

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VILLE ET PATRIMOINE. LE PATRIMOINE DES PONTS ET COUVERTURES DE LA VILAINE A RENNES. LE VIADUC DE GUERVILLE SUR L'A13. LE VIADUC DU TECH A PROXIMITE DE LA FRONTIERE ESPAGNOLE. LE TUNNEL DE BASTIA. LE PONT DE LA BRASSERIE AU SUD DE LYON. AMENAGEMENT DE LA PLACE CARPEAUX A LA DEFENSE. PROLONGEMENT DE LA LIGNE DE TRAMWAY T3 - OUVRAGE OA20 DE PONTAGE DU RER C A PORTE DAUPHINE. "LES FABRIQUES" A MARSEILLE. LE VIADUC DE CALIX A CAEN

N° 984 JANVIER/FÉVRIER 2023



PONT DE PIERRE
AVEC INTER-
VENTION D'UN
SCAPHANDRIER
© ROMOEUF

**LES TRAVAUX
PUBLICS**
FÉDÉRATION
NATIONALE

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

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



PRO BTP
GROUPE

ASSURÉ POUR DEMAIN

www.probtp.com

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

Jean-Bernard Detry (Setec),
Denis Etienne (Bouygues),
Philippe Gotteland (Fnfp),
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 (Fnfp)

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.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité

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

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

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

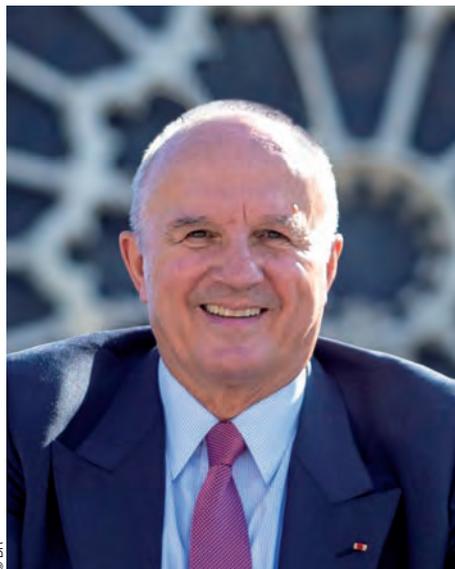
La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de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

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

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

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
ISSN 0041-1906

NOTRE-DAME DÉFI DES SIÈCLES



© DR

D'abord un haut-lieu du culte catholique, devenu aussi un témoin incontournable de la Nation française, Notre-Dame de Paris est un symbole d'audace et de maîtrise architecturale. Sa construction, débutée en 1163, a fait entrer l'architecture gothique dans une nouvelle ère, celle des cathédrales toujours plus grandes et plus hautes, et a remodelé pour la première fois l'urbanisme de Paris.

La France redécouvre ce que ce monument a demandé de hardiesse et de volonté : ses arcs-boutants, aujourd'hui renforcés par des cintres provisoires, sont les plus longs d'Europe. Ses roses, dont la lumière éclairera l'intérieur de la cathédrale, en pleine restauration, sont les plus grandes du monde. Ses voûtes, dont certaines sont en train d'être reconstruites, ont fait la preuve de leur savant équilibre, et ses charpentes, qui seront restituées à l'identique, ont joué sans défaillir leur rôle pendant 850 ans ; sans parler des chefs d'œuvres de peinture, de sculpture, d'orfèvrerie et de musique qui l'ornaient : Notre-Dame de Paris nous pousse à être audacieux et à nous rassembler derrière un objectif commun.

Ces caractéristiques président aux destinées du chantier actuel de restauration. Rendre à la cathédrale sa flèche et ses toitures à l'identique, ainsi

que l'éclat de ses intérieurs, le tout dans un délai ambitieux et réaliste de 5 ans, tel que l'a fixé le président de la République, est pour la France un choix d'audace et de ténacité, qui engage tout notre pays, bien au-delà de l'île de la Cité.

C'est par la générosité des 340 000 donateurs, venus de France et de 150 autres pays que s'exprime d'abord ce grand élan. Ce sont eux qui portent Notre-Dame vers sa renaissance.

Les architectes en chef des monuments historiques, les entreprises, les compagnons et les artisans qui œuvrent avec l'appui des scientifiques à la relever sous la conduite de l'établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale donnent corps avec compétence, passion et fierté à cette extraordinaire mobilisation. Ces métiers sont autant de trésors pour la France : le chantier de Notre-Dame est l'occasion d'en prendre conscience.

Forte de ces atouts, la restauration de Notre-Dame est entrée depuis l'automne 2021 dans sa phase active. Cette phase a été précédée de deux années et demie consacrées à sécuriser le monument. Les premières voûtes ont déjà été fermées. L'échafaudage dans lequel s'édifie la flèche s'élève peu à peu dans le ciel de la capitale. L'intérieur de la cathédrale est entièrement nettoyé et restauré, dévoilant à nouveau la vivacité de ses couleurs longtemps occultées. Dans des ateliers dans toutes les régions, des artisans d'art se penchent sur les vitraux, les toiles peintes, les tuyaux du grand orgue ou les ferronneries, qui contribueront à rendre Notre-Dame plus belle que nous la connaissions.

Le défi de rendre la cathédrale au culte et au public en 2024 est en passe d'être relevé ! Il en va de l'honneur de la France : le monde entier a les yeux fixés sur Notre-Dame de Paris. Tous ensemble, nous allons gagner la bataille de 2024 !

GÉNÉRAL D'ARMÉE JEAN-LOUIS GEORGLIN

REPRÉSENTANT SPÉCIAL DU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE,
PRÉSIDENT DE L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC CHARGÉ DE LA
CONSERVATION ET DE LA RESTAURATION DE LA CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

VILLE



PATRIMOINE

AGUEDUC DE LOUVECIENNES (1884) © MARC MONTAGNON

04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18 **ENTRETIEN AVEC LIONEL LLOBET**
STRRES - LA CONTINUITÉ N'EXCLUT PAS L'INNOVATION

24 ROMOEUF - DU PONT DE PIERRE AU PONT SIMONE VEIL



32 **LE PATRIMOINE DES PONTS ET COUVERTURES DE LA VILAINE**
au cœur de Rennes



40 **VIADUC DE GUERVILLE SUR L'A13**
Réfection



47 **VIADUC DU TECH À PROXIMITÉ DE LA FRONTIÈRE ESPAGNOLE**
Renforcement



53 **TUNNEL DE BASTIA**
Désamiantage et réfection des chaussées, avant rénovation



59 **PONT DE LA BRASSERIE AU SUD DE LYON**
Mise en sécurité, suivi, diagnostic et confortement



66 **AMÉNAGEMENT DE LA PLACE CARPEAUX**
au cœur du quartier d'affaires de La Défense (92)



72 **PROLONGEMENT OUEST DE LA LIGNE DE TRAMWAY T3**
Ouvrage OA20 de pontage du RER C à Porte Dauphine



80 **"LES FABRIQUES" À MARSEILLE**
Espaces publics et développement durable



86 **VIADUC DE CALIX À CAEN**
Réparation d'urgence

RÉPARATION D'URGENCE SUR LE VIADUC DE CALIX À CAEN

Cerema, Biep et Ævia, pour la conception, l'étude et l'exécution respectivement, ont réalisé une réparation d'urgence sur le viaduc de Calix à Caen, suite à la détection en mai 2021 d'une fissuration anormale. Une précontrainte additionnelle et un renfort par composite collé ont été réalisés en 3 mois de travaux. L'opération était achevée seulement 6 mois après l'alerte. (Voir article page 86).



© ÆVIA

© CELESTE DRONE / ÆVIA

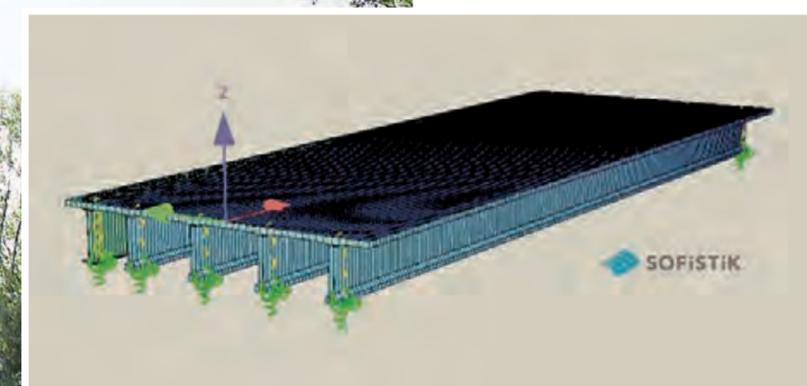




LE VIADUC DU TECH ÉLARGI EST RENFORCÉ

Demathieu Bard est intervenu sur le viaduc du Tech, sur l'autoroute A9 près de la frontière espagnole, pour fiabiliser cet ouvrage de type VIPP récemment élargi. Un renforcement par précontrainte externe et collage de composite carbone a été appliqué. Les travaux ont été réalisés en partie sous circulation, nécessitant une maîtrise technique et une coordination de niveau élevé.

(Voir article page 47).



© DR

© ALAIN TENGERO POUR VINCI AUTOROUTES

DES LIGNES DE RER DANS DIX MÉTROPOLIS FRANÇAISES, BIENTÔT UNE RÉALITÉ ?

Le président de la République a annoncé le 27 novembre dernier, la construction de lignes de RER dans 10 métropoles françaises, sans en préciser les détails. En attendant un cadre opérationnel et surtout financier, des collectivités locales se sont déjà engagées dans cette voie. En effet, c'est déjà une réalité à Strasbourg où le premier RER en dehors de la région parisienne a été mis en service, le 11 décembre dernier.

« Pour tenir notre ambition écologique, je veux qu'on se dote d'une grande ambition nationale : qu'il y ait dans dix grandes agglomérations, dix grandes métropoles françaises, un réseau de RER, de trains urbains. C'est se dire, au fond, que le RER ça n'est pas que sur Paris. Dans les 10 principales villes françaises, où il y a des congestions, où il y a trop de circulation, où les déplacements sont compliqués, on doit se doter d'une vraie stratégie de transports urbains et c'est un super objectif pour l'écologie, l'économie, la qualité de vie. », déclarait dans une vidéo publiée sur YouTube, dimanche 27 novembre, Emmanuel Macron, répondant à des questions d'internautes sur l'écologie. Dans cette exercice médiatique, le président de la République n'a pas donné de détails sur le calendrier, les villes concernées ni sur les financements nécessaires. Cette annonce était peut-être liée à la remise en décembre du rapport du comité d'orientation des infrastructures (COI), qui devait donner un cadre financier aux investissements nécessaires à réaliser dans les infrastructures ferroviaires. Le COI a été décalé au début de l'année 2023.

→ Des projets en cours de RER métropolitains

« Il y avait déjà une volonté exprimée de remettre le ferroviaire au centre du jeu, de mener sa régénération et son déve-

loppement. Mais nous constatons également que notre principal donneur d'ordres, SNCF Réseau, faisait l'objet d'arbitrages budgétaires qui ne lui permettaient pas de financer tous les travaux nécessaires. C'est donc très rassurant de voir aujourd'hui que l'État veut investir dans ce sujet », a ainsi réagi Romuald Hugues, le vice-président de TSO, filiale ferroviaire du groupe NGE. En attendant les effets de ces annonces,

des collectivités locales se sont déjà engagées dans des projets de RER métropolitains. C'est même déjà une réalité pour l'Eurométropole de Strasbourg.

Le Réseau express métropolitain européen (REME), premier RER en dehors de la région parisienne, a été mis en service, le 11 décembre dernier.

Depuis, 800 trains supplémentaires (1000 à partir de juillet 2023) circulent chaque semaine entre 5 heures et 23 heures, sept jours sur sept. 95 gares sont ainsi desservies. Ce projet, financé par l'Europe, la région Grand-Est et l'Eurométropole de Strasbourg, a engendré un investissement de 700 M€, dont 120 M€ pour la quatrième voie entre Strasbourg et Vendenheim. Neuf nouveaux trains sont déjà livrés et 30 font

partie d'un appel d'offre en cours pour que le REME devienne transfrontalier à l'échéance 2025.

À Bordeaux, un projet de RER girondin est en cours et prévoit un quai supplémentaire à la gare Saint-Jean de Bordeaux, deux nouvelles gares dans la banlieue à Talence et au Bouscat, et de nouveaux pôles d'échanges multimodaux. Il pourrait être mis en service à l'échéance 2028. Ce projet important pour la métropole, dont les habitants subissent chaque jour un réseau routier surchargé, va nécessiter des moyens considérables : 590 M€ pour les infrastructures ferroviaires et 90 M€ pour les matériels roulants, financés par l'État (190 M€), la région (145 M€), le département (170 M€) et Bordeaux Métropole (175 M€). ■



© STRASBOURG EUROMETROPOLE / JF BADIAS

MATIÈRE, UNE ENTREPRISE FRANÇAISE ENGAGÉE EN UKRAINE

La guerre en Ukraine n'est pas terminée, que déjà se posent les enjeux de sa reconstruction.

« Une équipe de 6 personnes de notre entreprise est déjà présente en Ukraine où nous avons posé 4 ponts modulaires métalliques de type Unibridge. Cela ne prend pas plus de 4 à 5 jours de chantier. Transportés par containers, ils avaient été pré-dimensionnés lors d'une visite de reconnaissance sur place avec

l'aide de la direction des routes ukrainiennes. » explique Philippe Matière, directeur de Matière, une entreprise familiale implantée dans le Cantal spécialisée dans la conception et la construction de ce type d'ouvrage. Elle travaille actuellement avec l'agence gouvernementale des routes UkrAvtodor pour la fourniture d'une trentaine de ponts en kit. On déplore à ce jour 380 ouvrages détruits.

→ Fourniture de 20000 tonnes de rails

Le 13 décembre dernier, 500 entreprises, des multinationales aux start-up digitales, ont été réunies au ministère de l'Économie et des Finances. Des ateliers thématiques sur les infrastructures, l'énergie, l'agriculture, le numérique et la santé se sont tenus lors de cette conférence. 100 M€ de garanties pour l'appui aux infrastructures ont été signées per-

mettant d'accorder 200 M€ de liquidités d'urgence pour des achats de gaz et pour des dépenses urgentes concernant les chemins de fer. Par ailleurs, un accord de financement sur prêt concessionnel du Trésor à hauteur de 37,6 M€ a été accordé pour la fourniture de 20000 tonnes de rails produits par la société Saarlöhle. Cela doit permettre la réparation de plus de 150 km de voies ferrées ukrainiennes. ■



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

BAROMÈTRE 2022 DES FRANÇAIS ET L'EAU

Pour sa 25^e édition, l'enquête sur les Français au sujet de l'eau, réalisée par Kantar pour le centre d'information sur l'eau, donne des perspectives peu réjouissantes.

« La sécheresse de l'été 2022, le déficit de précipitations de 25 % entre janvier et novembre de cette année, 27 départements encore soumis à des restrictions en décembre, sont des réalités inédites qui montrent que l'accès à l'eau n'est plus garanti, » explique Marillys Macé, Directrice du Centre d'information sur l'eau.

→ Satisfaction des services de l'eau

Les Français interrogés ont conscience que le changement climatique a un impact sur la sécheresse (83 %) et sur les inondations (92 %). La crainte du manque d'eau (69 %) à court terme ne cesse d'augmenter au fil des enquêtes.

Réparer les fuites, récupérer l'eau, réutiliser les eaux usées sont les solutions mises en avant pour réduire les consommations. 88 % des personnes sondées disent leur satisfaction quant aux services de l'eau et de l'assainissement ainsi que leur confiance dans l'eau du robinet (86 %).

La consommation de cette eau au domicile des Français ne cesse de croître au fil des années (68 %). Mais 70 % des personnes interrogées sont convaincues que les ressources hydriques sont polluées.

La connaissance des gestes utiles contre la pollution reste limitée, contrairement aux gestes pour économiser l'eau au quotidien.

LA 4^e ENQUÊTE DE L'OBSERVATOIRE NATIONAL DES ROUTES NOTE DES INVESTISSEMENTS EN HAUSSE

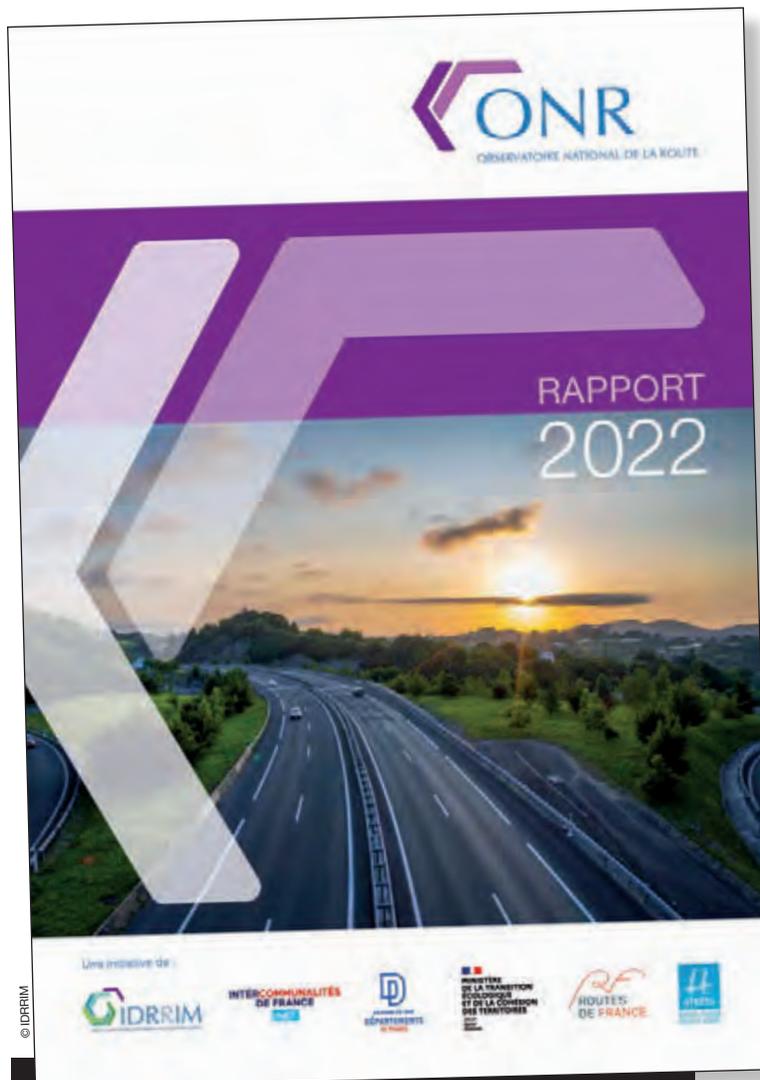
L'Observatoire national des routes (ONR) a publié son quatrième rapport annuel jeudi 17 décembre 2022, qui est piloté par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrirm). Il dresse un état des lieux du patrimoine routier - chaussées et ouvrages d'art - et des moyens consacrés à leur maintenance. 64 départements et 10 métropoles ont alimenté cette enquête, soit deux tiers du réseau départemental et près de la moitié de celui des métropoles. « Ce à quoi il faut ajouter les données de l'État sur le réseau non concédé, ainsi que pour la première année, des données issues du bloc communal. De plus, grâce au Cerema, le rapport 2022 de l'ONR peut s'appuyer sur les données du Programme national pont, » précise le rapport.

Ces données interviennent dans le contexte particulier de l'année 2022, la guerre en Ukraine, l'explosion des prix de l'énergie, un été suffoquant qui a eu des conséquences sur les réseaux routiers. « Il apparaît donc que la gestion des infrastructures doit s'adapter à de nouvelles réalités financières, des prix qui augmentent et des budgets toujours plus corsetés. Dans ce contexte, la gestion patrimoniale des infrastructures routières s'impose alors comme une nécessité, car elle vise notamment à optimiser les coûts liés à l'entretien et à réduire la dette grise qui risque de devenir insupportable pour certaines collectivités, » contextualise Yves Krattinger, président de l'Idrirm.

→ Stabilisation en 2021

Alors quels sont les principaux enseignements à tirer de ce travail d'envergure ? Si les départements et métropoles ont continué à investir, une part non négligeable des routes et des ponts se dégrade. En effet, si sur la période 2013-2016 les investissements départementaux (hors grands travaux) ont baissé de 20 %, cette tendance s'inverse et remonte pour atteindre en 2019 les niveaux de 2013 et les dépasser légèrement en 2020. L'année 2021 se caractérise par une stabilisation.

Mais l'enquête affine les résultats selon la taille des territoires étudiés. Ainsi apparaît-il que les très grands départements investissent en 2021 quatre fois plus au kilomètre que les petits. Mais si ce sont les dépenses par habitant qui sont prises



11 680 km réseau routier national (non concédé), 250 582 km du réseau départemental et 22 487 km du réseau métropolitain ont été analysés.

en compte, alors la tendance s'inverse. « Les petits départements investissent, en moyenne sur la période 2016-2021, entre deux et trois fois plus par habitant que les très grands, » note les rédacteurs de l'ONR. Une hausse est aussi constatée sur le réseau des métropoles. Pour le réseau routier national non concédé, l'enquête révèle une hausse de 25 % entre 2018 et 2020 qui se poursuit en 2021 avec une augmentation de 5 % sur l'année jusqu'à dépasser 25 000 € par kilomètre.

→ Une dégradation réelle de certaines infrastructures

Mais Khaled Guellati, Chef du bureau exploitation et sécurité à la sous-direction du réseau routier non concédé et du tra-

fic au sein du ministère de la transition écologique, a relativisé ces données lors de la présentation de l'ONR. « Cette augmentation budgétaire reste insuffisante au regard des besoins réels estimés lors de l'audit externe de la gestion du réseau routier national, » a-t-il déclaré. En effet, la dégradation des infrastructures est une réalité par des travaux d'entretien retardés. Cela peut entraîner la création d'une dette grise faute de travaux réguliers. Autre caractéristique, la dégradation du réseau non-structurant des départements, dont la proportion a augmenté pour 37 % dans les collectivités enquêtées. L'ONR souligne aussi un état détérioré des ponts, qu'ils appartiennent à l'État ou aux départements. ■

L'UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS DEVIENT UN "PARTENAIRE ENGAGÉ POUR LA NATURE"



© PHOTO THÉQUE UNICEM

En devenant des partenaires engagé pour la nature, les carriers doivent engager des actions en faveur de la biodiversité.

L'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG) a engagé un partenariat avec l'Office français de la biodiversité. L'organisme représentatif de ce secteur des matériaux qui fédère plus de 1 300 entreprises productrices de granulats, pour alimenter le secteur du bâtiment et des travaux publics, a été officiellement reconnu comme un "partenaire engagé pour la nature". Cela signifie que ce secteur va mettre en place trois types d'actions pour "Comprendre, Agir et Partager" sur la biodiversité. Création d'outils, études d'impacts pour réduire les facteurs de pression sur la nature ou encore sensibilisation en direction de différents publics, sont au programme. Les 2 100 carrières réparties

sur tout le territoire qui exploitent les sables et les graviers formant le granulat, s'engagent déjà dans des démarches environnementales. En effet, des programmes précis sont établis avec les pouvoirs publics et les parties prenantes (collectivités locales, associations...) afin de préserver l'écosystème du site, de restaurer, ou de créer, des espaces favorables à la biodiversité.

→ Aller plus loin

Mais aujourd'hui il s'agit d'aller plus loin pour enrayer la dégradation de la biodiversité. Dans le volet "Comprendre", cela consiste à développer un outil de calcul de l'empreinte biodiversité adapté à la profession, à améliorer les connaissances sur les fonctionnalités des sols en car-

rière et à comprendre les impacts des espèces exotiques envahissantes en carrière. La partie "Agir" nécessite de mieux former les exploitants de carrières sur les enjeux de la biodiversité, de valoriser les "chantiers nature" en lien avec l'UNICEM Entreprises Engagées, de mener des enquêtes sur les problématiques de la biodiversité et de communiquer régulièrement sur celles-ci.

Et enfin, l'aspect "partage" prône d'inventorier et de dispenser des bonnes pratiques (en biodiversité, génie écologique, géodiversité), de créer des supports pédagogiques à destination des scolaires et de développer des relations avec les acteurs, publics et privés, de la biodiversité. ■

LES COMMISSAIRES DE JUSTICE INTERPELLENT DES PROFESSIONNELS DU BTP

Commissaire de justice est une nouvelle profession, créée le 1^{er} juillet 2022, résultant de la fusion d'huissier de justice et de commissaire-priseur judiciaire. La chambre nationale qui les représente souhaite mettre en garde les professionnels du BTP sur les constats sans valeur tels que les applications mobiles, photos horodatées, et autres constats en ligne « *Nous tirons la sonnette d'alarme (...) sur la multiplication des illusions de constats travaux, n'ayant aucune valeur probante et susceptibles*

de causer d'importantes difficultés financières à l'ensemble du secteur du BTP, de l'artisan aux grandes entreprises des TP. Le constat par commissaire de justice est l'acte le plus abouti pour matérialiser une preuve. Pour que ce constat soit valide, le commissaire de justice doit être présent sur les lieux, » souligne Benoit Santoire, Président de cette instance. Les commissaires de justice interviennent sur différents champs. Par leur présence, ils permettent de se prémunir d'un litige possible mais aussi d'éviter

une procédure judiciaire et leur action peut aussi déboucher vers une médiation. En cas de procès, le constat réalisé constitue une preuve tangible. Avant qu'une entreprise ne débute son chantier, le commissaire de justice peut intervenir pour signifier l'état de la voirie, des murs d'immeubles ou de maisons voisines, la présence de barrières... Il peut aussi constater des retards successifs pendant le chantier, prouver une malfaçon ou un vice-caché mais aussi acter la fin d'un chantier. ■

PREMIÈRE PIERRE POUR LE BASSIN DE RÉTENTION DU RU SAINT-BAUDILE

Il a pour but de limiter les inondations en cas de fortes pluies, entre Gagny et Neuilly-sur-Marne en Seine-Saint-Denis, mais aussi de réduire les rejets d'eau polluée dans la Marne. C'est un élément qui doit contribuer à rendre possible la baignade dans la Seine et la Marne pendant les jeux olympiques et paralympiques de 2024. Le bassin de rétention enterré du ru Saint Baudile, d'une capacité de stockage de 30 000 m³, a symboliquement reçu "sa première pierre", le 30 novembre 2022. Il sera en service au printemps 2024. De forme oblongue, il mesurera 25 m de profondeur, 60 m de long, 30 m de large, et sera complété de 819 m de collecteurs (évacuation, vidange et alimentation). Le coût global du projet est de 53 M€ (TTC), financés par le département de la Seine-Saint-Denis (19 M€), l'État, via l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (19 M€), et le Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne (15 M€). Les travaux sont réalisés par 4 groupements d'entreprises menés par les sociétés Razel-Bec, Eiffage Génie Civil, EITM et Inéo, sous maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre du département de la Seine-Saint-Denis. Cette infrastructure s'inscrit dans le cadre du "Plan d'investissement bassin" du département, doté de 100 M€, qui doit optimiser la gestion des 700 km de réseau d'assainissement départemental.



© SOPHIE LE RENARD

Le bassin protégera la Marne des inondations qui entraînent des épisodes de pollution.

VINCI VA RÉALISER UNE SECTION DU NOUVEAU MÉTRO DE TORONTO

Vinci Construction Grands Projets en groupement 50/50 avec Ferroviaire a été désigné pour la réalisation d'une section du nouveau métro Ontario Line à Toronto (Canada). Ce marché de 4,4 Md€ concerne le creusement d'un tunnel bitube de 2 fois 6 km, et la réalisation de 7 stations dont 6 souterraines. La ligne, d'une longueur totale de 15,6 km, reliera le Centre des sciences au Parc des expositions de la ville. Ce contrat porte sur le financement, la conception et la construction du génie civil - hors équipements ferroviaires - d'un tunnel, et la réalisation tous corps d'état des nouvelles stations. La durée prévue des travaux est de 89 mois, pour une réception de l'ouvrage en 2030. Plus de 1 500 emplois directs devraient être créés pendant la construction.

CAUPAMAT ACQUIÈRE UNE ENTREPRISE ALLEMANDE

Spécialisée dans la location d'équipements de chantier, le Groupe LT, avec sa filiale Caupamat, a acquis la société MCS, en Allemagne. Cette première expansion hors des frontières nationales, constitue une nouvelle étape dans le développement de cette PME. Avec 3 M€ de chiffre d'affaires et 30 salariés, l'entreprise allemande est apparue à la fois proche en matière d'activité mais aussi financièrement solide. Par ailleurs, Caupamat vient d'ouvrir une nouvelle agence à Nice. Elle compte continuer son développement à l'étranger et regarde les opportunités toujours en Allemagne mais aussi en Belgique.

FONROCHE LIGHTING, UNE ENTREPRISE AU SERVICE DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC SOLAIRE



© FONROCHE LIGHTING

150 lampadaires solaires ont déjà été installés dans les rues d'Escource, commune des Landes.

« L'éclairage public sera solaire, et cela va aller plus vite que ce que l'on peut imaginer. Car c'est le moyen certes le plus écologique mais aussi le plus compétitif, » affirme Laurent Lubrano, Directeur général de Fonroche Lighting, entreprise française leader dans ce domaine et implantée dans le Sud-Ouest de la France, à proximité d'Agen.

Aujourd'hui les faits semblent donner raison à ce chef d'entreprise car, avec la forte augmentation des prix de l'électricité et de l'entretien des réseaux, il note

« un regain d'intérêt de la part des collectivités locales. D'ailleurs - ajoute-t-il - notre chiffre d'affaires double chaque année depuis 5 ans. En 2022, il est de 50 M€ et en 2023 selon les prévisions il dépassera les 100 M€. »

→ 365 nuits sur 365

Des villes comme Agen ou des communes de plus petites tailles comme Escource (744 habitants, département des Landes) et Loudéac (9500 habitants, département des Côtes d'Armor) ont investi pour déployer ce type d'infrastructures qui sont de nature à remplacer

l'éclairage réseau, réduisant ainsi la facture d'électricité.

En effet, Fonroche Lighting a mis au point une technologie d'éclairage « de même puissance, avec une même prestation 365 nuits sur 365 que pour les infrastructures en réseau. C'est un équipement très robuste car le remplacement de batterie n'intervient que tous les 10 ans. Nous avons par ailleurs équipé une autoroute du Nord de la France, un ouvrage complexe dans une région peu ensoleillée, » détaille le dirigeant. Les collectivités investissent sur plusieurs années pour le déploiement de ces lampadaires solaires. À Escource, sur le parc de 385 éclairages publics, 150 lampadaires sont déjà installés, les autres le seront en 2023. Un système de communication embarqué, permet de gérer la puissance des candélabres. Pour convaincre les mairies d'avoir recours à ce type d'équipements, Fonroche Lighting propose des diagnostics complets, de l'état de l'éclairage existant jusqu'aux modalités de transformation en solaire.

La PME compte 200 salariés ainsi que des filiales en Afrique, Amérique Latine et aux États-Unis. 120 000 de ces lampadaires ont déjà été installés. ■

À AUXERRE, VNF ENTAME LES TRAVAUX DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE BATARDEAU

Situé à Auxerre, le barrage de Batardeau repose sur une technologie du début du XIX^e siècle. Son obsolescence entraîne des conditions d'exploitation dangereuses et pénibles pour les agents des Voies navigables de France (VNF) mais aussi une régulation de l'eau peu optimale. C'est ainsi que VNF a lancé un plan de modernisation de ce barrage. D'un budget de 5,7 M€, financé dans le cadre du plan de relance de l'État, ce vaste chantier a commencé en novembre 2022 et s'étalera jusqu'en février 2024. Il prévoit la destruction de la structure actuelle et sa reconstruction complète en utilisant la technologie d'un barrage gonflable à l'eau. La nouvelle infrastructure sera automatisée afin de sécuriser le travail des agents mais aussi d'optimiser la gestion hydraulique. Le rehaussement du déversoir fixe renforcera l'étanchéité et favorisera la régulation des débits en

période estivale. Enfin, pour préserver la continuité écologique, une passe à poissons sera construite. Dans un souci de préservation de ce patrimoine fluvial, la "pile citrouille" située au milieu de la rivière, et qui fait l'identité du barrage, sera conservée. Ces travaux s'inscrivent dans un plan plus large de rénovation et

de modernisation d'écluses et de barrage sur l'Yonne. Connectée au réseau Seine-Nord Europe, l'Yonne est un axe essentiel pour le transport des marchandises des entreprises. En 2021, 955 000 t ont ainsi été transportées, principalement des produits agricoles et des matériaux de construction. ■



Le barrage de Batardeau est en chantier pour une durée de 15 mois.

© VNF

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

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



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

979



OUVRAGES D'ART

980



SPÉCIAL JEUX DE PARIS 2024

981



SOLS ET FONDATIONS

982



SPÉCIAL BÉTONS DU FUTUR

983



*Offre valable jusqu'au 30/06/23 - COM'1 ÉVIDENCE



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) :

- 969 x 974 x 979 x
- 970 x 975 x 980 x
- 971 x 976 x 981 x
- 972 x 977 x 982 x
- 973 x 978 x 983 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 30/06/23 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. 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

PERFESCO ET DEMETER, VIA LE CLIMATE INFRASTRUCTURE FUND, S'ASSOCIENT POUR DÉVELOPPER DES SOLUTIONS D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Le fond européen d'investissement Demeter s'est associé avec Perfesco une filiale du groupe EDF, qui accompagne la rénovation énergétique de ses clients en proposant des projets "financés par les gains issus des économies en énergie et en maintenance associés". Par l'intermédiaire du fond, Climate Infrastructure Fund (CIF) dédié à l'investissement dans les infrastructures d'efficacité énergétique, ces deux acteurs ont pris une participation majoritaire au capital de la société Perfesco Lighting (filiale de Perfesco). Cela porte sur 8 contrats d'efficacité énergétique conclus avec des clients industriels. C'est une première opération pour le Climate Infrastructure Fund.

→ Offre technique et financière

Après cette première association, d'autres investissements permettant une démarche de sobriété énergétique devraient se mettre en place notamment dans les secteurs de la cimenterie et de l'aéronautique. Dans les domaines de l'éclairage mais aussi des pompes à chaleur, Perfesco propose une offre intégrée à la fois technique et financière dont l'objectif est la réduction de consommation énergétique mais aussi de l'empreinte carbone.

Le contrat comprend la phase étude et conception, les financements et à la réalisation de travaux ainsi que le suivi des performances. Le fond européen Demeter, créé en 2005, gère 1,2 Md€ et a réalisé plus de 200 investissements sur cette période.

WEBUILD FINALISE UN PONT SUSPENDU EN ROUMANIE



Le pont de Braila, en Roumanie, représente un investissement de 485 M€.

L'entreprise italienne Webuild termine la construction, en Roumanie, du deuxième plus long pont suspendu d'Europe continentale, avec une travée centrale de 1 120 m de longueur. Il relie deux rives du Danube dans la région de Galati-Braila, à 3 heures au nord de Bucarest, à proximité de la frontière avec la Moldavie. Cette infrastructure doit permettre de réduire les temps de traversée pour 7 000 véhicules chaque jour, en évitant l'utilisation d'un ferry.

→ Un projet complexe

Le pont de Braila est doté de 4 voies pour les véhicules, d'une voie d'urgence et de pistes cyclables et piétonnes. Cet ouvrage a été commandé par la

société d'État CNAIR pour le compte du ministère roumain des Infrastructures. Il est financé par le Programme opérationnel pour les grandes infrastructures (POIM). Le contrat, dans le cadre d'une joint-venture internationale, d'une valeur de 485 M€ comprend la conception et la construction de ce pont ainsi que de travées latérales qui s'étendent sur 490 m et 365 m de long. Mené avec le partenaire japonais IHI Infrastructure Systems Co Ltd de Webuild, ce projet s'est avéré complexe. En effet, le soulèvement et l'installation du tablier en acier du pont, l'été 2022, fut une des phases les plus difficiles. Cette opération a mobilisé 250 ouvriers et techniciens qui ont

mis en place 86 sections du tablier pesant chacune 260 t. Une méthode spécifique a été élaborée pour élever et régler chacune des parties du pont. Ainsi une poutre de levage était posée à proximité de l'usine où les profilés étaient fabriqués. Ils étaient ensuite transportés sur des barges et parcouraient 7 km le long du Danube. Une fois arrivées sous le pont, les sections ont été soulevées jusqu'à leur position finale par deux câbles de support en acier. En plus du pont de Braila, le groupe italien de Travaux publics, a réalisé 9 km de travaux routiers pour un meilleur accès à celui-ci. Ce chantier a été livré de façon concomitante à l'ouvrage d'art. ■

NGE VA CONSTRUIRE LA VOIE FERRÉE DE LA FUTURE LIGNE 5 DU TRAMWAY DE MONTPELLIER NORD

NGE a remporté le marché de construction de la voie ferrée de la future Ligne 5 du tramway sur le secteur Nord de Montpellier. Ainsi la société des Transports de l'Agglomération de Montpellier (TaM) a attribué à plusieurs filiales du groupe NGE des lots d'infrastructures et de voie ferrée. TSO, filiale ferroviaire du groupe va assurer les travaux sur l'ensemble du linéaire nord, soit 5 km. Ce marché, d'une durée de 38 mois, a démarré en ce début d'année 2023 et prévoit que la nouvelle voie de tramway

desservira 8 stations entre Saint-Éloi et Clapiers. Cette infrastructure doit permettre de renforcer le réseau existant vers le centre-ville et de proposer une desserte vers de nombreux pôles d'activités, d'habitat et d'emplois métropolitains. « Nous sommes fiers de mobiliser nos expertises au service de cette future ligne qui répond aux besoins d'une mobilité urbaine pour tous. Nous sommes particulièrement vigilants aux enjeux environnementaux et allons mettre en œuvre plusieurs actions comme l'adaptation de

nos plannings au rythme de la faune, l'emploi de béton bas carbone, la valorisation des déblais... » a déclaré Romuald Hugues, vice-président de TSO. En matière de mesure environnementales, il est prévu que l'éclairage du chantier soit adapté à la présence de chauve-souris, en respectant leurs périodes d'hibernation et de reproduction. Par ailleurs, Guintoli et EHTP, deux entités régionales de NGE, ont été retenues pour les travaux de surface (lots 1 et 2 du marché d'infrastructures). ■

EAUX PLUVIALES : UN TEXTILE PERFORMANT POUR FAIRE BARRAGE AUX HYDROCARBURES



L'aquatextile InDi'Green est produit dans l'usine de TenCate AquaVia basée à Bezons, dans le Val d'Oise.

Le traitement de l'infiltration propre des eaux pluviales a franchi une étape importante. En effet, l'entreprise TenCate AquaVia, spécialisée dans les solutions techniques pour dépolluer les eaux pluviales a mis à point un aquatextile "InDi'Green". Cette innovation doit permettre de faire barrage aux hydrocarbures et aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) produits principalement par la combustion des matières organiques (énergies fossiles, feux de forêt). Par ailleurs, deux laboratoires publics, le Cerema et le Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (Leesu) viennent de confirmer les performances de ces solutions d'infiltration propre.

« Nous ne pouvons pas laisser une eau pluviale polluée s'infiltrer dans le sol sans traitement. C'est antinomique avec la

notion même de durabilité alors que 25% de la biodiversité se situe sous terre. Avec nos aquatextiles, nous avons la solution pour les traiter et restituer aux sols une eau propre. Avec InDi'Green, nous rendons cette technologie accessible partout et à l'ensemble des acteurs publics et privés, » explique Jean-Pascal Mermet, président de TenCate AquaVia.

→ Infiltration d'une eau propre

Alors que les projets d'aménagement de parkings ou autres espaces publics perméables se multiplient partout dans les centres urbains, cette innovation est dimensionnée pour s'adapter aux revêtements perméables de type minéral ou végétal. Parkings et places de stationnement, voiries urbaines, mais aussi plateformes logistiques ou aux entrées de garage... sont autant de lieux où cet

aquatextile peut s'appliquer pour que la pluie ne contamine plus les nappes phréatiques. Car selon la communication de TenCate AquaVia « Si l'infiltration est un modèle pérenne, l'infiltration d'une eau propre est le seul modèle durable. » Ce textile technique permet de traiter les hydrocarbures dans les cas de pollution diffuse (fuites d'huile...) ou accidentelle localisée (accident, vidange). Structurée en bi-couche, de couleur vert d'eau et dédiée aux infiltrations directes, cette technologie peut représenter une solution financièrement intéressante, car sa durée de vie excède les 50 ans. Ainsi la commune de Saint-Hilaire-du-Harcouët dans la Manche, a choisi d'installer ce revêtement sur des places de parking, en centre-ville.

→ Efficacité des aquatextiles

Dans leurs expérimentations menées en 2021 et 2022, le Cerema et le Leesu ont mesuré l'impact de cet équipement pour limiter la pollution des sols. Ainsi, la teneur en hydrocarbures baisse fortement. De même, pour les HAP particulièrement toxiques et cancérigènes, l'étude note que 62 à 78% de ces substances ne s'infiltrent plus dans le sol. Outre leur rôle de barrage à différents types de pollution, les aquatextiles sont aussi bénéfiques pour la biodiversité des sols en permettant le développement des micro-organismes. Pour conclure, les rédacteurs de l'étude note que « ce dispositif préserve la quasi-totalité de la diversité microbienne fonctionnelle des écosystèmes sols soumis à une pollution aux hydrocarbures. » ■

SIGNIFY ET XXII EXPÉRIMENTENT UNE GESTION INTELLIGENTE DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC

XXII, start-up spécialisée dans les infrastructures de vidéo protection grâce à l'Intelligence artificielle (IA) et Signify, leader en matière d'éclairage, se sont associés pour développer une technologie permettant de piloter l'éclairage urbain "de façon intelligente". L'objectif est d'optimiser la consommation d'énergie, liée à l'éclairage public. La ville de Suresnes (Hauts-de-Seine), s'est portée volontaire pour tester ce dispositif sur un carrefour de son territoire. Concrètement, l'intensité lumineuse des lampadaires, équipés de luminaires LED, va s'adapter en fonction de la fréquentation et de la typologie des usagers qui passent dans l'espace public. Cette expérimentation sera mise en place courant 2023.

