITIALE DU CAISSON DU VIADUC EST SUR PILE



6

© ARCADIS

CONCEPTION FINALE SUR PILES DU VIADUC EST



© ARCADIS
7

La solution hourdis mixte avait donc l'avantage de représenter un poids plus faible pour les phases de lancement et une durée d'intervention réduite au-dessus des voies pour le bétonnage à l'abri de la tôle.

En rive, le hourdis est épaissi afin de pouvoir y disposer les armatures des longrines d'ancrage des dispositifs de retenue.

CULÉES

Les culées étaient de type perchées en crête de talus. Elles étaient constituées d'un chevêtre fondé sur une file unique de pieux de diamètre 1200 mm centrée sous l'axe d'appui. Cette conception avait été préférée à des culées avec un fût enterré sur semelle superficielle conduisant à des dimensions de fondation souvent très importantes pour une zone de sismicité modérée lors de l'application de l'annexe F de l'EN1998-5.

7- Conception finale sur piles du viaduc Est.

8- Piles du viaduc Ouest.

9- Armatures de la semelle de la pile P3 du viaduc Est.

7- Final design of the East viaduct on piers.

8- West viaduct piers.

9- Rebars of the foundation slab of East viaduct pier P3.

Sur culées, le diaphragme est débordant afin de positionner les appuis sous les consoles et ainsi de limiter la variation des réactions d'appuis due au moment de torsion (figures 4

et 5). Malgré cela, les appareils d'appui sont constitués d'appareils d'appui à pot compte tenu de la très faible compression obtenue sur l'un des 2 appuis (rendant impossible la justification d'un néoprène fretté).

PILES

Les solutions initiales prévoyaient un appareil d'appui unique sur pile en néoprène fretté positionné au milieu de l'intrados des caissons (figure 6) et reposant directement sur le fût de section oblong 1,50x3,00 m. Les piles sont fondées superficiellement dans les micascistes.

Cette solution permettait de limiter l'emprise du fût (et donc de faciliter son implantation par rapport à l'autoroute), d'une part, et les efforts au niveau des piles et par conséquent les dimensions des fondations par rapport à l'autoroute en phase provisoire pendant leur construction, d'autre part.

DISPOSITIFS DE RETENUE

Les tabliers sont équipés de dispositifs de retenue BN4-16 avec écran motocycliste en extérieur de courbe (dérogation car il n'y a pas de produit CE pour un niveau de retenue H3 avec un écran moto associé).

ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION

Les différentes phases de la conception ont vu évoluer significativement certaines caractéristiques des ouvrages. La prise en compte de nouvelles contraintes (convois exceptionnels, risque incendie) a eu un impact particulier sur la répartition des travées et la conception des piles.

COUPES LONGITUDINALES

La courbure en plan des ouvrages génère une forte disparité au niveau des réactions d'appuis sur culée.

En effet, cette courbure allié à l'excentrement des charges crée un moment de torsion important au niveau des caissons qui est reprise au droit des culées en compression/décompression au niveau des appareils d'appui.

L'introduction des convois exceptionnels s'est avérée dimensionnante puisque ceux-ci ont généré le soulèvement d'un appareil à l'ELU avec la répartition de travée prévue initialement.

Afin de résoudre ce problème, les travées de rive du viaduc est ont été légèrement allongées (balancement final de 0,73).

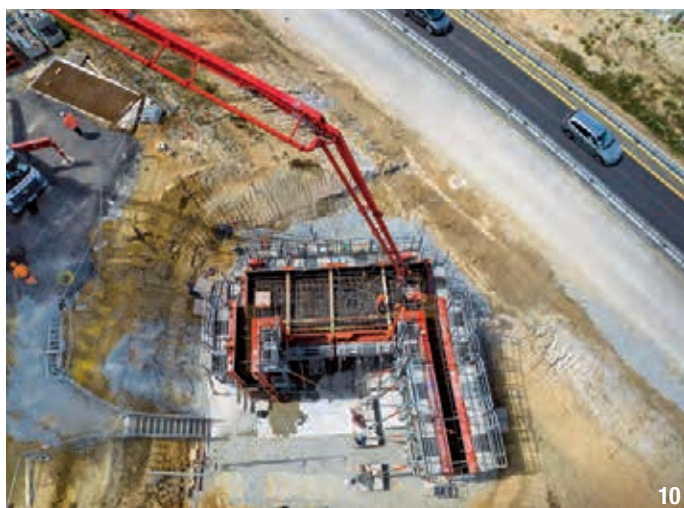
Pour le viaduc Ouest, afin de ne pas augmenter la longueur totale de l'ouvrage, la pile P2 a pu être déplacée afin d'augmenter la portée de la travée de rive problématique et de diminuer la portée de la travée centrale (balancement final de 0,82).



8
© GAEL ARNAUD



9
© ARCADIS



10

© GAEL ARNAUD



11

© ARCADIS

COUPES TRANSVERSALES

Afin de simplifier la conception, la réalisation et la mise en place du tablier, Fca a demandé de modifier la coupe transversale des caissons. Les âmes initialement inclinées ont été positionnées verticalement et les semelles inférieures des consoles ont été alignées avec la semelle inférieure des caissons au niveau des âmes (figure 6).

PILES

Afin de prendre en compte la possibilité d'un incendie sous une travée et d'éviter un effondrement en chaîne de la totalité de l'ouvrage, Fca a demandé de prévoir 2 appareils d'appui au niveau de chaque pile, pour améliorer la stabilité du tablier. Cette demande a donc engendré :

→ La création sur chaque pile de chevêtres (pile marteau) permettant le positionnement d'un appareil d'appui près des âmes des caissons (figures 7 et 8) ;

→ L'augmentation des dimensions des semelles superficielles suite à l'augmentation des efforts sur pile avec le passage à 2 appareils d'appui (augmentation de la raideur et prise en compte d'un moment transversal dû à la dissymétrie des charges du tablier) : les semelles initiales de dimensions 5x5 m ont été élargies à 6x6 m (figure 9) ;

→ La mise en place de butées longitudinales sur chaque culée pour éviter l'échappement des travées.

Sur piles, des butées sismiques transversales ont été ajoutées afin de

10- Réalisation de la culée C4 du viaduc Ouest.

11- Tablier de l'ouvrage provisoire route de La-Chapelle-sur-Erdre.

12- Mise en place des VMD à la grue.

10- Execution of West viaduct abutment C4.

11- Deck of the temporary structure on La-Chapelle-sur-Erdre road.

12- Installation of dismountable steel viaducts by crane.

considérer un coefficient de fiabilité $\gamma_{ls} = 1,00$ pour le dimensionnement des appuis et appareils d'appui.

CULÉES

Les sondages complémentaires de la mission G3 ont permis de retenir des hypothèses géotechniques plus favorables que lors de la mission G2. Les culées initialement prévues perchées sur pieux en crête de talus ont donc été fondées sur des semelles superficielles (avec des purges importantes) avec un fût noyé dans le remblai (figure 10).

TABLIER

La charpente métallique du viaduc ouest sera mise en place par lancement au-dessus du périphérique. Pour le viaduc Est, l'entreprise prévoit l'utilisation



12

© ARCADIS



13

© ARCADIS

de kamags. À noter que la crise en Ukraine a généré une pénurie d'acier de construction dans toute l'Europe, conduisant à des difficultés d'approvisionnement majeures pour la charpente métallique du viaduc Est.

TRAVAUX CONNEXES MISE EN PLACE D'UN PONT PROVISOIRE

La démolition du pont de la route de La-Chapelle-sur-Erdre a nécessité la mise en place d'un pont provisoire pendant les travaux afin de maintenir la circulation des riverains et du réseau de bus. Le tablier est constitué de Voussoirs Métalliques Démontables (VMD) provenant du stock du Centre National des Ponts de Secours (CNPS) et comporte 3 travées isostatiques de 30,80 m chacune.

Cet ouvrage est considéré comme un ouvrage d'art d'usage collectif à durée d'utilisation limitée et non comme un ouvrage provisoire, terme réservé à un ouvrage pour une circulation de chantier. Cette nuance a des conséquences importantes sur les dispositifs de retenue puisque, conformément à la Déclaration Ministérielle, les dispositifs de retenue devaient prendre en compte l'indice de danger du Setra sans toutefois être inférieurs au niveau H2.

13- Démolition par grignotage du pont de la route de La-Chapelle-sur-Erdre.

13- Demolition by nibbling of the bridge on La-Chapelle-sur-Erdre road.

Compte tenu de la durée d'utilisation courte de l'ouvrage (environ un an), une dérogation avec un niveau de retenue N2 a été envisagée. Le Centre National des Ponts de Secours a alors étudié la possibilité de renforcer les dispositifs existants (ainsi que la structure du tablier) afin d'obtenir ce niveau et de le valider par une simulation numérique.

Néanmoins, les délais pour mener à bien cette solution n'étant pas compatibles avec le chantier, une autre solution a été mise en œuvre.

Initialement constitué d'un seul Viaduc Métallique Démontable (VMD) transversalement, le tablier est finalement constitué de 2 VMD accolés permettant ainsi d'élargir l'ouvrage et de disposer des Séparateurs Modulaires de Voies (SMV) de niveau H1. Il comporte un passage pour piétons et cycles (pied à terre) de largeur 1,40 m, une seule voie de circulation (circulation alternée) d'une largeur de 3,50 m encadrée par des SMV et une zone neutralisée de largeur 0,50 m (figure 11).

La pose des 6 VMD à la grue s'est déroulée en 3 nuits (figure 12).

DÉMOLITION DU PONT DE LA ROUTE DE LA-CHAPELLE-SUR-ERDRE

L'opération a nécessité une coupure de la circulation de 8 heures. Après la mise en place d'une couche de sable sur la chaussée afin d'assurer sa protection, l'ouvrage a été démolé par grignotage (figure 13).

Les gravats ont été ensuite évacués en décharge et la circulation a été rétablie après nettoyage de la chaussée. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON DE STRUCTURE :
705 m³ (viaduc Est) + 602 m³ (viaduc Ouest)

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ :
120 t (viaduc Est) + 100 t (viaduc Ouest)

CHARPENTE MÉTALLIQUE :
743 t (viaduc Est) + 500 t (viaduc Ouest)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes

MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis

INGÉNIERIE DES SOLS : Ginger

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Bouygues / Colas / Aximum
(sous-traitant charpente : Giugliano)

COORDONNATEUR SPS : Presents

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Ioa (charpente métallique)

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Aia (appuis béton) et Seteco (tabliers mixtes)