→ Mutualisation des technologies

« Désormais il n'est plus question de choisir entre transition énergétique ou numérique, mais de les travailler ensemble, et c'est ce que nous sommes fiers d'accomplir avec un leader comme Signify, au service de la collectivité de Suresnes. Cette expérimentation est une opportunité pour XXII de montrer comment la mutualisation des technologies est une réponse aux enjeux des villes intelligentes et responsables, » considère William Eldin, le dirigeant de XXII. Cet exemple de pilotage de l'éclairage connecté par une intelligence artificielle, doit permettre de réduire la facture d'électricité de la collectivité. Les parties prenantes prévoient une économie de "80% d'électricité".



Deux laboratoires publics confirment l'efficacité de ce dispositif pour une infiltration propre des eaux de pluie.

DES APPLICATIONS EN SOUTIEN TOUT AU LONG DES CHANTIERS

Hitachi Solutions veut accélérer la digitalisation du secteur de la construction.

L'entreprise a développé des applications en direction des professionnels du bâtiment et des travaux publics. Grâce à une collaboration avec 9 entreprises de construction britanniques mais aussi une relation suivie avec Microsoft, l'entreprise japonaise spécialisée dans la transformation numérique, propose des outils digitaux faciles d'utilisation. À l'aide de Power Apps de Microsoft, ces outils numériques se veulent ergonomiques, intuitifs et ont été pensés pour des cas d'usages spécifiques à chaque secteur.

→ Utiles jusqu'à l'achèvement des travaux

Ces applications sont destinées aux artisans, chefs de chantier et aux maîtres d'ouvrage. Pour chaque acteur mais aussi pour chaque usage, ces outils proposent une fonctionnalité dédiée. Ainsi, les artisans sur place peuvent déclarer leurs arrivées et sorties du site, accéder directement depuis leur portable ou tablette aux règles de sécurité et remonter facilement un risque ou un incident en prenant des photos en direct. Ces applications peuvent être utiles tout au long du chantier, de la collaboration avec le prestataire jusqu'à l'achèvement des travaux pour comptabiliser le temps passé et effectuer les contrôles.



Les outils digitaux pour les professionnels de la construction se veulent d'une utilisation facile.

© HITACHI SOLUTIONS

LA LIVRAISON À DOMICILE, LE FUTUR DE LA NAVETTE AUTONOME ? UNE EXPÉRIMENTATION EST EN COURS



© GOGO NETWORK

L'expérimentation de cette navette autonome dédiée à la livraison va durer 6 mois.

La navette autonome franchit une nouvelle étape dans son expérimentation. Elle est en cours de test, sur le plateau de Saclay, pôle universitaire et de recherche situé dans l'Essonne incluant l'Institut polytechnique de Paris. Mais son objectif n'est pas, cette fois, le transport de personnes, mais la livraison à domicile. En effet, Carrefour et Gogo Network, entreprise spécialisée dans la logistique autonome, expérimentent depuis décembre 2022 et pour six mois le projet "5G Open Road", un service de "drive" dans

des zones éloignées de commerces, par véhicule autonome.

Celui-ci circule sur des routes à fort trafic et effectue des rotations de 15 km entre le Carrefour de Massy-Palaiseau, lieu de l'approvisionnement et le campus de Palaiseau. Pour réaliser ce service, Goggo Network a passé un marché avec le concepteur et producteur français de navette autonome le groupe Mila, en s'appuyant sur la 5G fournie par Bouygues Telecom. Ce projet constitue l'un des plus grands programmes d'as-

sistance à la conduite de véhicules autonomes sur routes ouvertes en Europe.

→ Préfigurer le futur

de la logistique autonome

« Nous mettrons tout en œuvre pour que ce premier test sur la plateforme "5G Open Road" nous amène collectivement à déployer ce type de services à l'échelle nationale, voire internationale. Ce partenariat stratégique avec un acteur leader de la grande distribution s'inscrit parfaitement dans la volonté de Goggo Network à préfigurer le futur de la logistique autonome, » affirme Yasmine Fage, co-fondatrice Goggo Network. Cette entreprise créée en 2018 et implantée à Madrid, Berlin et Paris, se consacre au développement de réseaux de mobilité autonome dans différentes villes d'Europe. Pour ce test grandeur nature, le principe est simple. Les étudiants passent une commande sur le site marchand qui sera ensuite préparée au sein de l'entrepôt automatisé du Plessis-Pâté, puis expédiée vers le Drive de Carrefour Massy, pour enfin être chargées dans la navette. Celle-ci est constituée d'une quinzaine de casiers que pourront ensuite déverrouiller les clients (code par SMS) pour récupérer leurs marchandises. Puis la navette repart à son point de départ à Massy, dans l'attente de sa prochaine tournée. ■

CONCEPTION D'UN ROBOT POUR PERCER LES TUNNELS

Le forage des tunnels a des conséquences négatives sur la santé et la sécurité des ouvriers sur les chantiers qui sont aussi confrontés à des excès de poussières ou d'humidité. Pour remédier à ces situations, Bouygues Construction s'est associé avec le Centre d'Excellence Industrie du pôle Énergies & Service. Des ingénieurs, des chefs de projet et des spécialistes en robotique ont ainsi conçu et développé une solution entièrement robotisée de creusement de tunnels. Sous le nom de Roby 850, ce robot de perçage est piloté par un opérateur qui contrôle son positionnement, grâce à un instrument d'optique mesurant des angles, dans les deux plans horizontaux et verticaux.

→ 40 joints par heure

Des caméras 3D embarquées dans le robot permettent de vérifier l'absence d'obstacles sur son chemin. Une fois cette inspection réalisée, les informations sont envoyées à l'opérateur et le perçage peut commencer.

Le robot nettoie aussi le site, une fois son intervention terminée. Roby 850 constitue une innovation importante car aucune alternative n'existe sur le marché.

Les ouvriers ne percent plus en site propre mais pilotent le robot via une interface numérique, ce qui réduit les risques. Il a été déployé pour la première fois à Hong Kong et est aujourd'hui commercialisé pour un développement rapide. ■

AGENDA

LIVRE

Des tracés aux traces, pour un urbanisme des sols,
Patrick Henry, Éditions Apogée.

FORMATIONS

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

• 7 AU 9 MARS

Les fondamentaux de la technique routière : le fonctionnement et la constitution d'une chaussée
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 15 ET 16 MARS

S'initier aux procédures et études pour la conduite des projets d'infrastructures des transports
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 26 AU 28 AVRIL

Management de projet : méthodes et outils
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 10 ET 11 MAI

Négocier et renforcer la résolution des différends
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 31 MAI AU 2 JUIN

Documents de planification (SCOT, PDU, PLU) : améliorer la prise en compte des déplacements
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 5 AU 7 JUIN

Limiter l'impact environnemental d'un chantier en phase travaux
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

AGENCE DE FINANCEMENT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT DE FRANCE
Patrice Vergriete, maire de Dunkerque a été nommé, sur proposition de président de la République, président du conseil d'administration de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (Afitf). Il remplace Jean Castex, devenu président de la RATP.

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (ADEME)
Boris Ravignon, maire de Charleville-Mézières, a été nommé, sur proposition de président de la République, président du conseil d'administration de l'Ademe. Il succède à Arnaud Leroy, désormais en

charge du développement durable chez le producteur d'emballages ménagers Sphère.

AGENCE NATIONAL DE COHÉSION DES TERRITOIRES (ANCT)

Christophe Bouillon est le nouveau Président de l'ANCT, en remplacement de Caroline Cayeux et Stanislas Bourdon est devenu son directeur général à la place d'Yves le Breton, désormais préfet de Haute-Savoie.

SYNTEC-INGÉNIERIE

Pierre Verzat a vu son mandat renouvelé en tant que président de la fédération professionnelle de l'ingénierie. Pour renforcer le conseil d'administration, deux nouveaux vice-présidents ont été nommés : Frédéric Grard et Michel Kahan.



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° 985 "Travaux souterrains"
- TRAVAUX n° 986 "International"



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

STRRES

LA CONTINUITÉ N'EXCLUT PAS L'INNOVATION

Après 20 ans de présidence du Strres, Christian Tridon a cédé sa place le 15 juin 2022 à Lionel Llobet, directeur de Cofex Méditerranée, entreprise spécialisée dans la réparation et la protection d'ouvrages d'art, le renforcement de structures, l'étanchéité et l'anticorrosion des bétons, et la géotechnique. Nul mieux que lui ne pouvait donc succéder à celui qui a largement contribué au développement du Strres mais a surtout fait prendre conscience aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre, aux départements et aux communes de l'impérieuse nécessité d'entretenir les ouvrages d'art et les structures en béton, mais aussi et peut-être plus encore, de réparer ceux et celles qui sont dans un état inquiétant. Lionel Llobet présente les premiers axes des actions qu'il est décidé à mener à la présidence du syndicat. **Entretien avec Lionel Llobet, président du Strres.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Lionel Llobet, président du Strres.

Même si personne n'est irremplaçable, succéder à Christian Tridon nécessite sans doute une détermination particulière, compte-tenu de l'engagement qui a été le sien pendant 20 ans à la présidence du Strres. Quelles sont vos premières orientations à la présidence du syndicat ?

Après 20 ans de présidence de Christian Tridon - 20 ans de "tridonisme" -, il est difficile de lui succéder, d'autant que, compte-tenu de mes responsabilités, je ne pourrai pas y consacrer autant de temps que lui qui était plus

qu'impliqué dans l'animation du syndicat.

J'ai donc pris le parti de beaucoup déléguer, ce que je fais déjà à la tête de Cofex Méditerranée, en m'appuyant sur une organisation un peu différente. J'ai ainsi mis en place deux vice-présidents dont un basé en Île-de-France, ce qui me permet d'être représenté plus facilement dans la région parisienne et dans le Grand Est : Christophe Paulard, directeur général de Technirep (groupe ETPO) à Nanterre (Hauts-de-Seine) et Pascal Ribolzi, président de Berthold France à Dieue-sur-Meuse (Meuse).

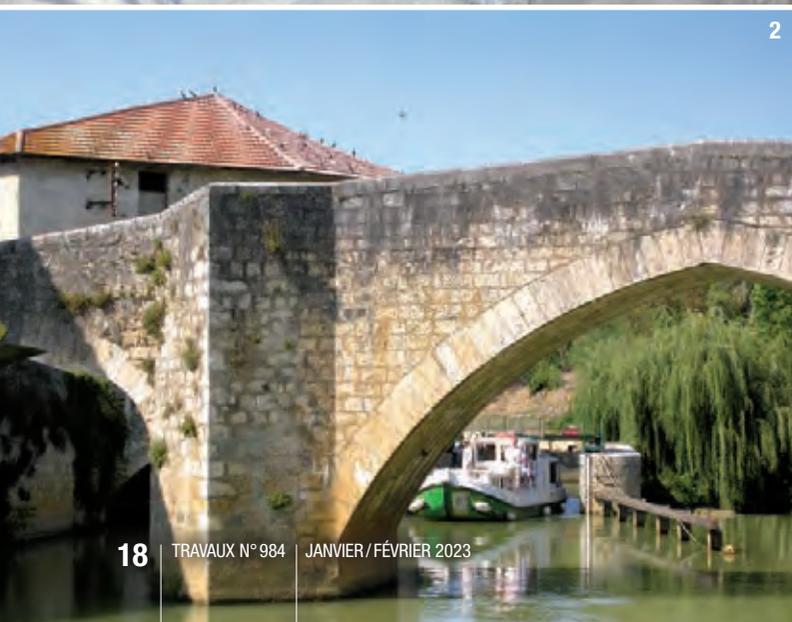


FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © MARC MONTAGNON - FIGURE 3 © DANIEL JOLIVET

Ensuite, j'ai créé cinq commissions thématiques : innovation et développement durable, formation, communication, identification professionnelle, lobbying. Chacune de ces commissions est pilotée par un président entouré d'une équipe.

Tous les deux mois, nous organisons un conseil d'administration avec chacun de ces présidents afin de faire le point sur l'avancée des travaux, de valider ou non les décisions prises, de lancer de nouvelles actions.

Le deuxième point très important de cette réorganisation est de remettre les régions au cœur de notre système. Nous avons déjà en région deux interlocuteurs du Strres pour chaque fédération. Pour plus d'efficacité, nous avons nommé pour chaque région un interlocuteur titulaire et un suppléant. Ce titulaire représente le Strres et dispose d'un siège à la FRTP locale. Il est chargé de mettre en place des actions

2- Le vieux pont de Nérac, sur la Baïse, dans le Lot-et-Garonne, remonte à la fin du Moyen-Âge (XV^e siècle).

3- Le vieux pont à Montgivray, dans l'Indre, dit "pont romain".

4- Le pont Wilson à Tours, sur la Loire.

5- L'aqueduc de Louveciennes (1684) construit pour transporter les eaux de la Seine vers les bassins et jeux d'eau de Marly-le-Roi et Versailles.

LIONEL LLOBET : PARCOURS

Après être sorti de l'école en 1985 avec un BTS de dessinateur, Lionel Llobet commence sa carrière professionnelle comme dessinateur-projeteur pendant 6 ans chez Cofibat.

Puis, en 1992, à l'âge de 27 ans, il arrête tout, quitte Nîmes pour Toulouse, avec sa femme, reprend "sa trousse et son cartable" comme il le dit lui-même, pour suivre l'enseignement de l'Insa de Toulouse (Institut National des Sciences Appliquées) dont il sort ingénieur en 1995.

Lionel Llobet entre alors chez Razel comme conducteur de travaux puis chef de secteur dans l'agence de Marseille. Il y reste jusqu'en 2010.

En 2010, il rejoint le groupe Vinci au travers de Cofex Méditerranée, dont il est nommé directeur, basée à Garons, près de Nîmes.

Cofex Méditerranée, filiale de Vinci Construction, est une entreprise de génie civil spécialisé. Elle intervient principalement sur le territoire Occitanie et l'arc méditerranéen pour des clients publics et privés et réalise des travaux spéciaux tels que : réparation et protection d'ouvrages d'art, renforcement de structures, étanchéité et anticorrosion des bétons, géotechnique (fondations spéciales, soutènements), complements de carrières, sécurisation de falaises, travaux industriels.

Parallèlement, Lionel Llobet dirigeait également deux sociétés de travaux hydrauliques - Sogea Hydraulique et Sogea Hydraulique Process à Montpellier - qu'il a quittées fin 2022 dans le cadre de la réorganisation de Vinci.

Lionel Llobet est président du Strres depuis le 15 juin 2022, syndicat dont il était administrateur depuis 2011.

Il est par ailleurs administrateur de la FRTP Occitanie après avoir été, pendant 6 ans et demi, président de l'IFTP (Institut de Formation des Travaux Publics), créé par la même FRTP, pour assurer la formation des jeunes aux métiers des Travaux Publics, fonction qu'il a quittée du fait de sa nomination à la présidence du Strres.

Dans le cadre de l'IFTP, très attaché à la dimension humaine de son métier, en particulier, et de celui des Travaux Publics en général, il a organisé deux voyages à l'étranger - 15 jours au Vietnam et 15 jours au Pérou - au cours desquels il a emmené dans ces pays 12 apprentis de l'IFTP pour mettre au service de la population locale de villages abandonnés leur savoir-faire dans le métier des Travaux Publics. Un troisième voyage était prévu en Colombie, en 2020, qui a dû être annulé au dernier moment pour cause de Covid-19. Les billets étaient déjà pris.

Enfin, il est conseiller municipal de la commune de Graveson, dans les Bouches-du-Rhône.

de communication et de rechercher de nouveaux adhérents. Il constitue pour ainsi dire un petit Strres régional que nous animons à partir du siège national à la FNTP.

Depuis que j'ai été élu, je fais le tour de toutes les régions, je me présente à tous les présidents des FRTP locales avec le titulaire local du Strres et nous regardons ensemble les actions qu'il est possible de mettre en place, de dupliquer celles existant déjà qui nous semblent intéressantes. Nous assurons une animation permanente auprès des maires, dans les salons professionnels à destination des jeunes pour la formation.

D'autres actions sont-elles reprises dans la continuité de ce qui existait précédemment ?

Nous continuons à travailler sur les guides du Stress, nous poursuivons la réalisation des fascicules "Recos Strres" à destination des maîtres d'œuvre, nous assurons la publication des bulletins du Strres.

Nous organisons une fois par an une matinée technique au cours de laquelle les entreprises présentent des chantiers techniquement pointus qui se sont déroulés dans l'année.

La dernière a eu lieu le 9 décembre à Clermont-Ferrand. Elle a été très importante car, à côté d'exposés d'entreprises très enrichissants, le Cerema a présenté le retour sur la campagne de recensement organisée sur l'état des ouvrages d'art en France (Programme National Ponts).

Tous les trois mois, nous organisons également des matinées flashes sur des sujets techniques délicats traités par des sommités dans la profession, suivis d'échanges entre les participants et les spécialistes du sujet. ▶

© MARC MONTAGNON

4



© MARC MONTAGNON

5





© STRES 6a



© STRES 6b



© STRES 6c

Je ne raisonne pas sur la rupture. Dans le plus grand respect pour Christian Tridon, je reprends ce qui existait et qui fonctionnait bien en l'adaptant à l'idée que je me fais de l'action d'un syndicat avec une vision forcément un peu différente des choses, telle que je la pratique dans mon entreprise et que je duplique. En effet, dans le cadre de Cofex Méditerranée, la réparation des ouvrages d'art est mon quotidien.

Qu'en est-il des guides du Stres ?...

Les 20 guides existants, afin de prendre en compte l'évolution des techniques et les nouvelles normalisations, sont mis à jour régulièrement. Des projets sont en cours pour rédiger de nouveaux guides, mais il est prématuré d'en parler.

Par contre, je peux vous indiquer que nous travaillons à développer la protection cathodique des bétons par anode sacrificielle ou par courant imposé en vue de rédiger un guide supplémentaire. C'est un sujet difficile car plutôt méconnu d'autant qu'il existe très peu de documentation technique sur le thème. Notre objectif est de réaliser une synthèse réaliste qui soit moins empirique que ce qui existe actuellement.

...et des "Reco-Stres" ?

Les Reco-Stres, dont il existe déjà 25 versions, sont un outil indispensable pour les maîtres d'œuvre. En effet, pour chaque tâche décrite dans ces ouvrages, ils y trouvent le rappel de la tâche concernée et les références au guide correspondant, le rappel des principales recommandations ainsi que les normes et directives applicables et une proposition de la procédure de contrôle. Les Reco-Stres sont la garantie d'un travail efficace, réalisé dans les meilleures conditions.

Comme les guides, les Reco-Stres sont regroupés en 4 grandes familles : béton et maçonnerie, métal, ouvrages en fondation et consolidation des sols, équipements d'ouvrages.

Les ouvrages à destination des maires vont-ils continuer à être diffusés ?

"Monsieur le Maire, que faites-vous pour la maintenance de vos ouvrages ?" fut le premier d'entre eux. Il est devenu, parité oblige et, pour l'anodecté, suite à l'intervention d'une participante lors d'un salon des maires, "Mesdames et Messieurs les Maires, que faites-vous pour vos ponts ?".

6a, 6b et 6c- Les trois nouveaux bulletins " Mesdames et Messieurs les Maires, que faites-vous pour... ? ".

7- La nouvelle affiche du Stres pour sa campagne de communication 2022.

8- Le bulletin du Stres de juin 2022 à l'occasion du départ de Christian Tridon.

9- Le tunnel de Rive-de-Giers, sur l'autoroute A47 entre Lyon et Saint-Étienne, dans la Loire.

10- Travaux de réparation du bowstring de Lézan (1830) sur le Gardon d'Anduze, dans le Gard.

Nous les avons donc réédités et publiés par la suite " Que faites-vous pour vos murs ?" et " Que faites-vous pour la maintenance de vos ouvrages ?". Ces petits fascicules aident les maîtres



© STRES 7



© STRES 8



© ETANDEX 9



© STRES 10

d'ouvrage à prendre conscience de l'état de leurs ouvrages, comment les appréhender, comment les entretenir. Ils comportent un carnet de santé, créé par Christian Tridon et repris depuis par le Cerema qui l'a présenté au Sénat qui l'a validé.

Quelles sont pour vous les missions du Strres ?

La première mission est de fédérer les entreprises qui travaillent dans la maintenance et la réparation d'ouvrages. Pourquoi les fédérer ? Lorsqu'on est uni, on est plus fort. On se défend mieux vis-à-vis des textes de lois et de l'environnement extérieur. Cela permet également de tirer vers le haut la profession et d'imposer un niveau de qualité afin que les clients et les maîtres d'ouvrage fassent la différence entre les entreprises adhérentes du Strres et les autres. Ce n'est pas péjoratif mais il y tellement d'entreprises qui, comme l'on dit, "achètent une trueller et une taloche" et se disent réparateur d'ouvrages, que cela nous fait du tort.

Le travail qu'elles exécutent est quelquefois joli mais il ne tient pas 6 mois, ce qui laisse un goût amer aux clients. La mauvaise concurrence doit être éliminée par l'exigence d'un maître d'ouvrage conseillé par un maître d'oeuvre compétent et respecté.

Ce que nous voulons, c'est mettre un niveau d'exigence élevé avec une technique éprouvée et des procédures validées par le Strres afin que les maîtres d'ouvrage sachent que nous sommes professionnels et compétents.

La deuxième mission est de travailler à la formation. Le recrutement de personnel compétent est difficile. Il faut que nous nous fédérions pour attirer les jeunes en présentant nos métiers



© STRRES 11

LE STRRES : POUR MÉMOIRE

Le STRRES, Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de REnforcement des Structures a été créé en 1982 à l'initiative d'un petit groupe d'entrepreneurs qui, dans le cadre de la FNTF, se sont rassemblés pour définir les bases d'une structure regroupant les entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Créé en 1982, il rassemble à ce jour 73 entreprises de Travaux publics (membres actifs) et 19 membres correspondants (fabricants de produits et de matériels).

11- Lionel Llobet et Christian Tridon sur le futur pont Christian Tridon à Mundolsheim dans l'Eurométropole de Strasbourg.

12- Après le confortement des piles et la réparation des murs de soutènement, les travaux de régénération des maçonneries sur le pont de Brens (1833), sur le Tarn.

13- Réparation du viaduc SNCF de Saint Martin, à Lempdes sur l'Alagnon, dans l'Aude.

dans les salons, dans les écoles. Le troisième point qui est le plus chronophage de mes missions est d'alerter les maîtres d'ouvrage sur l'état de leurs ouvrages, leur expliquer que de très nombreux ponts sont dans un état défectueux, voire en mauvais état et que, s'ils ne les entretiennent pas, des problèmes graves vont survenir comme ce fut le cas pour le pont de Gênes le 14 août 2018.

À la suite de cette catastrophe, un rapport a été demandé au Sénat et, à la surprise générale, les premières informations de ce rapport ont mis en évidence que, non seulement, personne ne savait combien il y avait de ponts en France, mais surtout que personne n'était en mesure d'indiquer dans quel état ils se trouvaient.

En sait-on un peu plus aujourd'hui en ce qui concerne le recensement de ces ouvrages ?

Globalement, nous avons en France entre 200 000 et 250 000 ponts dont 20 000 appartiennent à l'État. Sur ces 20 000, 15 000 sont concédés aux sociétés d'autoroutes et sont dans un état plutôt satisfaisant.

L'État possède quelques ponts préoccupants. Les 100 000 ponts qui appartiennent aux conseils départementaux sont assez bien suivis, même si les financements des travaux qu'ils nécessitent sont souvent difficiles à débloquer. En revanche, pour les 80 000 ponts qui appartiennent aux communes, c'est vraiment la catastrophe. Beaucoup de communes ignorent combien de ponts relèvent de leur responsabilité, ne savent pas où ils sont situés, ne connaissent pas leur état, ne savent pas s'ils ont été entretenus ou pas.

Sachant que les ponts en bétons datent en majorité de l'après-guerre et ont donc déjà une existence de 75 ans. Nous considérons qu'un ouvrage en béton de 75 ans, s'il n'a jamais été entretenu, est en fin de vie, qu'il faut donc soit le réparer, soit le remplacer. Dans la logique de développement durable qui est la nôtre au Strres, nous considérons que démolir et reconstruire est une hérésie vis-à-vis de l'empreinte carbone et qu'il faut donc surtout entretenir.

Le rapport du Sénat a mis en évidence que, sur les 200 000 à 250 000 recensés, 35 000 sont dans un état inquiétant, présentant des dégâts structurels majeurs.

J'ai fait un calcul rapide qui est révélateur : nous avons en France 1 million de kilomètres de routes et 35 000 ponts dans un état inquiétant. Cela signifie, ▷



© STRRES 12



© BTPS 13



14

© COLAS



15

© SOLETANCHE BACHY

qu'en moyenne, chaque fois que l'on parcourt 30 kilomètres, on franchit un pont défectueux. Cela donne une bonne idée de l'urgence qui est celle d'entretenir les ponts.

À la suite de la publication de ce rapport, a été engagé le PNP, le Programme National Ponts, pour lequel l'État a alloué 40 millions d'euros pour réaliser le recensement et l'évaluation des ouvrages pour les petites communes ainsi qu'un appel à projets "ponts connectés".

Le programme de recensement et d'évaluation des ouvrages a été proposé à près de 28 000 communes dès janvier 2021. Sur les 28 000 communes éligibles sur la base du potentiel fiscal, 11 540 se sont inscrites et bénéficieront gratuitement d'un recensement de leurs ouvrages et d'un premier diagnostic de ceux présentant des désordres. Cela représente un total de 50 000 ponts et murs.

À travers ce dispositif, l'État a initié un "carnet de santé" des ouvrages. Ce carnet, remis aux collectivités afin qu'elles se l'approprient, leur permettra de retrouver toute leur place dans leur responsabilité de gestionnaire de ces ouvrages et d'inscrire dans la durée l'effort initié par le plan de relance. Dès la rentrée 2021, sur la base des communes volontaires identifiées, le Cerema⁽¹⁾ a organisé la réalisation des visites de recensement en s'appuyant sur des bureaux d'études privés. Chaque commune a été contactée par

un bureau d'étude qui partage avec la commune son pré-recensement sur carte des ouvrages, éventuellement complété par les informations dont dispose la commune. Une visite de recensement permet de finaliser la collecte des informations.

À l'issue de cette phase, la commune dispose d'un recensement des ponts et murs de soutènement (murs aval portant la voirie communale) de son

territoire et d'une première connaissance de leur sensibilité concernant leur structure. Chaque commune reçoit un carnet de santé par ouvrage, initié à partir des premières données recueillies.

Dès l'été 2022, à l'issue de la première phase de recensement, pour un panel d'ouvrages parmi les plus sensibles à l'échelle nationale, une inspection précise a été réalisée pour les 900 les

plus dégradés. Ce panel d'ouvrages sera constitué à partir de différents critères représentatifs (état dégradé, structure non visible, types d'ouvrage reconnus "à risques", ouvrages de grandes dimensions...). Ces inspections détaillées constitueront une illustration concrète des utilisations possibles du carnet de santé permettant d'aller plus loin dans la connaissance de l'état des ouvrages.

DSIL ET DETR

La dotation de soutien à l'investissement local (DSIL) permet de financer les grandes priorités d'investissement des communes ou de leurs groupements. L'enveloppe annuelle s'élève à 570 M€. En complément, une enveloppe exceptionnelle de 950 M€ est ouverte sur les exercices 2020 et 2021. La DSIL soutient également la réalisation d'opérations visant au développement des territoires ruraux inscrites dans un contrat de ruralité signé entre l'État et les groupements de communes.

Sont éligibles à la DETR les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) à fiscalité propre remplissant toutes les conditions suivantes : avoir une population qui n'excède pas 50 000 habitants (métropole et départements d'outre-mer) ; un territoire d'un seul tenant et sans enclave ; absence de communes membres de plus de 15 000 habitants.

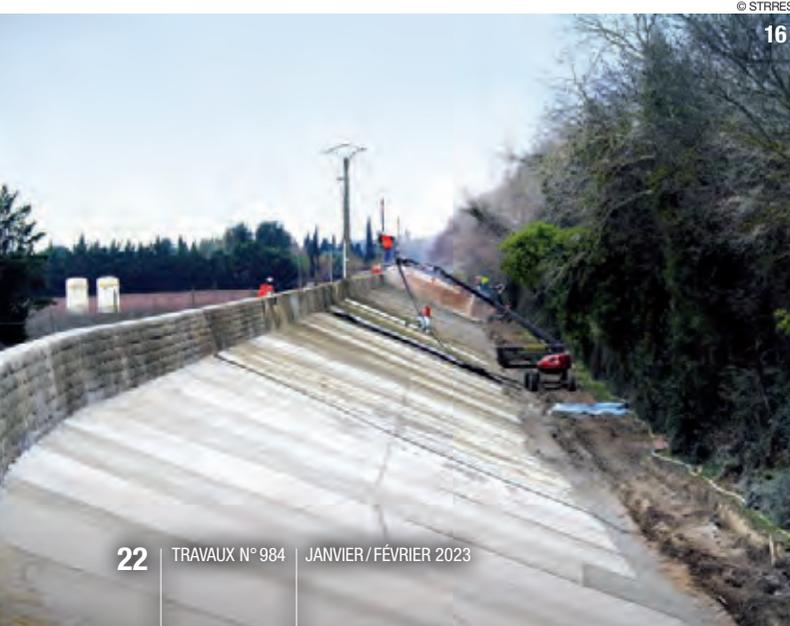
Sont éligibles, à titre dérogatoire, les EPCI éligibles en 2010 à la Direction Globale d'Équipement des communes (DGE) ou à la Dotation de Développement Rurale (DDR), les syndicats mixtes de moins de 60 000 habitants composés d'EPCI et de communes, les syndicats de communes de moins de 60 000 habitants et les communes nouvelles dont au moins une ancienne commune était éligible à la DETR ou dont la formation s'est faite par regroupement de toutes les communes d'un même EPCI.

14- Confortement de buses métalliques sous l'autoroute A72 à Fouillouse, dans la Loire (Colas Génie Civil Sud-Est).

15- Réparation d'un ovoïde.

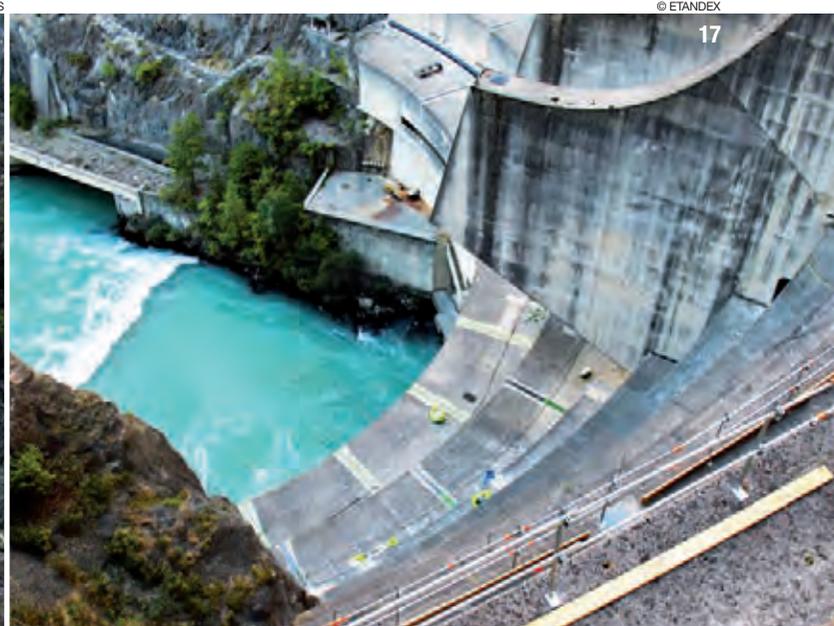
16- Réparation de la digue de La Montagnette (XV^e siècle) à Tarascon, sur le Rhône (groupement Freyssinet/GTM Sud/Cofex Méditerranée).

17- Chantier de réparation du barrage hydroélectrique de Montreynard-Avignonet (Isère), sur le Drac mis en service en 1962.



16

© STRES



17

© ETANDEX

18- Le " Vieux Moulin ", un ancien moulin à eau, devenu emblématique de la ville de Vernon dans l'Eure, en bordure de la rive droite de la Seine sur l'ancien pont de Vernonnet.

19- Le barrage à aiguilles de Montrichard sur le Cher (1836 - 1840), témoignage de l'ingénierie hydraulique du 19^e siècle.

À l'issue de cette seconde phase d'évaluation, les ouvrages du panel disposeront d'un carnet de santé enrichi des éléments de l'inspection détaillée. Ce sont les résultats de ces campagnes qui nous ont été présentés lors de notre matinée technique du 9 décembre dernier à Clermont-Ferrand (FRTP AURA), sur "la maintenance des ouvrages de génie civil", au cours de laquelle Cécile Bouvet Agnelli, du Cerema, a fait un point d'étape sur le recensement de ces ouvrages communaux.

Il en ressort qu'il existe bien en France 35 000 ouvrages en mauvais état.

Lors de ces visites, les techniciens qui se sont rendus sur place ont connu quelques surprises : à la suite de leur passage, certains ouvrages ont vu leur gabarit en charge réduit, d'autres ont été fermés à la circulation par décision préfectorale.

Quelle conclusion pour l'avenir ?

Au Strres, le cœur de notre mission est de faire connaître ce problème et d'accompagner tous les intervenants

APPEL À PROJETS " PONTS CONNECTÉS " : SOUTENIR L'INNOVATION

Les ouvrages d'art sont des points névralgiques des réseaux routiers. Le vieillissement de ce patrimoine, soumis à des environnements agressifs et des évolutions d'usage, engage à penser autrement son entretien et sa gestion pour assurer la sécurité des usagers, et maintenir l'état fonctionnel de chaque ouvrage.

Pour assurer la surveillance de ces ouvrages, les dernières innovations en matière d'instrumentation, télécommunication, traitement de données et intelligence artificielle offrent un potentiel important en complément des méthodes classiques d'inspections visuelles. Pour répondre à ces enjeux, le gouvernement a lancé un appel à projets " Ponts connectés " visant à offrir aux collectivités des moyens pratiques, performants et peu onéreux.

Ce dispositif vise à soutenir les centres de recherche et les entreprises qui travaillent à des solutions innovantes de surveillance et gestion des ouvrages par l'instrumentation :

- **Systèmes ou méthodes peu onéreux permettant leur large diffusion ;**
- **Systèmes ou méthodes peu vulnérables aux intempéries ou au vieillissement, et économes en énergie ;**
- **Systèmes ou méthodes qui contribuent à la gestion des ouvrages selon les méthodes classiques, comme celles portées par l'ITSEOA (Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art) ;**
- **Systèmes ou méthodes " certifiables " quant à leurs performances, méthodes de détection d'anomalies largement automatisées, instrumentations permettant le suivi sur le long terme des ouvrages.**

Les lauréats expérimenteront leurs solutions en vraie grandeur sur des ouvrages de l'État ou de collectivités.

L'objectif final est d'offrir aux collectivités des moyens pratiques, performants et peu onéreux contribuant à une optimisation de la gestion de leur patrimoine.

qui peuvent contribuer à le résoudre. Nous communiquons auprès de tous les maîtres d'ouvrage - communes, départements, services de l'État - afin de les convaincre de l'urgence qui est désormais connue de tous d'intervenir pour enrayer cette situation. Plus on diffère l'entretien d'un ouvrage, plus le coût de son entretien est élevé. Dans cette démarche, nous nous grou-

pons avec les fédérations régionales de la FNTP, avec l'Association des Maires de France (AMF), avec les directeurs des Associations Techniques Départementales (ATD). Nous organisons des réunions avec eux pour leur présenter les pathologies, les mesures à prendre pour y remédier et trouver des financements. Nous les sensibilisons au problème.

Autant beaucoup de maires sont bien conscients de la nécessité de l'entretien des routes, des réseaux électriques, des canalisations, autant ils ne se sont jamais posé de questions en ce qui concerne les ouvrages, exception faite peut-être des problèmes de garde-corps.

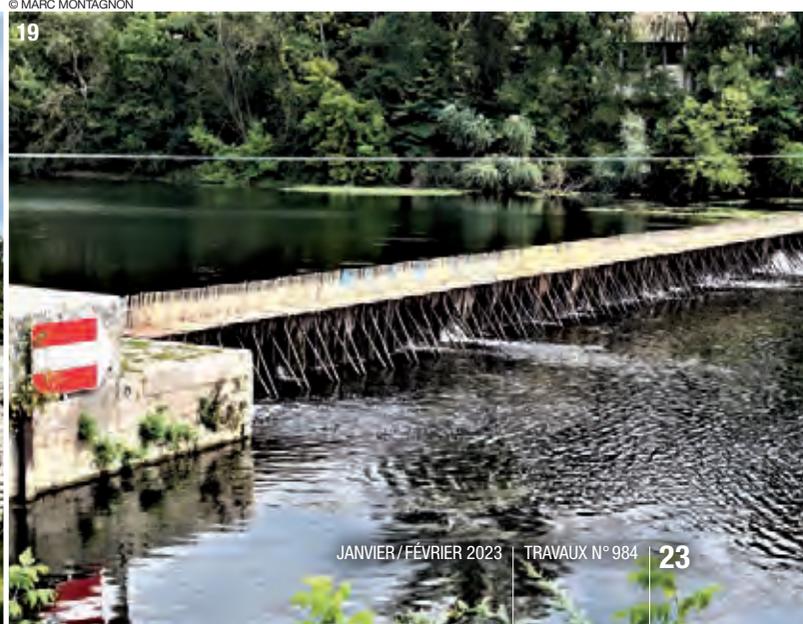
Il est vrai que la plupart des communes n'ont ni la compétence technique, ni la compétence financière.

Nous leur indiquons que les départements sont censés mettre à leur disposition leurs compétences techniques au travers des ATD et que, financièrement, ils peuvent recevoir des aides de la part de la DSIL (Dotation de soutien à l'Investissement Local) et de la DETR (Dotation d'Équipement des Territoires Ruraux).

Les Associations Techniques Départementales dépêchent des techniciens pour faire des diagnostics et monter des plans d'entretien ou de maintenance et lancer des appels d'offre. L'État alloue des dotations aux communes qui en font la demande via les DSIL et les DETR qui dépendent du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires.

Je terminerai, pour la petite histoire, par une information anecdotique mais significative : pour le départ de Christian Tridon, le Strres a le projet de donner son nom à un pont dans la commune de Mundolsheim dans l'Eurométropole de Strasbourg. Un juste retour des choses et une attention qui l'a beaucoup touché. □

1- **Le Cerema**, établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, accompagne l'État et les collectivités territoriales pour l'élaboration, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport.



© ZAIRON
18

© MARC MONTAGNON
19



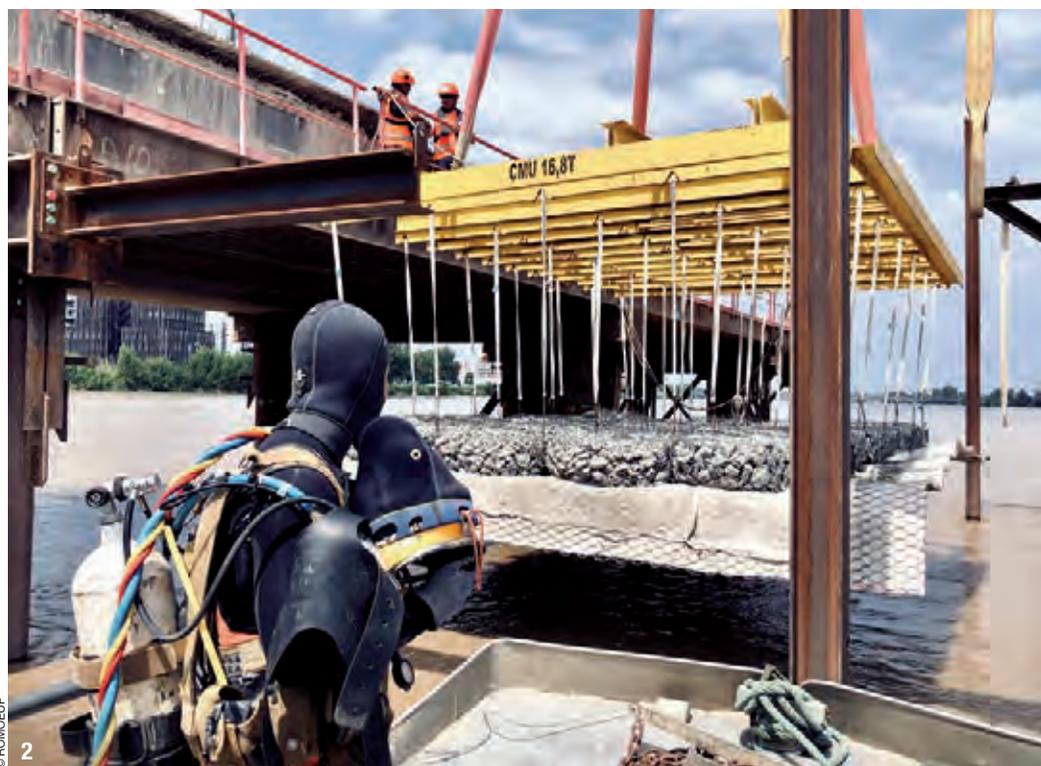
1- Mise en place
des gabions de
protection en
sac sur le Pont
de Pierre avec
intervention d'un
scaphandrier.

© ROMOEUF

ROMOEUF DU PONT DE PIERRE AU PONT SIMONE VEIL

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

L'ENTREPRISE ROMOEUF EST L'UNE DE CES NOMBREUSES PME FRANÇAISES, INDÉPENDANTE, EXERÇANT SON ACTIVITÉ DANS L'UN DES CRÉNEAUX PARTICULIÈREMENT " POINTUS " QUE COMPORTENT LES TRAVAUX PUBLICS : EN L'OCCURRENCE LES TRAVAUX DITS " SUBAQUATIQUES " C'EST-À-DIRE RÉALISÉS ESSENTIELLEMENT SOUS L'EAU. SON CHAMP D'ACTIVITÉ S'ÉTEND PAR AILLEURS À LA RÉNOVATION D'OUVRAGES ANCIENS, EN BORDURE DE RIVIÈRES OU DE CANAUX, VOIRE EN VILLE.



© ROMOEUF
2

L'entreprise a été créée en 1986 par Jean-Pierre Romoeuf et son fils Sylvain et s'est installée immédiatement à Champniers, dans l'agglomération d'Angoulême. Elle s'est consacrée dans un premier temps à des travaux subaquatiques tels que le recépage de rideaux de palplanches et la visite des piles et de la partie immergée des fondations d'ouvrages d'art.