ABSTRACT

DESIGN OF BRIDGE STRUCTURES AT PORTE DE GESVRES IN NANTES

DENIS MACE, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

The Porte de Gesvres development plan aims to ensure continuity of the two-lane dual-carriageway ring road in order to allow smoother traffic on this interchange linking the A11 motorway to the North and East ring roads. The two main bridge structures, called the East viaduct and West viaduct, consist of 3-span curved composite box-girder decks, of total length 105.30 metres for the East viaduct and 119.08 metres for the West viaduct. □

DISEÑO DE LAS OBRAS DE FÁBRICA DE LA PUERTA DE GESVRES EN NANTES

DENIS MACE, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

El proyecto de ordenación de la Puerta de Gesvres consiste en asegurar la continuidad del cinturón de 2x2 carriles para mejorar la fluidez del tráfico en este nudo vial que enlaza la autopista A11 y los cinturones Norte y Este. Las 2 principales obras de fábrica (el viaducto Este y el viaducto Oeste) están formadas por tableros con cajones mixtos curvados de 3 luces, con una longitud total de 105,30 m para el viaducto Este y de 119,08 m para el viaducto Oeste. □

PONT RAIL DE FRANCHISSEMENT DE LA PORTE DE LA CHAPELLE DU CDG EXPRESS

AUTEURS : RÉMY MARTZ, DIRECTEUR DE TRAVAUX, SETEC - ANTHONY SCARAMOZZINO, DIRECTEUR DU BUREAU D'ÉTUDES, DODIN CAMPENON BERNARD - ALEXANDROS GIANNOPOULOS, INGÉNIEUR PRINCIPAL, DODIN CAMPENON BERNARD



© VINCI CONSTRUCTION

EN 2018, UN GESTIONNAIRE D'INFRASTRUCTURE DU CDG EXPRESS EST CRÉÉ, RÉUNISSANT SNCF RÉSEAU, LE GROUPE ADP ET LA CAISSE DES DÉPÔTS. SON OBJECTIF : RELIER PAR UNE NAVETTE EN LIAISON DIRECTE LA GARE DE L'EST À L'AÉROPORT PARIS-CHARLES DE GAULLE, EN VINGT MINUTES POUR UNE VITESSE DE 70 km/h. L'UNE DES ÉTAPES DES TRAVAUX SE CONCENTRE ACTUELLEMENT À LA SORTIE DE GARE DE L'EST, SUR LE FAISCEAU FERROVIAIRE NORD, PLUS PRÉCISÉMENT À LA PORTE DE LA CHAPELLE. UN NOUVEAU VIADUC UNIQUE DE 300 m EST RÉALISÉ, PERMETTANT À LA NOUVELLE LIGNE DE FRANCHIR LA PORTE DE LA CHAPELLE.

CADRE DE L'OPÉRATION

Le CDG Express est un projet de liaison ferroviaire directe, prévu pour relier l'aéroport Paris - Charles de Gaulle à Paris-Gare-de-l'Est en 20 minutes à l'horizon de début 2027. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par le GIE "CDG Express", gestionnaire d'infrastructure détenu à parts égales par Groupe ADP, SNCF Réseau et la Caisse des Dépôts et Consignations.

La construction de l'infrastructure de la ligne est assurée par SNCF Réseau qui a en charge la maîtrise d'ouvrage des marchés de conception et de réalisation des 8 secteurs de la ligne (figure 2).

Pour le secteur C qui comprend la construction d'un nouveau pont-rail de franchissement de la porte de la Chapelle et d'une tranchée ouverte et couverte permettant de se raccorder aux faisceaux ferroviaires de la gare de l'Est, la maîtrise d'œuvre est assurée par la société d'ingénierie Setec (figure 3). Les travaux du marché principal de réalisation du génie civil des ouvrages sont réalisés par un groupement des entreprises du groupe Vinci Construction (Chantiers Modernes Construction, Dodin Campenon Bernard, Botte Fondations, Extract).

La construction du pont-rail de franchissement de la porte de la Chapelle a

1 - Vue d'ensemble.

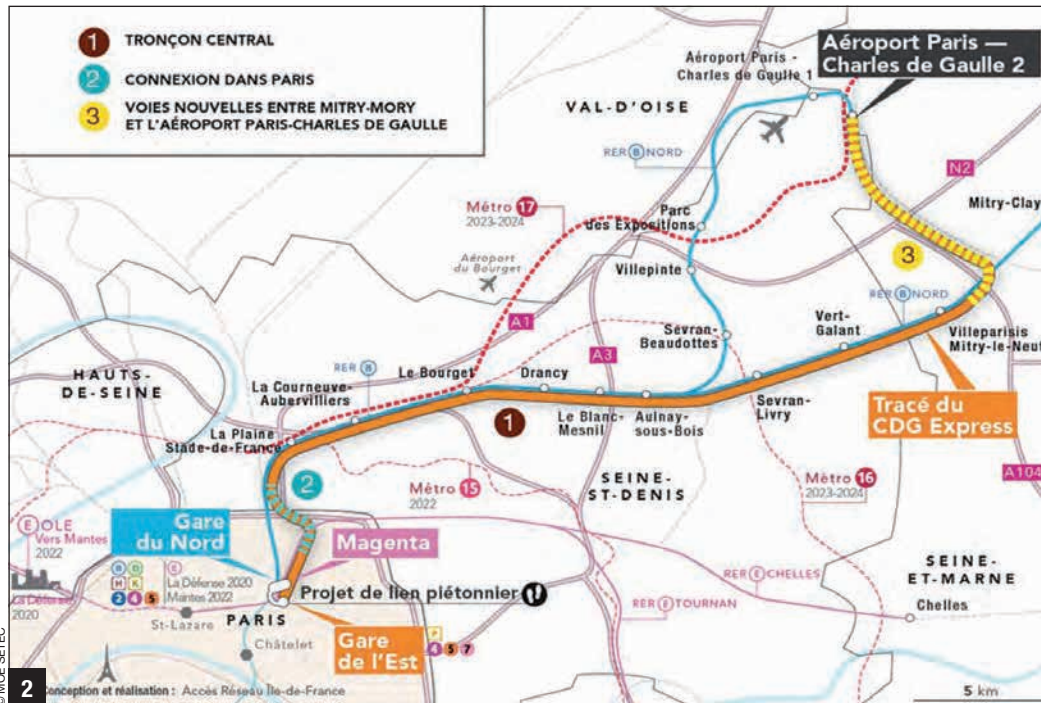
1 - General view.

été précédée par un marché de dépose et démolition des ouvrages existants dont la dépose du pont National à poutres treillis sur le boulevard de la Chapelle et du pont Soudé sur le boulevard Ney dans le cadre d'une opération spéciale de ripage sur chariot automoteur, sous coupure de circula-

tion totale sur la porte de La Chapelle en août 2021 (figure 4).

DONNÉES ET CONTRAINTES DU SITE

Outre les contraintes d'organisation de chantier liées à l'implantation et l'organisation des emprises de chantier dans le cadre du schéma de circulation de la porte de La Chapelle à Paris, les méthodologies des travaux de fondations profondes et de fouilles pour les semelles ont dû être coordonnées avec les services techniques des différents concessionnaires des réseaux majeurs traversant la place, Grdf, Cpcu, Enedis, Siapp (figure 5).



DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est un pont-rail à deux voies à poutres latérales en I et un caisson central. Sa longueur totale est de 295 m sur 10 travées de portée moyenne de 30 m. La hauteur des poutres est de 1,35 m ce qui constitue un élanement constant de L/28. La largeur totale fonctionnelle est de 10,68 m. Le tablier porte les deux voies ferroviaires du CDGX ainsi que deux pas-

2- Schéma de la ligne.
3- Plan de situation.

2- Diagram of the line.
3- Location drawing.

sages de service. Les voies sont posées sur une dalle spécifique bloquée dans la dalle du tablier. Le tablier suit la géométrie du tracé qui se trouve partiellement sur un arc de 1190 m (pour la voie V1) et sur un alignement droit (figures 6 et 7).

Les piles sont en béton armé teinté. Elles sont constituées chacune de 3 fûts de section variable elliptique reliés par un chèvêtre rectangulaire de hauteur variable (figure 8).



Les semelles se reposent sur des fondations profondes en pieux forés tubés pour les piles courantes, sur des barrettes pour les appuis de la pile P5 qui constitue l'appui fixe du tablier.

Les terrains sous les appuis ont fait l'objet d'un traitement des vides karstiques et de consolidations préalables par injections.

PRINCIPES DE CONSTRUCTION

L'organisation du chantier est adaptée pour suivre la libération des emprises par la démolition des ouvrages existants et réaliser le lançage du tablier par deux extrémités de l'ouvrage.

La zone du chantier est divisée en 8 emprises, les accès de chantier s'organisent pour chacune d'entre elles comme suit :

- Appuis C0 et plateforme de lançage, cette partie d'ouvrage occupe l'extrémité Nord de la zone Chapelle Charbon ;
- Appuis P7, P8, P3 et P4, ces quatre emprises présentent la même configuration, elles sont isolées au milieu des flux de circulation. Les entrée et sortie sont gérées par des voies d'insertion directe dans les flux routiers ;
- Appuis P5 et P6, ces deux appuis sont isolés des flux routiers par la fermeture de la bretelle. Cette bretelle fait partie intégrante des emprises de chantier, elle est utilisée pour les entrée et sortie permettant une insertion neutre dans les flux de circulation ;
- Appuis P1 et P2, cette emprise est une extension de l'emprise C0 ;
- Appuis C10 et P9 et plateforme de lançage, Cette emprise partage un accès commun avec la zone D, directement connecté au boulevard Niel.

APPUIS

Pour la réalisation des 11 appuis, le même enchaînement des ateliers a été mis en œuvre sur chacun : mobilisation de l'emprise, sécurisation pyrotechnique, repérage et déviation de réseaux éventuels, injections, réalisation des pieux ou barrettes, terrassement, soutènement provisoire et recépage, génie civil, voirie et rétablissement de chaussée.

Le design hétérogène des appuis ne permettant pas l'utilisation d'un seul outil coffrant type pour toutes les élévations des appuis, les travaux ont été organisés autour de quatre familles de coffrage et en fonction de la disponibilité des emprises.

L'ensemble des pieux du pont a été réalisé en foré tubé. Les pieux des piles P7, P8 et P9 ont été tubés en définitif en raison de la présence du métro 12 et de l'ouvrage du Siapp. Les diamètres des pieux varient de 800 à 1 400 mm et les profondeurs peuvent atteindre jusqu'à 28 m.

La pile P5 (point fixe de l'ouvrage) est réalisée en barrettes, au nombre de 4 de dimensions 6 m x 1,22 m. L'excavation des barrettes est effectuée à la benne à câbles. Lors du forage, la stabilité de l'excavation est assurée par de la boue bentonitique.