2- Sur le chantier du pont Simone Veil, mise en place des gabions de protection périphérique des piles.

Parmi ses références les plus anciennes dans ce domaine figure ainsi la totalité des ponts qui ont été construits à Tours et à Bordeaux dans cette période des années 80, notamment en ce qui concerne la construction des batardeaux, la mise en œuvre des palplanches et de leur étanchéité, la purge des batardeaux, la réalisation du bouchon immergé avec le contrôle

de la bonne répartition du béton, le recépage du rideau à l'achèvement des fondations.

« Tous ces travaux, précise Sylvain Romoeuf, s'effectuent la plupart du temps dans des eaux plus ou moins troubles, voire opaques, et nécessitent l'intervention de scaphandriers équipés de matériels d'inspection spécifiques. Mais l'intérêt de tels travaux est loin d'être négligeable : les techniques de l'hyperbarie permettent des travaux au plus faible coût au regard des techniques classiques et des possibilités de valorisation du patrimoine. En particulier, les travaux subaquatiques ne nécessitent pas les coûteuses " mises au sec " autrefois obligatoires. »

Le pont Simone Veil, actuellement en cours de réalisation sur la Garonne dans le centre de Bordeaux, en constituera la plus récente et la seconde la plus significative lors de sa mise en service prévue pour 2024.

VISITES SUBAQUATIQUES : UN ENCADREMENT RÉGLEMENTAIRE STRICT

Il faut savoir que les visites d'ouvrages d'art sont encadrées dans une série de fascicules édités par le Ministère des Transports depuis 1979 et révisés par la circulaire de déc. 1995. Ces fascicules sont la base même de l'organisation des visites détaillées simplifiées et des investigations en site aquatique (cf. liste des fascicules et plans types demandés + circulaire déc. 1995). ▷

Ces fascicules sont la base de travail servant à la réalisation des cahiers des charges créés par les maîtres d'ouvrage tels que les Cellules Ouvrages des Départements ou des sections Ouvrages d'Art de la SNCF.

L'organisation des visites subaquatiques d'ouvrage d'art s'appuie sur l'étude du cahier des charges ainsi que sur la logistique à mettre en œuvre pour qu'une équipe de 3 scaphandriers (cf. décret n°2011-45 du 11 janvier 2011 et arrêté du 30 octobre 2012) puisse visiter l'ouvrage dans son contexte qui est, parfois, très particulier.

« En effet, les contextes rencontrés dans le cadre de ces visites sont variables, précise Sylvain Romoeuf, tant en ce qui concerne le type de cours d'eau que l'accessibilité. Les moyens d'intervention en milieu subaquatique sont donc adaptés en fonction de chaque ouvrage.

Quant à l'accessibilité à l'ouvrage, elle se trouve parfois grandement délicate sur des ouvrages encaissés que l'on peut en rencontrer en Lozère, dans le Lot ou en Ardèche. Il est quelquefois plus aisé de visiter un viaduc sur la Loire, par exemple, qu'un pont gallo-romain dans les gorges de l'Ardèche. Les moyens d'accès se font parfois avec du matériel de cordiste. Toutefois, dans la grande majorité des cas, ces visites subaquatiques nécessitent des moyens ordinaires. »

De ce fait, la profession d'entreprises telles que Romoeuf évolue depuis longtemps dans un contexte particulier. D'un côté, l'État ou les collectivités doivent déléguer à des entreprises spécialisées comme Romoeuf, la réalisation en milieu subaquatique des visites que son personnel ne peut exécuter compte



SYLVAIN ROMOEUF : PARCOURS

Sylvain Romoeuf est titulaire d'un CAP Travaux Publics de l'EATP (École d'Application aux métiers des Travaux Publics) d'Égletons (1979). Il est également scaphandrier Classe II-A et opérateur caisson hyperbare.

Dans un premier temps, il rejoint jusqu'en 1983 une société de plongée spécialisée dans les travaux subaquatiques.

Puis, en 1986, il fonde avec son père Jean-Pierre, la SAS Romoeuf, basée à Champniers, en Charente, au nord d'Angoulême.

Les débuts sont timides mais la société connaît un développement régulier jusqu'à employer en 2022 une vingtaine de collaborateurs, dont cinq scaphandriers et cinq compagnons spécialisés dans les travaux de réparation.

Parallèlement, il participe avec Rincet BTP, à partir de 1988, à la création de son agence en Charente, une collaboration qui durera pendant près de 7 ans, jusqu'à ce qu'il devienne président de la SAS Romoeuf en 1999 et s'associe à la tête de cette dernière à Thierry Laurent, responsable du bureau d'études et des travaux spéciaux.

La SAS Romoeuf est membre du bureau du Strres (Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures), dont Sylvain Romoeuf est trésorier, et dispose des qualifications EDF, SNCF, OPPBTP, FNTP, Mase (sécurité hyperbare), et Qualianor (certification hyperbare). Elle est partenaire de 3X Engineering, l'un des leaders mondiaux dans la maintenance de canalisations/pipelines à l'aide d'une technologie composite.

tenu de la dangerosité du milieu qui entraîne des problèmes d'assurance et de responsabilité.

De l'autre côté, ces mêmes entreprises se doivent d'être garantes des sujétions de sécurité à l'accès en milieu subaquatique et se charger d'organiser techniquement ces visites pour le compte de la collectivité.

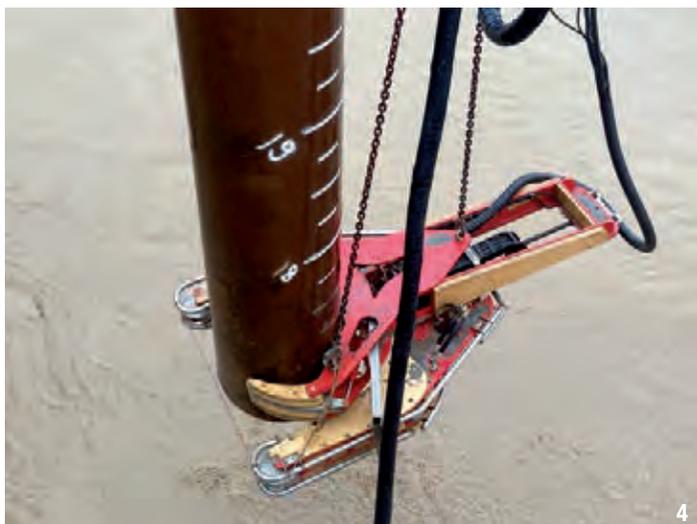
Sylvain Romoeuf donne à ce sujet quelques informations importantes sur le personnel affecté aux travaux subaquatiques :

« Le personnel hyperbare (scaphandriers Classe II A), pendant longtemps, ne disposait pas de formation particulière et ces visites s'organisaient, comme elles s'organisent toujours d'ailleurs, autour d'un chef d'opération ayant le plus d'expérience en matière d'ouvrages d'art, celui-ci encadrant son équipe de deux autres scaphandriers dans le suivi et la schématisation des cotes prises in situ. C'est en général ce chef d'opération qui s'occupe de réaliser le premier rapport d'inspection. Depuis septembre 2011, le Sneti (Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux Immérgés) a mis en place un

3- Sylvain Romoeuf, président de la SAS Romoeuf.

4- Le "pile cutter" mis en œuvre sur le chantier du pont Simone Veil.

5- Le caisson hyperbare pour la sécurité des scaphandriers.





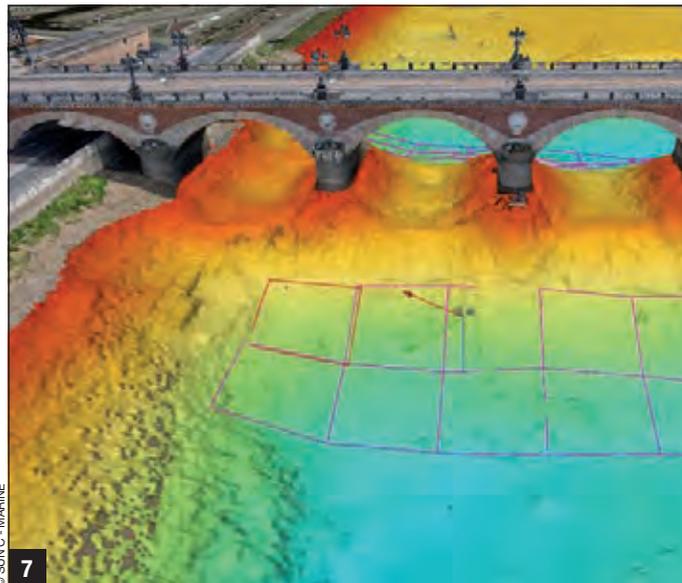
© PATRICK DESPOIS
6

6- Le Pont de Pierre à Bordeaux : l'une des belles références de l'entreprise.

7- Extrait de la maquette 3D du fond du fleuve pour le confortement des piles du pont de pierre à Bordeaux avec le calepinage de pose des gabions.

8- Descente des gabions "XXL" pour le Pont de Pierre.

9- Mise en place des gabions de protection en sac sur le Pont de Pierre avec intervention d'un scaphandrier.



© SUNIC - MARINE
7

soient définies par la publication de l'arrêté du 29 septembre 2017. Depuis le 1^{er} janvier 2020, les travaux hyperbares ne peuvent plus être réalisés que par une entreprise certifiée.

Cette qualification permet à Romoeuf de participer à l'entretien et à la rénovation des fondations de nombreux barrages EDF avec laquelle elle a signé un marché cadre pour des travaux subaquatiques : visites de contrôle, batardage, réparations.

GRAPPINAGE ET DÉSENVASEMENT : DES ÉQUIPEMENTS SPÉCIFIQUES

Les travaux de grappinage et de désenvasement constituent une autre activité permanente de Romoeuf. Ils sont généralement réalisés sur des ouvrages de type barrages, écluses, ouvrages d'art.

Les premiers consistent au nettoyage des bois présents, par exemple, en surface, en pied de barrage, au niveau des prises d'eau, des vannes de fond, etc. En complément, un suivi des travaux peut être réalisé par ROV et/ou scaphandriers afin de connaître l'avancement du grappinage.

Les moyens spécifiques engagés lors de telles interventions sont désormais d'utilisation courante dans les parcs ▷

« système de validation des acquis par le biais d'un CQP (Certificat de Qualification Professionnelle) qui permet au personnel des entreprises d'encadrer ses chefs d'opération (CQP Scaphandrier Inspecteur) et des adjoints (CQP Scaphandrier Agents d'Inspection). »

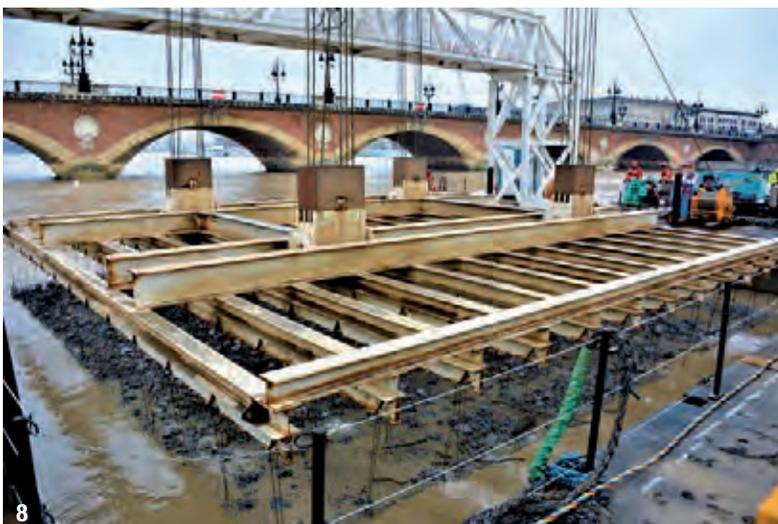
La SAS Romoeuf a suivi cette évolution et possède aujourd'hui un CQP Inspecteur ainsi que deux CQP Agents

d'Inspection. Déjà, dans le cadre de la formation professionnelle, une formation sur les ouvrages d'art avait été suivie par l'ensemble de l'entreprise, pilotée par Jean Pierre Levillain en 2002.

« Par exemple, indique Sylvain Romoeuf, l'encadrement type pour une visite d'ouvrage d'art est le suivant : 3 scaphandriers Classe II mention A dont 1 chef d'opération ayant la Qualifica-

tion CQP Scaphandrier Inspecteur et 1 à 2 CQP Agent d'Inspection. »

L'Article R4461-1 du Code du Travail, issu du Décret n°2011-45 du 11 janvier 2011 a introduit la certification Obligatoire des Entreprises réalisant des travaux hyperbares, qu'ils soient subaquatiques (travaux sous-marins) ou en hyperbarie sèche (travaux de tunnelier). Il a fallu ensuite plusieurs années pour que les modalités de cette obligation



8
© ROMOEUF



9
© ROMOEUF

des entreprises spécialisées : ensemble de pontons modulables en acier de 90 m², cinq barges en aluminium de 25 m², une embarcation motorisée, une grue de 5 tonnes, une pompe de 400 m³/h, un groupe électrogène de 100 kVA, deux machines de forage pour travaux spéciaux avec centrales d'injection, matériels de plongée pour 9 équipes de scaphandriers.

À ceci s'ajoute un caisson hyperbare ou "caisson de décompression"⁽¹⁾ pour intervention éventuelle en cas d'accident ainsi qu'un tout nouveau matériel, encore très peu répandu en Europe : un "pile cutter" de Hilti. Cet appareil va permettre de découper les pieux des estacades provisoires réalisées pour la construction du pont Simone Veil à Bordeaux.

Pour les travaux de désenvasement, l'entreprise utilise les mêmes installations flottantes que celles engagées pour le grappinage. Dans ce cas, le grappin hydraulique qui équipait précédemment la grue de 5 tonnes est remplacé par la pompe de 400 m³/h. Le ponton est déplacé progressivement de la rive gauche vers la rive droite tandis que le contrôle du désenvasement est effectué à l'avancement par l'équipe de scaphandriers.

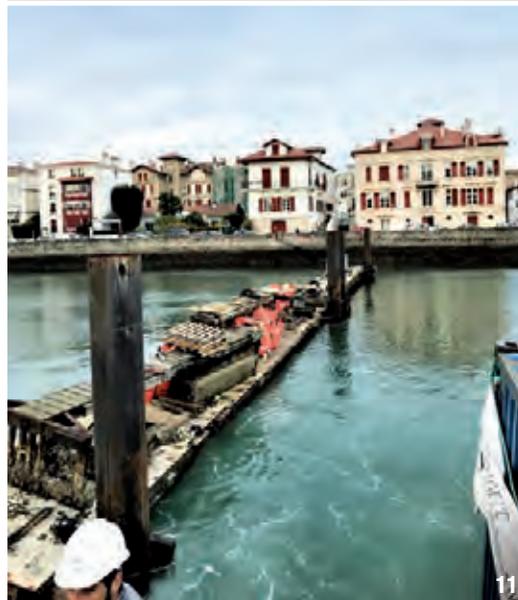
TRAVAUX SPÉCIAUX : PROTECTIONS DIVERSES D'OUVRAGES

Les travaux que l'entreprise qualifie de "spéciaux" constituent un élargissement des compétences de Romoeuf. Depuis 15 ans, ils consistent pour l'essentiel en travaux de confortement des maçonneries et fondations d'ouvrages d'art et plus particulièrement hydrauliques ou de réparation de désordres sur les ouvrages bétons :

- Réparation des bétons dégradés ;
- Protection anti-corrosion des structures portuaires ;
- Protection en enrochements ou par gabions de berges, talus, fondations immergées d'ouvrage d'art.

Dans cette spécialité, Sylvain Romoeuf a mis en place une équipe de maçons qualifiés qui lui permet notamment de réaliser, pour la SNCF dans le cadre d'appels d'offre, les travaux d'entretien des fondations de plusieurs ponts ferroviaires dans la région de Reims, qu'il s'agisse de forage, d'injection au coulis de ciment, d'Injection Répétitive Sélective de batardeaux pour mise au sec, de rejointoiement.

« Dans le cadre des opérations de reconnaissance de l'état et de la situation de fondations d'ouvrages d'art



établis en site aquatique, ajoute Sylvain Romoeuf, nous avons été mandatés par SNCF Réseau pour la réalisation d'investigations approfondies sur 8 ouvrages avec relevés topographiques et bathymétriques, fouilles sur fondations avec visites par scaphandrier, réalisation de sondages pressiométriques, sondages carottés, sondages destructifs, essais en laboratoire, rapport détaillé des investigations. »

Pour la ville d'Angoulême, Romoeuf dispose d'un marché à bon de commande pour les nombreux travaux d'entretien des structures d'ouvrages d'art ainsi que la rénovation et la création de passerelles.

Elle agit également dans le domaine du génie végétal pour la stabilisation des cours d'eau par la mise en place de fascines en bois.

Pour tous ces travaux réalisés dans des terrains généralement considérés comme sensibles, Romoeuf monte l'ensemble du dossier et réalise les travaux en direct, dans le respect de la loi sur l'eau et des critères définis par la DDT (Direction Départementale des Territoires).

10- Le port de pêche de Saint-Jean-de-Luz à l'issue des travaux.

11- Le chantier de Saint-Jean-de-Luz comprenait le démantèlement des anciennes structures par découpage subaquatique.

12- Mise en place de protection par chemisage pour les pieux de guidage à Saint-Jean-de-Luz.

planches, pieux d'ouvrages portuaires, éléments constitutifs de plateformes pétrolières ou encore pipelines posés sur des fonds marins.

« Ces mesures sont effectuées par du personnel qualifié (Cofrend), précise Sylvain Romoeuf. D'après celles-ci, nous élaborons un rapport quantifiant les désordres. Nous sommes en mesure également, d'établir avec notre bureau d'étude, les préconisations techniques de réparation, ainsi que leurs coûts et leurs durées. »

PRESTATIONS GÉOTECHNIQUES

Au fil d'années, pendant que les effectifs de l'entreprise s'élargissaient pour atteindre aujourd'hui près d'une vingtaine de collaborateurs, Romoeuf est entrée dans le domaine des prestations géotechniques pour le compte de maîtres d'ouvrage ou de maîtres d'œuvre, dans le cadre de réalisation tant de travaux neufs que de rénovation : forage destructif, carottage, essai pressiométrique, essai Lugeon, essai d'eau Lefranc...

La topographie et la bathymétrie complètent ces prestations avec une



13 et 14- L'un des chantiers pour GRT Gaz en bordure de rivière, avant et pendant les travaux avec mise en place de gabions.

15- Les moyens nautiques au travail sur un chantier de confortement de berges pour EDF à Trémons (Lot-et-Garonne).

16- Confortement de berges sur le Lot près de Trémons.

gamme de matériels bien adaptés :
 → Pour la topographie, tachéomètre électronique, gps de précision, sondeur multifaisceaux ;
 → Stations de travail Autocad et Covadis, traceur couleur A0+ et imprimante laser.

CHANTIERS : L'EAU EST TOUJOURS PRÉSENTE

Fidèle à ses origines, Romoeuf a maintenu depuis sa création en 1986 sa spécialité d'intervenir sur tous types d'ouvrages à la condition qu'ils se situent dans l'eau ou en milieu aquatique. Les références dont elle peut faire état parlent d'elles-mêmes et montrent que l'implication dans un milieu nécessite incontestablement des qualifications particulières.

Saint-Jean-de-Luz et Hendaye : la CCI a confié à Romoeuf les travaux de modernisation des pannes du port de pêche de Saint-Jean-de-Luz. Chantier réalisé dans des conditions difficiles,

ROMOEUF : MOYENS NAUTIQUES

- 5 Newmatic + remorques + moteurs 9,9 ch et 6 ch.
- 1 barge aluminium automotrice "La Guernouille" (9 m x 2,50 m de 2,7 t) équipée d'un moteur 50 ch Mariner + une barge aluminium annexe (8 m x 2,50 m de 1,8 t).
- 1 barge aluminium "Le Fun" (8,90 m x 2,60 de 3 t) motorisée équipée d'un moteur 115 ch Mercury.
- 1 barge aluminium "La Maline" (7,60 m x 2,70 de 3,30 t) motorisée équipée d'un moteur 115 ch Mercury.
- 6 pontons acier de 4,20 m x 2,40 m x 0,80 m assemblables.
- 1 ponton acier de 8,40 m x 2,40 m x 0,80 m (surface totale de la plateforme : 70 m²).
- 102 pontons plastiques à assemblables Jetfloat (surface de 25,5 m²).
- 1 grappin hydraulique.
- 6 barges de travail de 7 à 12 m.
- 1 pousseur lourd 300 ch.
- 1 pompe immergée de 400 m³/h.

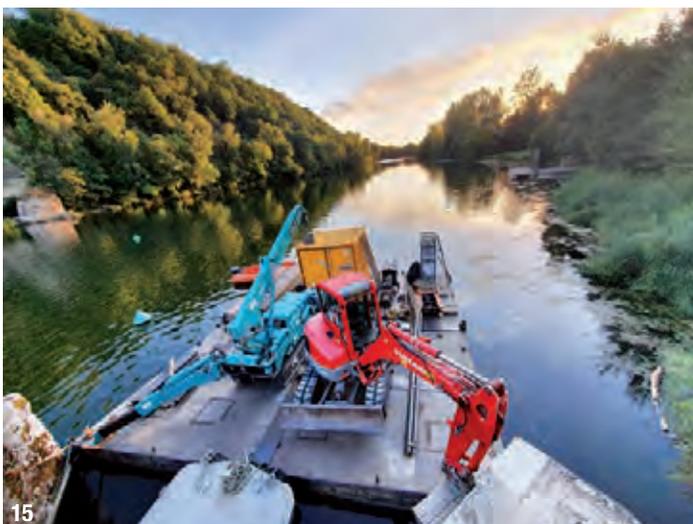
À ce parc nautique s'ajoutent les traditionnels moyens de transport et les engins de chantier propres à toute entreprise de Travaux Publics : pelle hydraulique, fourgons, camions porte-engins... sans oublier le "pile cutter" et le caisson hyperbare.

comprenant le démantèlement des anciennes structures par découpage subaquatique et évacuation des éléments ainsi que la mise en place de protections pour les pieux de guidage par chemisage et clavetage par injection de coulis de ciment.

Dans les ports de Saint-Jean-de-Luz et d'Hendaye, l'entreprise, mandatée par le département des Pyrénées Atlantiques (64), a également réalisé des travaux de protection cathodique des rideaux de palplanches des chenaux d'entrée de chacun de ces ports : mesures de potentiel avant et après travaux, soudures subaquatiques des anodes sacrificielles (47,6 tonnes d'anodes).

Canalisations de transport de gaz :

Romoeuf est attributaire d'un accord-cadre avec GRT Gaz pour l'inspection de traversées sous-fluviales de canalisations de transport de gaz sur les régions Centre atlantique, Nord-Est, Rhône-Méditerranée, Val de Seine. ▷



15
© ROMOEUF

16
© ROMOEUF



17

© ROMOEU



18

© ROMOEU

Pour l'année 2020, cela représentait 7 050 m de conduites réparties en 258 ouvrages et comprenait les relevés topographiques et bathymétriques au GPS, la radiodétection des conduites pour relevé de l'épaisseur de recouvrement, le rendu d'un rapport d'inspection sous format informatique avec une version papier.

Pont Simone Veil à Bordeaux : le chantier en cours du pont Simone Veil constitue l'une des opérations récentes les plus importantes confiée à Romoeuf puisqu'elle assiste le groupement adjudicataire du marché dans la réalisation des fondations des piles.

Il n'est pas inutile de rappeler que, après la rupture du marché avec Fayat, c'est à un groupement d'entreprises piloté par Bouygues TP Région France que Bordeaux Métropole a confié le chantier de construction de l'ouvrage. Un nouveau marché de 47,2 millions d'euros a permis de redémarrer les travaux en vue d'une ouverture espérée pour début 2024.

UN SYNDICAT SPÉCIALISÉ

Le Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux Immergés (Sneti) a été créé en 1970. Il est affilié à la FNTP dont il est l'un des 15 syndicats de spécialités.

Le Sneti intervient sur l'ingénierie des formations à la sécurité et des formations techniques des scaphandriers. Il peut ainsi faire connaître les besoins des entreprises et apporter son concours pour faire évoluer la formation.

Il n'existe pas de métier figé. L'évolution est permanente pour les membres du Sneti.

Une connaissance toujours accrue de la physiologie de l'hyperbarie, une évolution des matériels, un développement maîtrisé des techniques assurent aux donneurs d'ordre que, face aux nouveaux problèmes de leurs chantiers eux-mêmes en évolution, ils pourront trouver compétence, sérieux et sécurité auprès de ses membres.

En effet, après un différend technique entre le groupe Fayat et Bordeaux-Métropole, la construction des piles du pont Simone Veil avait été stoppée en 2018. Le désaccord technique concernait les conditions d'exécution des

atardeaux dans la Garonne. Le groupe Fayat a fait valoir que ce procédé comportait des risques, compte tenu de la nature du sol, de très mauvaise qualité. La solution proposée par le groupement pour les fondations prévoit de

17- Confortement des fondations du pont SNCF de Lonchamp-sur-Aujon dans l'Aube.

18- Le pont de Longchamp-sur-Aujon après l'achèvement des travaux.

19- Les pêcheries Saint-Simon, sur la Charente, avant les travaux.

20- État final des aménagements réalisés par Romoeuf pour les pêcheries Saint-Simon.

faire reposer chaque pile du pont sur une file de 4 gros pieux de 2500 mm de diamètre au lieu de 10 pieux de 1500 mm. Ce procédé permet de s'exonérer de la réalisation de batardeaux provisoires dans la Garonne qui



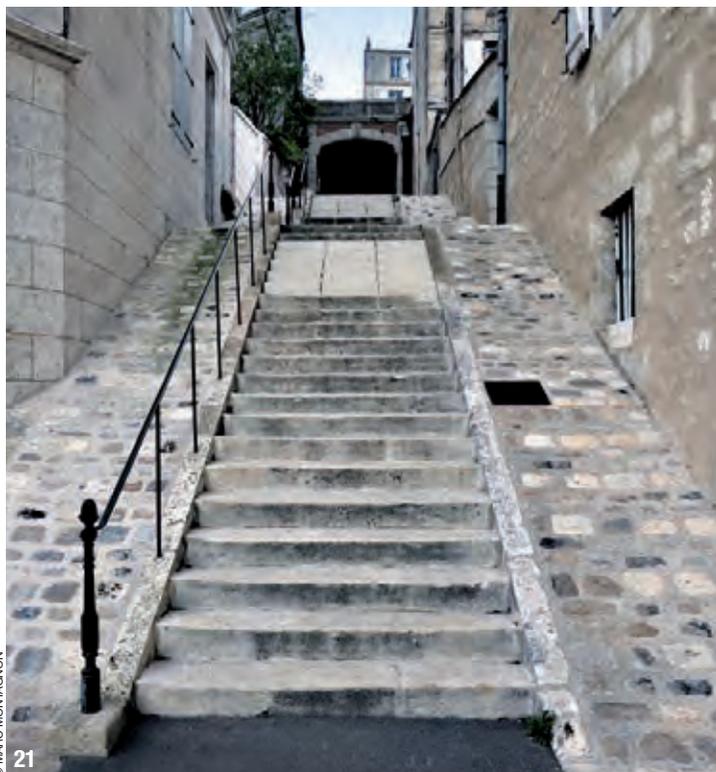
19

© ROMOEU



20

© ROMOEU



UN ESCALIER POUR " THE FRENCH DISPATCH "

À Angoulême, trois beaux escaliers en pierre permettent de relier la rue de Montmoreau au " Plateau ", c'est-à-dire la ville haute.

En effet, la ville est établie sur un éperon calcaire dominant une boucle de la Charente limitée en amont par la confluence de la Touvre et en aval par celles de l'Anguienne et des Eaux Claires.

L'escalier rénové au printemps 2019 par l'entreprise Romoeuf permet de rejoindre le Plateau d'Angoulême, depuis le rond-point entre la rue de Montmoreau et la rue Renolleau.

Il a été rénové en totalité en utilisant la pierre calcaire de la région.

Cet escalier a servi de cadre au dernier film du réalisateur Wes Anderson " The French Dispatch ", sorti en octobre 2021. Originaire du Houston (Texas), Wes Anderson est un amoureux de la France et de Paris.

Le réalisateur a imaginé dans ce film la vie dans une ville française du XX^e siècle ; c'est une ville fictive, mais qui a pour décor Angoulême, en Charente.

La ville, ses habitants et ses institutions ne cachent pas leur fierté d'avoir hébergé, cinq à six mois durant, le réalisateur et ses équipes.

Wes Anderson a choisi Angoulême pour sa topographie, ses ruelles, ses quartiers, son charme de ville du sud-ouest. Il cherchait quelque chose qui ressemble au Ménilmontant des années 1950.

avaient été à la source du différend avec Razel, précédent attributaire du marché.

Sur ce chantier, Romoeuf assiste le groupement piloté par Bouygues TP Régions France à plusieurs niveaux : mise en place des batardeaux avec assemblage sous l'eau et démontage, étanchéité de l'embase, mise en place des gabions de protection périphérique des piles pour empêcher l'abrasion du lit du fleuve. Il s'agit de gabions Maccaferri de 4 m x 4 m assemblés sur le site et mis en œuvre depuis les estacades.

L'ouvrage dessiné par l'agence OMA de Rem Koolhaas, relie Bègles à Floirac. Sa particularité est de proposer un lieu de déambulations urbaines " grâce à un élargissement de plus de 20 m de l'espace affecté aux piétons et aux deux roues ". On y trouvera également une voie pour un transport en commun en site propre, deux voies par sens affectées aux véhicules légers et aux poids lourds et une piste cyclable bidirectionnelle

Long de 549 m et large de 44 m, le pont Simone-Veil sera supporté par 8 piles fondées chacune sur 4 pieux de gros diamètre s'enfonçant à 20 m de profondeur. Il comporte 9 travées : 7 d'une longueur de 63,84 m et 2 d'une longueur de 51,06 m. Une passe navigable de 30 m de large sous le tablier permet de maintenir le trafic fluvial.

21- À Angoulême, l'escalier de pierre ayant servi de cadre au film " The French Dispatch " de Wes Anderson.

Après la mise en service du pont Jacques-Chaban-Delmas en mars 2013, il permet de " boucler la boucle des boulevards ", au sud de Bordeaux.

Pont de pierre à Bordeaux : elle est intervenue en sous-traitance de l'entreprise Balineau pour les travaux de réparation des talus sous-fluviaux sur le " pont de pierre " à Bordeaux. Cet ouvrage à voûtes en maçonnerie, construit entre 1810 et 1822, franchit la Garonne et relie le centre-ville au quartier de La Bastide, sur la rive droite. Il constitue l'élément de patrimoine le plus emblématique du plus grand périmètre urbain inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco en 2007.

D'une longueur de 487 mètres, l'ouvrage présente 17 arches construites en " clin d'œil " au nombre de lettres figurant dans le nom de Napoléon Bonaparte. La largeur du pont, initialement de 14,8 mètres, a été élargie à 19 mètres en 1954.

La bathymétrie effectuée par la société Sub-C Marine a permis d'élaborer le calepinage pour la pose des gabions " XXL " Maccaferri réalisée par Romoeuf.

Diversité autour d'un même sujet :

d'autres travaux subaquatiques peuvent être mentionnés qui témoignent de la diversité de Romoeuf dans ce domaine. Dans le cadre de la réhabilitation des piles du Pont Saint Esprit sur l'Adour, elle était mandatée par la Ville de Bayonne pour la reconstitution des massifs d'enrochement de protection sur le pourtour des appuis en rivière, ce qui a représenté la mise en place, à partir d'un ponton, de l'ordre de 2000 tonnes de matériaux, avec suivi bathymétrique 3D.

Sur le port du Havre, en Seine Maritime, Eiffage a confié à Romoeuf, dans le cadre de la rénovation de la structure de l'estacade de prise d'eau de l'usine chimique Yara. Les réalisations d'investigation subaquatique et d'un relevé ultrason ont permis d'établir un mode de renforcement des pieux immergés pour la mise en place sous eau et hors d'eau d'un système anti-corrosion à base de résine epoxy 3X.

Pour SNCF Réseau, dans le cadre de la réhabilitation du pont-rail de Longchamp-sur Aujon, sur la Marne, dans l'Aube, elle a participé aux travaux de confortement des fondations de l'ouvrage : relevés topographiques et bathymétrique avant et après travaux, réalisation des batardeaux, forages, injection des fondations et des terrains d'assise (650 m de forages, 35 m³ de coulis), protection des massifs par ceinturage en palplanches (10 tonnes),

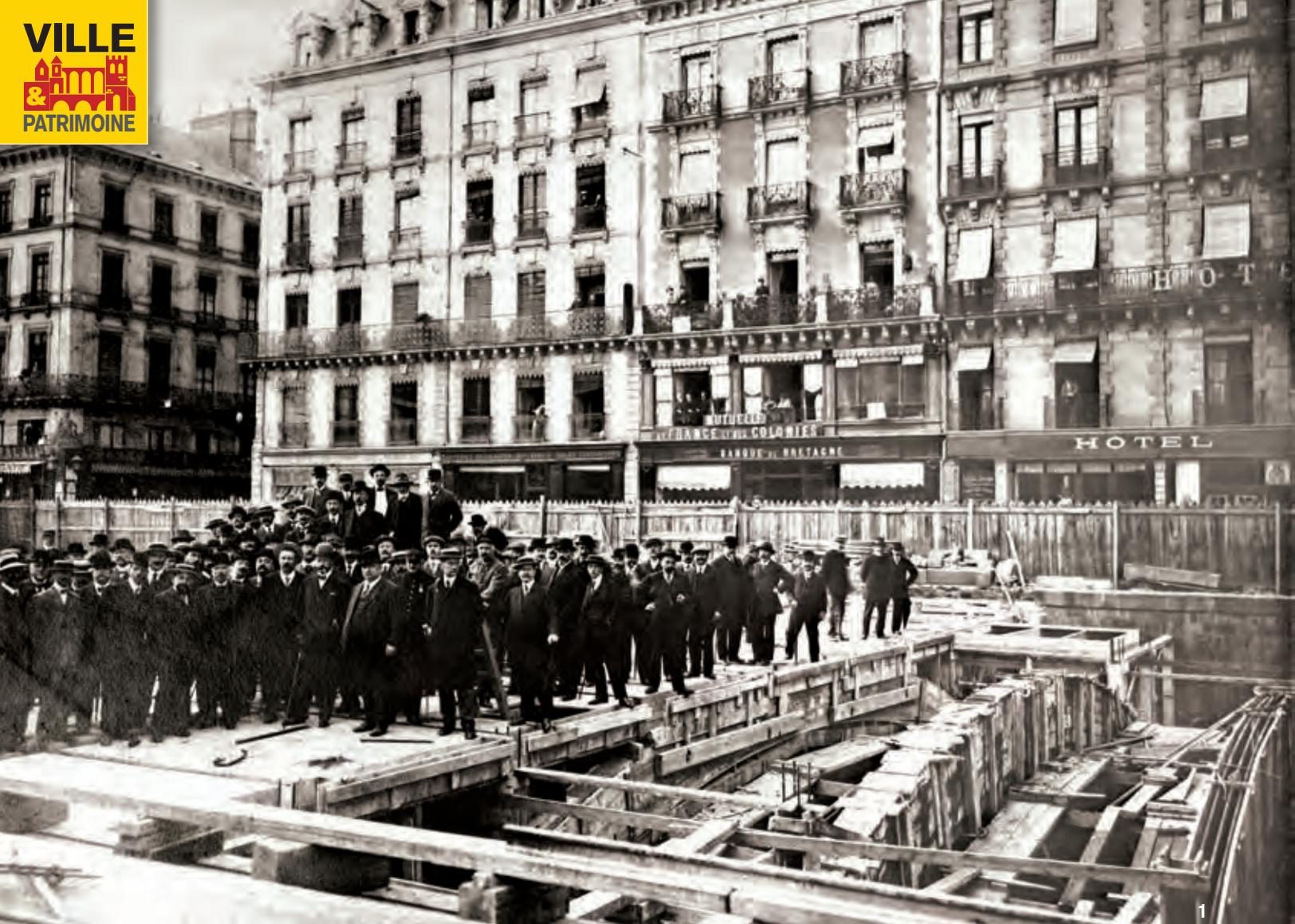
réfection du tapis d'enrochement du lit du cours d'eau (650 tonnes).

Pour nombre de ces chantiers " subaquatiques ", l'entreprise Romoeuf intervient en tant qu'adjudicataire direct du marché.

Pour en citer quelques-uns : modernisation des pannes A, B, C et D du port de Saint-Jean-de-Luz (64), suppression des vannes des pêcheries de la retenue de Saint-Simon sur la Charente (16), reprise du rideau de palplanches aval rive droite du barrage de Temple-sur-Lot (47), confortement de deux canalisations de transport de fluide par mise en place de matelas Reno à Beautor (02).

Qu'il s'agisse de visites et de travaux subaquatiques, de travaux portuaires, de géotechnique et de micropieux, de bathymétrie et de topographie, d'interventions offshore, la SAS Romoeuf a réussi sa diversification dans un créneau hyper-spécialisé tout en restant fidèle à ses origines : les travaux dans l'eau. □

1- Le caisson hyperbare, également appelé caisson de décompression, est une installation médico-technique étanche au sein de laquelle un ou plusieurs patients peuvent être exposés à une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui permet principalement d'accroître l'oxygénation des tissus. Lors du traitement hyperbare, un médicament, le plus souvent un gaz thérapeutique comme l'air médical, l'oxygène médical, ou un mélange de gaz médicaux (héliox, nitrox...), peut également être administré via un masque à oxygène. Le traitement est généralement supervisé depuis l'extérieur de l'enceinte hyperbare par un opérateur hyperbare selon un protocole établi à l'avance.



© COLLECTIONS MUSÉE DE BRETAGNE

LE PATRIMOINE DES PONTS ET COUVERTURES DE LA VILAINE AU CŒUR DE RENNES

AUTEURS : MATHIEU CARDIN, DIRECTEUR AGENCE SUD-OUEST DE SETEC DIADÈS - MOHAMED EL MOTASSADIQ, INGÉNIEUR D'ÉTUDES SETEC DIADÈS - PAUL VIROLE, INGÉNIEUR D'ÉTUDES SETEC DIADÈS

LE CENTRE-VILLE DE RENNES AUTOUR DE LA VILAINE EST DOTÉ DE NOMBREUX OUVRAGES D'ART CONSTRUITS AU COURS DES DEUX DERNIERS SIÈCLES. LES STRUCTURES ASSURANT LE FRANCHISSEMENT DU FLEUVE CONSTITUENT AUJOURD'HUI UN PATRIMOINE EXTRÊMEMENT VARIÉ : PONTS EN MAÇONNERIES DE PIERRES, EMPLOI DE PROCÉDÉS INNOVANTS ET BREVETÉS (SYSTÈME HENNEBIQUE) EN ARCS BÉTON AU DÉBUT DU XX^e, RECONSTRUCTION DANS L'URGENCE DE L'APRÈS SECONDE GUERRE MONDIALE, STANDARDISATION ET GRANDS RENDEMENTS DE LA PRODUCTION EN BÉTON ARMÉ DES OUVRAGES DES ANNÉES 60, JUSQU'À LA PASSERELLE PIÉTONNE MÉTALLIQUE CONTEMPORAINE.

PRÉAMBULE

Les grands aménagements du centre-ville de Rennes ont commencé au XVIII^e siècle avec, comme enjeu de développement urbain, la connexion entre la ville haute et la ville basse.

Le XIX^e aura été marqué par l'édification de murs de quai en maçonnerie,

construits pour canaliser la Vilaine et assainir la ville.

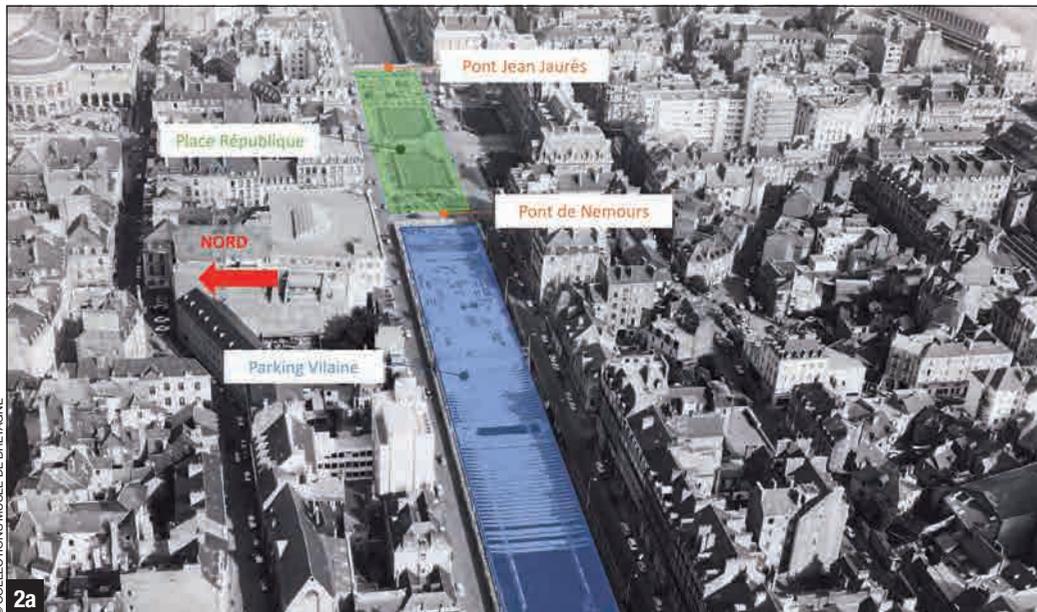
Le cours d'eau a ainsi été rétréci à une largeur limitée à 25 m ; les berges et les crues ont été maîtrisées, et la navigation a progressivement diminué avec le temps. Si des ouvrages de franchissement existaient déjà avant la canali-

1- Visite de chantier du 24 septembre 1912.

1- Site visit on 24 September 1912.

sation de la Vilaine, la construction de ponts a été facilitée sur une largeur devenue modeste. Fondés sur des terrains mis à l'abri des aléas, ils ont permis une large couverture du fleuve : 11 000 m² à ce jour.