Au vu de l'exiguïté des emprises des appuis, réduites au milieu des flux de circulation, les semelles des piles P2 à P9 sont réalisées sous blindage provisoire (paroi berlinoise). Le ferrailage est réalisé directement dans l'enceinte blindée, les armatures sont stockées en haut de la fouille et descendues à pied d'œuvre à la grue mobile.

Les piles P3 à P9 présentent le même principe de design et la même méthodologie de réalisation est appliquée pour toutes. Les deux fûts extérieurs et le fût central sont réalisés avec un outil coffrant spécifique composé de deux demi-coques, avec système de bridage extérieur permettant de supprimer les tiges traversantes et d'avoir un pare-



© MOE SETEC

ment extérieur maîtrisé. Le chevêtre est réalisé sur étaie avec vaux spécifiques pour la sous face et banches avec peau en bois pour les joues qui viennent se pincer sur les fûts.

Les armatures des fûts sont préfabriquées sur la plateforme mise à disposition à proximité de C10 et acheminées sur chaque appui (figure 9).

Les culées sont constituées d'un chevêtre reposant sur un mur de front. Les semelles des culées et des murs en retour sont réalisées en fouille ouverte sur béton de propreté, coffrés

4- Dépose du pont National.

5- Contraintes du site.

4- Dismantling the National Bridge.

5- Site constraints.

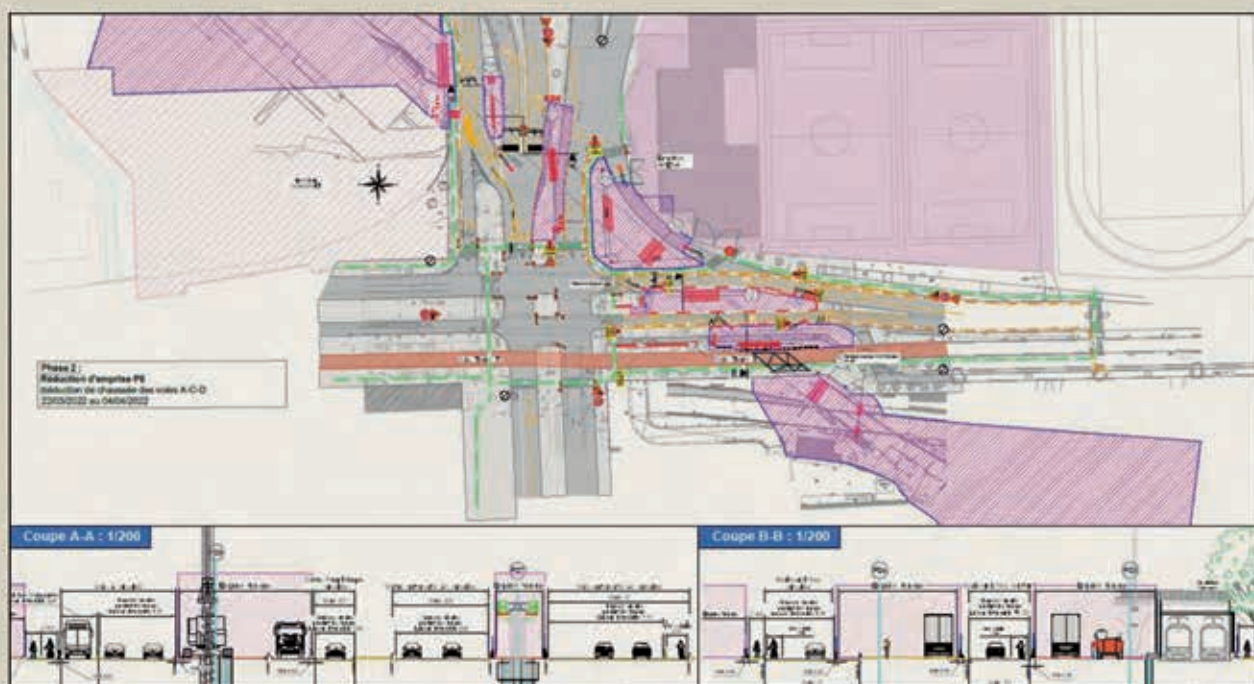
sur leur périmètre. Les élévations sont traitées en une seule levée avec des banches avec peau en bois permettant la mise en œuvre des négatifs et des

banquettes architecturales (figure 10). La réalisation des bossages et le scellement des appareils d'appui sont faits en deux temps. Dans un premier temps, le bossage est réalisé jusqu'à un niveau de 10 cm sous son niveau définitif. Des Ankrabox sont mises en place dans cette première partie pour loger les ancrages (goujons) des appareils d'appui sphériques. Dans un deuxième temps, après mise en place et réglage des appareils d'appui, l'espace entre les appareils et le bossage est rempli de mortier. À l'exception de la pile P5, point fixe du tablier pour la dilatation thermique et la reprise des efforts de freinage, les appareils d'appui sont connectés directement sur le chevêtre de la pile sans bossage béton, afin d'ancrer les efforts horizontaux importants.

FABRICATION DE LA CHARPENTE

La charpente du tablier est constituée par trois poutres PRS. Les deux poutres de rive possèdent une section en forme de I d'une hauteur constante de 1 320 mm. La poutre centrale est un caisson métallique d'une hauteur constante de 1 375 mm. L'épaisseur des semelles varie de 80 mm en travée à 100 mm sur appui. Les âmes des

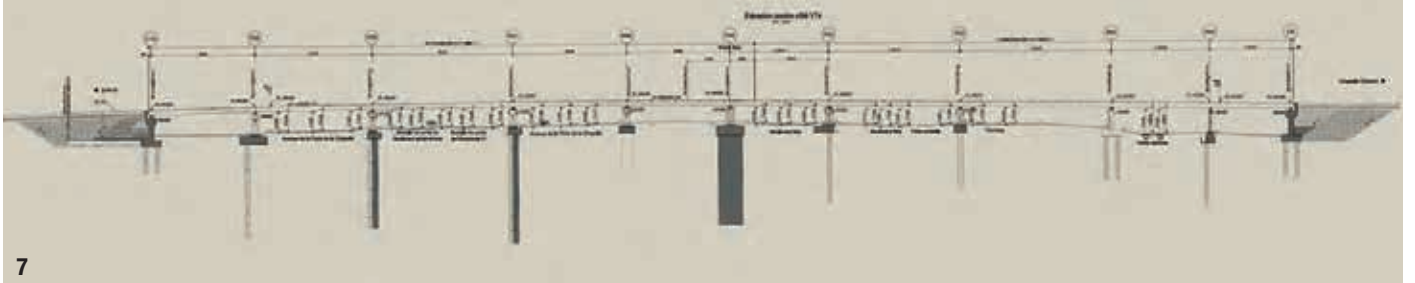
CONTRAINTES DU SITE





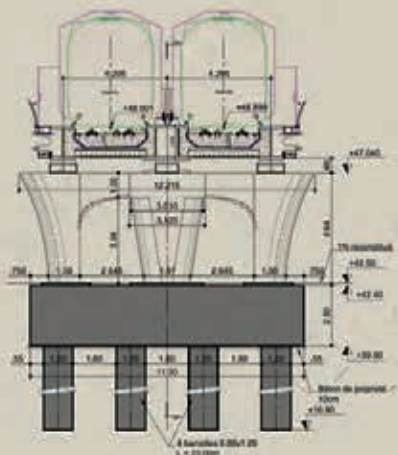
© MOE SETEC
6

COUPE LONGITUDINALE



© MOE SETEC
7

COUPE TRANSVERSALE



- **Tablier**
 - ✓ RAPL bas avec poutres latérales I et caisson central
 - ✓ Acier S355, semelles ép. 100mm
 - ✓ Entretoises HEA et PRS enrobées espacées de = 0,7m
 - ✓ Elancement important : L/28
 - ✓ Poids total de charpente = 2850 tonnes
 - ✓ Mise en place par lançage des deux demi-tabliers.
- **Piles**
 - ✓ Deux fûts latéraux de section elliptique
 - ✓ Fût central de section elliptique à largeur variable
 - ✓ Chevêtre rectangulaire à hauteur variable
 - ✓ Bossages d'appareil d'appui et de vérinage sous chaque poutre longitudinale
 - ✓ Piles fondées sur semelles et pieux ou barrettes.

© MOE SETEC
8

6- Image de synthèse sur le site.

7- Coupe longitudinale.
8- Coupe transversale.

6- Synthesis image on the site.

7- Longitudinal section.
8- Cross section.

poutres ont une épaisseur constante de 30 mm.

Les trois poutres principales sont connectées transversalement par des entretoises et des pièces de pont à une distance de 8,59 m. Les pièces de pont sont des poutrelles métalliques de type HEA300 espacées de 690 mm. Une poutrelle sur quatre joue

le rôle d'entretoise. Les entretoises sont renforcées et sont constituées d'une section en PRS en forme de I (hauteur et largeur 300 mm, semelles de 20 mm et âmes de 10 mm). Les zones d'appui sont rigidifiées par les mêmes poutrelles renforcées. Particulièrement sur les appuis en biais, les poutrelles renforcées sont placées de manière

à posséder toujours trois poutrelles renforcées autour de chaque appareil d'appui.

Des congés de raccordement circulaire de rayon R=150 mm sont prévus sur la semelle inférieure pour améliorer la résistance de l'assemblage et sa tenue à la fatigue. L'acier est de nuance S355. La charpente a été réalisée dans les

ateliers de Cimolai en Italie, chaque PRS étant découpée en 24 tronçons. Les transports sont réalisés par convois routiers. Les différents éléments de la charpente sont assemblés sur les aires de lançage aux deux extrémités de l'ouvrage. D'abord, les PRS sont assemblées par soudage, ensuite les pièces de ponts principales (entretoises en ▷



9 © VINCI CONSTRUCTION



10 © VINCI CONSTRUCTION

zone d'appui) sont soudés sur les PRS et enfin les pièces de pont secondaires sont assemblées par éclissages et boulons précontraints (figure 11).

LANÇAGE DU TABLIER

Les lançages des charpentes équipées des prédalles, des armatures et des gardes corps sont réalisés en deux phases. Le premier lançage du côté Nord-Ouest est réalisé en 5 nuits à partir du 30/05/22. À la vitesse de 10 m/h, le lançage du demi-tablier

des 150 m est réalisé sans coupure de circulation en provenance de l'autoroute A1 et du boulevard périphérique. Le deuxième lançage du côté Sud-Est est réalisé sur 4 nuits du 25 au 29 juillet 2022. Il est effectué au-dessus des voies de tramway et du domaine public, sous interruption de circulation du tramway. Ces deux parties sont réglées et assemblées par les équipes de Cimolai. À la fin, la mise sur appuis définitifs est réalisée avec plusieurs étapes de dévérinage (figure 12).