Par le prisme des études d'ingénierie structurelles de quatre structures de



ponts du centre-ville - objets de la mission menée par Setec Diadès pour Rennes Métropole en 2020 - cet article présente la riche histoire de ces ponts : leur construction, leurs changements d'usage, les faits de guerre et les destructions, les réparations, et leur usure dans le temps.

À l'heure du renouvellement urbain du centre-ville de Rennes, la question complexe de leur réparation, d'une réhabilitation des usages qu'ils portent, mais aussi de leur déconstruction, se pose avec acuité : retrouver le fleuve, camouflé voire disparu, est devenu un enjeu pour la cité.

L'étude de diagnostic (analyse d'archives/inspection sur site/investigations/recalculs) a permis de qualifier l'état actuel des ouvrages, d'évaluer les dégradations et les besoins en maintenance. Elle a enfin permis d'estimer les possibilités et les impossibilités parmi les intentions d'aménagement du maître d'ouvrage.

Les ouvrages objets de l'étude sont situés au cœur du centre-ville de

2- Situation des ouvrages sur vue aérienne des travaux de 1962.

2- Work situation on a 1962 aerial view of the works.

Rennes (figure 2), au bord des quais Duguay-Trouin, Lamartine, Chateaubriand, Lamenaïs et Émile Zola. Ce périmètre comprend les ouvrages d'art suivants : les murs des différents quais, les couvertures des deux places (le parking de la Vilaine, la place de la République) ainsi que les trois ponts de franchissement (Nemours, Orléans et Jean Jaurès) situés sur la zone.

L'AMÉNAGEMENT DU FLEUVE ET LES PREMIERS FRANCHISSEMENTS

Les murs de quai ont été réalisés à partir de 1840. Ces ouvrages massifs (figure 3) constitués d'une maçonnerie

de granite hourdés d'un joint de faible épaisseur sont destinés au soutènement. Ils sont composés de cinq redans successifs jusqu'à la base de ces murs. Sous le lit de la Vilaine, les fondations des murs sont constituées de grands massifs, creusés dans le schiste tendre. Il existe, dans l'ensemble, une régularité dans l'organisation et dans les dimensions de ces éléments avec une homogénéité structurelle sur leur linéaire. Les structures étudiées sur les rives gauche et droite de la Vilaine, espacées d'une distance de 25 m, ont une longueur de 800 m chacune avec une hauteur entre le fond de rivière et la tête de mur qui est variable entre 5,20 m et 7,46 m, mais avec un principe de conception avec redans et fondation semi-profonde qui reste valable en toute section.

Le détail des dimensions (largeur et hauteur) des murs et des massifs de fondation est fonction :

- Des horizons de fondation des murs ;
- Des hauteurs totales des murs : le niveau de tête des murs varie

et s'élève au droit des ponts pour dégager un peu plus de hauteur libre pour la navigation ;

→ Des hauteurs de remblaiements à l'arrière des murs : les profils de construction disponibles montrent des configurations différentes de nivellement des murs par rapport aux profils transversaux de la Vilaine et de ses berges naturelles avant canalisation de la rivière.

Les murs de quai sont dans un bon état général.

La construction des ponts a démarré concomitamment aux travaux des murs avec le pont de Berlin en 1839 (ce dernier rebaptisé Jean Jaurès en décembre 1915) et le pont de Nemours en 1843.

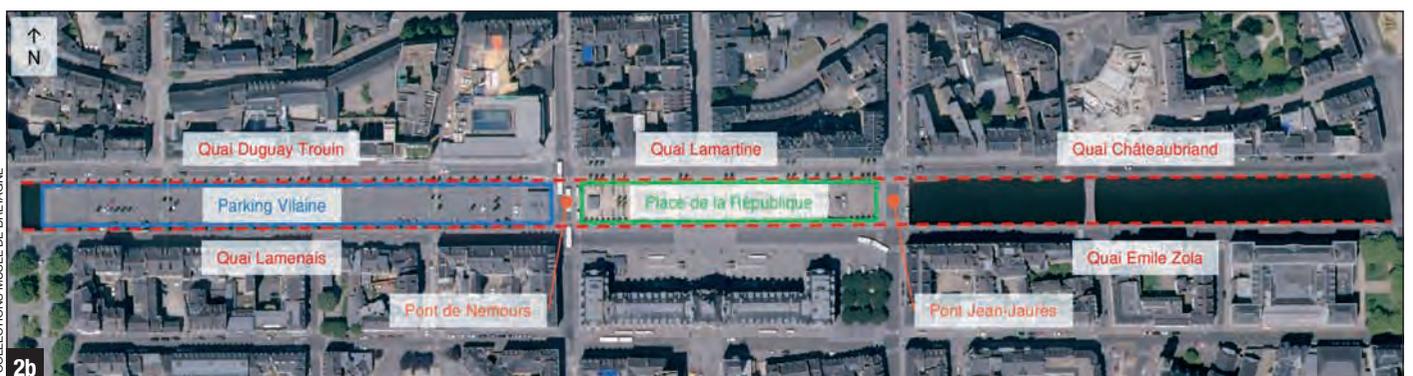
On ne dispose que de peu d'archives de ces deux ouvrages dans leur conception d'origine : uniquement des extraits issus des projets de reconstruction ultérieurs.

Les deux ponts d'origine étaient des ponts à voûtes surbaissées, construits en maçonnerie, avec une ouverture de 20 m. Ils reposaient sur des culées elles aussi en maçonnerie de granite.

Si les murs de quais n'ont pas subi de modifications profondes au fil du temps, les bombardements alliés et les sabotages de l'occupant lors de sa fuite laissent en août 1944 des ponts sévèrement endommagés : le pont Jean Jaurès est intégralement détruit, et le pont de Nemours est en partie effondré.

Ces deux ponts voûtes sont reconstruits dès 1947 selon deux principes différents.

La voûte du pont Jean Jaurès a été reconstruite avec les anciens voussoirs de l'ouvrage initial, réutilisés pour la plupart, et remplacés par des "voussoirs en béton comprimé" pour les parties manquantes de la maçonnerie (selon indications du devis-programme de travaux de reconstruction). ▷



Le détail d'implantation des zones de la voûte possiblement constituées de béton n'est pas connu.

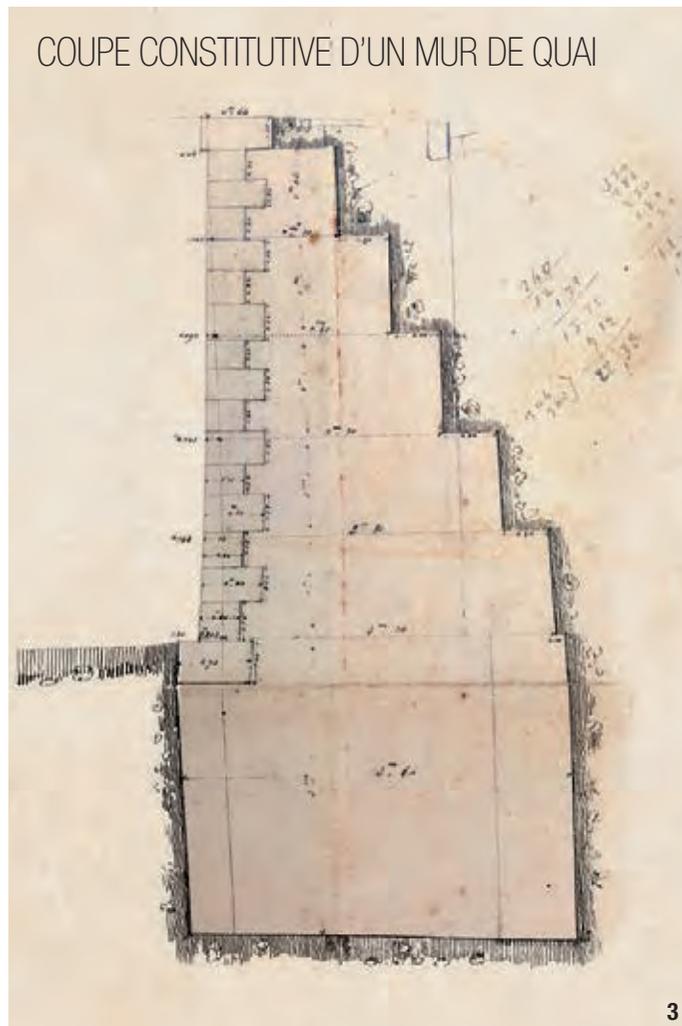
Les culées anciennes, en proéminence des murs de quai, ont été conservées. La voûte reconstruite a une épaisseur de 1,04 m à la clé, et 1,74 m aux naissances (figure 4), à l'identique de celle d'origine. Le réaménagement du pont à l'après-guerre intègre la mise en place de deux dalles en encorbellement en béton-armé constituant trottoirs (3,50 m de largeur).

Deux tirants latéraux (poutres) en béton-armé de 40 cm de largeur et environ 80 cm de hauteur sont mis en œuvre de part en part sur la largeur du profil en travers du pont. Ces poutres-tirants reposent sur les deux extrémités de la voûte et forment consoles d'appui aux dalles en encorbellement porteuses des trottoirs.

Pour le pont de Nemours, la voûte initiale a été intégralement déposée jusqu'aux culées anciennes, conservées.

La reconstruction de la voûte est en béton de ciment, avec une épaisseur de 80 cm à la clé et 1,20 m aux naissances. Elle a été réalisée grâce à l'emploi de cintres mis en œuvre dans le lit de la Vilaine (figure 5).

La réfection des tympans sur les deux ouvrages est en béton, et les élévations vues (amont pour le pont Jean Jaurès,



et aval pour le pont de Nemours) sont habillées pour conserver l'aspect d'origine par réemploi en parement des pierres récupérées (et retaillées) de l'ancien ouvrage. Les deux autres tympans, masqués par la couverture de la Vilaine décrite plus loin, sont en béton brut.

Le pont Jean Jaurès a bénéficié au début des années 2000 de travaux d'aménagement par réalisation d'une dalle en béton armé support d'étalement, destinée à mieux répartir les charges ponctuelles liées au passage des bus. La dalle est toute largeur, y compris encorbellements porteurs

3- Coupe constitutive d'un mur de quai.

4- Plan de reconstruction du pont Jean Jaurès, avec tirant béton sur élévation droite.

3- Cross section of a quay wall.

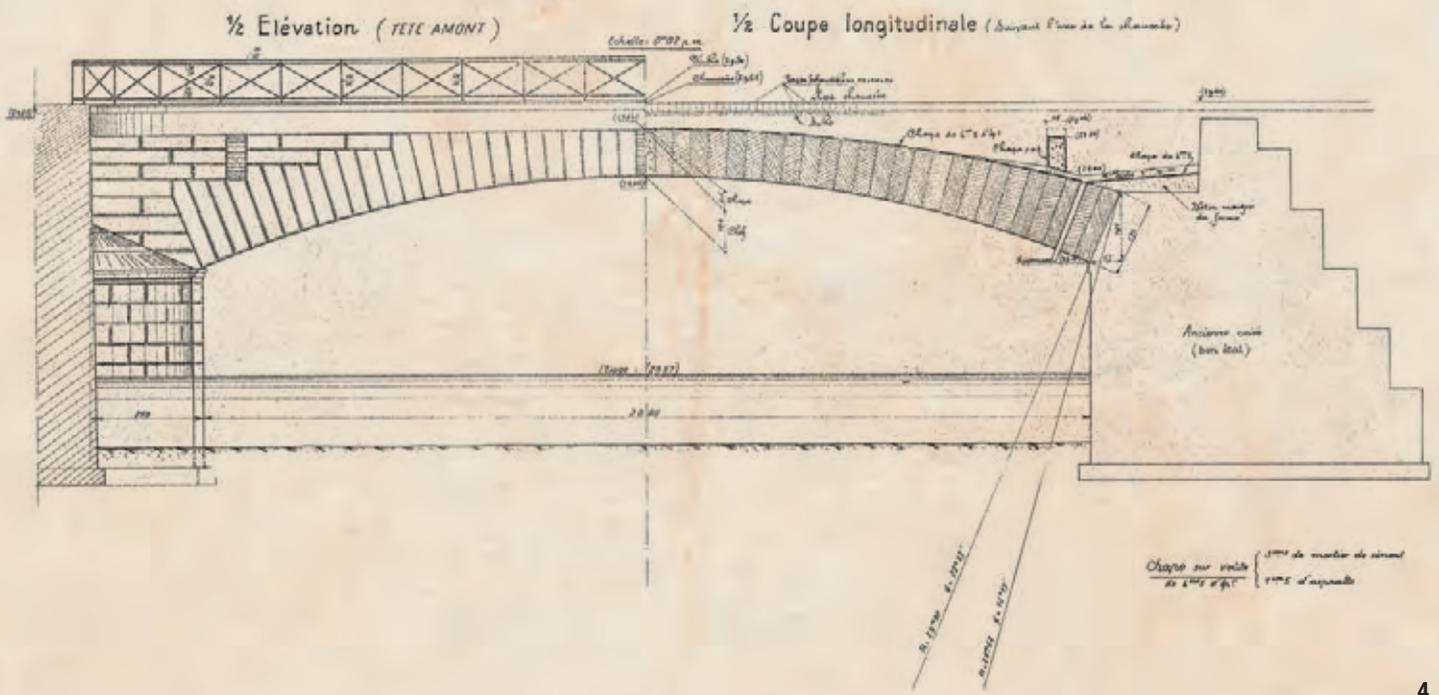
4- Reconstruction drawing of Jean Jaurès Bridge, with concrete tie anchor.

3

© ARCHIVES DÉPARTEMENTALES

PLAN DE RECONSTRUCTION DU PONT JEAN JAURÈS

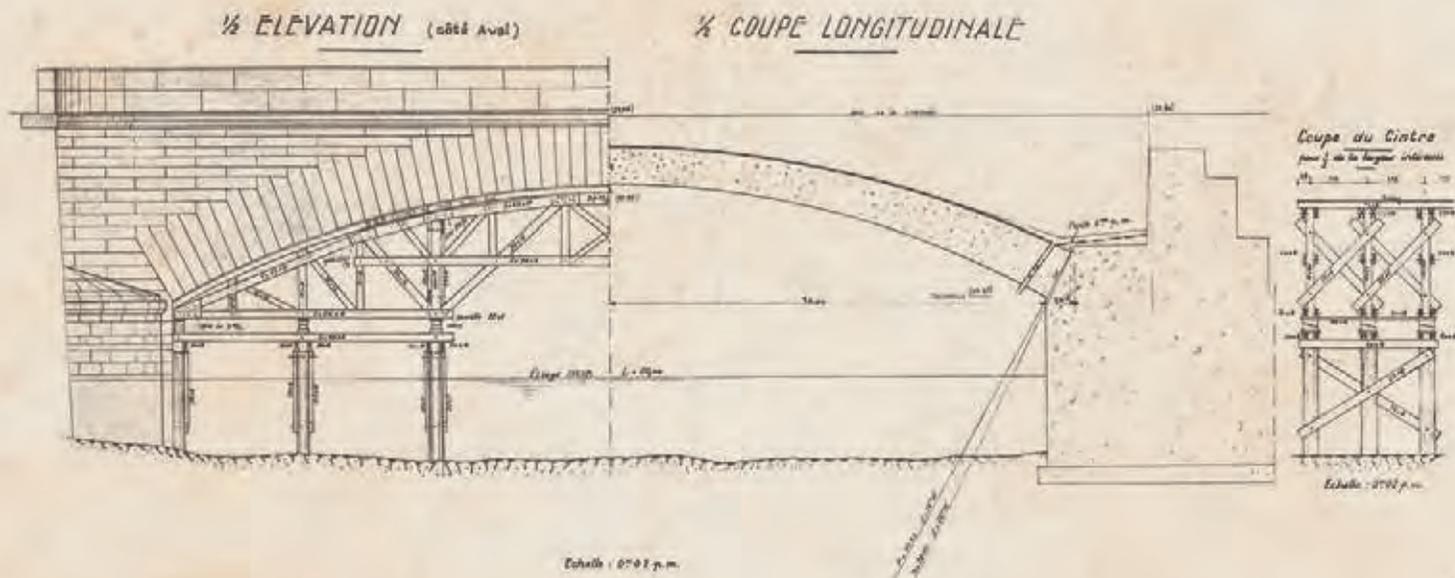
avec tirant béton sur élévation droite



4

© ARCHIVES DÉPARTEMENTALES

PLAN DE RECONSTRUCTION DU PONT DE NEMOURS EN VOÛTE BÉTON SUR CINTRES



5

© ARCHIVES DÉPARTEMENTALES

des trottoirs. L'ouvrage est aujourd'hui en bon état de conservation.

Le pont de Nemours présente une fissure longitudinale ouverte située en partie inférieure de la voûte (figure 6). Des reconnaissances structurelles ont permis de confirmer l'absence d'armatures dans la voûte et dans les tympans ; la fissuration est attribuée à un décollement du bandeau.

La présence potentielle de vides francs dans le béton de la voûte à proximité de la clé a également été détectée, nécessitant des injections pour réparation.

LA COUVERTURE DE LA PLACE DE LA RÉPUBLIQUE

Face à l'essor du chemin de fer, le trafic fluvial diminue à la fin du XIX^e siècle, et la cale aménagée avec les quais en 1840 au sud de l'alignement des murs perd la place centrale qu'elle avait autrefois.

La construction du palais du Commerce en lieu et place nécessite l'aménagement d'un parterre, qui sera construit sur le fleuve.

La longueur de la dalle de couverture est de 160 m au total, et de 25 m de largeur, pour une surface d'emprise de 4000 m².

Et c'est une structure ambitieuse qui sera retenue en 1911 pour couvrir la Vilaine et créer la place de la République, sous la direction de l'ingénieur François Hennebique, précurseur et détenteur de nombreux brevets sur les ouvrages en béton armé.

5- Plan de reconstruction du pont de Nemours en voûte béton sur cintres.
6- Fissure en intrados de voûte du pont de Nemours.

5- Reconstruction drawing of Nemours Bridge with concrete arch on centring.

6- Crack on the intrados of the arch of Nemours Bridge.

Cette couverture est supportée par une série d'arcs successifs (figure 7), dont la portée est de 25 m. L'entraxe des arcs est constant sous la "promenade" (3 m), qui comporte 20 arcs à l'ouest, et 29 arcs à l'est.

Dans sa partie centrale, une voie charretière (ou pont d'Orléans) est aménagée, pour faciliter le passage de charges plus lourdes entre le Palais du Commerce au sud, et la place de la Mairie au nord. L'entraxe des arcs y est resserré à 2,40 m et le pont d'Orléans comporte 6 arcs.

Les arcs sont coulés sur des cintres en bois (figure 8) et encastrés en pied dans les murs de quai conservés. Outre un resserrement de leur espacement, les arcs "sous voie charretière" sont renforcés par rapport aux arcs courants "sous promenade" afin de supporter les charges liées au trafic.

Les six arcs du pont d'Orléans voient ainsi leur hauteur augmentée de 80 cm à 1,0 m, et leur épaisseur accrue de 30 cm à 40 cm. La hauteur totale des arcs entre leur naissance et la clé est également plus importante (4,40 m contre 4,05 m).

Un réseau de poutres longitudinales et transversales repose sur les arcs par l'intermédiaires de montants ; ces éléments sont d'une grande finesse (30 cm de dimension maximale).

En surface, la dalle est composée d'un système de platelages, par panneaux successifs (2,65 m x 2,80 m en section courante et plus resserrés sous voie charretière) de 10 centimètres (14 cm sous le pont d'Orléans) d'épaisseur situés entre les poutres transversales et longitudinales.

Deux paires d'entretoises (ou "moises" dans certaines archives) de 35 cm de hauteur et 20 cm d'épaisseur, situées en partie basse des arcs, contribuent au liaisonnement transversal des arcs. La répartition des poutres des arcs sur les murs de quai est assurée par un élargissement du pied d'arc de forme trapézoïdale, sur une hauteur de 2,50 m.



6

© SETEC DIADÈS / SETEC LERM

7- Coupe transversale du système d'arcs Hennebique.

8- Les travaux de la couverture de la Vilaine entre les ponts de Berlin et de Nemours.

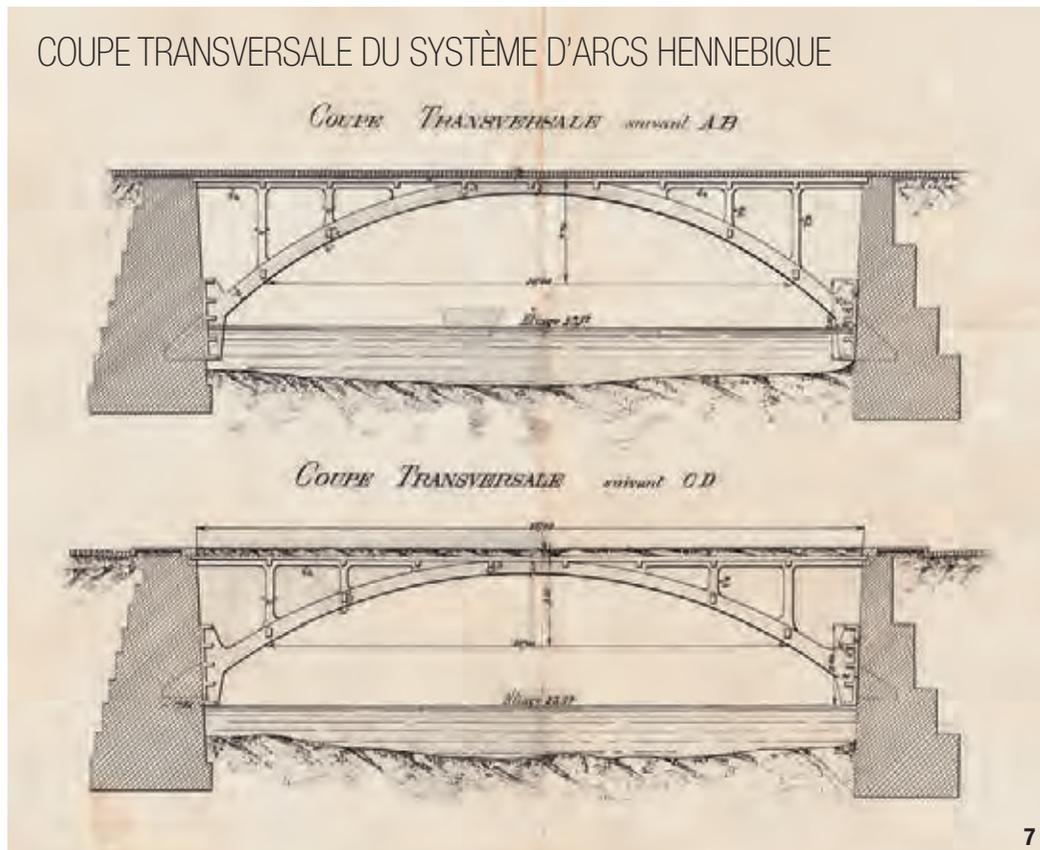
9- Le pont Jean Jaurès et la place de la République à la libération de Rennes.

7- Cross section of the Hennebique arch system.

8- Vilaine covering works between the Berlin and Nemours bridges.

9- Jean Jaurès Bridge and Place de la République square at the liberation of Rennes.

COUPE TRANSVERSALE DU SYSTÈME D'ARCS HENNEBIQUE



7

© ARCHIVES RENNES MÉTROPOLE

Les pieds d'arc sont jointifs entre eux, par l'intermédiaire d'une "semelle de répartition", de 12 cm d'épaisseur et de 2,50 m de hauteur. Cinq poutres de 40 cm de largeur et 12 cm de hauteur relient les pieds d'arc entre eux. L'arc est également prolongé jusqu'à l'intérieur des murs sur une profondeur d'1,30 m environ, par pénétration des armatures dans le mur et création d'un massif d'encastrement.

La couverture de la République n'a pas échappé aux faits de guerre (figure 9) :

les bombardements l'amputent d'une bonne partie de la structure côté Est adjacente au pont Jean Jaurès.

Après l'urgence de la reconstruction des deux ponts en maçonnerie pour le rétablissement du trafic, la reconstruction de la partie Est de la "promenade" de la place de la République est intervenue un peu plus tard, en 1952.

D'après le récapitulatif des attachements du chantier disponibles dans les données d'archives, 9 arcs de la partie courante ont été reconstruits en 1952.

Les données d'archives de reconstruction comprennent un plan de coffrage et d'armatures, qui montrent des dimensions de pièces en béton armé identiques à celles d'origine.

Le dossier de conception de 1952 apportait une modification dans la méthode de réalisation des arcs, cette fois préfabriqués et vérinés sur des naissances d'arcs quant à elles coulées en place.

Les plans des arcs montraient un système pseudo-articulé avec réalisation

d'un joint métallique à embrèvement (figure 10).

Les inspections sur site et les investigations radar (figure 11) n'ont toutefois pas mis à jour ce type de joints métalliques, mais plutôt une continuité des armatures passives.

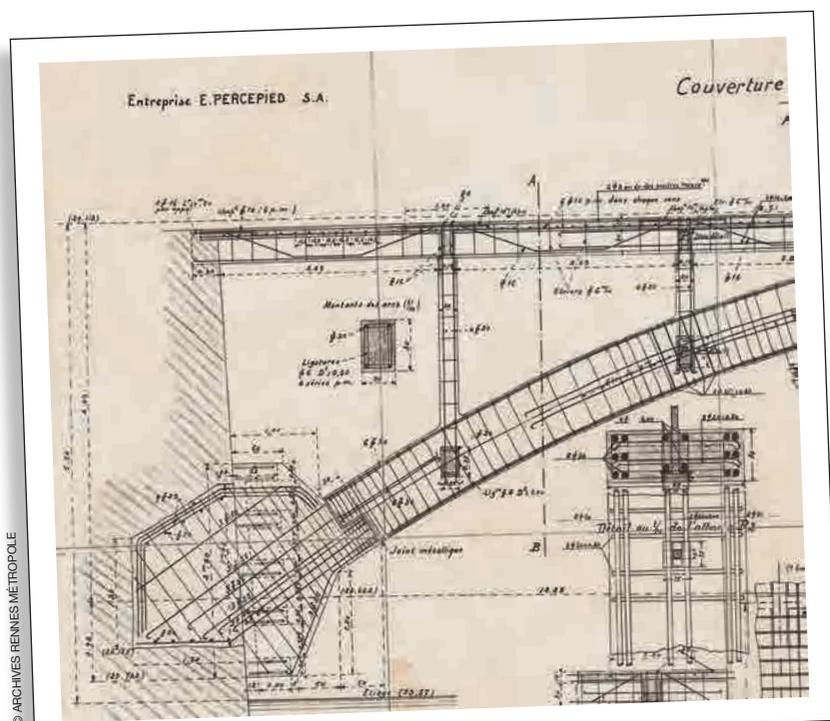
Dans les années 1970, un enduit en ciment de protection a été mis en place sur l'ensemble des éléments en béton de la couverture. L'objectif de cette opération n'est pas précisé, notons toutefois que les investigations ont montré



© CARTE POSTALE ANCIENNE 8



© ARCHIVES RENNES MÉTROPOLE 9



10- Extrait du plan de conception des arcs de 1952 avec joint métallique.

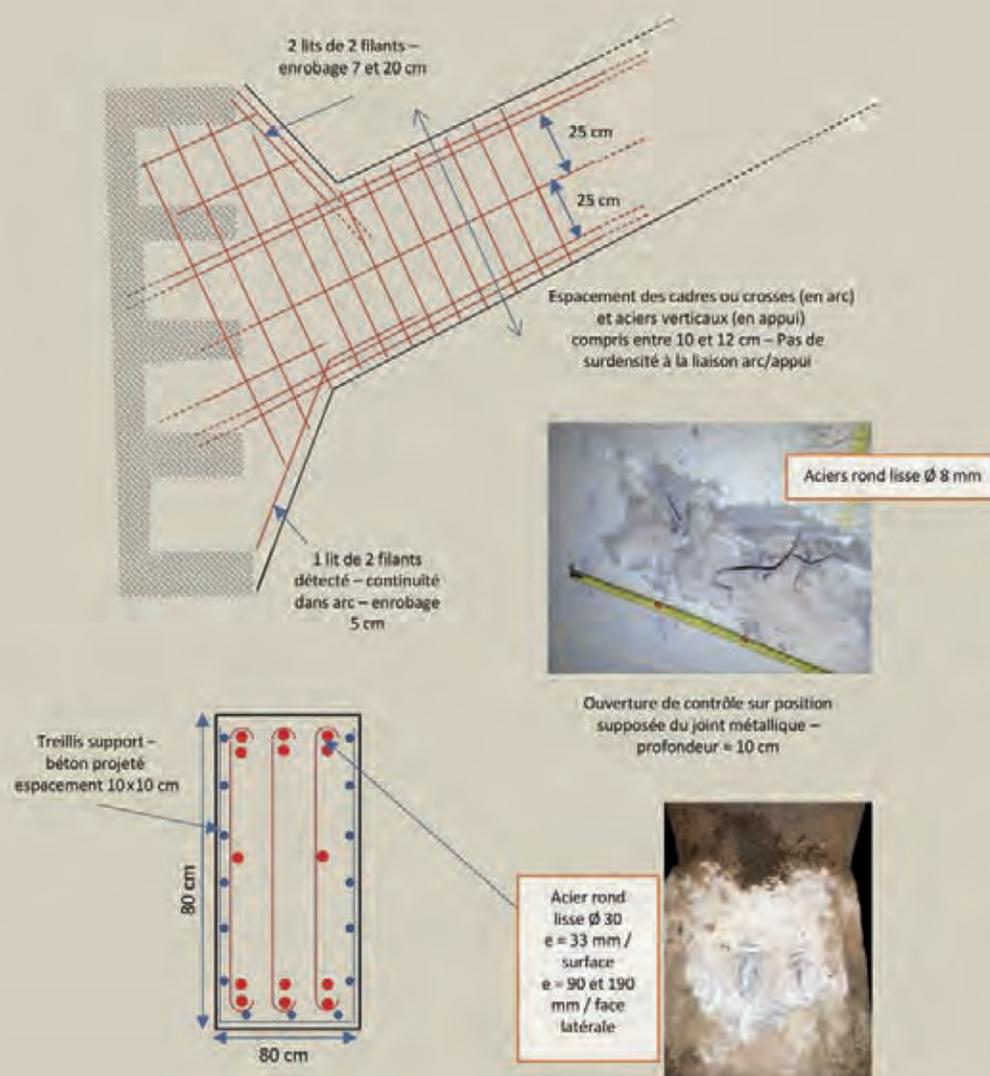
11- Reconnaissances sur pied d'arcs de 1952, absence de joints.

10- Excerpt from the 1952 arch design drawing with steel joint.

11- Arch reconnaissance on foot in 1952, absence of joints.

RECONNAISSANCES SUR PIED D'ARCS DE 1952, ABSENCE DE JOINTS

Résultats des investigations radar



que la présence de cet enduit a permis de stopper le front de carbonatation sur le béton structural d'origine. Il apparaît toutefois, sur certains carottages, une carbonatation du béton d'origine sur une épaisseur proche de celle de l'enrobage des armatures.

On notera également une résistance caractéristique du béton moins bonne pour les arcs reconstruits en 1952 (20 MPa) que pour les arcs d'origine de 1911 (30 MPa). Les faibles enrobages et les petites dimensions des éléments structuraux, couplés à l'environnement humide permanent au-dessus du fleuve, confèrent à l'ouvrage un état de corrosion avancé sur de nombreuses armatures.

Le recalcul des structures (figure 12) a montré pour la partie courante un dimensionnement adapté aux configurations de charges de l'usage actuel, à l'exception des montants entre dalle de couverture et arcs, qui sont insuffisamment dimensionnés.

Pour la voie charretière, les vérifications sous des règles de charges modernes conduisent à des dépassements de contraintes dans l'ensemble des éléments, ce qui est logique compte-tenu des hypothèses de conception de 1911 avec un essieu de calcul de 11 t.

LA COUVERTURE DU PARKING DE LA VILAINE

La fin des années 1950 voit l'avènement de l'omniprésence de la voiture particulière dans le centre-ville de Rennes. Des projets de création d'une autoroute sur la Vilaine sont envisagés, avec une couverture intégrale du fleuve. Ils resteront sans lendemain.

En 1961, pour répondre aux besoins de stationnement dans le centre-ville, une structure de couverture est construite sur une longueur de 275 m et une largeur de 25 m (6900 m²) à l'ouest du pont de Nemours.

L'ouvrage est constitué d'un assemblage de pièces en béton armé, faisant la part belle à la préfabrication et à la rationalisation. La structure est ainsi constituée successivement : de pieux-colonnes réalisés dans le lit du fleuve, de chevêtres de liaison, de poutres longitudinales supportées par les chevêtres, de poutres transversales porteuses, et de la dalle support du parking.

L'ensemble de la structure se caractérise par une optimisation très poussée conçue pour supporter un parking de véhicules légers, sans poids lourds, les éléments porteurs sont relativement minces. Autre élément remarquable : ▷

toute la structure a été conçue pour éviter la mise en place de coffrages en rivière.

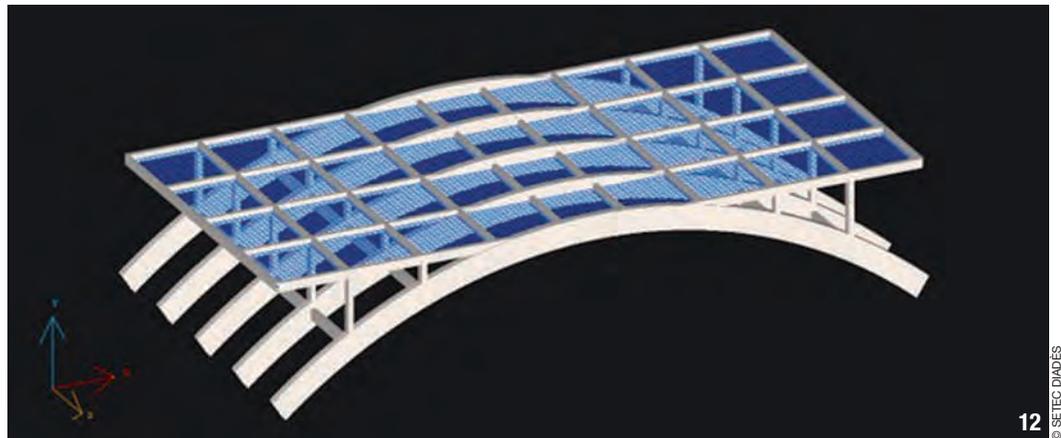
Les poutres transversales sont des poutres préfabriquées en béton armé avec une portée de 24,80 m franchissant ainsi toute la Vilaine. Elles ont une hauteur d'environ 80 cm, et sont espacées de 1,66 m (figure 13).

Ces poutres sont appuyées sur deux poutres longitudinales de 60 cm de hauteur et 45 cm de largeur, espacées de 15,2 m. Il existe donc un encorbellement de 4,80 m de chaque côté des poutres transversales, entre la rive et l'appui. L'encorbellement est disjoint du sommet des murs de quai, et les ouvrages (couverture du parking et murs) sont donc totalement indépendants.

Les poutres transversales supportent une couverture composée de dalettes en béton armé préfabriquées, nervurées, d'une épaisseur minimale de 3 cm (coffrage participant), supportant une dalle de compression très mince (6 cm) ; l'ensemble dalettes, nervures et hourdis a une épaisseur de 13 cm seulement.

Les poutres longitudinales sont préfabriquées et en béton armé, et posées par éléments d'environ 3,50 m de longueur selon les plans d'exécution, ce qui permet un repos d'appui d'environ 20 cm sur les chevêtres sous-jacents au moment du coulage des clavetages entre poutres.

Les chevêtres de jonction des pieux et supportant les poutres longitudinales sont espacés de 5 m, ont des dimensions de 2,10 m de longueur, 80 cm de largeur et 70 cm de hauteur.



12

© SETEC DIADES

Ils sont identiques côté Nord et côté Sud. Chaque chevêtre "coiffe" deux pieux en béton armé, espacés de 1,30 m (figure 14).

C'est finalement l'état de cette structure, pourtant la plus récente, qui est le plus problématique.

La structure de couverture du parking Vilaine est en effet localement dégradée et en mauvais état (figure 15). Les joints de dilatation ne sont plus étanches, et les chevêtres d'appui des poutres longitudinales sous les joints sont faiblement armés et marqués par un potentiel de corrosion des armatures élevé.

Localement, l'état visuel est préoccupant, avec des renforts provisoires construits dans les années 2000 désormais hors service.

Ce constat a toutefois été mitigé lors de l'étude par des investigations approfondies et grâce à des recherches d'archives. Cela a permis de tempérer le rôle structurel des chevêtres dans

12- Modèle Pythagore de 5 arcs successifs de la couverture de la République.

13- Construction du parking Vilaine : pose des poutres transversales et longitudinales.

14- Construction du parking Vilaine : bétonnage des chevêtres dans leur coque préfabriquée.

12- Pythagore model of 5 successive arches of the roof covering of Place de la République.

13- Construction of the Vilaine car park: placing transverse and longitudinal beams.

14- Construction of the Vilaine car park: concreting of pier caps in their precast shell.

le fonctionnement définitif du pont : composés d'une coque préfabriquée en béton armé et d'un béton de remplissage, le rôle des chevêtres semble essentiellement de rigidifier les pieux par paire, et de constituer repos d'appui pour les poutres longitudinales avant clavage.

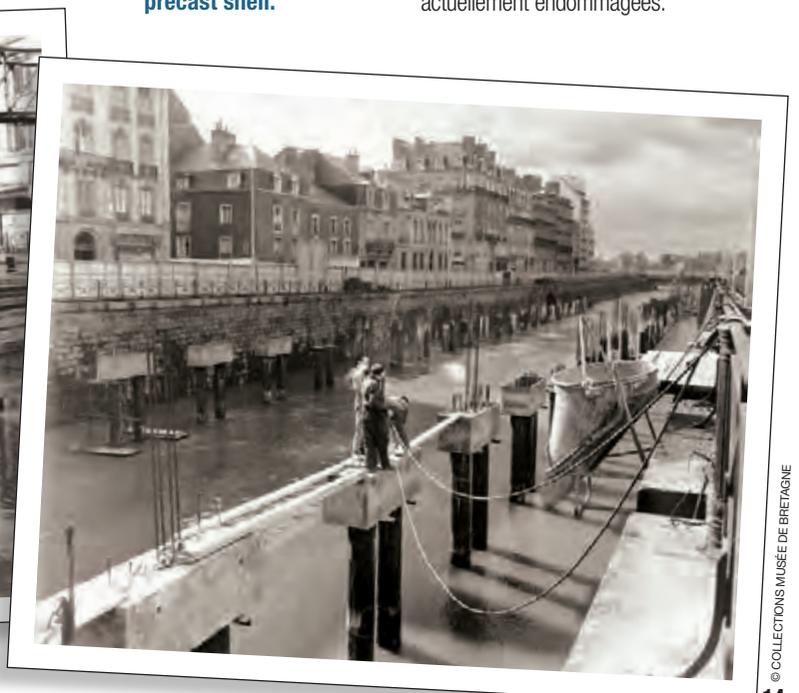
La recherche spécifique d'archives photographiques issues de la collection du musée de Bretagne accrédite cette hypothèse.

L'étude par le calcul a enfin confirmé que, si l'ensemble des éléments structurels est apte à reprendre des charges d'exploitation réparties importantes (de l'ordre de 500 kg/m²), la structure n'est pas prévue pour supporter des charges permanentes conséquentes (limitées au revêtement de parking), ni des charges d'essieu.

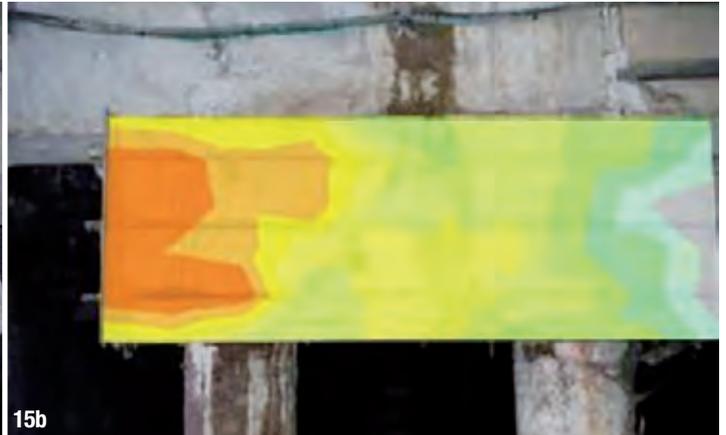
L'optimisation du dimensionnement des éléments lors de la conception de 1961 obère donc de nombreuses possibilités de changement d'usage du parking à l'avenir, qui plus est avec des parties actuellement endommagées.



© COLLECTIONS MUSÉE DE BRETAGNE 13



© COLLECTIONS MUSÉE DE BRETAGNE 14



DEVENIR DES OUVRAGES D'ART
 Les résultats de l'étude de 2020 des ponts et ouvrages d'art du centre-ville de Rennes sur la Vilaine ont constitué la donnée d'entrée technique aux élus et au jury citoyen chargés de réfléchir

au devenir de l'hypercentre et de ces ouvrages.
 Tous les scénarios ont été mis sur la table : préservation des usages existants, déconstruction complète ou partielle des structures, mutation des

15- État d'un chevêtre en février 2020, et activité de corrosion.

15- Condition of a pier cap in February 2020, and corrosion activity.

usages pour les modes actifs, usage occasionnel pour véhicules lourds, ouvrages paysagers et moins minéraux. Cas assez rare, la ville de Rennes s'apprête ainsi à diminuer l'emprise de ses franchissements sur le fleuve, nouvelle étape historique pour (re)découvrir la Vilaine lors des prochains travaux de réaménagement autour du Palais du Commerce. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

DIAGNOSTIC

- 26 prélèvements de carottes béton
- 22 éprouvettes de résistance en compression de béton
- 5 zones d'échantillons pour examens au microscope, mesure porosité et estimation de dosages en ciment
- 22 zones d'auscultation radar
- 5 zones de mesures de potentiel de corrosion
- 154 profils en travers constitués suite à scanner 3D et levé topographiques

OUVRAGES AUSCULTÉS

- 2 x 800 m de murs de quai maçonnés de 1840
- 2 ponts voûtes de 20 m d'ouverture
- 4000 m² pour la place de la République (système Hennebique en 1911)
55 arcs en béton de 25 m de portée et 4 m de hauteur
- 6900 m² pour le parking Vilaine (structure préfabriquée béton armé de 1962)
166 poutres trapézoïdales de 0,80 m de hauteur et 25 m de longueur

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Rennes Métropole - Direction de l'espace Public et des Infrastructures

DIAGNOSTIC DES OUVRAGES :

- Mandataire / inspection / études structurelles : Setec Diadès
- Investigations et essais : Setec Lerm
- Sous-traitant topographie scanner 3D : Quarta
- Sous-traitant moyens nautiques : Tetis
- Sous-traitant diagnostic amiante : Adiang

CONSTRUCTION :

- Place de la République 1911 : système Hennebique
- Place de la République 1952 (reconstruction des 9 arches et couverture) : entreprise Percepiéd
- Parking Vilaine 1962 : entreprise Sefiru

ABSTRACT

THE HERITAGE OF BRIDGES AND COVERINGS ON THE VILAINE IN THE HEART OF RENNES

MATHIEU CARDIN, SETEC DIADÈS - MOHAMED EL MOTASSADIQ, SETEC DIADÈS - PAUL VIROLE, SETEC DIADÈS

Development work on the Vilaine river in Rennes began in 1840 with the construction of the quay walls to channel the river. The Jean-Jaurès and Nemours bridges, both with a low masonry arch of 20-metre span, were built at the same time. Place de la République square was created in 1911 thanks to the engineer François Hennebique, a pioneer in the use of reinforced concrete in France. The structure, consisting of arches anchored in the quays, covers a surface area of 4000 m². The most contemporary structure is the Vilaine car park, built in 1962 according to a rational reinforced concrete system and formed of end bearing piles, longitudinal and transverse precast beams and a thin slab. It covers a total surface area of 6900 m². □

EL PATRIMONIO DE LOS PUENTES Y CUBIERTAS DEL VILAINE EN EL CENTRO DE RENNES

MATHIEU CARDIN, SETEC DIADÈS - MOHAMED EL MOTASSADIQ, SETEC DIADÈS - PAUL VIROLE, SETEC DIADÈS

La ordenación del río Vilaine, en Rennes, comenzó en 1840 con la edificación de los muros de muelle, que permitieron canalizar el río. Los puentes Jean-Jaurès y Nemours, ambos de mampostería con arco rebajado de 20 m de apertura, se construyeron de forma concomitante. La place de la République se construyó en 1911, de la mano del ingeniero François Hennebique, precursor del uso del hormigón armado en Francia. La estructura, compuesta de arcos anclados a los muelles, permitió desarrollar una superficie de 4000 m². La estructura más contemporánea es el parking Vilaine, construido en 1962 aplicando un sistema racional de hormigón armado y formado por pilotes-columnas, vigas prefabricadas longitudinales y transversales, y una fina losa. Desarrolla una superficie total de 6900 m². □



© JEAN-PHILIPPE MOULET POUR GROUPE SANEF

RÉFECTION DU VIADUC DE GUERVILLE SUR L'A13

AUTEUR : RÉGIS BOUTES, DIRECTEUR TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, ARCADIS

CONSTRUIT DANS LES ANNÉES 60, LE VIADUC DE GUERVILLE, OU PLUTÔT LES VIADUCS DE GUERVILLE, MÉRITAIT UNE RÉNOVATION À LA HAUTEUR DU TRAFIC QU'IL SUPPORTE. MÊME SI LES TRAVAUX EFFECTIVEMENT RÉALISÉS NE PARAISSENT PAS EXCEPTIONNELS, L'OPÉRATION EST LE RÉSULTAT D'UN INVESTISSEMENT IMPORTANT DE L'ENSEMBLE DES INTERVENANTS DANS TOUTES LES PHASES DU PROJET.

Le viaduc de Guerville permet à l'autoroute A13 le franchissement de la ligne ferroviaire Paris-Normandie et de la RD 113 au PR 45.352. Son entretien et son exploitation sont assurés par Sapn, concessionnaire de l'infrastructure.

Le viaduc est composé de trois tabliers :

- Un tablier situé au sud a été mis en service en 2019 et accueille le sens province/Paris ;
- Deux autres tabliers, mis en service en 1965, accueillent le sens de circulation Paris/province, objets du présent article.

Ces deux tabliers dénommés "tablier Nord" et "tablier médian" sont chacun constitués (figure 2) :

- D'un ouvrage principal de franchissement de trois travées continues 57 m - 14 m - 57 m ;
- De travées d'accès de part et d'autre de l'ouvrage principal avec 3, 4 ou 5 travées isostatiques de 20,40 m.

Les longueurs sont de 312 m pour le tablier Nord et 292 m pour le tablier médian. La largeur des tabliers est d'environ 15 m. Les ouvrages présentent une pente longitudinale d'environ

1- Vue d'ensemble des viaducs.

1- General view of the viaducts.

4%, un axe en plan majoritairement sur un rayon de 1000 m et un dévers variable +3% à -3% (figure 3).

Ces ouvrages sont des ponts avec 4 poutres précontraintes par post-tension, en I de hauteur variable pour l'ouvrage principal, rectangulaires pour les travées d'accès.

Le hourdis est précontraint transversalement sur toute la longueur de l'ouvrage et longitudinalement uniquement dans la travée centrale de l'ouvrage principal. Il comporte en revanche peu ou pas d'armatures passives.

L'ouvrage est supporté par des piles marteaux avec un chevêtre précontraint, équipé d'appareils d'appui sous les poutres, à l'exception des piles entre la voie ferrée et la RD 113. Ces dernières sont des fûts ovoïdes de 3,500 m de large avec une articulation Freyssinet en tête supportant une entretoise précontrainte portant elle-même les deux

poutres latérales en porte-à-faux, étant donné la largeur d'appui par rapport à la largeur du tablier.

Les inspections détaillées réalisées sur ces ouvrages, indiquaient des pathologies qui nécessitent des réparations. Compte tenu du fort trafic sur ce tronçon (110 000 véhicules/jour) limitant fortement les possibilités d'intervention sur les ouvrages, le tablier Sud a été mis en service en 2019 pour porter le sens province-Paris et ainsi permettre les basculements des voies Paris-province entre les 2 ouvrages existants afin de réaliser les travaux.

Le tablier Sud permet également de répondre in fine aux besoins d'amélioration de l'exploitation par la mise en œuvre de bandes d'arrêt d'urgence dans les deux sens.

Outre le fait d'intervenir sur autoroute en exploitation, une des contraintes majeures sur cet ouvrage est le franchissement de la voie ferrée Paris-

Normandie. Trois principales difficultés ont été rencontrées dans le cadre des travaux de réparations et de renforcements :

→ La réalisation des travaux au-dessus des voies (dépose/pose des garde-corps, réfection de l'assainissement de l'ouvrage, renforcement

par composite carbone) ou à proximité immédiate (accès aux piles pour le changement des appareils d'appui). Ces interventions doivent se faire sous interruption de circulation des voies ferroviaires ;

→ L'emprise chantier entre la Seine et la voie ferrée n'est pas accessible depuis la zone principale à cause de la voie ferrée et nécessite d'utiliser un chemin de 3 km longeant l'autoroute, soit 6 km depuis l'emprise principale ;

→ La coactivité avec les travaux SNCF/ÉOLE sur la voie ferroviaire.

→ Caractérisation des matériaux : béton des poutres et des hourdis ainsi que des armatures passives, essais de traction sur les bétons pour s'assurer de la possibilité de renforcement par composites collés ;

→ Vérification de l'état de la précontrainte : gammagraphie, ouverture de fenêtres pour examen visuel et essais à l'arbalète (par l'entreprise puis par un contrôle extérieur), analyse du coulis. Les tensions mesurées présentaient un déficit d'environ 10% par rapport aux tensions théoriques ;

→ Mesure du front de carbonatation et des taux de chlorures sur les chevêtres ;

→ Essais de courburemétrie pour valider le comportement de la travée centrale et courte de l'ouvrage principal, pour donner suite aux interrogations sur l'état de fissuration du hourdis dans cette zone. ▷

2- Coupe longitudinale des tabliers médian et Nord.

3- Vue en plan des tabliers médian et Nord.

2- Longitudinal section of the median and North decks.

3- Plan view of the median and North decks.

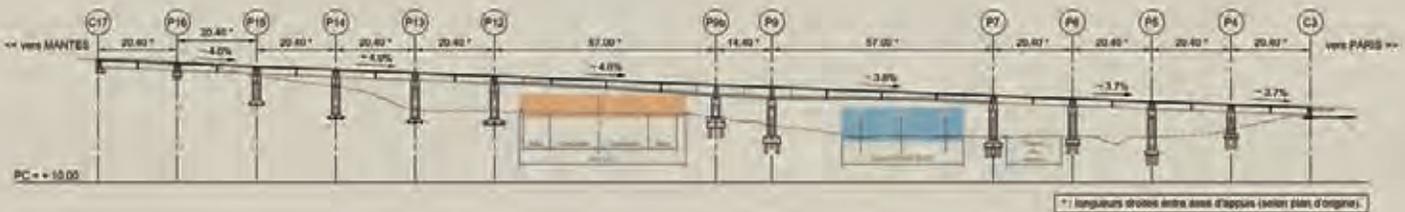
DIAGNOSTIC DES OUVRAGES

Une campagne d'investigations complète a été menée pour vérifier l'état réel de la structure. En complément d'interventions classiques comme le relevé topographique et la recherche d'amiante/plomb/HAP, les investigations suivantes ont été réalisées :

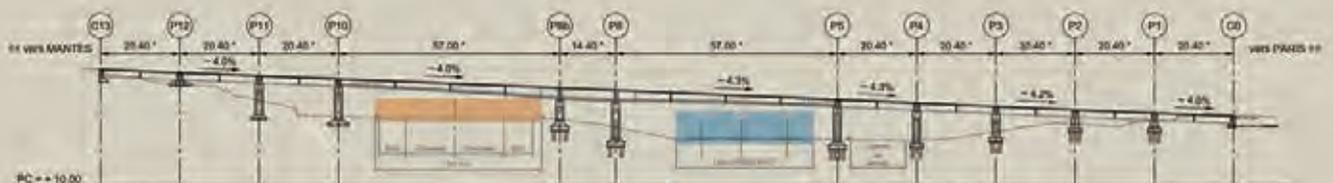
© ARCADIS

COUPE LONGITUDINALE DES TABLIERS MÉDIAN ET NORD

Tablier Nord

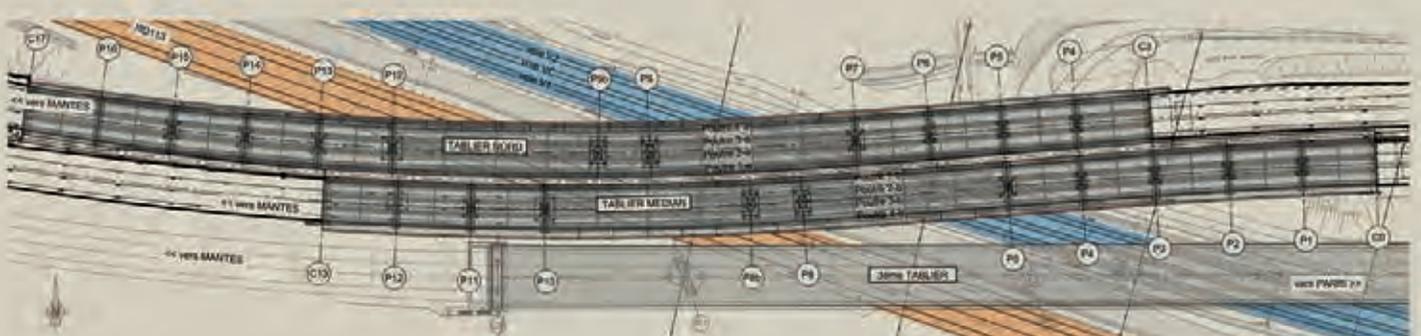


Tablier médian



2

VUE EN PLAN DES TABLIERS MÉDIAN ET NORD



3

© ARCADIS

Sur la base de cette campagne d'investigations, les ouvrages (un ouvrage principal et une travée isostatique d'accès) ont été vérifiés selon les Eurocodes mais avec les chargements A, B et Mc120 du fascicule 61 Titre II, complétés par le porte-engin blindé Leclerc. Le recalcul de l'ouvrage principal s'est avéré complexe, à cause de sa géométrie mais aussi de l'absence de documents décrivant le phasage de réalisation.

Cette étude a montré que l'ouvrage reste apte à reprendre les charges de calcul sans renforcement lourd. Le seul point de vigilance retenu concerne la traction du hourdis dans la travée centrale de l'ouvrage principal, avec des interrogations sur l'état de fissuration et la durabilité.

Des échanges réguliers entre le maître d'œuvre, son maître d'ouvrage, son contrôle extérieur et les services de contrôle de l'État (FCA) assistés du Cerema ont permis de fiabiliser les conclusions de l'étude et d'identifier les travaux à réaliser en complément des travaux classiques de rénovation (comme le nettoyage, le traitement des épaufrures et des fissures). Ces travaux plus lourds sont détaillés ci-après.

ASSAINISSEMENT

Même si l'ouvrage est structurellement sain, les visites de site ont mis en évidence les problèmes liés à l'assainissement de l'ouvrage, avec des canalisations rompues et la présence d'algues et mousses sur les chevêtres (figure 4), liée à la perte d'étanchéité des joints de chaussée.

Un nouveau système d'évacuation des eaux a été mis en place sous le tablier, avec une évacuation vers un bassin de confinement pour éviter la pollution de la Seine.

Des attelages ont été réalisés au niveau de certains joints en réalisant une dalle de continuité. En supprimant des joints de chaussée, cette solution assez classique facilite la maintenance de l'ouvrage et limite les arrivées d'eau sur les piles. La longueur des ouvrages ne permettait cependant pas d'atteler toutes les travées sans changer de façon notable le comportement vis-à-vis des effets de la température.

Les travaux d'attelage ont consisté en l'hydrodémolition d'une partie du hourdis, le scellement d'armatures et la réalisation de la dalle (figure 5). Les mesures de chlorures dans les chevêtres précontraints ont montré un taux important en surface mais n'atteignant pas les câbles de précontrainte.



tion sur ces cachetages a montré que ces fissures restaient en surface, que le béton sous-jacent était sain et que les ancrages ne présentaient pas de corrosion importante. Le traitement est resté local en dégageant les parties non saines et en injectant la fissure liée à la reprise de bétonnage.

JOINTS DE CHAUSSEE

Pour les joints non remplacés par des attelages, le choix du maître d'ouvrage était de mettre en place des joints monoblocs, c'est-à-dire un élément unique couvrant la largeur totale du tablier, soit 15 m (figure 7). Ces joints présentent un avantage en termes de maintenance par leur monolithisme, et apportent aussi une meilleure garantie pour l'étanchéité.

Les travaux consistent d'abord en l'hydrodémolition du hourdis au niveau des joints. Celle-ci doit être particulièrement

4- État des piles à la suite du défaut d'assainissement.

5- Attelage du hourdis au droit d'un ancien joint.

4- Condition of the piers due to the drainage defect.

5- Connection of the top slab at the level of an existing joint.

Après nettoyage, les chevêtres sont donc traités par un revêtement imperméabilisant, de type liant hydraulique modifié (LHM), pour stopper l'arrivée de chlorures, en complément de la réalisation des attelages ou du remplacement des joints de chaussée (figure 6).

Un doute subsistait aussi sur les cachetages de la précontrainte en extrémité des chevêtres, car certains présentaient une fissuration visible à la liaison avec le béton de structure, pouvant faire craindre un risque de corrosion des ancrages. Lors des travaux, l'interven-





© ARCADIS
6

soignée à cause de la présence des câbles transversaux dans le hourdis, assez proches du joint, ainsi que des ancrages supérieurs des poutres pour les joints entre l'ouvrage principal et les travées d'accès. Les contraintes environnementales ont nécessité la mise en place d'un dispositif permettant de récupérer les eaux et de les traiter avant rejet dans le milieu.

Des armatures sont ensuite scellées pour reconstituer le ferrailage requis pour le fonctionnement du joint, car le ferrailage en place était insuffisant.

Le joint peut alors être mis en place. Cette opération s'est avérée relativement difficile compte tenu de l'encombrement important du joint et de la

6- Revêtement LHM sur chevêtre de pile.

7- Mise en place du joint monobloc.

8- Joint monobloc et ferrailage de l'ancrage.

6- Modified hydraulic binder coating on pier cap.

7- Placing the monobloc joint.

8- Monobloc joint and anchoring rebars.

géométrie réelle forcément imparfaite du hourdis (figure 8).

CHANGEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Dans les travaux prévus dès le démarrage du projet se trouvait aussi le changement d'appareils d'appui. Comme indiqué précédemment, le contexte ferroviaire rendait difficile l'inspection de certains appareils d'appui et leur remplacement.

Le dernier rapport d'inspection a montré que les appareils d'appui en place, en élastomère fretté, étaient manifestement à remplacer (figure 9). Malgré leur état de dégradation, il n'a pas été mis en évidence de défaut de comportement

de l'ouvrage lié à leur fonctionnement. Le fait d'atteler certaines travées conduit à augmenter les efforts liés à la température sur les appareils d'appui, en augmentant la longueur dilatable des ouvrages. D'un autre côté, la présence d'une articulation Freyssinet sur les appuis intermédiaires de l'ouvrage principal et la forte rigidité des poutres empêchaient une réhausse du tablier pour placer des appareils d'appui plus épais pour reprendre cette augmentation des efforts. Plusieurs dispositions pour la position des attelages et des joints ont donc été étudiées pour pouvoir mettre en place des appareils d'appui avec les mêmes dimensions que les existants. ▷



7
© ARCADIS



8
© ARCADIS



© QUADRIC POUR GROUPE SANEF



© ARCADIS

Aucun des appuis n'avait d'emplacement prévu pour la mise en place des vérins. Au niveau des culées, ayant une distance entre la sous-face des poutres et le dessus du perré très faible, la principale difficulté a été l'accès local pour mettre en place les dispositifs de vérinage.

Pour les piles entre travées isostatiques, des échafaudages ont été mis en place afin de permettre l'accès aux têtes de piles. Comme les travées de part et d'autre sont identiques, le vérinage ne posait pas de problème particulier.

Pour les piles entre ouvrage principal et travées d'accès, deux problèmes se posaient. D'une part, les réactions des appuis de part et d'autre étaient significativement différentes, avec un chevêtre tout juste dimensionné en torsion, ce qui imposait de limiter les excentre-

ments des points de vérinage. D'autre part, la proximité des voies empêchait la mise en place d'échafaudages fixes. Compte tenu de ces contraintes, le Dossier de Consultation des Entreprises laissait aux entreprises le choix des méthodes à mettre en œuvre pour le remplacement des appareils d'appui. L'ensemble des soumissionnaires a proposé des solutions plus simples que celle envisagée par le maître d'œuvre. L'entreprise qui a réalisé les travaux a opté pour un vérinage sous les poutres, juste à l'avant des appuis définitifs, avec un renforcement du chevêtre pour reprendre les effets de coin. Ce dernier consistait en un système de compression par barres de précontrainte en solution de base, mais l'entreprise a finalement proposé une optimisation par des scellements de barres avec

9- État d'un appareil d'appui.

10- Partie de l'échafaudage laissée en place hors zone interdite SNCF.

11- Échafaudage sous ITC avec respect du gabarit des trains-travaux.

9- Condition of a bearing.

10- Part of the scaffolding left in place outside the prohibited SNCF railway area.

11- Scaffolding under temporary suspension of traffic, allowing clearance for work trains.

platinnes extérieures. Un renforcement local des entretoises a aussi été ajouté. Les échafaudages en conflit avec la zone interdite SNCF sont mis en place au début des interruptions de circulation et de la consignation caténaire pour être enlevés avant de rendre la voie. Les échafaudages ont été réalisés pour prendre en compte le passage de trains-travaux (figures 10 et 11).

RENFORTS PAR COMPOSITES COLLÉS

Pour répondre au risque lié à la traction dans le hourdis de la travée centrale, identifié dans le diagnostic, on a choisi de renforcer cette zone par des renforts composites collés, sur une longueur de 25 m (figure 12). Les températures atteintes lors de la mise en place de l'étanchéité n'étant pas compatibles



© ARCADIS



© AFRCADIS
12

12- Renforcement carbone sur hourdis - protection au mortier en cours.

13- Coupe type des tabliers Nord et médian en configuration après travaux.

12- Carbon reinforcement on top slab - mortar protection in progress.

13- Typical cross section of North and median decks in post-works configuration.

DISPOSITIFS DE RETENUE

Les viaducs étaient équipés de BN3 et garde-corps en rive extérieure et GBA côté Terre-Plein Central (TPC). Dans le cadre de la mise à niveaux des dispositifs de retenue, les conditions d'environnement ont conduit à les remplacer par, des barrières de niveau H4 et garde-corps en rive, et à remettre des GBA côté TPC. Ces dispositifs sont placés de façon à délimiter la zone chargeable de l'ouvrage d'environ 12 m.

En complément, dans la zone à proximité de la voie ferrée, les barrières de niveau H4 sont équipées d'écran anti-déversement jouant aussi le rôle d'écran caténaire. Entre les deux tabliers, un caillebotis renforcé permet d'assurer la protection des voies ferrées (figure 13).

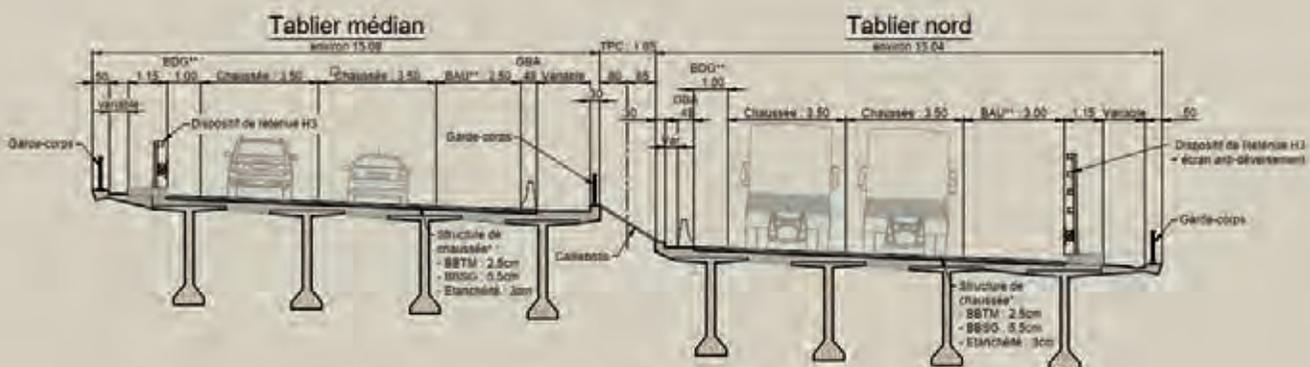
Ces dispositifs de retenue sont prolongés hors ouvrage puis raccordés à des GBA. ▶

avec la tenue de la résine, une protection des composites constituée d'une couche de 3 cm de mortier a été mise en place. Des essais de convenance ont été réalisés afin de s'assurer de la bonne tenue du système complet en termes d'adhérence et de température atteinte dans le renfort composite. Des renforts composites ont aussi été

mis en place au niveau du clavage des poutres de l'ouvrage principal dans la travée centrale. En effet, lors de la construction, les poutres couvraient la travée de rive et une console de 6 m, puis étaient clavées entre elles par une zone coulée en place d'environ 2 m. Tous les câbles de précontrainte s'arrêtent aux abouts des poutres et aucun

ferrailage passif ne traverse les joints, seul le hourdis est précontraint. Cette disposition a conduit à une fissuration le long des joints du clavage, potentiellement due à des effets de retrait et d'entraînement à l'arrière des ancrages. Comme la fissuration ne montre pas d'évolution, des renforts composites ont été prévu à titre conservatif.

COUPE TYPE DES TABLIERS NORD ET MÉDIAN EN CONFIGURATION APRÈS TRAVAUX



© AFRCADIS
13



14 © ARCADIS

CHAUSSÉES

Le décapage du tablier pour le changement de l'étanchéité et des enrobés a montré qu'une intervention antérieure avait été dommageable au hourdis avec une surface très irrégulière et de nombreux impacts (figure 14). Cette situation a conduit à un traitement de surface plus important que prévu afin d'obtenir une surface apte à recevoir l'étanchéité.

La seconde surprise concernait les épaisseurs d'enrobés sur ouvrage, qui étaient théoriquement de 10 cm mais en pratique de 5 à 20 cm selon les relevés de l'entreprise.

L'étanchéité prévue initialement était une feuille protégée par asphalte avec 8 cm d'enrobés par-dessus mais, compte tenu des points précédents, il a été décidé de poser mécaniquement une feuille renforcée avec une

PRINCIPALES QUANTITÉS
(pour les deux tabliers Nord et médian)

- DISPOSITIFS DE RETENUE H3 : 760 m**
- ZONES RENFORCÉES PAR COMPOSITES COLLÉS : 780 m²**
- JOINTS MONOBLOCS : 11 (15 m de large)**
- ATTELAGES : 10**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Sapn**
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis**
- ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : Setec**
- GROUPEMENT D'ENTREPRISES :**
- Bouygues Travaux Publics Régions France / Colas France / Vsl**
- INVESTIGATIONS :**
- Sixense, Lerm, Cerema, Atemac**
- CSPS : Becs**

14- État de surface du tablier après enlèvement de l'ancienne étanchéité.

14- Surface condition of the deck after removing the existing waterproofing system.

membrane "Antirock P" et d'appliquer par-dessus une à deux couches d'enrobés de reprofilage rouge.

Comme pour tous les travaux de réparation ou de rénovation d'ouvrages d'art, ce projet a fait ressortir le besoin d'adaptabilité de tous les intervenants et de leur capacité à proposer rapidement des solutions alternatives en cas d'imprévu. □

ABSTRACT

RENOVATION OF GUERVILLE VIADUCT ON THE A13 MOTORWAY

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

The Guerville decks commissioned in 1965 showed no major structural defects, but they nevertheless needed renovation work such as revamping of the drainage system, a change of bearings and pavement joints, and upgrading of the retention systems. Given the constraints due to the very heavy traffic on the A13 motorway and the crossing of a railway line both in service and during the works, precise preliminary preparation and coordination were required for the project and optimal solutions had to be sought. The contractor's proactiveness during the works phase and its proposals enabled further improvement of the solutions. □

REACONDICIONAMIENTO DEL VIADUCTO DE GUERVILLE SOBRE LA A13

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

Los tableros del viaducto de Guerville, en servicio desde 1965, no presentaban defectos estructurales mayores, aunque necesitaban obras de renovación, como el restablecimiento del saneamiento, el cambio de los apoyos y las juntas de calzada, así como la nivelación de los dispositivos de retención. Las restricciones que imponía el tráfico, muy importante en la A13, y el cruce de una vía férrea a la vez en servicio y en obras exigieron una preparación y una precisa coordinación previas al inicio del proyecto y la búsqueda de soluciones óptimas. La reactividad de la empresa durante la fase de obra y sus propuestas permitieron mejorar todavía más las soluciones. □



1

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES

LE RENFORCEMENT DU VIADUC DU TECH

AUTEURS : THOMAS LEBAILLY, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN TRITSCHLER, ARCADIS ESG - MYLÈNE WOLFF, ASF - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LE VIADUC DU TECH EST UN OUVRAGE DE TYPE VIPP (VIADUC À TRAVÉES INDÉPENDANTES À POUTRES PRÉCONTRAIN- TES) QUI SUPPORTE L'AUTOROUTE A9 À PROXIMITÉ DE LA FRONTIÈRE ESPAGNOLE. CET OUVRAGE FAIT PARTIE D'UNE SECTION AUTOROUTIÈRE QUI A FAIT L'OBJET DE TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT À 3 VOIES DANS CHAQUE SENS RÉALISÉS LORS DES 5 DERNIÈRES ANNÉES. CEPENDANT DES RENFORCEMENTS VISANT À FIABILISER À LONG TERME LES 4 VIADUCS DE TYPE VIPP DE CETTE SECTION, DONT LE VIADUC DU TECH, SONT NÉCESSAIRES. LES ÉLARGISSEMENTS DE CES OUVRAGES ONT ÉTÉ RÉALISÉS AU MOYEN DE MONOPOUTRES OU BI-POUTRES MIXTES CONNECTÉS AUX TABLIERS DES VIPP EXISTANTS QUI SONT RENFORCÉS PAR COMPOSITE DE CARBONE COLLÉ ET PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE.

LE DIAGNOSTIC ET LA CONCEPTION

Les études de conception ont été réalisées par Arcadis en vue de vérifier la capacité portante actuelle des ouvrages élargis dans un cadre réglementaire très strict pour des ouvrages existants précontraints construits au milieu des années 1970. En effet, les surcharges à considérer sont celles de la classe 1 de l'Eurocode et les vérifications des sections sont également réalisées aux Eurocodes en hypothèse non-fissurée.

**1- Précontrainte
et plats carbone
collés.**

**1- Prestressing
and bonded
carbon strips.**

En préalable de la mission de recalcul et de dimensionnement, l'analyse des résultats de diagnostics très détaillés a été réalisée, consistant à intégrer les relevés in situ de superstruc-

tures, de tensions résiduelles dans les câbles de précontrainte, de résistance réelle du béton mesuré et d'enrobages réels.

Le recalcul des ouvrages et la conception des renforcements ont été effectués dans la même démarche que celle des études d'exécution des années 1970. En effet, les 4 ouvrages de type VIPP (viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes par post-tension) ont fait l'objet d'une uniformisation et doivent être considé-

rés comme un ensemble constitué de tabliers regroupables en 10 familles selon les portées et entraxes de poutres.

Pour chaque famille, les données d'entrées fiabilisées par les diagnostics géométrique et matériaux ont été intégrées dans un modèle de calculs aux éléments finis (Sofistik) permettant d'intégrer les effets de phasage de construction et d'élargissement ainsi que les effets différés du béton et de la précontrainte. ▶

2- Modèle Sofistik de conception.

3- Principe d'élargissement déjà réalisé.

4- Modèle Pythagore d'exécution.

2- Sofistik design model.

3- Schematic of enlargement already performed.

4- Pythagore construction model.

La modélisation de l'ouvrage s'est appuyée sur les principes de modélisation proposés par le guide du Cerema "Évaluation structurale et réparation des VIPP" paru en 2021.

La modélisation proposée pour l'étude de la flexion longitudinale consiste en un modèle mixte barres + coques (figure 2).

Les barres modélisent les retombées des poutres VIPP et la ou les poutres métalliques des élargissements.

Les coques modélisent les tables de compression des poutres préfabriquées, les hourdis de 2^e phase et le hourdis de la structure mixte en élargissement (figure 3).

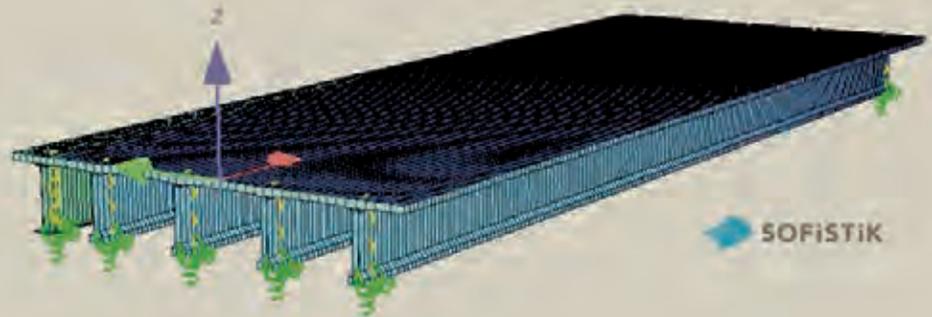
Cette approche permet d'accéder immédiatement aux contraintes dans les éléments qui sont directement utilisés pour réaliser les vérifications aux ELS, mais qui nécessite un post-traitement concernant les sollicitations ELU qui font intervenir les torseurs complets sur la section totale constituée d'éléments de barres et de coques.

Les recalculs conduisent à un besoin de renforcement par précontrainte additionnelle pour la quasi-totalité des familles et pour l'ensemble des travées concernant l'ouvrage du Tech.

D'autres déficits ont pu être compensés par le renforcement par composite de carbone collé, comme les déficits d'armatures d'équilibre des coins inférieurs des poutres, ou autres déficits d'armatures d'effort tranchant, déficits aggravés dans les zones de diffusion des ancrages des câbles de précontrainte additionnelle.

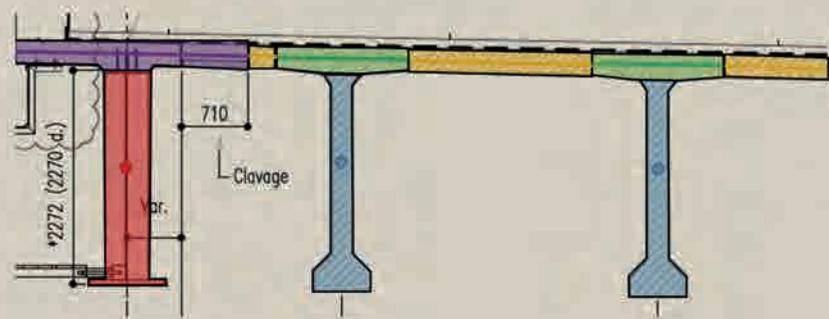
Les hourdis sont également à renforcer au regard de critères ELS. Ils sont renforcés par des composites de carbone collés dont l'objectif consiste à apporter de la raideur à la section en vue de réduire la contrainte sous surcharges dans les armatures passives en place.

MODÈLE SOFISTIK DE CONCEPTION



2

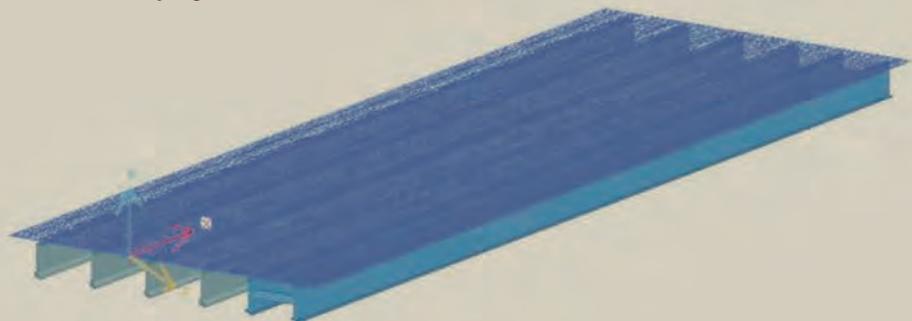
PRINCIPE D'ÉLARGISSEMENT DÉJÀ RÉALISÉ



3

MODÈLE PYTHAGORE D'EXÉCUTION

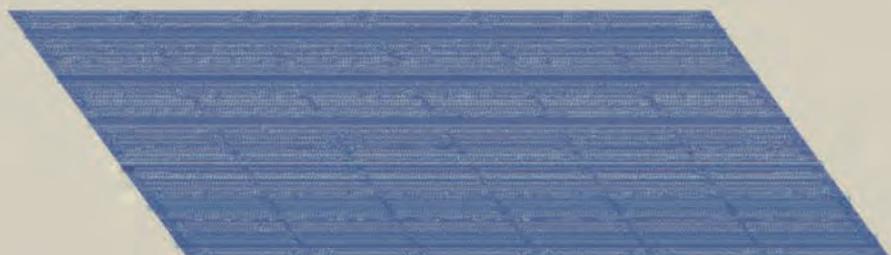
Vue en 3D du modèle Pythagore



Vue en élévation du modèle

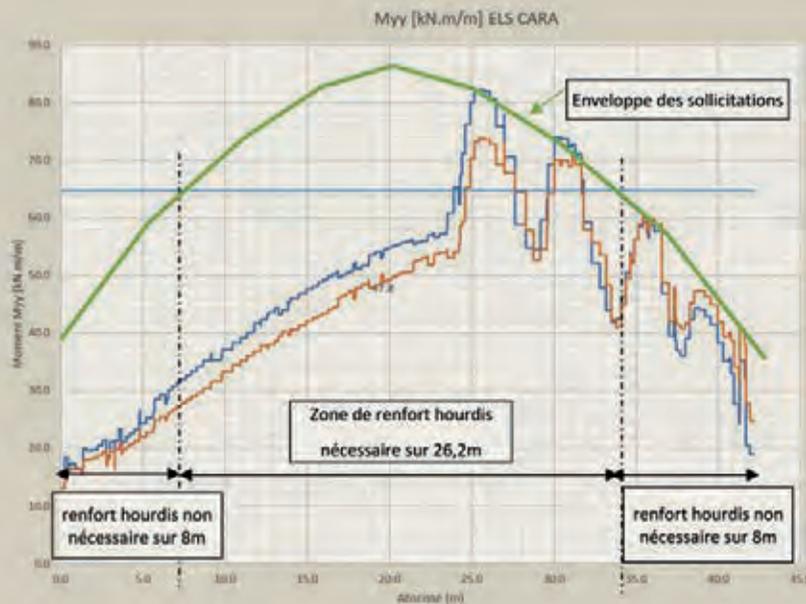


Vue en plan du modèle



4

REPÉRAGE DES RENFORTS TRANSVERSAUX EN PLATS CARBONE



5- Repérage des renforts transversaux en plats carbone.

6- Schéma de principe de ferrailage des blochets.

7- Extraits de plans des selles de déviation des câbles.

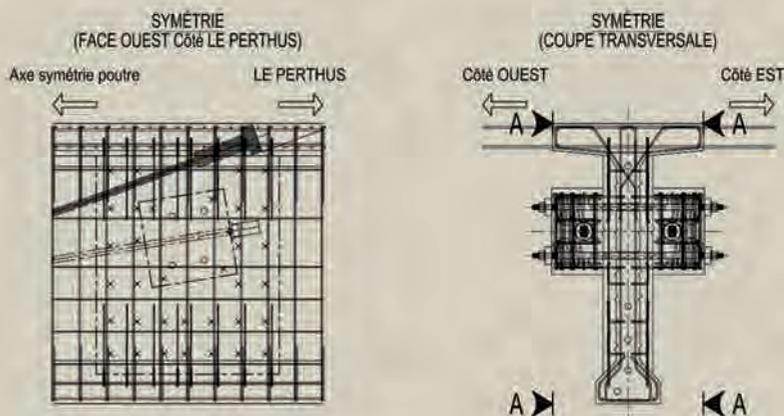
5- Identification of carbon strips transverse reinforcements.

6- Schematic diagram of ram block rebars.

7- Excerpts from drawings of cable deviator saddles.

5

SCHÉMA DE PRINCIPE DE FERRAILAGE DES BLOCHETS



CALCUL DE L'OUVRAGE EN EXÉCUTION

Les études d'exécution sont séparées en 3 sous-parties principales : l'étude du renforcement en flexion longitudinale par de la précontrainte additionnelle et bossages associés, l'étude des renforcements en composite des hourdis et poutres et l'étude des déviateurs de précontrainte.

Les 2 premières sous-parties ont été confiées au bureau Strains, Baudin Chateaufort se chargeant des déviateurs métalliques.

Le calcul de la précontrainte additionnelle a été réalisé à partir de résultats croisés entre la maîtrise d'œuvre et le bureau d'études d'exécution.

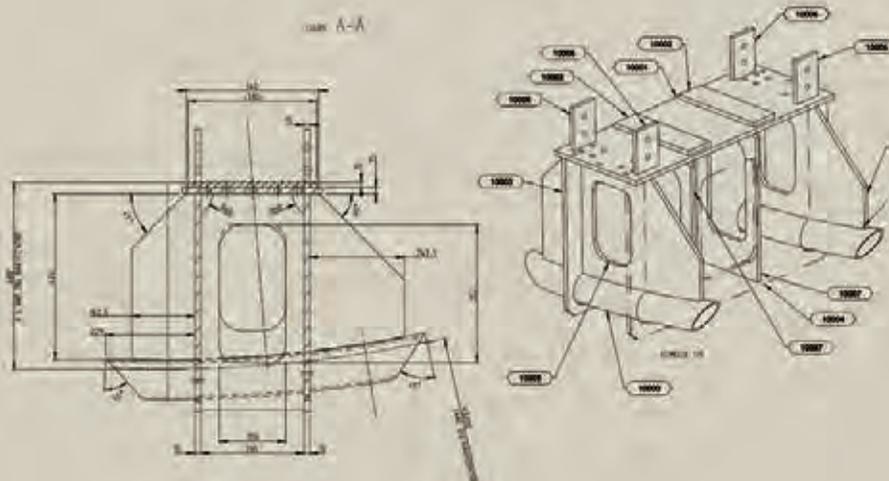
Strains a réalisé un modèle permettant d'intégrer les effets de la précontrainte additionnelle, les effets du fluage à long terme sur un béton ayant déjà 10950 jours (soit 30 ans depuis la mise en service), les nouvelles charges de superstructures et le chargement d'exploitation conformes à l'Eurocode 1.

Un modèle 3D sur Pythagore permet à la fois de déterminer les sollicitations liées aux charges extérieures avec une répartition transversale exacte et de faire évoluer les caractéristiques des matériaux soumis à un nouvel effort de précontrainte (figure 4).

Les études de la maîtrise d'œuvre ont mis en exergue la nécessité de renforcer l'ouvrage localement en plus des renforts pour la flexion générale : renforts des faces inférieures de hourdis du fait de l'augmentation des charges d'exploitation.

6

EXTRAITS DE PLANS DES SELLES DE DÉVIATION DES CÂBLES



7



© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES 8

La nécessité de ce renfort a été mise en exergue par les modèles 3D. En effet, la déformation longitudinale des poutres sous charges d'exploitation conduit à un fonctionnement transversal du hourdis en plaque sur appuis linéaires souples. Il en résulte que le hourdis est suffisamment armé à proximité des appuis mais qu'il est nécessaire de le renforcer à mi-travée longitudinale du fait de la souplesse des poutres (figure 5).

Le renforcement a été réalisé avec des lamelles carbone Sika Carbodur. La forme de l'intrados génère une poussée au vide lors de la mise en charge des lamelles. Les lamelles ont donc été collées au hourdis et fixées à celui-ci avec des chevilles métalliques afin d'éviter un décollement dans les zones de poussée au vide.