9- Ferrailage pile P9.

10- Culée C0.

11- Montage à blanc de la charpente.

9- Pier P9 renforcement.

10- Abutment C0.

11- Trial erection of the frame.

RÉALISATION DE LA DALLE BÉTON

Le coffrage du hourdis est assuré en sous-face, par une prédalle béton armé répondant aux exigences de la finition demandée par l'architecte et permettant d'isoler l'exécution des flux de circulation.

Les prédalles de 2 cm d'épaisseur sont mises en place avant le lançage du tablier.

Sur le pont, un outil de coffrage est conçu sur mesure pour réaliser les parties verticales en béton entre les profilés du tablier. Cet outil réalise le coffrage, le décoffrage et sa translation de manière mécanisée (figure 13).

Un découpage en 23 plots de bétonnage est prévu.

PLANNING DE RÉALISATION DES TRAVAUX ET ÉTAT D'AVANCEMENT

Notifié en décembre 2019 pour un délai de 29 mois, le marché de travaux a été durement impacté durant l'année 2020. On peut citer les périodes de confinement sanitaire due à la pandémie du Covid, d'une part, mais aussi en suivant par les difficultés d'obtention des libérations d'emprises et autorisations de voirie de la Ville de Paris, d'autre part.

Les libérations et autorisations administratives de travaux n'ont finalement été totalement acquises qu'à l'été 2021, permettant la dépose des ouvrages existants en août 2021 et la libération des emprises du PRA pour octobre 2021.

Le génie civil des appuis a été achevé fin mai 2022, ce à qui permis la mise



11 © CIMOLAI



12

© CIMOLAI

en place par lancement du tablier en deux parties fin mai et fin juillet 2022.

Le bétonnage du tablier et la fin de pose des équipements sont prévus pour la fin de l'année 2022, permettant une restitution des emprises de voirie à la Ville de Paris pour la réalisation des travaux de réaménagement de la place en vue des Jeux Olympiques de 2024.

12- Tablier lancé sur les voies du tramway.

13- Outil coffrant de la dalle béton.

12- Deck launched on the tramway tracks.

13- Concrete slab sectional formwork.

ÉTUDES D'EXÉCUTION DU GÉNIE CIVIL

Les études d'exécution sont menées principalement par trois bureaux d'études :

- Les études de la charpente métallique par le bureau d'étude Seteco, sous-traitant de Cimolai ;
- Les études du génie-civil (appuis et béton du tablier) par le bureau

d'études interne de Dodin Campenon Bernard ;

- Les études des fondations par le bureau d'études interne de Botte Fondations.

La porte de la Chapelle est un site urbain très contraint.

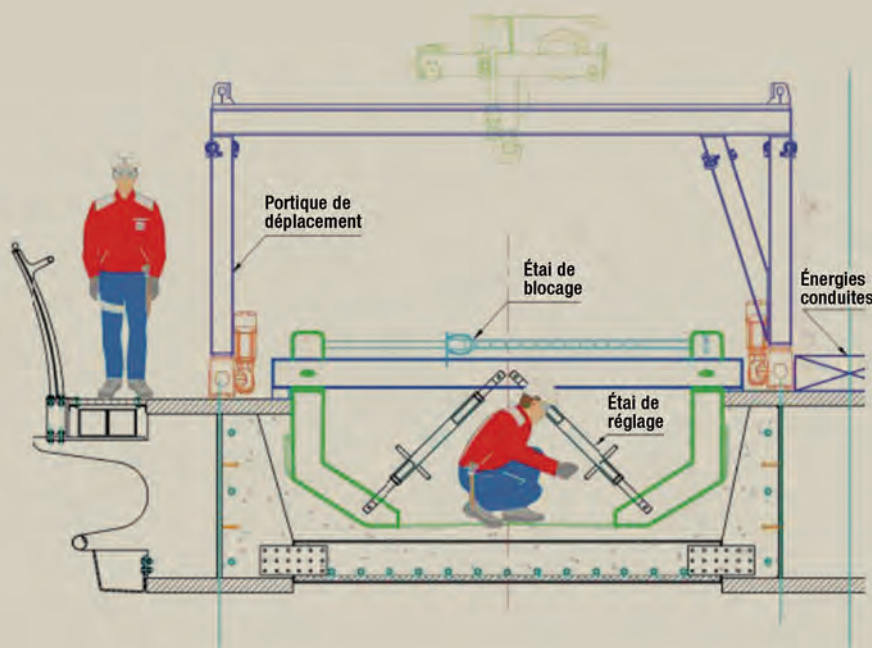
L'exiguïté des emprises des appuis, réduites aux espaces disponibles au croisement de plusieurs voiries très circulées, de voies ferrées, et de moyens de transport en commun a conduit le concepteur à disposer les appuis sur les seules emprises disponibles.

Par conséquent, chaque appui présente une orientation différente par rapport au tablier, une hauteur différente, une descente de charges différente en fonction des portées et enfin des fondations différentes (dimensions de semelle réduites à côté du tramway, fondation sur une seule ligne de pieux, fondation sur deux lignes des pieux, fondation sur barrettes) (figure 14). Pour les appuis, l'entreprise a suivi le dimensionnement prévu par le concepteur.