Au droit des blochets d'introduction de la précontrainte additionnelle, les âmes présentent une épaisseur de 22 cm et

sont faiblement armées dans le sens longitudinal. L'introduction d'une précontrainte nécessite des aciers d'entraînement afin de ne pas fissurer les sections immédiatement à l'arrière des ancrages. La solution retenue est un épaissement localisé des âmes afin de loger des aciers d'entraînement parallèles aux âmes. Ces épaissements sont liés aux poutres existantes via un repiquage fin des âmes de poutre et la mise en place d'armatures scellées entre les épaissements et les âmes, talon et semelle supérieure de poutre (figure 6). Ce renfort couplé à l'ancrage même de blochets à la poutre, réalisé en précontrainte par barre, a nécessité une reconnaissance fine des armatures passives et actives existantes et une implantation rigoureuse de chaque élément de renfort. Les déviateurs métalliques ont fait l'objet d'une étude séparée, sur la base des efforts de précontrainte déterminés par

8- Échafaudage suspendu.

9- Ferrailage des renforts de poutres.

10- Coffrage des blochets d'ancrage de précontrainte.

8- Suspended scaffolding.

9- Beam strengthening rebars.

10- Formwork of prestressing anchoring ram blocks.

le logiciel Scia. Les effets de pression des câbles, entraînement par frottement ont été modélisés afin d'établir une cartographie précise des contraintes dans les éléments et d'optimiser leur poids. L'étude a intégré les phases provisoires avec mise en tension progressive des câbles générant un chargement faiblement dissymétrique sur les déviateurs. L'ensemble des études a permis de montrer une bonne corrélation entre les résultats du projet de la maîtrise d'œuvre et ceux de l'exécution. Les épreuves de l'ouvrage ont montré des déformations des poutres inférieures à celles calculées, montrant que l'état réel de l'ouvrage renforcé est plus sécuritaire que selon le calcul.

LES TRAVAUX DE RÉPARATION

Le 27 août 2021, l'agence Demathieu Bard Infra-Génie Civil Travaux Spéciaux Méditerranée, en groupement

Strains, et intégrant précisément les déviations requises par le calcul général ainsi que les contraintes de mise en œuvre en intrados des poutres (figure 7). L'étude de ces déviateurs a été réalisée sur un modèle plaque sur



9

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES



10

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES



11

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES



12

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES

avec Pcb - Baudin Chateaufort et Ccl, a été notifiée par Asf des travaux de renforcement du viaduc du Tech de l'autoroute A9 situé sur la commune du Boulou.

Le viaduc du Tech est un VIPP aux mensurations suivantes :

- Nombre de tabliers : 2 (1 tablier par sens de circulation) ;
 - Longueur totale : 201,00 m (longueur totale biaisée) ;
 - Travure : 5 travées de longueurs 36 m à 43 m ;
 - Biais : 60 grades ;
 - Largeur totale droite : 15,30 m / tablier, y compris élargissements ;
 - Hauteur poutres VIPP : 2,60 m ;
 - Hauteur des piles : environ 13 m.
- Les travaux à réaliser pour le renforcement du viaduc :
- Plateforme d'accès en sous-face du viaduc ;
 - Renforcement par composite carbone collé (hourdis et poutre) ;
 - Renforcement par précontrainte additionnelle.

LA PLATEFORME D'ACCÈS

Pour la plateforme d'accès on a opté pour un échafaudage suspendu réalisé par Cireme. Celui-ci est fixé au hourdis avec des fixations Hilti HUS-HR (figure 8).

Les chevêtres des piles et les entretoises n'ont pas permis une continuité des platelages supérieurs de l'échafaudage. Il a été choisi de les réaliser sur deux niveaux :

- Un platelage principal reprenant la surface d'une travée complète ;
- Un platelage secondaire en partie supérieure au niveau de chaque inter-poutre.

Une passerelle centrale en dessous du terreplein central de l'autoroute permet de cheminer entre chaque travée. De plus, le Tech est un fleuve qui

11- Câbles de renforcement tendus.

12- Élargissement latéral en bipoutre mixte et ouvrage renforcé.

13- Selle de déviation des câbles.

11- Stretched reinforcing cables.

12- Lateral enlargement by composite double girder and strengthened structure.

13- Cable deviator saddle.

monte en crue de manière annuelle. La conception d'échafaudage a pris en compte cette problématique. Pour ces travaux, les équipes sont parties d'une pile pour commencer un lancement par inter-poutre. Vers la culée d'un sens et vers l'autre pile pour l'autre sens. L'approvisionnement des pièces d'échafaudage s'est fait par un treuil monté sur site par la société Sky Accès. Celui-ci était fixé sur un monorail permettant une translation sur l'échafaudage.

Au total ce sont 6250 m² de planchers qui ont été mis en œuvre avec environ 210 t de matériel.

LE RENFORCEMENT PAR COMPOSITE CARBONE COLLÉ

Il est réalisé en 3 phases différentes :

- La première consiste au renfort du hourdis sur quatre inter-poutres par travée. Les travaux sont réalisés de nuit afin de ne pas avoir de circulation au droit de la pose des renforts. Le renfort est à base de lamelle carbone de marque Sika. La jonction poutre hourdis n'étant pas plane, des dispositifs anti-poussée au vide ont été ajoutés ;
- La deuxième pour l'effort tranchant consiste à la mise en place de tissu collé sur le pourtour de la poutre. Des dispositifs anti-poussée sont mis de part et d'autre de l'âme de la poutre ;
- La troisième pour l'équilibre de coin de la poutre avec un renfort par tissu et mèche d'ancrage.

LA PRÉCONTRAINTE ADDITIONNELLE

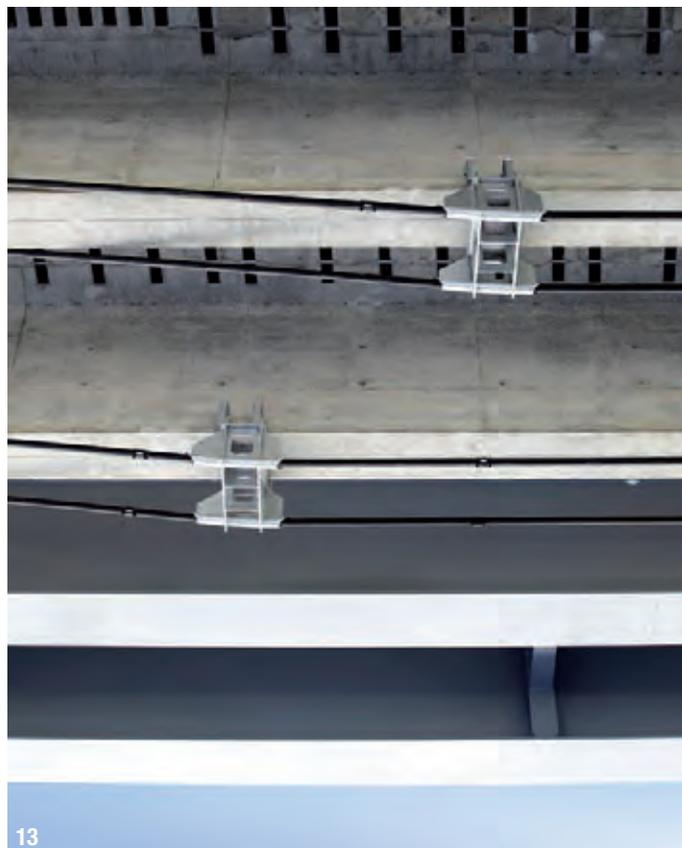
C'est la partie qui a nécessité le plus d'intervenants et de moyens.

Deux types de poutre sont à différencier :

- La famille C : ce sont les poutres des travées de rive avec une portée de 36 m ;
- La famille E : ce sont les poutres des travées centrales avec une portée de 42 m.

Elle consiste en la réalisation de blocs (ce sont des massifs en béton armé). Pour la réalisation de ces massifs il fallait :

- Faire une reconnaissance de la surface existante. En particulier, faire la reconnaissance des câbles existants. Même si leur implantation théorique restait loin des carottages à réaliser pour le clouage, c'était nécessaire pour l'implantation des scellements. ▷



13

© ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES

14- Ouvrage terminé.

14- Completed structure.

L'épaississement de la poutre dans cette zone nécessitait le scellement d'équerres et leur implantation pouvait se trouver dans les câbles ;

- Réaliser les percements (pour les scellements) et les carottages avec en support la reconnaissance faite préalablement ;
- La préparation du support. Celle-ci est différenciée en deux catégories :
 - Une préparation par bouchardage grossier sur la surface de l'épaississement,
 - Une préparation avec forte aspérité (> 6 mm) pour la zone clouée.
- Réaliser le ferrailage de l'épaississement sur place au total, ce qui représente 324 kg par blochet pour la famille E et 180 kg pour la famille C (y compris blochets) à amener au poste de travail (figure 9).
- Réaliser le coffrage de l'épaississement. Pour ce coffrage une décomposition en trois parties a été choisie. La première est la mise en place de panneaux manportables pour la partie inférieure. Sur la partie supérieure, l'angle du blochet étant unique, il fallait un coffrage étant unique, il fallait un coffrage sur mesure. Une analyse technico-économique par le service méthode a conduit à un coffrage bois sur mesure. Celui-ci a été réutilisé 8 fois en moyenne ;
- Pour la partie blochets, un coffrage métallique a été utilisé. Les "dilatations" du bois devaient être évitées pour que l'ancrage de précontrainte ne bouge pas pendant le bétonnage (figure 10) ;



14 © ALAIN TENDERO POUR VINCI AUTOROUTES

PRINCIPALES QUANTITÉS

- **Un renforcement par composite carbone collé**
- **2400 m de lamelles carbone**
- **20 nuits de collage hors circulation :**
 - 12 m² de renfort tissu
- **De la précontrainte additionnelle :**
 - 160 blochets de précontraintes
 - 320 clouages de blochets
 - 3840 m de torons gainés graissés (11 t) (2T15S pour la famille C ; 4 T15S pour la famille E)
 - 80 déviateurs métalliques

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Vinci Autoroute - ASF
- MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Arcadis Esg
- ENTREPRISE :** Demathieu Bard Construction Agence Travaux Spéciaux
- BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION :** Strains
- PRÉCONTRAINTE :** Pcb et Ccl
- ÉCHAFAUDAGE :** Cireme

→ Réaliser le bétonnage. Pour cela une pompe Turbosol Pro H BMS avec une jaquette 2L7 a été utilisée. Celle-ci possède un malaxeur intégré de 200 l. Le bétonnage a été réalisé en forain de part et d'autre des culées. Au maximum, 145 m de lignes ont été installées pour réaliser les bétonnages.

Après une vérification de la montée en résistance des blochets, la phase de clouage débutait. Les clouages ont été réalisés avec des barres Macalloy. Deux types de barres ont été utilisés sur le chantier :

- Diamètre 32 mm pour la famille C ;
 - Diamètre 26 mm pour la famille E.
- La mise en tension s'est faite par paliers avec un repesage à 7 jours. Après cette opération, les barres étaient protégées par de la cire pétrolière qui a été injectée par des capots de protections galvanisés (figure 11).

Pour la partie précontrainte longitudinale, le marché imposait la démarche suivante :

- Utilisation de torons gainés graissés ;
- Matrice cimentaire en protection ;
- Gaine de protection.

Après la mise en place des déviateurs, les équipes ont installé les gaines de protections et ont réalisé les soudures entre celles-ci.

Des suspentes étaient mises en place afin de simuler la position définitive de la gaine et que celle-ci soit le plus rectiligne possible. Les essais en air étaient réalisés pour s'assurer de l'étanchéité des soudures ainsi que l'étanchéité des TGG.

Une fois cette étape passée, la pré-tension des TGG pouvait démarrer pour permettre l'injection de la matrice cimentaire dans la gaine. Après un temps de prise du coulis de quelques jours la mise en tension finale pouvait avoir lieu (figures 1, 12, 13 et 14). □

ABSTRACT

CONSOLIDATION OF THE TECH VIADUCT

THOMAS LEBAILLY, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN TRITSCHLER, ARCADIS ESG - MYLÈNE WOLFF, ASF - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

The enlargement works on this motorway section being completed, it is the following repair and upgrading works that are described in this article. These works involve adding extra external prestressing to improve the longitudinal behaviour of the deck, while transverse bending is improved by employing bonded flat carbon sections. They were executed partly under traffic (with a traffic break at night) and required substantial technical expertise and increased coordination between all the entities involved in the project. □

EL REFUERZO DEL VIADUCTO DEL TECH

THOMAS LEBAILLY, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - BENJAMIN TRITSCHLER, ARCADIS ESG - MYLÈNE WOLFF, ASF - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Finalizadas las obras de ensanchamiento de este tramo de autopista, en este artículo se describen los trabajos siguientes de reparación y nivelación. Estos trabajos han consistido en añadir pretensado exterior adicional para mejorar el comportamiento longitudinal del tablero, mientras que la flexión transversal se ha optimizado instalando platos de carbono adheridos. Se han ejecutado en parte con la autopista en servicio (cortada por la noche) y han exigido notables competencias técnicas y una intensa coordinación entre todos los intervinientes en el proyecto. □



1
© ARCADIS

DÉSAMIANTAGE ET RÉFECTION DES CHAUSSÉES DU TUNNEL DE BASTIA, AVANT RÉNOVATION

AUTEURS : BAPTISTE GEVRIN, RESPONSABLE TRAVAUX MAÎTRISE D'ŒUVRE, ARCADIS -
EMMANUEL JAULT, REPRÉSENTANT DU MAÎTRE D'OUVRAGE, DIRECTION DES ROUTES / DIRECTION DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS 2B -
STEEVE FOIREST, DIRECTEUR DE TRAVAUX POUR LE GROUPEMENT SRHC / COLAS COLOMBE

LA RÉNOVATION DU TUNNEL DE BASTIA PRÉVOIT LA REPRISE TOTALE DE LA VENTILATION ET DES RÉSEAUX, LA CRÉATION D'ISSUES DE SECOURS ET LA RÉPARATION DU GÉNIE CIVIL, AVEC MAINTIEN DE LA CIRCULATION DE JOUR. ELLE NÉCESSITE DES INTERVENTIONS LOURDES SUR LA CHAUSSÉE. OR LES INVESTIGATIONS EN 2018 ONT MONTRÉ LA PRÉSENCE D'AMIANTE DANS LES MATÉRIAUX DE CHAUSSÉE. LE MAÎTRE D'OUVRAGE A DÉCIDÉ SON DÉSAMIANTAGE PRÉALABLE EN FERMANT TROIS SEMAINES LE TUNNEL À LA CIRCULATION LORS DES VACANCES SCOLAIRES DE L'HIVER 2022. LA GÉOMÉTRIE DE LA CHAUSSÉE A ÉTÉ MISE EN COHÉRENCE AVEC LES FUTURS TRAVAUX DE RÉNOVATION.

CONTEXTE

Le tunnel routier de Bastia est un ouvrage monotube de 845 m de longueur, mis en service en 1982 et composé de trois types de structure (tunnel sous la citadelle, ouvrage immergé sous le Vieux Port et cadre sous le quai des Martyrs).

Pour se conformer au décret n°2005-701 relatif à la sécurité des ouvrages du réseau routier, des travaux de mise en conformité du tunnel vont être engagés par le maître d'ouvrage (ventilation sanitaire et désenfumage, réfection du

1- Passage du rouleau sur la grave-bitume.

1- Roller compaction of road base asphalt concrete.

génie civil, mise en place d'une protection au feu, création de deux nouvelles issues de secours au cœur du tissu urbain, reprise intégrale de tous

les réseaux et des équipements de sécurité, refonte de la GTC).

Cette rénovation impacte de façon importante la chaussée actuelle du tunnel.

Dans le cadre d'un diagnostic généralisé (amiante, plomb, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)), des prélèvements par carottage ont été faits sur la structure de chaussée du tunnel. La totalité des prélèvements analysés s'est révélée positive à l'amiante (enrobés et grave). De plus, la rénovation du tunnel implique une reprise du profil en

travers fonctionnel sur toute la longueur de l'ouvrage et oblige à intervenir sur les enrobés (déplacement et remplacement des caniveaux d'assainissement notamment).

Compte tenu des contraintes importantes que représenterait la présence d'amiante pour le chantier de rénovation, il est apparu nécessaire de prévoir un désamiantage préalable des chaussées du tunnel de sorte que les travaux futurs de rénovation puissent se faire sans intervention sur des enrobés amiantés. ▶

2- Section transversale de la partie creusée en souterrain.
3- Section transversale des caissons.
4- Section transversale de la tranchée couverte.

2- Cross section of the part dug underground.

3- Cross section of caissons.

4- Cross section of cut-and-cover.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE EXISTANT

Le tunnel sous le Vieux Port se trouve sur la commune de Bastia, dans le département de la Haute-Corse (2B). Il relie le sud de l'agglomération au centre-ville et au port de commerce. Il est composé, du sud au nord :

→ D'une partie creusée sous la citadelle

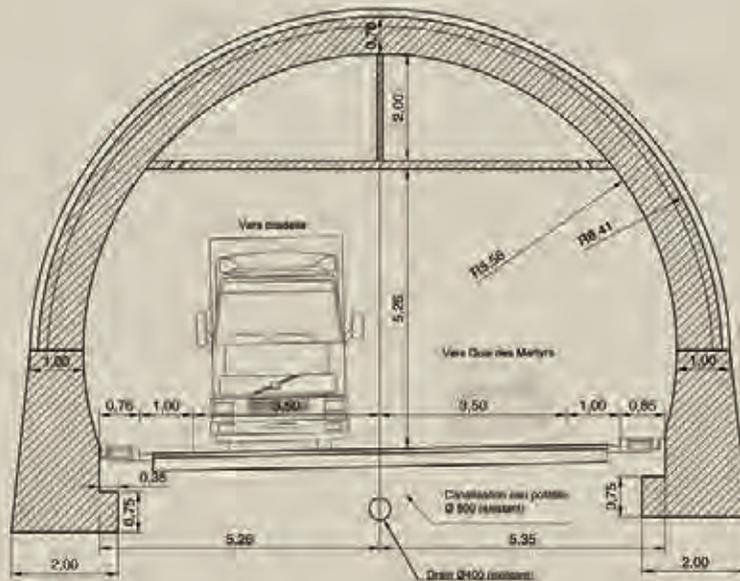
Elle comprend la tête Sud de 20 m de longueur, un tunnel de 227,5 m de longueur creusé en section plein cintre (figure 2). En plafond, une dalle en béton d'épaisseur 20 cm abrite deux gaines de ventilation, insufflation Air Frais et extraction Air Vicié, séparées par un voile vertical de 20 cm d'épaisseur. Elle se termine par un tronçon de section trapézoïdale assurant sur 9,15 m la liaison avec la partie immergée sous la passe navigable du Vieux Port.

→ Du tunnel sous le Vieux Port

C'est un ouvrage immergé de 249,4 m de longueur. Il est composé de quatre caissons de 14,10 m de large par 8,28 m de haut, dont 0,70 m de lest béton sur traverse. L'épaisseur de la dalle et des piédroits est de 0,80 m (figure 3). Les caissons sont pré-contraints longitudinalement sur toute la périphérie de la structure cadre. Aux piédroits sont associés des gaines de ventilation, de section intérieure 0,85 m x 4,65 m.

→ D'une partie en tranchée couverte construite sous le quai des Martyrs. C'est un ouvrage cadre en béton

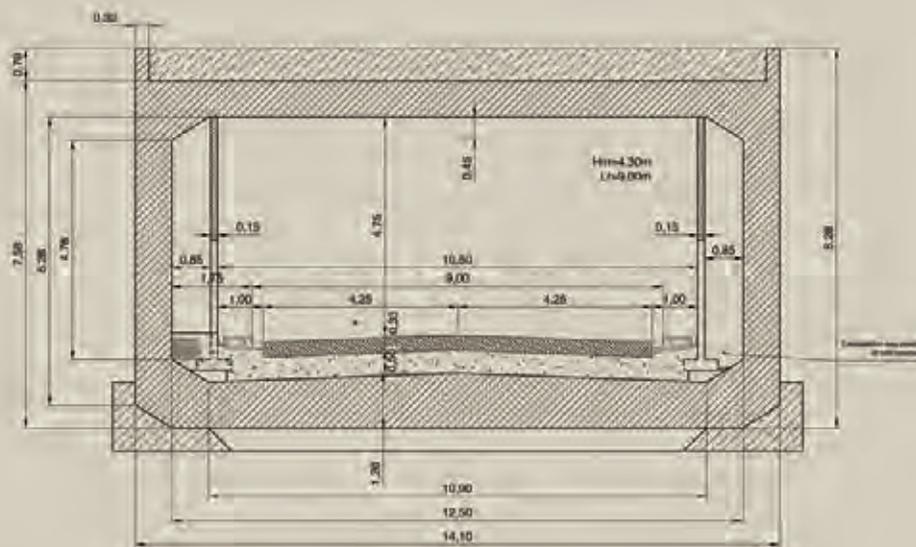
SECTION TRANSVERSALE DE LA PARTIE CREUSÉE EN SOUTERRAIN



2

© ARCADIS

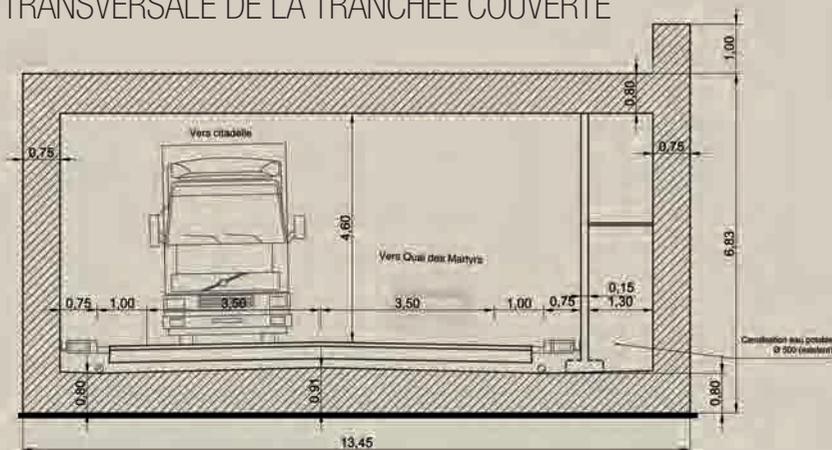
SECTION TRANSVERSALE DES CAISSONS



3

© ARCADIS

SECTION TRANSVERSALE DE LA TRANCHÉE COUVERTE



4

© ARCADIS

VUE GÉNÉRALE



© ARCADIS

5



© COLLECTIVITÉ DE CORSE

6



© ARCADIS

7

5- Vue générale.
6- Vue du port et des installations.
7- Vue des installations de chantier.

5- General view.
6- View of the port and facilities.
7- View of site facilities.

armé de 335,5 m de longueur, situé sous la partie piétonne du quai des Martyrs. Les gaines de ventilation superposées sont positionnées unilatéralement côté mer (figure 4). L'ouvrage est protégé des assauts de la mer par une carapace en enrochements et un ouvrage amortisseur de houle. La tête Nord du tunnel débouche devant le port de commerce, en plein centre de l'agglomération bastiaise.

Deux usines de ventilation, la principale positionnée en tête Sud, l'autre sur le quai des Martyrs et deux issues de secours complètent l'ensemble.

La supervision et la surveillance du tunnel sont assurées depuis le poste de contrôle installé dans l'usine Sud. ▷



8

© COLLECTIVITÉ DE CORSE

Le tunnel, classé comme urbain, supporte un trafic important avec une moyenne de plus de 16000 véhicules par jour par sens de circulation, avec des pointes journalières le matin et le soir de près de 1200 véhicules par heure et par sens.

Le tunnel assure le transit de plus de la moitié du trafic de l'agglomération. Sa fermeture entraîne immédiatement des congestions et la paralysie du port de commerce.

CONTRAINTES ET OBJECTIFS

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Le tunnel est exploité par la Collectivité de Corse, qui en est le maître d'ouvrage.

La surveillance du tunnel, de niveau D4, est externalisée. L'entretien des équipements et du génie civil est assuré par la Collectivité de Corse, avec l'assistance d'entreprises spécialisées en maintenance et nettoyage.

Le concessionnaire Aqua Publica possède une canalisation d'eau potable (DN500) transitant dans le tunnel.

CONTRAINTES TECHNIQUES

Les études menées en amont du marché de travaux ont permis d'établir un diagnostic complet de la chaussée et de définir les niveaux altimétriques précis. Elles ont également mis en lumière des points singuliers sur le linéaire du tunnel qui sont à traiter en raison de l'abaissement global du niveau de la couche de roulement.

Les travaux à réaliser sont synthétisés ci-après :

- Désamiantage en sous-section 3 :
 - Enlèvement des matériaux amiantés enrobés et graves ;
 - Conditionnement des fraisâts ;
 - Évacuation et mise en décharge agréée.

- Travaux hors désamiantage :
 - reprise pour mise à niveau du caniveau du joint de chaussée séparant deux parties du tunnel ;
 - Abaissement d'une conduite incendie ;
 - Démolition des caniveaux existants ;
 - Reprofilage du fond de forme ;
 - Reprises pour mise à niveau des émergences ;

8- Mise en œuvre de géogrille.

9- Application de la grave-bitume.

10- Abaissement de la canalisation.

8- Laying geogrid.
9- Application of road base asphalt concrete.

10- Lowering piping.

- Passage de traversées pour réseaux ;
- Mise en œuvre des couches de base et de roulement ;
- Signalisation horizontale ;
- Mise en place de bordures.

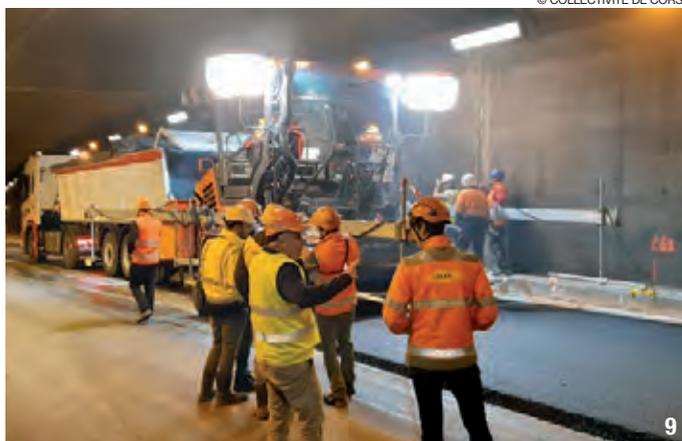
PRINCIPES DE CONCEPTION ET RÉALISATION

PARTICULARITÉS DE L'OPÉRATION

L'opération de désamiantage des chaussées du tunnel de Bastia cumulait plusieurs difficultés :

- Celles liées à une opération de retrait de matériaux de chaussée contenant de l'amiante, maîtrisées par la profession routière, mais accentuées par le fait que l'opération se déroulait dans un tunnel ;
- Celles liées à la logistique et à l'insularité : aucun centre de stockage agréé n'existant sur l'île, les déchets amiantés ont dû être évacués par voie maritime ; en ce sens, la proximité du port de commerce a été transformé en atout lors de la préparation de l'opération, les déchets ayant été évacués essentiellement par voie maritime à partir du port de Bastia ;
- Celles liées à une opération en milieu urbain, la tête Nord, à proximité immédiate de laquelle l'intégralité de la base vie spécifique au chantier a été installée, étant au cœur du centre-ville de Bastia ;
- Et enfin les difficultés liées à la fermeture totale de l'ouvrage pendant une durée affichée de 3 semaines, ce qui, sans mesure compensatoire, aurait entraîné la paralysie complète de l'agglomération bastiaise.

L'ensemble des acteurs impliqués dans l'opération a donc été mobilisé pour trouver des solutions adéquates, préparer au mieux l'opération et réduire les délais de fermeture.



© COLLECTIVITÉ DE CORSE

9



10

© ARCADIS

- 11- Rabotage de la chaussée amiantée.
- 12- Protection du personnel lors du rabotage.
- 13- Vue des caissons immergés après opération de retrait.

- 11- Planing of asbestos-contaminated pavement.
- 12- Protection of personnel during planing.
- 13- View of submerged caissons after removal operation.



© COLLECTIVITÉ DE CORSE 11

PRÉPARATION À LA FERMETURE

La fermeture totale du tunnel à la circulation a été programmée à compter du 18 février 2022 pour une réouverture au 13 mars, pendant une

période de moindre activité économique, les deux premières semaines correspondant aux congés scolaires d'hiver.

La fermeture a été anticipée et un travail de concertation a été mené en

amont pendant près de 12 mois pour en réduire les impacts.

Les partenaires économiques et institutionnels ont été mobilisés (services de la Collectivité de Corse, de la ville de Bastia, de l'Agglomération, de

l'État, de l'Éducation Nationale, de la CCI, des services d'urgence et de secours, des hôpitaux, des transporteurs, taxis, ambulanciers, compagnies maritimes, Chemins de Fer de la Corse, commerçants, concessionnaires de réseaux...).

Des réunions de concertation préalable et des réunions d'information ont été organisées ainsi qu'une campagne de communication. Celle-ci s'est poursuivie pendant la fermeture pour informer les acteurs et la population de l'avancement des travaux. Des mesures spécifiques ont été mises en place à cette occasion :

- La gratuité des transports en commun ;
- Des aménagements de la voirie ;
- La mise en place de navettes ferroviaires et bus ;
- La favorisation des modes doux ;
- La réorganisation des horaires ;
- La mise en place d'un centre de secours temporaire ;
- La mise en place d'une application de suivi du trafic en temps réel pour le grand public.

L'efficacité de ces mesures a été constatée puisque l'ensemble des acteurs socio-économiques ainsi que la population ont pu se préparer et s'organiser en conséquence. La situation a été favorisée par la célérité des travaux et le tunnel a pu rouvrir de façon anticipée le 6 mars, dernier jour des vacances scolaires.

PRINCIPES DE TRAITEMENT DE L'OUVRAGE EXISTANT

La ventilation du tunnel a été mise en surpression afin d'éviter toute pollution dans les canalisations existantes.

Le réseau d'assainissement a ponctuellement été condamné pour éviter toute pollution dans les conduites existantes.

Une astreinte météorologique en partenariat avec le port de Bastia a été mise en place pour prévenir d'aléas fréquents (tempêtes, rafales de vent supérieures à 150 km/h) pendant la période de travaux.

Afin d'accueillir les 150 personnes pendant les 15 jours de travaux, l'installation de chantier a été mise en place au nord du tunnel (figure 5). Elle était constituée :

- De bungalows avec bureaux, vestiaires, réfectoires, etc. ;
- D'une zone de stockage des camions ;
- Des installations spécifiques au retrait de matériaux amiantés (figures 6 et 7).



© COLLECTIVITÉ DE CORSE 12



© COLLECTIVITÉ DE CORSE 13



14 © COLLECTIVITE DE CORSE

Afin de pouvoir travailler en postes 24h/24, 7j/7, le tunnel a été traité en deux zones :

- La partie creusée du tunnel devant faire l'objet de travaux d'enlèvement de graves amiantés sur les rives de chaussée (support après désamiantage constitué de graves) ;
- La partie caissons précontraints du tunnel et tranchée couverte dont l'ensemble du corps de chaussée devait être enlevé (support après désamiantage constitué par le béton).

Une fois le retrait des matériaux amiantés et les travaux annexes terminés, une seconde phase a pu démarrer avec des travaux de mise en œuvre des enrobés de nuit (figures 1 et 8) et le traitement des points singuliers de jour (figure 9).

Suite à la phase de désamiantage, des travaux de nuit ont été réalisés en poste :

- Réalisation des traversées ;
- Levés topographiques ;
- Mise à la cote ;
- Abaissement des conduites (figure 10).

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉLAI D'INTERVENTION : 15 jours
EFFECTIFS EN PHASE RÉALISATION RÉPARTIS SUR 3 POSTES 24H/24, 7J/7 : 150 personnes
RETRAIT DE MATÉRIEAUX AMIANTÉS : 4 500 m³
MISE EN ŒUVRE D'ENROBÉS : 1 800 m³
MISE EN ŒUVRE DE BORDURES : 1 000 m
TRAITEMENT DE POINTS SINGULIERS RÉPARTIS SUR LES 845 m DE TUNNEL (abaissement canalisations, mise à niveau, traversées réseau, génie civil) : 30 unités

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Collectivité Territoriale de Corse, Direction des routes, Direction des investissements routiers 2B
MAÎTRISE D'ŒUVRE / ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE :

- Arcadis (mandataire) : conception et suivi de travaux (génie civil et chaussée)
- Ingevia : suivi de travaux (génie civil et chaussée)
- Mci : conception et suivi de travaux (amiante)
- Nicaya : assistance à maîtrise d'ouvrage communication

COORDINATEUR SPS : Corse Gestion de Réseaux
GROUPEMENT RÉALISATION : Société Routière de Haute Corse (mandataire), Colas Colombe (co-traitant)
CONTRÔLES EXTÉRIEURS : cabinet de géomètres expert Sibella, Laboratoire routier de la Collectivité, Audit Immo Corse 2B, Apave

14- Chargement des poids lourds sur les bateaux.

14- Loading heavy vehicles on boats.

PRINCIPES D'ORGANISATION ET DE CONTRÔLES

Compte tenu des délais, l'organisation et les contrôles ont pu être déployés selon les principes suivants :

- À l'issue de phase de désamiantage, après encapsulage, réception des zones contradictoirement avec un contrôle extérieur ;
- Levés topographiques réalisés quotidiennement pour respecter les altitudes maximales et permettre la mise en conformité de la géométrie de la chaussée ;
- Contrôles de laboratoires chaussée réalisés après chaque mise en œuvre ;
- Point quotidien maîtrise d'ouvrage/groupement/maître d'œuvre,
- Encadrement groupement et maîtrise d'œuvre présents 24h/24, 7j/7. □

ABSTRACT

ASBESTOS STRIPPING AND REPAIR OF THE PAVEMENTS OF BASTIA TUNNEL, BEFORE RENOVATION

BAPTISTE GEVRIN, ARCADIS - EMMANUEL JAULT, DIRECTION DES ROUTES / DIRECTION DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS 2B - STEEVE FOIREST, GROUPEMENT SRHC / COLAS COLOMBE

Bastia Tunnel, a multi-structure bidirectional structure 845 metres long, is essential for the economic activity of the town and for user mobility. To comply with French Decree 2005-701, it must be substantially renovated. Prior to this upgrading, the client decided to carry out a lightning operation with the tunnel closed in order to remove the asbestos-contaminated pavement materials discovered during the preliminary investigations. The design, preparation and works were performed taking into account major technical, environmental and operating constraints. Thanks to mobilisation of all the stakeholders, the tunnel was reopened to traffic one week ahead of schedule. □

DESAMIANTADO Y REHABILITACIÓN DE LAS CALZADAS DEL TÚNEL DE BASTIA ANTES DE SU RENOVACIÓN

BAPTISTE GEVRIN, ARCADIS - EMMANUEL JAULT, DIRECTION DES ROUTES / DIRECTION DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS 2B - STEEVE FOIREST, GROUPEMENT SRHC / COLAS COLOMBE

Le tunnel de Bastia, obra bidireccional y multiestructural de 845 m de longitud, es esencial para la actividad económica de la aglomeración y la movilidad de los usuarios. Para cumplir con el decreto n°2005-701, debe ser ampliamente renovado. Previamente a dicha puesta en conformidad, el promotor ha decidido llevar a cabo una operación relámpago con el túnel cerrado para retirar los materiales de la calzada que contienen amianto descubiertos durante investigaciones previas. El diseño, la preparación y las obras se han realizado respetando fuertes limitaciones técnicas, medioambientales y operativas. La movilización de todos los actores ha permitido reabrir el túnel al tráfico con una semana de antelación respecto al planning. □



1

© MAÏA SONNIER-DELUERMOZ

MISE EN SÉCURITÉ, SUIVI, DIAGNOSTIC ET CONFORTEMENT DU PONT DE LA BRASSERIE

AUTEURS : LÉNY CIZERON, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PASCALE GUICHON, DIRECTRICE DE PROJET, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PHILIPPE REYNAUD (CHEF DE PROJETS OUVRAGES D'ART, GRAND LYON MÉTROPOLE)

SUITE À LA DÉTECTION D'UN ÉTAT DE FISSURATION ANORMAL EN JUILLET 2021 SUR LA STRUCTURE DU PONT DE LA BRASSERIE CONSTRUIT EN 1973 ET ASSURANT LA JONCTION ENTRE LE TUNNEL DE FOURVIÈRE ET LA M7 AU SUD DE LYON, UN ÉTAIEMENT DE SÉCURITÉ ET UNE HAUTE SURVEILLANCE DE L'ENSEMBLE PAR CAPTEURS ONT ÉTÉ MIS EN PLACE. LE GRAND LYON A CONFIE À QUADRIC (GROUPE ARTELIA) LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE ET LA RÉALISATION DU DIAGNOSTIC. CELA A PERMIS DE MAINTENIR L'OUVRAGE EN EXPLOITATION ET DE RÉALISER SON CONFORTEMENT À FIN AOÛT 2022, SOIT À PEINE UN AN APRÈS LA DÉTECTION DE LA PROBLÉMATIQUE.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ET CONSTAT DES DÉSORDRES

Le pont de la Brasserie (figure 2) est un pont de type PRAD pont à poutres préfabriquées précontraintes par adhérence, construit en 1973, supportant 2 voies de circulations. Cet ouvrage comporte sept travées d'ouvertures variables de 8,10 m à

1- Pont de la Brasserie - vue de dessous après confortement.

1- Brasserie Bridge - view of the underside after consolidation.

16,10 m, pour une longueur totale de 89,00 m.

Ce type d'ouvrage est peu répandu pour l'époque et le pont de la Brasserie se démarque d'autant plus par sa géométrie complexe. Il s'agit d'un pont courbe et hyperstatique (continuité du tablier sur piles), de largeur variable. De plus, les entretoises sur piles sont précontraintes transversalement et

jouent le rôle de chevêtres sur piles, en alternant entre piles-marteau et piles-portique.

Le pont porte l'autoroute urbaine M7 et prend appui sur le radier de la trémie Gallieni qui longe le Rhône. Il se situe à la sortie du tube Sud du tunnel de Fourvière et constitue de ce fait un point névralgique de circulation locale et de transit.

Les désordres majeurs relevés en juillet 2021 concernent la fissuration des poutres (figure 3) avec :

- Une fissuration importante se situant entre le quart et le tiers de portée ;
- Des fissures présentes en talons se prolongeant verticalement sur les âmes avec une ouverture maxi de 0,6 mm ;
- Quelques légers désaffleurements en sous-face.

MISE EN SÉCURITÉ DE L'OUVRAGE POUR MAINTIEN DE LA CIRCULATION SUR ET SOUS L'OUVRAGE

Une première modélisation est effectuée afin de dimensionner un système d'étalement de sécurité provisoire capable de garantir la portance du pont en cas d'aggravation des désordres. Les étais sont dimensionnés de façon sécuritaire pour pouvoir reprendre la descente de charge du poids-propre et d'essieux de poids-lourds situés à l'aplomb. Le chargement de poids-lourds pris en compte ne comporte pas de restriction de circulation, sachant que le tronçon n'est pas limité en tonnage.



© E. SOUDAN, GRAND LYON METROPOLE

La mise en sécurité est réalisée de façon à ne pas modifier le fonctionnement de l'ouvrage ; les étalements ne sont pas mis en contact direct avec la sous-face des poutres ; un jeu de quelques millimètres est conservé. La définition des étalements et des travaux préparatoires est réalisée sur la base des relevés effectués sur un scanner 3D réalisé par l'entreprise Bett. Ce relevé a également permis de connaître précisément les hauteurs libres très variables et de constater que

2- Vue du pont de la Brasserie depuis le tablier.

3- Repérage des fissures principales.

2- View of Brasserie Bridge from the deck.

3- Identification of main cracks.

la totalité des poutres a conservé une contre-flèche (figure 4).

Au total, ce sont 36 paires de chandelles d'étalement capables de reprendre individuellement 40 t, ainsi que deux portiques, qui sont mis en œuvre de nuit sous coupure de circulation.

La mise en sécurité de l'ouvrage est réalisée grâce aux actions conjuguées du Grand Lyon qui assure la conduite d'opération et la maîtrise d'œuvre travaux, de Quadric qui assure leur définition et des entreprises Novetra et Sgb Hunnebeck en charge de leur réalisation.

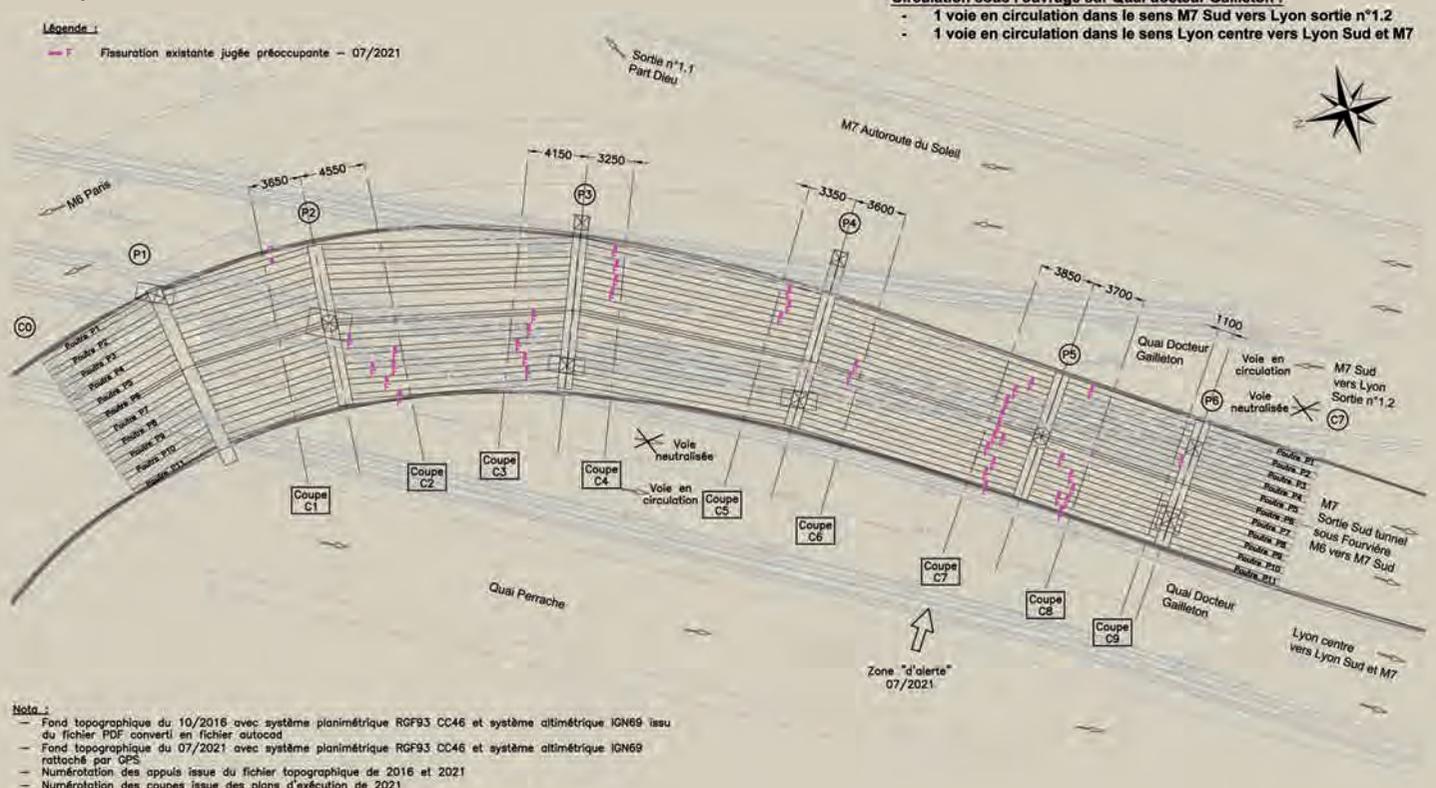
Après la mise en œuvre de l'étalement, la circulation est maintenue sur les 2 voies portées, la voie franchie est réduite à 2 fois 1 voie de circulation (figures 5 et 6).