Un travail d'uniformisation de coffrage a été réalisé sur les 9 piles constituées par le double portique pour aboutir à quatre types de coffrage.

Les études d'exécution des appuis ont été menées avec un modèle aux éléments finis à l'aide du logiciel Sofistik pour le calcul de la descente de charges sur les fondations et le calcul des efforts dans les poteaux et les chevêtres.

OUTIL COFFRANT DE LA DALLE BÉTON

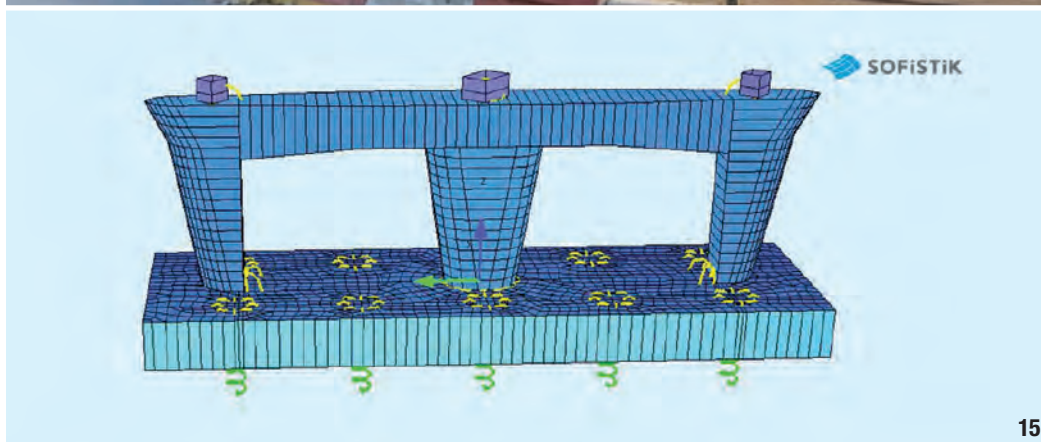


© VINCI CONSTRUCTION

13



14



15

© VINCI CONSTRUCTION

Les semelles de liaison des pieux ont été dimensionnées classiquement par la méthode de bielle et tirant, à l'exception de la pile P9 où, en raison de la présence d'une canalisation du Siapp, la semelle doit ponter un espace de 12 m.

Compte-tenu des variations géométriques des piles et l'hétérogénéité de la descente de charges, une étude spécifique a été menée pour le dimensionnement de chaque appui (figure 15). La forme architecturale des piles constituée de 3 fûts de section variable elliptique reliées par un chevêtre rectangulaire de hauteur variable se traduit par la conception d'un ferrailage de géométrie également variable.

Au début des études d'exécution, pour mettre au point la méthodologie de pose des armatures et pour visualiser le conflit sur les zones de croisement des aciers, un modèle de ferrailage en 3D a été monté sur Revit. □

14- Pile P6.

15- Modèle de calcul.

**14- Pier P6.
15- Design model.**

PRINCIPALES QUANTITÉS

POIDS DE LA CHARPENTE : 2 850 t

VOLUME BÉTON : 4 500 m³

POIDS ARMATURES BÉTON : 650 000 kg

DÉBUT TRAVAUX : septembre 2021

FIN TRAVAUX : janvier 2023

MONTANT : 33 M€

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

CONCEPTEUR : Setec

ARCHITECTE : Agence Spielmann - Chirino Architectures

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Chantiers Modernes Construction, Dodin Campenon Bernard, Botte Fondations, Extract, Vinci Construction Terrassement

CHARPENTIER : Cimolai (sous-traitant du groupement)

ABSTRACT

CDG EXPRESS RAILWAY BRIDGE PASSING THROUGH PORTE DE LA CHAPELLE

RÉMY MARTZ, SETEC - ANTHONY SCARAMOZZINO, DODIN CAMPENON BERNARD - ALEXANDROS GIANOPOULOS, DODIN CAMPENON BERNARD

As part of the project for the direct rail link between Paris-Charles de Gaulle Airport (CDG) and the City of Paris, a new 300-metre single viaduct is being constructed at Porte de la Chapelle in Paris. This exceptional project involves execution of the works on a very constrained urban site, where there are several major utility networks, a metro line, a tramway line and ring-road entry and exit slip roads. Design and construction of the supports entails architectonic formwork and a deck formed of three very slender steel beams. □

PUENTE FERROVIARIO DE CRUCE DEL CDG EXPRESS SOBRE LA PUERTA DE LA CHAPELLE

RÉMY MARTZ, SETEC - ANTHONY SCARAMOZZINO, DODIN CAMPENON BERNARD - ALEXANDROS GIANOPOULOS, DODIN CAMPENON BERNARD

En el marco del proyecto del enlace ferroviario directo del aeropuerto Paris - Charles de Gaulle con la ciudad de París, se está construyendo un nuevo viaducto único de 300 m en la Puerta de la Chapelle de París. Esta obra excepcional incluye la realización de la obra en un emplazamiento urbano muy restringido, en presencia de varias redes importantes, una línea de metro, una línea de tranvía y los carriles de entrada y salida de la vía de circunvalación. El diseño y las obras de los apoyos incluyen un encofrado arquitectónico y un tablero formado por tres vigas metálicas muy esbeltas. □

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®