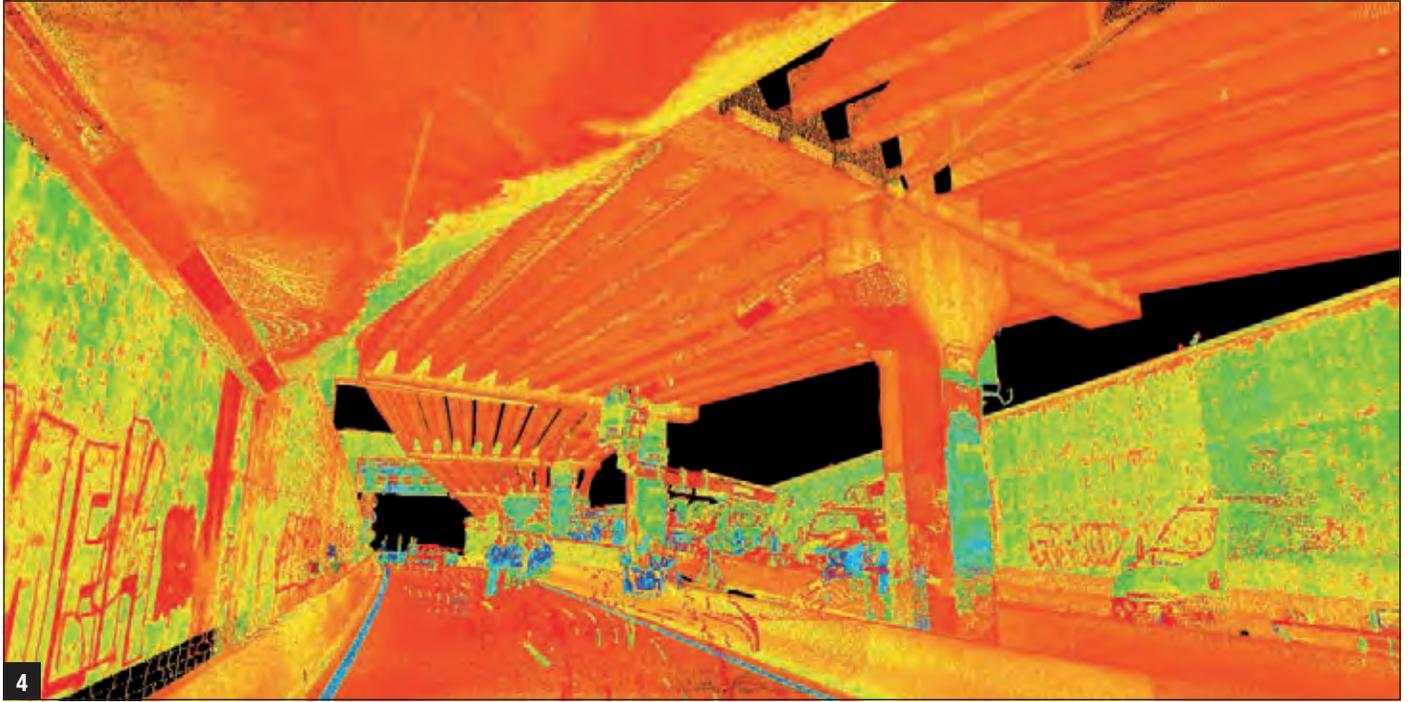
INSTRUMENTATION ET HAUTE SURVEILLANCE EN PHASE DE MISE EN SÉCURITÉ

La mise en sécurité du pont de la Brasserie est accompagnée d'une instrumentation permettant de surveiller en permanence une éventuelle aggravation des désordres par le biais de 41 cap-

REPÉRAGE DES FISSURES PRINCIPALES

Vue en plan





© BETT
4

teurs réalisant des mesures dynamiques à 100 Hz. Cette surveillance comporte un programme d'instrumentation en 2 volets.

VOLET 1 - Contrôle de l'entrée en chargement des étais en Haute Surveillance avec seuil d'alerte :

Des jauges de déformation sont collées sur les tubes métalliques des chandelles d'étalement. Si une poutre vient à rompre, cette dernière se repose sur la chandelle située en dessous qui assure alors la mise en sécurité recherchée. La chandelle serait alors soumise à un

4- Scanner 3D du pont de la Brasserie.

5- Étalement de sécurité sous l'ouvrage - chandelles dans zone non circulée.

4- 3D scanning of Brasserie Bridge.

5- Safety strutting under the bridge - jack stands in untrafficked area.

effort de compression qui pourra être détecté par les jauges.

Les données enregistrées par les jauges de déformation sont communiquées en continu au logiciel de surveillance. Le métal des chandelles d'étalement étant sensible aux variations thermiques, les mesures de jauges de déformation sont compensées thermiquement en temps réel grâce à des capteurs thermiques ambiants et surfaciques répartis sous l'ouvrage (figure 7). Des seuils sont définis pour détecter l'éventuelle entrée en chargement des chandelles permettant de déclencher des alertes.

VOLET 2 - Suivi journalier des fissures sur les 2 poutres les plus critiques avec contrôle des ouvertures et rejeu vertical :

Une seconde instrumentation est posée directement sur l'ouvrage. Il s'agit de deux couples de fissuromètres installés sur les deux fissures les plus importantes. Les variations d'ouverture longitudinale et le rejeu sont mesurés en temps réel à une fréquence de 100 Hz (soit 100 mesures par seconde). La moyenne des valeurs, ainsi que les valeurs minimales et maximales, sont enregistrées par plage de 5 mn. ▷



© QUADRIC
5

La valeur moyenne correspond à l'ouverture de la fissure sous charges Quasi-Permanentes. Les valeurs minimales et maximales correspondent à l'incidence du passage des véhicules sur l'ouvrage.

Une correction thermique est également réalisée. Il est ainsi possible de constater l'évolution des fissures sur le long terme, d'une part, et la sensibilité de l'ouvrage au passage des véhicules lourds, d'autre part. Ces valeurs sont analysées tous les jours (figure 8).

SUIVI COMPLÉMENTAIRE EN PHASE DE MISE EN SÉCURITÉ

INSPECTIONS MENSUELLES DES ZONES FISSURÉES

Une inspection mensuelle des zones fissurées est réalisée afin d'avoir un suivi complémentaire sur le chargement des étalements et un suivi des fissures non instrumentées.

Au cours de ces visites, le non-contact entre les poutres et les étais est vérifié, ainsi que l'apparition de nouvelles fissures et l'évolution des fissures existantes.

SUIVI TOPOGRAPHIQUE MÉTROLOGIQUE

Un suivi topographique est réalisé par mesures indirectes après la mise en œuvre de prismes permettant d'apprécier la position et la flèche des

poutres précontraintes avec une précision inférieure au millimètre. Au total, 164 prismes sont posés sur l'ouvrage (figure 9).

Ce suivi complémentaire de l'ouvrage doit permettre de reconstituer les déformations subies et d'apporter des informations complémentaires sur les dommages en cas d'alarme.

ACTIONS ENVISAGÉES EN CAS D'ALERTE ET D'ALARME

Dans le cadre de la surveillance de l'ouvrage une "Fiche Action" est mise en place en concertation avec la Préfecture, Coraly (gestion trafic) et le Service des Voies Rapides et Tunnels (exploitant). En cas d'alerte, les équipes en charge des astreintes de Haute Surveillance de Quadric sont mobilisées pour l'analyse.

La visite sur site est réalisée en parallèle de mesures éventuelles de coupure de circulation sur et/ou sous l'ouvrage mises en œuvre par les services en astreinte du Grand Lyon.

En cas d'alarme confirmée, un comité technique exceptionnel est réuni dans les 24 heures pour décider de mesures conservatoires complémentaires éventuelles. Ces mesures peuvent intégrer des étalements complémentaires avec vérinage. Ils seront mis en œuvre par les entreprises dont la mobilisation est anticipée, avec remise

en circulation selon les cas sur et sous l'ouvrage.

À noter qu'aucune alarme n'a été confirmée dans la période de mise en sécurité.

DIAGNOSTIC ET ÉTUDES DE CONFORTEMENT DIAGNOSTIC/RECALCUL

Un recalcul du tablier est effectué en prenant en compte l'ensemble des sollicitations sur l'ouvrage. Cela comprend le fluage, le retrait, la relaxation et le gradient thermique, non intégrés à l'origine tel qu'il conviendrait, vu l'antériorité à 1975.

La modélisation permet d'identifier des insuffisances structurelles importantes en termes de flexion longitudinale. Ces insuffisances sont localisées au niveau des arrêts de câbles (certains câbles sont gainés à la fabrication à proximité des abouts de poutres) et se traduisent par des contraintes de traction importantes en fibre inférieure des poutres. Les positions des arrêts de câble sont repérées sur les plans de l'ouvrage et montrent une bonne superposition avec les fissures relevées.

Le diagnostic confirme des insuffisances expliquées en grande partie par les méthodes de calcul retenues à l'origine. D'une part les sections vérifiées à l'origine ne sont pas systématiquement les plus défavorables du fait qu'elles ne sont pas toujours au niveau des arrêts de câble. D'autre part une insuffisance dans l'estimation des pertes de précontraintes (en parallèle, dans une moindre mesure, du fluage et du gradient) est notée. Bien que ces sections soient situées dans la zone de "moment nul", faiblement sollicitées sous surcharges, elles présentent des insuffisances qui ont pu conduire à la fissuration et son évolution à terme. Aucune insuffisance relative à l'effort tranchant n'est relevée. Les sections d'armatures passives mises en œuvre sur piles sont satisfaisantes, bien que la construction de cet ouvrage soit bien antérieure aux spécifications sur ce sujet.

6- Étalement de sécurité sous l'ouvrage - portiques dans zone circulée.

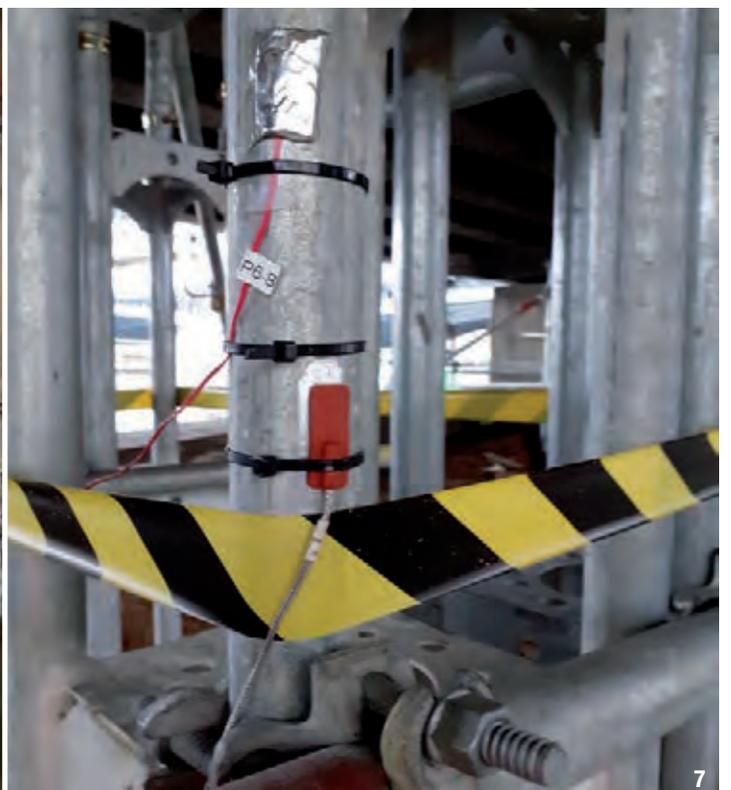
7- Jauge de déformation et sonde de température sur l'étalement.

6- Safety strutting under the bridge - portal frames in trafficked area.

7- Strain gauge and temperature probe on strutting.



6 © QUADRIC



7 © QUADRIC



8- Surveillance de l'ouverture des fissures avec logiciel QSHM.

9- Fissuromètres et prismes de métrologie.

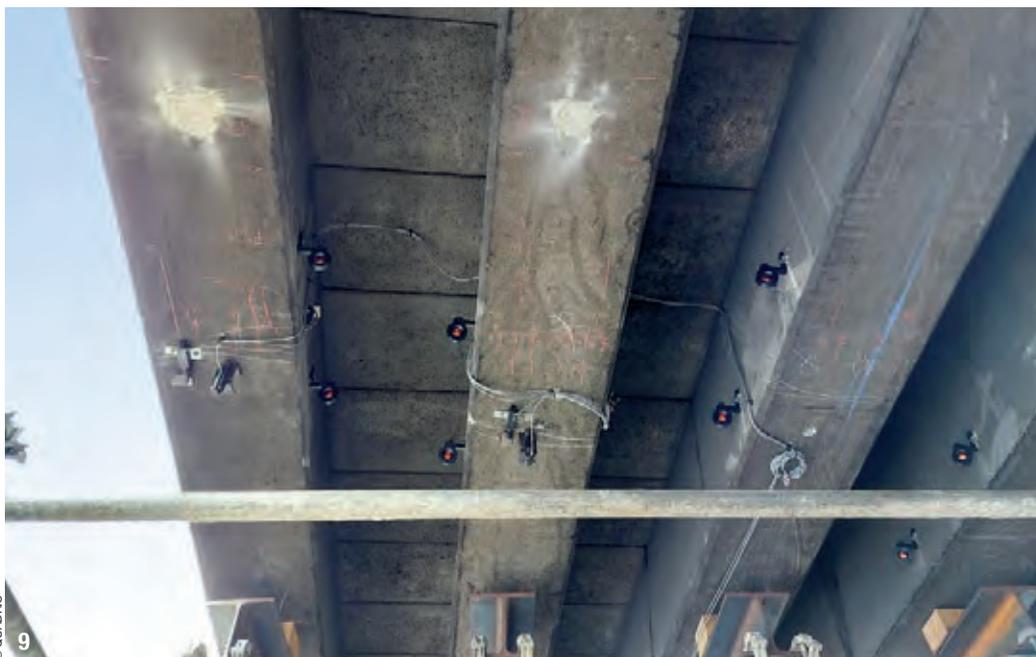
10- Chevêtre-entretoise en about de poutres.

8- Monitoring of crack opening with QSHM software.

9- Crack measurement apparatus and measuring prisms.

10- Trimmer joist-brace at end of beams.

8 © QUADRIC



DIAGNOSTIC IN SITU

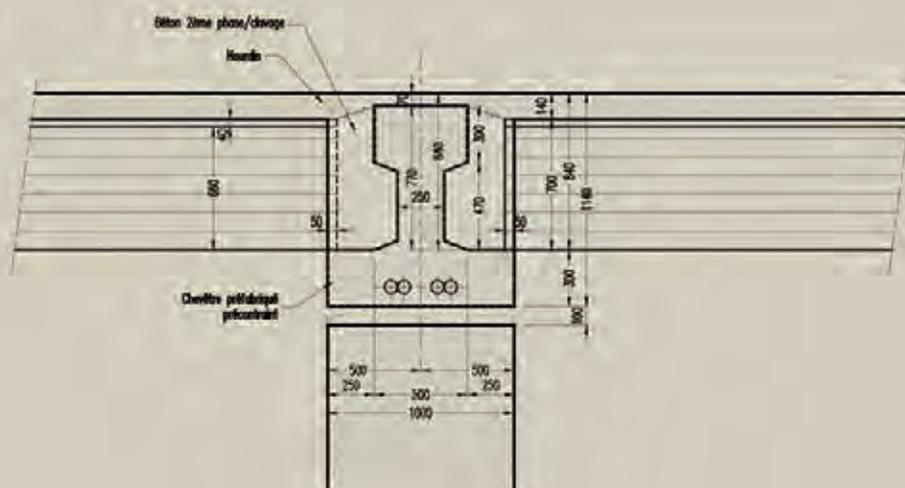
Un diagnostic complémentaire in situ des poutres précontraintes est également réalisé. Il apparaît que le béton des poutres précontraintes est de très bonne qualité. Une bonne cohésion de surface est mesurée, permettant d'envisager le collage de renforts composites.

La localisation in situ des arrêts de câble sur quelques poutres montre une assez bonne superposition avec la position des fissures. Les essais de localisation des arrêts de câble (gaines) au moyen d'un scanner n'ont pas été concluants.

Par ailleurs des sondages destructifs ponctuels ont permis de vérifier les dispositions figurant sur les plans de ferrailage et de précontrainte, malgré quelques imprécisions sur les longueurs de gaine.

9 © QUADRIC

CHEVÊTRE-ENTRETOISE EN ABOUT DE POUTRES



ÉTUDE ET PROPOSITION DE SOLUTION DE CONFORTEMENT OU REMPLACEMENT

Plusieurs méthodes de confortement et renforcement sont étudiées.

Le renforcement du pont par précontrainte additionnelle qui aurait permis un renforcement total des sections est écarté du fait des spécificités de l'ouvrage et de la position des sections critiques.

La présence d'une précontrainte transversale des entretoises-chevêtres de forte épaisseur et la proximité des sections critiques des appuis sont trop défavorables en termes de conception (figure 10).

Une seconde solution de renforcement avec profilés métalliques et transfert de charge par véringage est également écartée.

10 © QUADRIC



© MAÏA SONNIER-DELLERMOZ 11

La proximité des zones critiques avec les abouts de poutre rend le transfert de charge inefficace.

Une solution de confortement à l'ELU par renfort composite est finalement retenue.

Les lamelles carbone de dimension 140x2 mm positionnées en sous-face des poutres permettent d'augmenter la capacité portante des sections critiques. Le nombre de lamelles carbone par poutre varie selon l'importance de l'insuffisance structurelle calculée et les désordres constatés, à raison de 1 ou 2 lamelles par poutre.

Au vu des insuffisances calculées, un renforcement ELS n'est pas envisageable.

Le maître d'ouvrage a arbitré positivement pour la réalisation de ce confortement par renfort composite, permettant une remise en service contrôlée de l'ouvrage dans un contexte de réalisation particulièrement complexe et dans la perspective d'une démolition probable de l'ouvrage dans 10 ou 20 ans. L'hypothèse du remplacement a été abandonnée à ce stade. Elle aurait pu être retenue si les désordres s'étaient aggravés avant confortement et en l'absence éventuelle d'une solution de renforcement acceptable.

Le renforcement par renfort composite présente de nombreux avantages : Mise en œuvre rapide avec peu de manutention et coût limité, maintien d'une bonne visibilité des fissures pour un suivi ultérieur, aspect de l'ouvrage peu modifié et absence d'impact sur l'exploitation des voies franchies.

RÉALISATION DES TRAVAUX DE CONFORTEMENT TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les fissures les plus importantes sont injectées et le talon inférieur des poutres est préparé (décapage haute pression), sous coupures de circulation ponctuelles de nuit sous ouvrage.

Des essais de convenue sont menés sur les poutres saines des travées de rive sur la zone non circulée et se montrent concluants. Ils permettent de valider les conditions de réalisation et les cadences.

11- Pose des lamelles composites en intrados.

12- Vue du pont de la Brasserie depuis le quai Gailleton.

11- Placing thin composite strips on the intrados.

12- View of Brasserie Bridge from Gailleton quay.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

La pose des lamelles carbone nécessite une coupure de circulation sur et sous le pont d'une durée suffisante (figure 11). La M7 (ex A7) sens Nord-Sud portée présente des contraintes d'exploitation très importantes, les travaux sont alors réalisés le dernier week-end d'août qui a été identifié comme le moins pénalisant (sens des départs en vacances peu chargé). Cette période permet également de bénéficier de bonnes conditions d'exécution (température).

Un plan de communication est mené par la Métropole pour un meilleur déroulé de l'opération vis-à-vis des usagers.



© E. SOUDAN, GRAND LYON METROPOLE 12

DÉROULEMENT DU CHANTIER

Le chantier débute dans la soirée du vendredi 26 août avec la dépose des étais de sécurité et des GBA (glissières en béton armé) provisoires, ainsi que l'installation des ateliers de renfort composite.

La première lamelle carbone est posée le samedi à 4 heures du matin.

Les travaux sont effectués par des équipes de 16 personnes mobilisées par postes de 8 heures.

Les GBA sont reconstituées sous l'ouvrage dans la matinée du dimanche 28 août. Les dernières lamelles sont posées vers 16 heures le même jour. La circulation est ouverte sous l'ouvrage dans la soirée.

La circulation de la M7 sur l'ouvrage est ouverte le lundi 29 août à 5 heures du matin, soit 55 heures seulement après sa fermeture.

La réalisation des travaux a nécessité la mobilisation des équipes du Grand Lyon pour les restrictions de circulation, des entreprises Maia Sonnier et Deluermoz



13
© QUADRIC

13- Continuité du suivi par fissuromètres après confortement.

13- Continuity of monitoring by crack measurement apparatus after consolidation.

pour la réalisation des travaux et de Ginger pour le contrôle extérieur.

Au total, l'opération aura coûté 1,7 M€ TTC, comprenant la sécurisation, les diagnostics et la Haute Surveillance pour 700 000 € et 1 M€ pour les travaux de confortement (figure 12).

SUIVI APRÈS RENFORCEMENT

Une surveillance de l'ouvrage est maintenue afin de s'assurer de l'efficacité du confortement ELU et de la validité des hypothèses prises en compte au vu des incertitudes existantes. L'instrumentation des 2 fissures les plus importantes est maintenue.

À ce jour l'instrumentation témoigne de l'efficacité du renforcement puisque l'activité des fissures a diminué de manière significative après la pose des lamelles carbone. Une très forte diminution de la sensibilité au passage des véhicules est constatée sur les variations d'amplitudes longitudinales et l'absence de variation du rejeu au niveau des fissures.

La Haute Surveillance de l'ouvrage est levée, ainsi que la "Fiche Action" qui était mise en place en cas d'alarme. L'instrumentation est couplée à des inspections de l'ouvrage des zones fissurées à une fréquence réduite (figure 13). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

MESURES CONSERVATOIRES, SUIVI ET HAUTE SURVEILLANCE - 07/2021 À 08/2022

- Haute Surveillance 7j/7 alarmes 24h/24
- 41 capteurs sur l'ouvrage en simultané
- 36 paires de chandelles et 2 portiques de sécurités mis en place sous l'ouvrage
- Suivi topographique de précision et métrologie par 164 prismes
- Entreprises d'astreinte mobilisables en cas d'alarme pour la mise en sécurité ; étaieement complémentaires et vérins en disponibilité immédiate

TRAVAUX DE CONFORTEMENT DE L'OUVRAGE - 07 ET 08/2022

- 878 m de poutres confortées ; 1 128 m de lamelles carbonées collées
- Opération coup de poing de 55 h au cœur de Lyon ; travaux réalisés sous coupure de circulation sur et sous l'ouvrage
- 1,28 m/h/personne de lamelles composites collées en moyenne sur la durée du chantier

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE ET CONDUITE D'OPÉRATION :

Métropole de Lyon - Direction des Infrastructures et de l'Exploitation des Mobilités Service Ouvrages d'Art

MAÎTRISE D'OUVRAGE ET MOE TRAVAUX :

Métropole de Lyon - Direction des Infrastructures et de l'Exploitation des Mobilités Service des Voies Rapides et Tunnels / Unité Voies rapides

DIAGNOSTIC, CONCEPTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES ET HAUTE SURVEILLANCE :

Quadric groupe Artelia

ENTREPRISES - TRAVAUX DE MISE EN SÉCURITÉ :

Nouvetra, Sgb Hunnebeck (étaieements)

ENTREPRISES - TRAVAUX DE CONFORTEMENT :

Maïa Sonnier / Deluermoz / Coiro (confortement carbone)

SUIVI ET DIAGNOSTICS COMPLÉMENTAIRES :

Bett (topographie et scanner), Idc Structure (diagnostic béton), Ginger (contrôle extérieur confortement)

ABSTRACT

ENSURING SAFETY, MONITORING, DIAGNOSIS AND CONSOLIDATION OF BRASSERIE BRIDGE IN LYON

LÉNY CIZERON, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PASCALE GUICHON, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PHILIPPE REYNAUD, GRAND LYON MÉTROPOLÉ

In July 2021, an abnormal crack formation was detected in the prestressed beams of the Brasserie Bridge, built in 1973 and located between the Fourvière tunnel and the M7 expressway in central Lyon. The safety and monitoring of the structure was ensured by means of a temporary safety strutting system and the implementation of High Surveillance round-the-clock, as well as by establishing an "Action Sheet" if the problem became worse. A diagnosis of the structure detected structural shortcomings. The consolidation system adopted involved implementing composite strengthening during a lightning operation lasting 55 hours, just one year after detecting the problem. □

ASEGURAMIENTO, SEGUIMIENTO, DIAGNÓSTICO Y CONSOLIDACIÓN DEL PUENTE DE LA BRASSERIE

LÉNY CIZERON, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PASCALE GUICHON, QUADRIC (GROUPE ARTELIA) - PHILIPPE REYNAUD, GRAND LYON MÉTROPOLÉ

En julio de 2021, se detectó un estado de fisuración anormal de las vigas pretensadas del puente de la Brasserie, construido en 1973 y situado entre el túnel de Fourvière y la M7, en el centro de Lyon. El aseguramiento y la vigilancia de la construcción consisten en un sistema de apuntalamiento provisional de seguridad y en la aplicación de una estricta vigilancia las 24 horas, así como en la elaboración de una «Ficha de acción» en caso de agravamiento. El diagnóstico de la obra revela insuficiencias estructurales. Para la consolidación, se ha optado por un refuerzo compuesto, realizado durante una operación relámpago de 55 horas, apenas un año tras la detección del problema. □



1
 © RICHEZ ASSOCIÉS

AMÉNAGEMENT DE LA PLACE CARPEAUX, AU CŒUR DU QUARTIER D’AFFAIRES DE LA DÉFENSE (92)

AUTEURS : ANGÉLIQUE LACROIX, CHEF DE PROJET MOE, INGEROP - ELIAS HABCHI, DIRECTEUR DE PROJET MOE, INGEROP - CHRISTIAN MATAIGNE, EXPERT GÉNIE CIVIL MOE, INGEROP - DIÉGO JUAREZ, RESPONSABLE D’OPÉRATION MOA, PARIS LA DÉFENSE - HAMA-AMADOU MAIGA, DIRECTEUR TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

PORTE D’ENTRÉE DU QUARTIER D’AFFAIRES DE LA DÉFENSE (92), LA PLACE CARPEAUX FAIT L’OBJET D’UNE TRANSFORMATION URBAINE RÉALISÉE ET FINANCÉE PAR PARIS LA DÉFENSE (PLD), AMÉNAGEUR ET GESTIONNAIRE PUBLIC DU QUARTIER. BÂTIE COMME UN OUVRAGE DE GÉNIE CIVIL, LA PLACE EST RENIVELÉE, DE NOUVEAUX REVÊTEMENTS ET DU MOBILIER SONT POSÉS POUR PERMETTRE D’Y ACCÉDER PLUS AISÉMENT, POUR FACILITER LES DÉPLACEMENTS ET LE CONFORT D’USAGE DE TOUS. LA PLACE CARPEAUX A VOCATION À DEVENIR UN LIEU DE VIE.

UN PROJET D’AMÉNAGEMENT AU PIED DE LA GRANDE ARCHE LOCALISATION

Au sein du département des Hauts-de-Seine (92), la place Carpeaux (figure 1) se situe sur la commune de Puteaux, au nord-ouest du quartier d’affaires de La Défense. Elle se dessine à la pointe Sud-Ouest du Centre des Nouvelles Industries et Technologies (CNIT), à proximité immédiate de la Grande Arche et de

l’Esplanade de La Défense (figure 2).

La place Carpeaux repose en grande partie sur une dalle en béton piétonnière, construite en 1975. Cette dernière recouvre des voies ferrées et des voies routières souterraines.

Le réaménagement de la place Carpeaux inclut des travaux de génie civil (démolitions, structure métallique ou en béton armé, revêtement) sur réseaux divers, d’équipement et d’aménage-

1- Le projet d’aménagement vu depuis l’esplanade de La Défense.

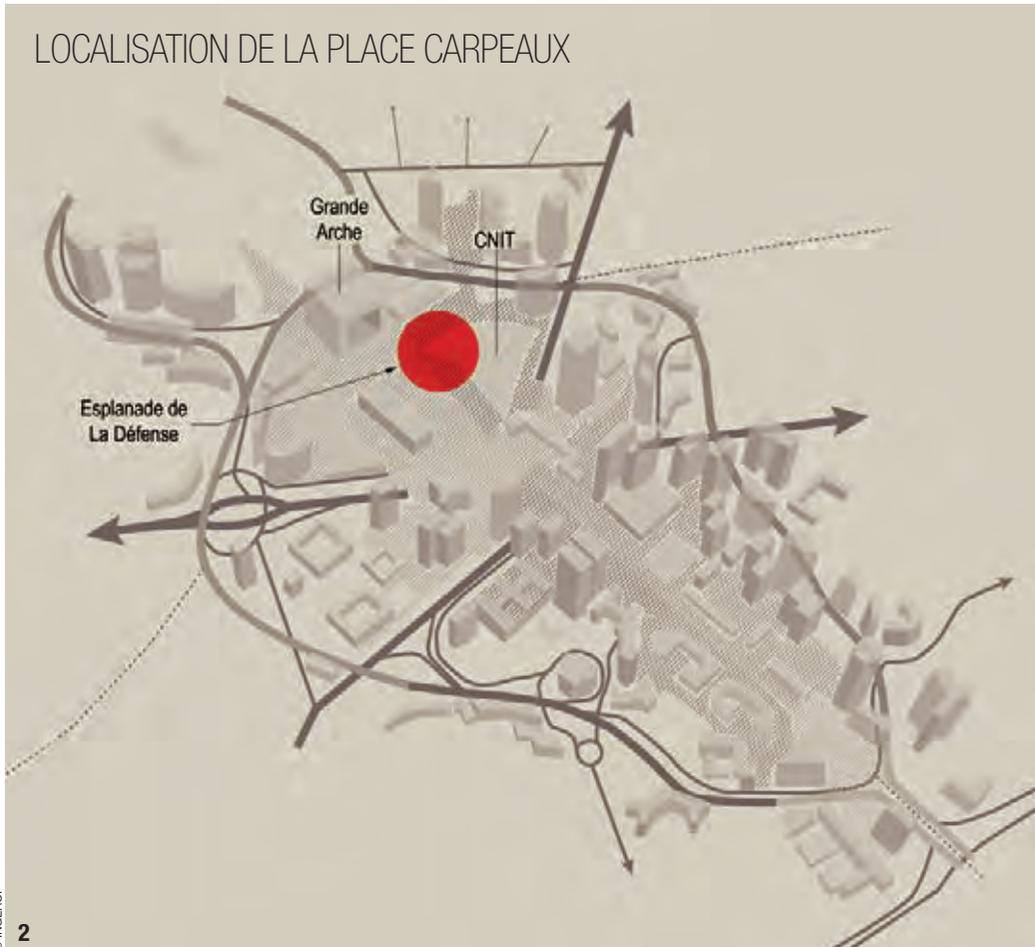
1- Development project viewed from La Défense esplanade.

ment urbain (plantations, éclairage, mobilier, déplacement d’œuvre d’art). Il s’étend sur trois niveaux, de bas en haut : les voies souterraines, la dalle de la place et le parvis de la Grande Arche.

OBJECTIFS ET SPÉCIFICITÉS DU PROJET

Le projet de reconfiguration et de valorisation des espaces publics de la place Carpeaux vise notamment à :

LOCALISATION DE LA PLACE CARPEAUX



© INGEROP

- 2- Localisation de la place Carpeaux.
- 3- Maintien circulation bus.
- 4- Forte coactivité sur le chantier.

- 2- Location of Carpeaux Square.
- 3- Maintenance of bus traffic.
- 4- Substantial concurrent work on the site.

la présence de tiers (le CNIT, coactivité avec le chantier ÉOLE) (figure 4). Cette singularité oblige à développer des méthodologies de mise en œuvre et de conduite de chantier spécifiques et innovantes ;

- Un projet durable : en lien avec la nouvelle raison d'être de PLD, plusieurs pistes sont mises en œuvre pour améliorer la durabilité du projet, par exemple en renforçant l'économie circulaire du projet (réemploi des dalles sur plots existants (figure 5)) ou en proposant davantage d'espaces plantés. ▷

- Permettre un accès de plain-pied à la place depuis la dalle de La Défense, avec des cheminements lisibles, confortables et accessibles à tous ;
- Accueillir les émergences de la nouvelle gare ÉOLE La-Défense-Grande-Arche, actuellement en travaux.

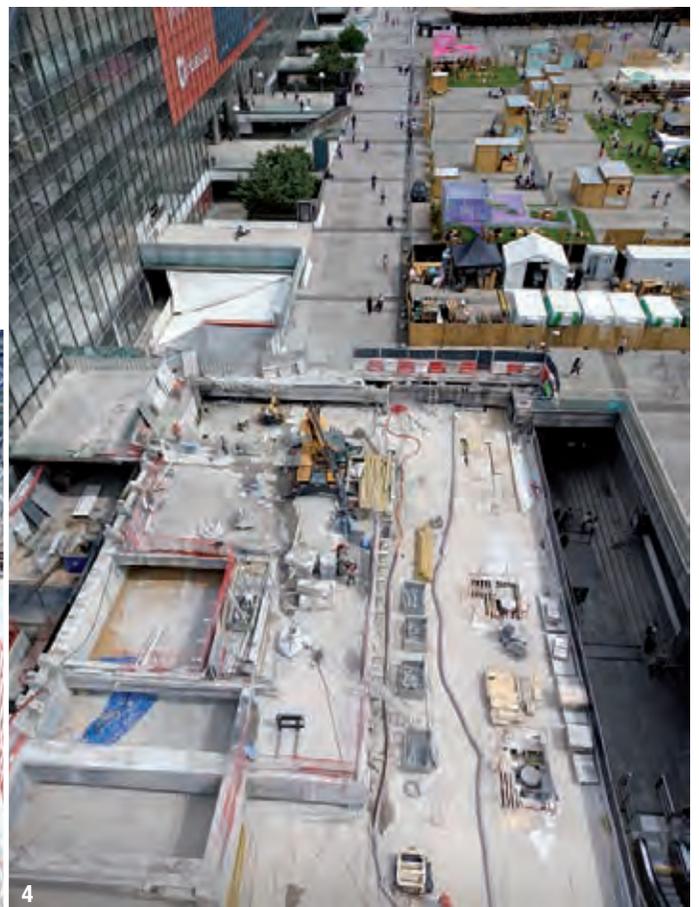
Deux spécificités peuvent être retenues pour ce projet :

- La singularité du lieu : un projet sur plusieurs niveaux, avec des contraintes d'usage fortes (maintien d'une accessibilité aux véhicules de secours, aux taxis, aux visiteurs de l'Espace Grande Arche, aux bus vers la gare routière, etc.) (figure 3),



3

© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



4

© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

COMPOSITION URBAINE ET ARCHITECTURALE PROPOSÉE

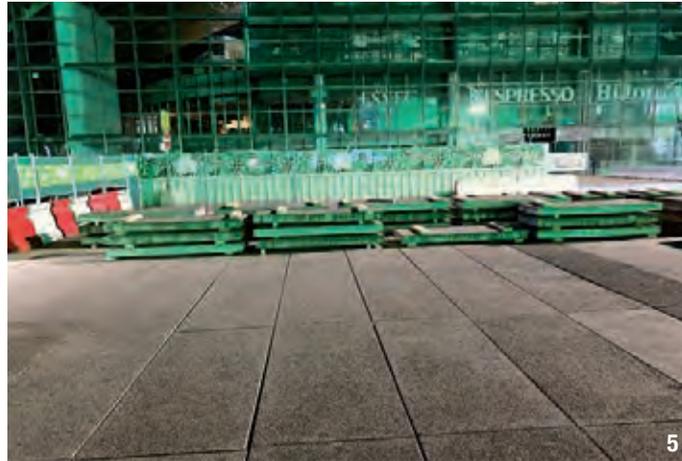
À l'heure actuelle, la place Carpeaux est perçue comme un lieu de passage, place du "Pouce" de César et des taxis. « *La reconfiguration des espaces permet de créer un lieu revivifié, actif et améliore la cohabitation des différents usages de la place* » (Richez_Associés, 2020).

Le nivellement général de la place est repensé en cohérence avec le niveau intérieur du CNIT. Il est lissé pour composer une unité d'espace et un confort d'usage. Dans ce dessin, deux grandes démolitions sont exécutées :

→ La démolition d'une partie de la Salle des Colonnes. Tenant son nom de la multitude de colonnes qui le traversent, ce grand volume s'insère entre les niveaux place Carpeaux et parvis de la Grande Arche. L'espace dégagé est laissé à ciel ouvert et aménagé en espace public (figures 6a et 6b). Au droit de la partie conservée de la Salle des Colonnes, la nouvelle façade d'un commerce est esquissée ;

→ La démolition de la rampe Perronet, inclinée et non accessible aux PMR. Une nouvelle rampe horizontale est construite sur 1 250 m². Elle ouvre des parcours directs et de plain-pied entre l'Esplanade et la place.

Le projet propose des plantations disposées en archipels parsemés sur la place (figure 7). Elles ponctuent les multiples parcours piétons. Le mobilier en inox accompagne sobrement ces îles végétales. L'éclairage est entièrement reconfiguré pour redéfinir l'espace et créer de nouvelles ambiances en fonction des usages.



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

UN CHANTIER AU CŒUR DE LA DÉFENSE, AVEC DES TIERS DIMENSIONNANTS
UNE PÉRIODE DE PRÉPARATION EN AMONT DU MARCHÉ

La restructuration lourde de la place Carpeaux nécessite en amont du marché de travaux principal une période de préparation d'un an, avec plusieurs prestations à réaliser :

→ Une identification et un dévoiement de réseaux privatifs et concessionnaires. Cet ensemble s'est mis en place sur plusieurs années, favorisé par un cheminement aisé dans l'interstice situé entre les dalles sur plots et la dalle structurelle existante ;

→ Le déplacement d'une zone taxi, d'un poste haute tension et d'accélérateurs pour le désenfumage des voies souterraines. Ces travaux nécessitent une gestion d'interfaces multiples, afin d'assurer en toutes circonstances le maintien de l'exploitation, notamment des équipements de sécurité ;

→ La rampe Perronet étant un cheminement utilisé par les services de secours, la création d'un accès alternatif est obligatoire pour le maintien de cette fonctionnalité. Dans ce but, l'espace public sur le parvis de La Défense est réaménagé au niveau de la pointe Sud-Est du CNIT. Afin de réaliser cette phase critique, le choix d'utiliser les bailleurs de Paris La Défense est déterminante pour la réussite de ces prestations complexes, diversifiées, mais restreintes dans leurs échelles.

L'ORGANISATION DES TRAVAUX

La gestion des interfaces est cruciale pour la réussite du projet d'aménagement de la place Carpeaux. En effet, celui-ci s'inscrit dans un environnement aménagé, pratiqué et emblématique, au pied de l'Arche de La Défense. De nombreuses interfaces sont liées aux contraintes du site, aux tiers présents (CNIT, Espace Grande Arche, RATP, œuvre d'art "La Ronde des manches à air" de Buren) et au chantier connexe de la nouvelle gare ÉOLE. Ce dernier se déroule en parallèle et il est complémentaire avec le projet de la place Carpeaux. Cette situation unique oblige à un découpage des travaux en plusieurs périodes, avec des mises à disposition d'emprises à des moments clés (Marché de Noël de Paris

5- Dépose et stockage des dalles sur plots existantes.

6a- Avant, Salle des Colonnes couverte.

6b- Après démolition de la Salle des Colonnes.

5- Removal of slabs and storage on existing sections.

6a- Before, covered "Salle des Colonnes".

6b- After demolition of the "Salle des Colonnes".



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



7 © RICHEZ ASSOCIÉS

La Défense, chantier de la gare ÉOLE). De plus, elle impose une organisation du chantier jour/nuit. Certains travaux ne peuvent s'effectuer que de nuit (intervention sur les voies souterraines, approvisionnement/évacuation des matériaux, utilisation d'espaces partagés avec le chantier de la gare ÉOLE). Les travaux se déroulent en trois grandes phases et ils se découpent sur deux zones (figure 8) :

→ Sur la zone "Salle des Colonnes" : travaux préparatoires, en particulier dépose et stockage d'une partie de l'œuvre d'art de Buren "La Ronde des manches à air", démolition d'une partie de la Salle des Colonnes, puis aménagement de l'espace public dégagé et réalisation d'une nouvelle façade de la Salle des Colonnes ;

→ Sur la zone "rampe Perronet" : travaux préparatoires avec montage du platelage provisoire, démolition de l'ancienne dalle, puis reconstruction de la nouvelle dalle et réalisation des finitions.

Le chantier se situe au-dessus de trois secteurs : les voies souterraines empruntées par les bus de la RATP, les quais de livraison et des cours du CNIT et les voies ferrées exploitées par la RATP et la SNCF.

L'organisation générale des travaux est axée sur trois principes majeurs : réactivité, agilité et logistique :

→ Réactivité face aux aléas rencontrés de travail dans un site existant avec de nombreux interfaces et interlocuteurs à considérer ;

→ Agilité dans l'exécution des travaux, la reprise des études et les adaptations à apporter pour ne pas arrêter la production ;

7- Le projet d'aménagement vu dans son ensemble depuis la place Carpeaux.

8- Les deux zones de travaux : "Salle des Colonnes" et "Rampe Perronet".

7- Development project: overall view from Carpeaux Square.

8- The two work areas: "Salle des Colonnes" and "Rampe Perronet".

→ Logistique pour les approvisionnements, les évacuations et les stockages, en coordination avec les tiers, la capacité de stockage, les moyens de levage, les gabarits routiers à respecter et la circulation des bus RATP.

ZOOM SUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA ZONE "RAMPE PERRONET" : UN OUVRAGE QUI SE RÉINVENTE

Le tiers existant le plus dimensionnant est la RATP qui exige le maintien d'une circulation bus permanente sur les voies souterraines. Cette contrainte conduit à la création d'un vaste ouvrage provisoire sous la dalle à démolir et à reconstruire.

Principal travail préparatoire, le montage de cette structure est effectué

en grande partie de nuit, entre 22h et 5h sous coupure de circulation des bus.

Le platelage provisoire est en bois, composé de 1500 m² de panneaux de contreplaqué reposant sur des poutres en bois. Il est dimensionné pour résister à des charges de 3 t/m². Ces charges sont reprises au moyen d'une charpente métallique provisoire. Celle-ci repose à la fois sur des corbeaux métalliques fixés par des chevilles aux poteaux existants en béton armé et sur des appuis intermédiaires en poteaux métalliques appuyés sur des semelles (figure 9).

Les points importants à respecter pour ce platelage provisoire étaient :

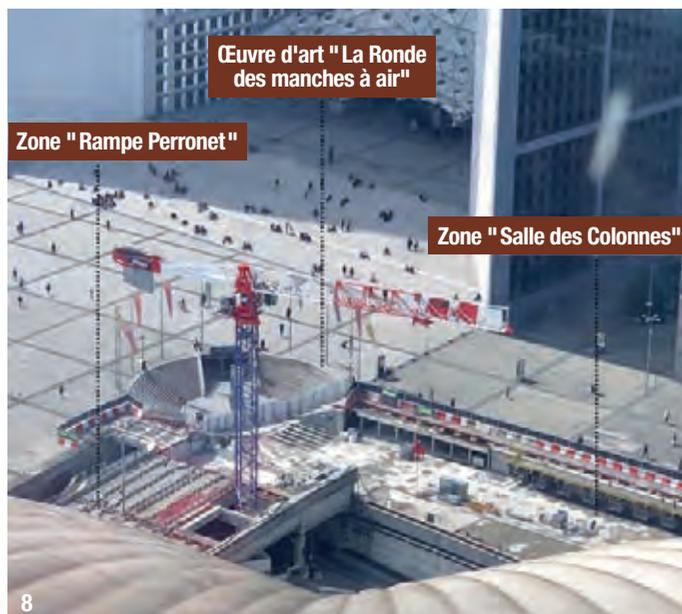
→ Un calage altimétrique fin, afin de garantir le maintien du gabarit bus en dessous ;

→ Un dimensionnement de la structure afin qu'elle puisse reprendre les charges des éléments de la dalle à démolir, en attendant leur évacuation ;

→ Une utilisation en plateforme de travail et de stockage pour la réalisation de la nouvelle dalle.

En parallèle de l'installation de ce platelage provisoire, un certain nombre de renforcements en sous-œuvre définitifs ou provisoires sont réalisés. Les deux plus complexes sont :

→ Le renforcement définitif pour le maintien de la stabilité d'une passerelle cadre en partie démolie (démolition de la dalle haute et du voile latéral Nord). Les renforts métalliques sont installés pour supporter la dalle basse du côté où elle n'est plus appuyée et empêcher le déversement du voile latéral Sud plus maintenu en tête ;



8 © CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

→ L'étalement provisoire d'une passerelle d'accès du CNIT. Cette passerelle constituée d'une dalle épaisse en béton armé est liaisonnée d'un côté à la rampe Perronet. Pour permettre la démolition de cette dernière, la passerelle est étayée, puis désolidarisée de la structure à démolir. L'étalement est mis en place sur plusieurs niveaux des sous-sols du CNIT afin de retrouver la pleine terre.

Une fois les travaux préparatoires réalisés, la démolition de l'ancienne dalle peut commencer. Le choix se porte sur l'utilisation du sciage à câble. Cette méthode de démolition permet d'avoir plusieurs ateliers de découpe travaillant en simultané, selon un phasage précis.

Le but est de garantir la stabilité de l'ouvrage après chaque découpe. Un autre avantage est qu'elle n'émet pas de poussière et les nuisances sonores sont fortement réduites. Ainsi, les exigences de chantier à faible nuisance demandées par Paris La Défense sont respectées.

La structure à déconstruire est une dalle pleine en béton armé d'environ 1 080 m². Elle est composée d'un réseau de poutres principales longitudinales de 1,8 m de haut, dont la portée varie entre 5 m et 15 m, et de poutres transversales de 0,8 m de haut, espacées de 2 m à 4 m selon les zones. L'espace entre les poutres secondaires est constitué d'une dalle de 0,2 m d'épaisseur. Cette maille repose sur

des poteaux isolés au moyen d'appareils d'appui (figure 10).

Les parties d'ouvrage démolies sont stockées sur le platelage provisoire avant leur évacuation uniquement de nuit (entre 2 h et 5 h). L'avancement des démolitions est lié à la cadence des évacuations pour respecter la capacité portante du platelage (5 à 6 rotations de camions par nuit).

Pour la construction de la nouvelle dalle, les appuis existants (poteaux en béton armé) sont réutilisés. La nouvelle rampe étant abaissée par rapport à celle d'origine, il est nécessaire d'écrêter ces appuis et de réaliser de nouveaux bossages. La dalle est constituée d'une ossature métallique (figure 11) en appui sur les poteaux (appui en néo-

prène fretté) et d'un plancher de type coffrage perdu (sans étai en tôle nervurée). La dalle en béton armé est coulée au-dessus de ce complexe (figure 12). Ce choix de construction est mis en œuvre pour sa rapidité d'exécution. Néanmoins, la réalisation de cette nouvelle dalle nécessite de nombreuses heures de synthèse pour tenir compte des ouvrages existants, des données d'entrée des tiers à prendre en compte. En particulier, celles de la nouvelle gare ÉOLE : l'aménagement d'une vaste trémie dans la dalle pour la sortie d'escaliers mécaniques et fixes, des réservations pour des colonnes sèches, le réaménagement et le renforcement d'une borne incendie, des charges supplémentaires suspendues à



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION



© CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

9- Le platelage provisoire en bois.

10- La démolition de l'ancienne dalle.

11- La mise en place de l'ossature métallique de la nouvelle rampe Perronet.

12- Le coulage de la dalle béton de la nouvelle rampe Perronet.

9- Temporary wooden decking.

10- Demolition of the existing slab.

11- Installing the steel frame of the new Perronet ramp.

12- Pouring the concrete slab of the new Perronet ramp.

l'ossature métallique, avec des organes de fixation. Également, la stabilité au feu de la nouvelle structure, les équipements de protection collective et le revêtement final au-dessus de la dalle (dalles sur plots) sont largement étudiés en exécution.

La structure métallique de la nouvelle dalle est fabriquée en atelier. Elle est livrée sur le chantier de nuit à l'avancement. Le montage est effectué de jour. Elle est constituée de poutres métalliques en profilés de type HEB et en PRS, jusqu'à 800 mm de hauteur. Le poids total de cette ossature est d'environ 200 t. Elle reçoit un traitement antirouille à base de peinture et une protection au feu REI-120 par flocage. L'ordonnement des tâches est essentiel pour respecter les délais de mise à disposition de la nouvelle dalle. La surface totale de l'ouvrage est de 1250 m². Il est divisé en 3 parties : deux de 500 m² et une dernière de 250 m². Chaque partie constitue un mini-projet dans lequel chaque intervenant a une date de démarrage et une date de fin, avec une gestion anticipée de ses ressources. Pour maîtriser le planning, prévenir les aléas et pouvoir être réactif, les entreprises travaux s'appuient sur une planification de type Last Planner System (LPS).

Les travaux de construction de la dalle se déroulent de jour entre 8h et 18h et de nuit entre 22h et 5h. L'objectif est que chacun des intervenants puisse évoluer dans de bonnes conditions et bénéficie de la grue à tour pour ses travaux.

ZOOM SUR L'ACCROCHE À L'EXISTANT

L'une des difficultés techniques et curiosités du projet d'aménagement

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉPOSES ANCIENNES DALLES SUR PLOT : 2240 m²
STRUCTURE MÉTALLIQUE POUR LE PLATELAGE PROVISOIRE : 170 t
PLATELAGE BOIS : 2650 m² de panneaux OSB
DÉMOLITION D'OUVRAGES : 3200 m³
STRUCTURE MÉTALLIQUE DÉFINITIVE : 210 t
ÉTANCHÉITÉ : 3150 m²
VRD (réseaux secs et assainissement) : 2600 m
REVÊTEMENTS COULÉS DE FINITION : 1110 m³
REVÊTEMENTS DALLES PRÉFABRIQUÉES : 1314 m²
PAREMENT EN PIERRES : 400 m
PAREMENT MÉTALLIQUE : 117 m
GARDE-CORPS : 271 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Paris La Défense (PLD)
MAÎTRISE D'ŒUVRE 1 DE CONCEPTION URBAINE : Richez Associés, Coloco et Scène Publique
MAÎTRISE D'ŒUVRE 2 DE CONCEPTION TECHNIQUE : Ingérop

GROUPEMENT D'ENTREPRISES

LOT 1 (GC et VRD) ET LOT 2 (Aménagement et architecture) :

- Chantiers Modernes Construction (mandataire)
- Principaux sous-traitants / fournisseurs :
 - Bureaux d'études : Isc Structures
 - Fourniture et mise en œuvre structures métalliques provisoires et définitives : Framatec
 - Démolitions : Decoup Service Plus
 - Curage et déposes diverses : Dn Bat
 - Étanchéité : Etandex
 - Protection et stabilité au feu : General Technical Application
 - Aménagements et revêtements : Satp
 - Dalles sur plot : Satp / Celtys
 - Pierre granit : Sfm Cochois
 - Serrurerie : Vulcain
 - Mobilier urbain, habillage métallique : Vulcain
 - Peinture : Batipeint2000
 - Bâche PVC : Coptos
 - Mats pour œuvre d'art de Buren : Etudequipe / Art Project

LOT 3 (Éclairage) : Eiffage Energie Systèmes

de la place Carpeaux est d'avoir des accroches variées à l'existant. On retrouve des sujets structurels, de revêtement et de calage fin du nivellement. En limite Ouest, l'un des sujets complexes est le rétablissement de l'œuvre d'art "La Ronde des manches à air" de Buren. Cette œuvre est constituée d'un cercle de 30,56 m dessiné par 16 mâts de 10 m de hauteur en acier galvanisé, implantés à intervalles réguliers. Au sommet des mâts sont fixées des girouettes en inox et des manches à air multicolores. Dans le cadre des travaux, six mâts sont impactés. Ils sont déposés, puis réimplantés à un niveau plus bas, en les rehaussant pour conserver l'altitude des manches à air. Leur prise au vent non négligeable et la faible épaisseur de la dalle conservée en dessous (13 cm) obligent à la réalisation d'un massif auto-stable pour chaque mât, qui reprend le torseur par son propre poids et qui est incorporé au revêtement.

Toute la limite Nord est pensée comme un aménagement provisoire, en préfiguration du réaménagement du reste de la place Carpeaux. Des mesures conservatoires sont prises, spécialement en termes de réseaux et de maintien des fonctionnalités (cheminement piétons, services de secours, événementiel).

Enfin, les travaux de la place Carpeaux se lient en sous-face avec le projet d'aménagement des voies souterraines (études de MOE en cours au niveau de la voie Carpeaux).

Ambition forte de Paris La Défense, ce projet vise à ouvrir ces voies à la circulation des modes actifs, avec des cheminements sécurisés, confortables et connectés à l'existant (gares, espaces publics de La Défense). □

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF CARPEAUX SQUARE, IN THE HEART OF LA DEFENSE BUSINESS DISTRICT

ANGÉLIQUE LACROIX, INGEROP - ELIAS HABCHI, INGEROP - CHRISTIAN MATAIGNE, INGEROP - DIÉGO JUAREZ, PARIS LA DÉFENSE - HAMA-AMADOU MAIGA, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Carpeaux Square, at the entrance of the La Défense business district in western Paris, is undergoing an urban transformation. *This public space rests on a concrete slab, covering railway lines and underground passageways. The project aims to allow universal access to the square on the same level from the La Défense esplanade, and to receive the entrances and exits of the new La-Défense-Grande-Arche ÉOLE automatic metro station. For this purpose, part of the slab is demolished to be reconstructed on a lower level. The singularity of this multi-level project lies in significant usage constraints (maintaining bus traffic) and the presence of third parties (CNIT building, concurrent work with the ÉOLE project).* □

REHABILITACIÓN DE LA PLAZA CARPEAUX, EN EL CENTRO DEL DISTRITO DE NEGOCIOS DE LA DEFENSE (92)

ANGÉLIQUE LACROIX, INGEROP - ELIAS HABCHI, INGEROP - CHRISTIAN MATAIGNE, INGEROP - DIÉGO JUAREZ, PARIS LA DÉFENSE - HAMA-AMADOU MAIGA, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Puerta de entrada al distrito de negocios de La Défense (92), la plaza Carpeaux está siendo objeto de una transformación urbana. *Este espacio público reposa sobre una losa de hormigón que cubre vías férreas y subterráneas. El proyecto tiene como objetivo ofrecer un acceso nivelado a la plaza para todos desde la explanada de La Défense y acoger las emergencias de la nueva estación de la línea de metro automática ÉOLE La-Défense-Grande-Arche. Para ello, se demolerá una parte de la losa para reconstruirla rebajando su nivel. La singularidad de esta obra en varios niveles reside en las fuertes limitaciones de uso (se mantiene la circulación de los autobuses) y en la presencia de terceros actores (CNIT, coactividad con la obra de la línea ÉOLE).* □



1- Micropieux sur files intermédiaires munis de tubage pour création de vide sur 1,50 m de hauteur.

1- Micropiles on intermediate rows fitted with tubing for the creation of vacuum over a height of 1.50 m.

© SYSTRA SOA

PROLONGEMENT À L'OUEST DU TRAMWAY T3 DE PORTE D'ASNIÈRES À PORTE DAUPHINE - OUVRAGE OA20 DE PONTAGE DU RER C À PORTE DAUPHINE

AUTEURS : DJAFFAR MIMECHE, CHEF DE PROJETS OUVRAGES D'ART, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART - LOÏC MICHEL, CHEF DE PROJETS OUVRAGES D'ART, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART

LA RÉALISATION DU PROLONGEMENT OUEST DE LA LIGNE T3, DE LA PORTE D'ASNIÈRES À LA PORTE DAUPHINE, COMPORTE LA RÉALISATION D'UN OUVRAGE DE PONTAGE (OA20) AU-DESSUS DES OUVRAGES DE LA LIGNE RER C, SITUÉS DANS LE SECTEUR PORTE DE DAUPHINE. L'OUVRAGE OA20 EST DIMENSIONNÉ POUR SUPPORTER DIFFÉRENTS TYPES DE CHARGES D'EXPLOITATION : LA PLATEFORME DES DEUX VOIES DU TRAMWAY, LES CHARGES PIÉTONNES, LES CHARGES ROUTIÈRES ET LE CONVOI MILITAIRE MC120. LA FUTURE PLATEFORME DU TRAMWAY DANS LE SECTEUR DE DAUPHINE S'INSÈRE AU-DESSUS DES OUVRAGES SOUTERRAINS EXISTANTS DE LA LIGNE RER C.

INTRODUCTION

DESCRIPTION DES OUVRAGES EXISTANTS ET CONTRAINTES ASSOCIÉES

La branche du RER C qui sera franchie par le tramway T30 portée par l'ouvrage neuf est localisée au niveau de

2- Secteur Dauphine - repérage des ouvrages existants du RER C.

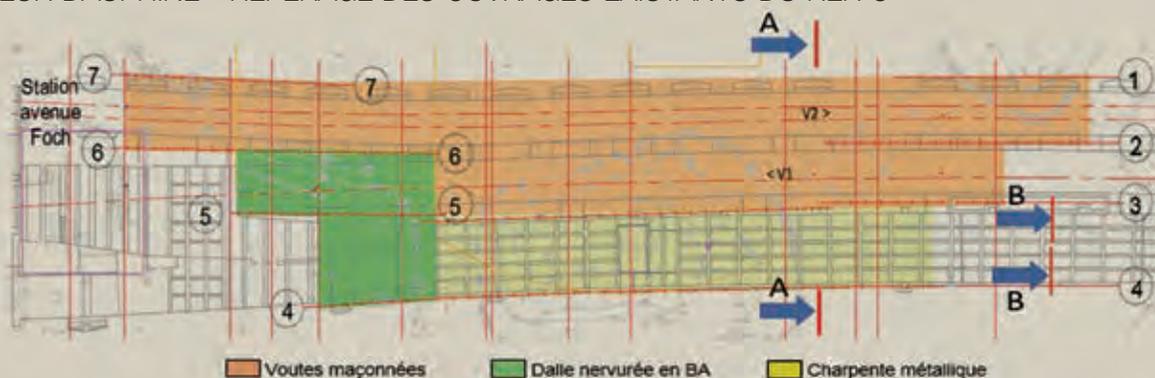
2- Dauphine sector - identification of existing RER C structures.

la ligne n°962 000 du réseau ferré national, et concerne le tronçon situé entre les PK5+300 et 5+500.

Suite aux différentes campagnes d'investigations menés dans ce secteur, il a été identifié trois types d'ouvrages existants décrits ci-dessous :

- Des voûtes maçonnées (figure 2 - zone orange) ;
- Une dalle nervurée en béton armé (figure 2 - zone verte) ;
- Une ossature métallique avec voutains maçonnés (figure 2 - zone jaune).

SECTEUR DAUPHINE - REPÉRAGE DES OUVRAGES EXISTANTS DU RER C



COUPE A-A

COUPE B-B

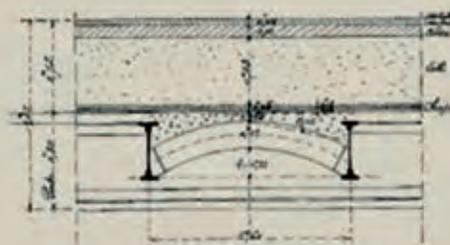
Extrait du " Le Génie Civil ".
Coupe type de la tranchée couverte.



Extrait du " Élévations des têtes et coupes en travers - Projet rectificatif - 1898 ".
Coupe type de la partie voûtes.



Tablier poutres métalliques + voutains de briques



3- Coupe transversale au droit des tunnels SNCF 1, 2 et 3 - Extrait archive SNCF.

4- Coupe sur structure de la tranchée couverte tunnel 3 côté gare Foch.

5- Tracé de la ligne du tramway T3 en interface avec les ouvrages RER C.

3- Cross section at the level of railway tunnels 1, 2 and 3 - Excerpt from SNCF archives.

4- Cross section on structure of cut-and-cover tunnel 3 at Foch station end.

5- Alignment of tramway line T3 interfacing with RER C structures.

La contrainte majeure du projet est constituée par l'existence de 3 tranchées couvertes SNCF (figure 3) au droit de l'emprise projet de la dalle OA20 projetée (figure 6).

Deux tranchées couvertes composées principalement de piédroits et voûtes en maçonnerie (ouvrages nommés tunnel 1 et tunnel 2 par la SNCF) abritent la voie 1 et la voie 2 du RER C au droit de la porte Dauphine et de son anneau routier.

Un troisième tunnel, désaffecté, adjacent au tunnel 1, est localisé côté boulevard Flandrin. Il est composé d'un tablier en voûtains de briques et d'entretoises et poutres maîtresses métalliques.

Les poutres principales sont espacées tous les 3 m et reposent sur des piédroits en maçonnerie.

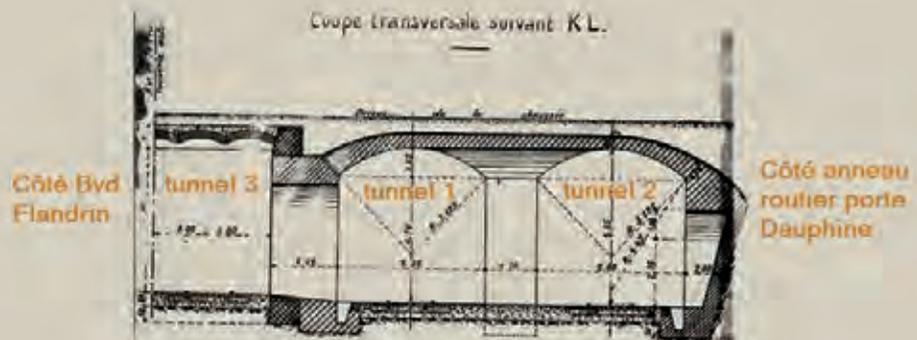
Les piédroits en maçonnerie constituant les lignes d'appuis intermédiaires entre les tunnels 1 et 2 présentent des largeurs variables (entre 1,34 m côté gare Foch au droit de la file 3 et 2,25 m au maximum côté avenue Foch).

Ces piédroits présentent également des voûtes longitudinales.

Les piédroits extérieurs aux tunnels 1 et 3 intègrent des niches permettant au personnel SNCF de maintenance de s'abriter en cas de passage d'un train.

COUPE TRANSVERSALE AU DROIT DES TUNNELS SNCF 1, 2 ET 3

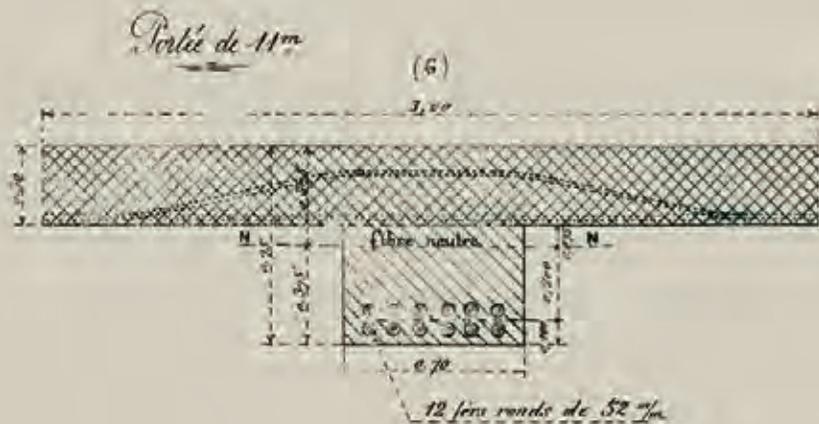
Extrait archive SNCF



3

© SYSTRA SCA

COUPE SUR STRUCTURE DE LA TRANCHÉE COUVERTE TUNNEL 3 CÔTÉ GARE FOCH

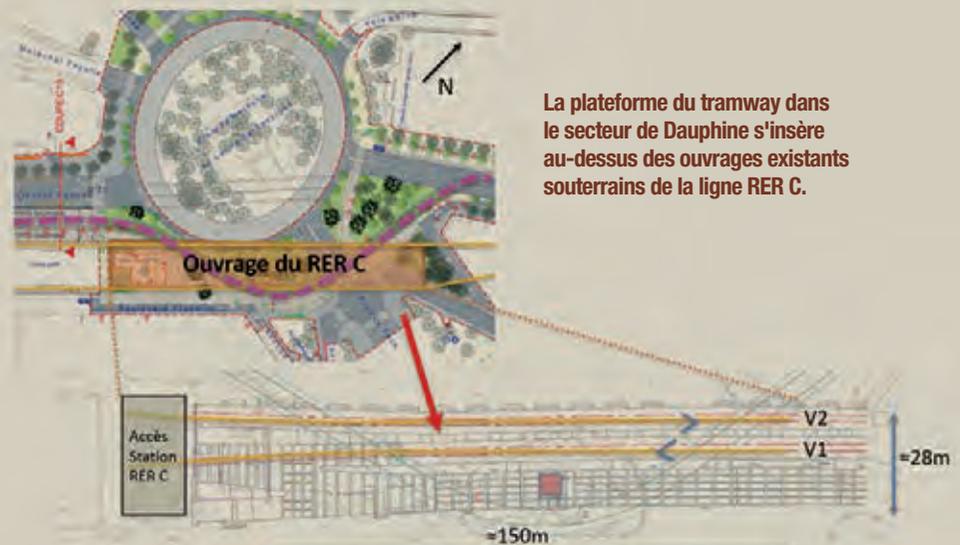


4

© SYSTRA SCA

TRACÉ DE LA LIGNE DU TRAMWAY T3 EN INTERFACE AVEC LES OUVRAGES RER C

Zoom sur l'interface RER C

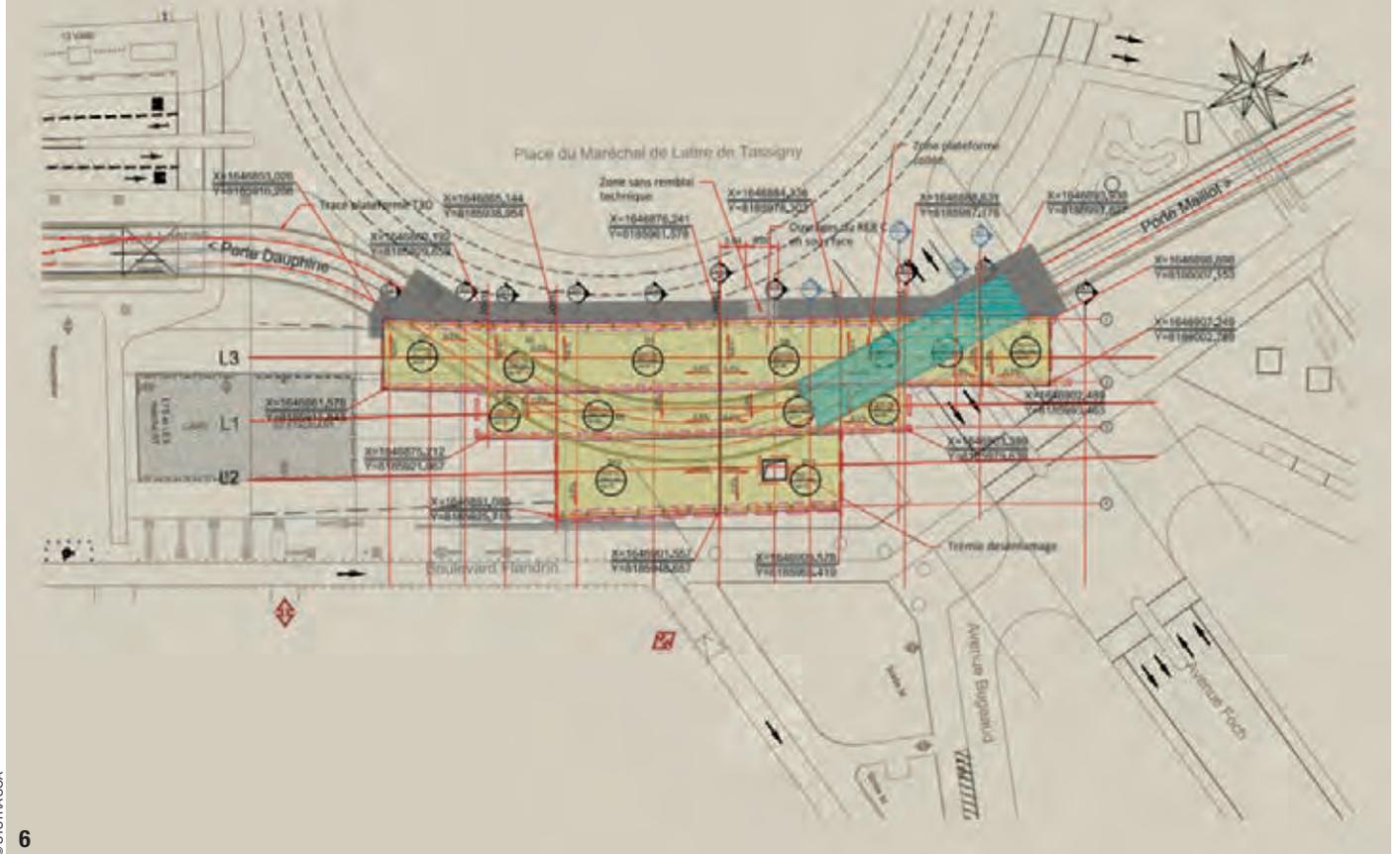


La plateforme du tramway dans le secteur de Dauphine s'insère au-dessus des ouvrages existants souterrains de la ligne RER C.

5

© SYSTRA SCA

VUE EN PLAN DE L'OUVRAGE OA20 DE PONTAGE DU RER C AVEC VISUALISATION (zone hachurée en cyan) DE LA ZONE D'IMPLANTATION D'UNE VOIE COLLÉE (épaisseur de plateforme tramway réduite à 23 cm)



© SYSTRA SOA
6

En bout d'ouvrage OA20, côté gare Foch du RER C, les tranchées couvertes des tunnels 1 et 3 sont composées de tabliers en béton armé de type dalle nervurée (figure 4).

LA SOLUTION TECHNIQUE RETENUE

Le diagnostic des ouvrages existants du RER C et les différentes analyses techniques menées par le MOE Systra

en phase de conception ont permis de conclure que les ouvrages existants SNCF n'étaient pas aptes à supporter les chargements futurs projetés pour les aménagements du tramway T3

Ouest avec des coefficients de sécurité suffisants. Afin d'éviter de transmettre des charges incompatibles avec les ouvrages existants, le MOE Systra a donc proposé la réalisation d'une dalle de pontage d'environ 2300 m² composée de trois tabliers (nommés A, B et C).

Le défi majeur était de pouvoir insérer des tabliers dans un fuseau de passage de faible hauteur compte tenu des altimétries des extrados des voûtes des tunnels du RER C, compte tenu du profil en long des voies du tramway projeté et compte tenu du niveau fini des voiries de l'avenue Foch. En effet, l'ouvrage OA20 fait fonction de passage à niveau pour les véhicules routiers qui souhaitent traverser les voies du futur tramway. Cette fonction a donc contraint l'établissement du projet de profil en long des voies du tramway compte tenu de l'obligation de rétablir approximativement les niveaux finis des voies routières existantes avant travaux. Au profil le plus contraint (partie du tablier A implanté au droit de l'avenue Foch), l'épaisseur disponible pour insérer le tablier projeté de portée 9,60 m ainsi que la voie tramway, ▷

6- Vue en plan de l'ouvrage OA20 de pontage du RER C avec visualisation (zone hachurée en cyan) de la zone d'implantation d'une voie collée (épaisseur de plateforme tramway réduite à 23 cm).
7- Poutres PRAD de l'ouvrage OA20 de pontage du RER C.

6- Plan view of RER C bridging structure OA20 with view (hatched area in cyan) of the location of a bonded track (tramway subgrade thickness reduced to 23 cm).
7- Bonded pre-tensioned beams of RER C bridging structure OA20.



7
© SYSTRA SOA

après dégagement des remblais au droit de la voûte du tunnel 2 et relevé des altimétries réelles d'extrados du tunnel, était de l'ordre de 65 cm. En considérant une voie classique de tramway d'épaisseur 36 cm, il ne restait plus que 29 cm pour pouvoir insérer la structure porteuse de la dalle de pontage, une étanchéité et un résilient. Ainsi, localement, au droit des profils les plus contraints, le MOE Systra a dû proposer des solutions permettant de ne pas impacter le profil en long du tramway.

Pour le profil le plus contraint, le MOE Systra a proposé la mise en œuvre d'une voie collée, localement, d'épaisseur 23 cm (soit - 13 cm par rapport à l'épaisseur d'une voie classique) afin de pouvoir disposer de 42 cm pour insérer une structure porteuse de tablier, son étanchéité et un matériau résilient.

À cette contrainte s'ajoute la contrainte imposée par la mission de sécurité

ferroviaire SNCF consistant à ne pas solliciter les ouvrages SNCF existants. Il était donc impératif de trouver et proposer une structure élancée permettant de franchir les ouvrages existants du RER C tout en évitant de les solliciter.

La solution proposée globalement pour l'ensemble du pontage à réaliser est un tablier composé avec des poutres préfabriquées en forme de T inversé en béton précontraint par fils adhérents (précontrainte par pré-tension), sur lesquelles un hourdis complémentaire est coulé en place.

Au point le plus défavorable (dalle D6 du tablier A), l'élancement du tablier est de l'ordre de $L/24$ (avec $L =$ portée du tablier = 9,60 m).

Cet ouvrage en cours de réalisation (date de livraison prévue au premier trimestre 2023) est construit dans un environnement urbain fortement contraint de par la présence de nombreuses voies routières dont l'avenue

Foch et l'anneau routier de la porte Dauphine au droit de l'emprise des travaux et de par la présence des tranchées couvertes du RER C.

De ce fait, une vigilance particulière en phase travaux est nécessaire pour assurer la sécurité des usagers du RER C et du personnel SNCF. Également, les travaux et les méthodes employées doivent permettre d'éviter toute détérioration des ouvrages existants et d'assurer la sécurité de l'exploitation ferroviaire.

L'ouvrage projeté est composé de 3 tabliers (figure 6) dont deux continus et un tablier indépendant situé du côté de la place du Maréchal de Lattre de Tassigny.

Le chantier se situe dans le 16^e arrondissement de Paris au droit de l'avenue Foch.

Les trois tabliers de l'ouvrage de pontage OA20 du RER C sont confectionnés avec des poutres en béton précontraint par fils adhérents en forme de T inversé et un hourdis coulé en place.

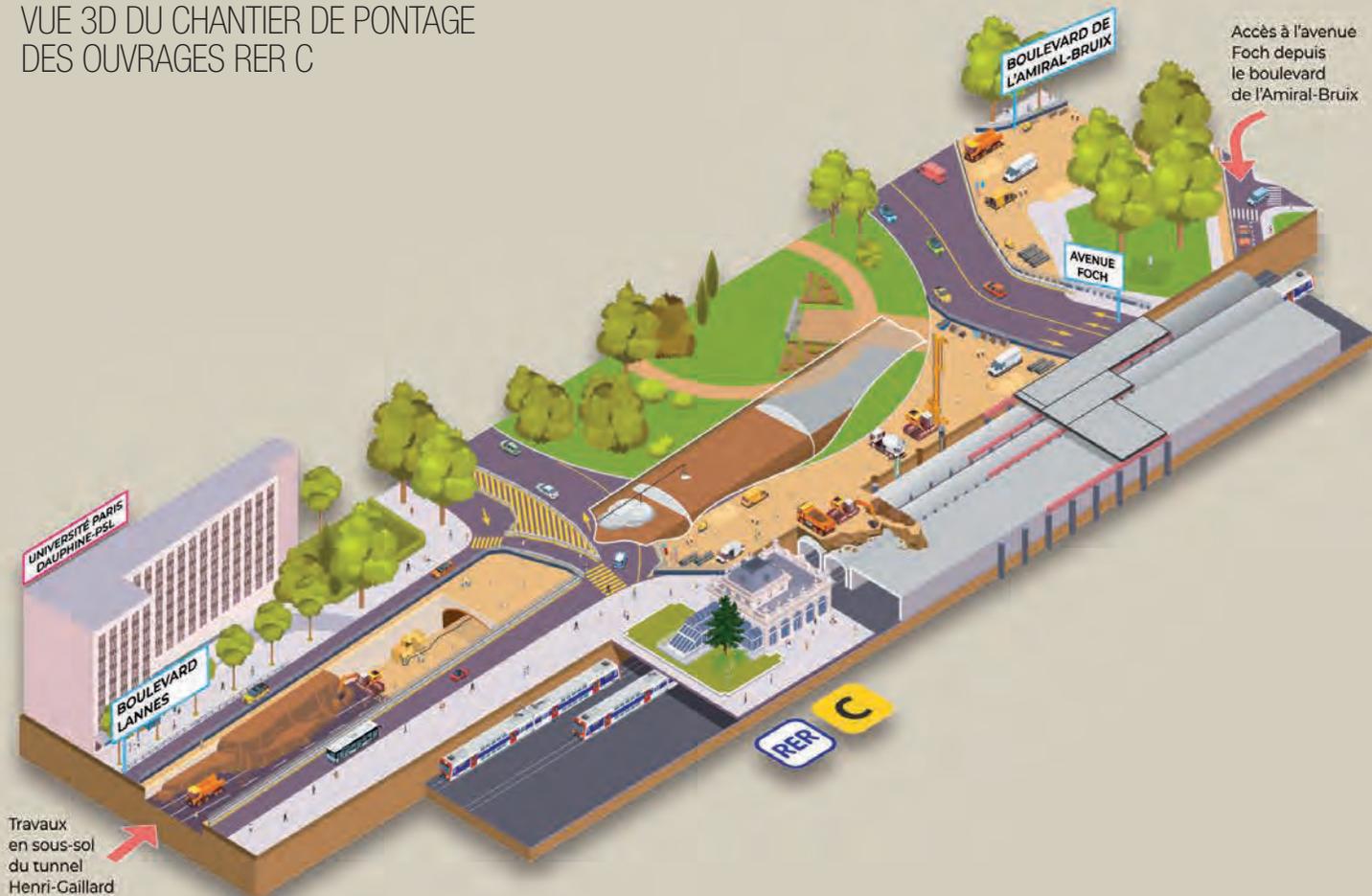
Ces tabliers reposent sur quatre lignes d'appuis (4 files : file 1, 2, 3 et 4) composées de longrines en béton armé fondées sur des pieux (cas des files 1 et 4 en rive d'ouvrage) et sur des micropieux (cas des files intermédiaires 2 et 3).

Les longrines sur pieux en rive d'ouvrage OA20 sont implantées hors emprise de l'ouvrage du RER C, les micropieux sur files intermédiaires

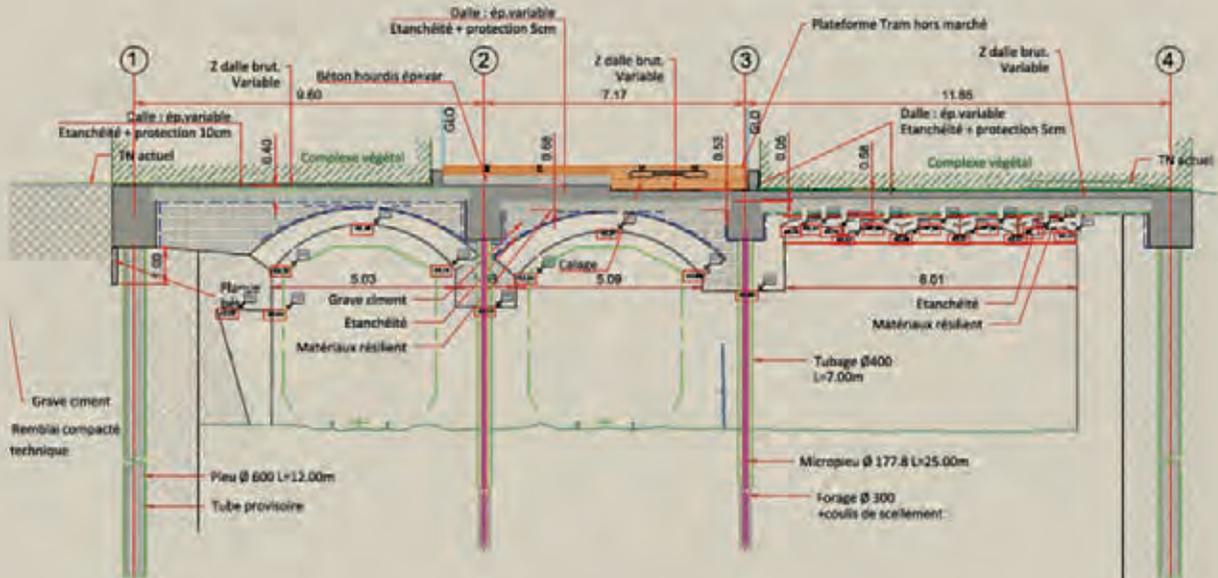
8- Porte Dauphine - vue 3D du chantier de pontage des ouvrages RER C.

8- Porte Dauphine - 3D view of the RER C structure bridging worksite.

PORTE DAUPHINE - VUE 3D DU CHANTIER DE PONTAGE DES OUVRAGES RER C



SOLUTION TECHNIQUE - COUPE TRANSVERSALE PROJETÉE AU DROIT DES TUNNELS 1, 2 ET 3



© SYSTRA SOA
9

traversent les piédroits en maçonnerie de l'ouvrage RER C sur une hauteur d'environ 7 m.

Les longrines des files 2 et 3 construites au dessus des piédroits existants sont dissociées des piédroits en maçonnerie existants par l'intermédiaire d'une couche de résilient de 5 cm d'épaisseur. Les déformations de longrines sous charges d'exploitations n'impactent pas les piédroits existants en termes

de descente de charges de ce fait. Des micropieux de diamètre 230 mm traversent les piédroits existants et sont munis en tête d'un tube coiffant de 300 mm créant ainsi un vide de 25 mm sur une hauteur de 1,50 m (figure 1), afin d'éviter de transmettre des sollicitations aux ouvrages existants. Chaque tablier est composé de plusieurs dalles séparées par un joint de dilatation.

Les joints sont munis de goujons anti-pianotage permettant d'assurer une continuité des efforts de cisaillement entre dalle et d'éviter ainsi tout pianotage entre deux dalles adjacentes.

Le tablier A isostatique coté anneau Dauphine construit au-dessus du tunnel 2 du RER C a une longueur de 104 m et de 9,60 m de portée, est décomposé en 7 dalles.

Le tablier B en continuité avec le tablier C construit dessus tunnel 1 du RER C a une longueur de 64 m et une portée hyperstatique de 7,29 m. Il est muni de 3 joints de dilatation décomposé en 4 dalles.

Le tablier C construit dessus tunnel 3 désaffecté a une longueur de 44 m et une portée hyperstatique de 12,3 m, il est composé de deux dalles.

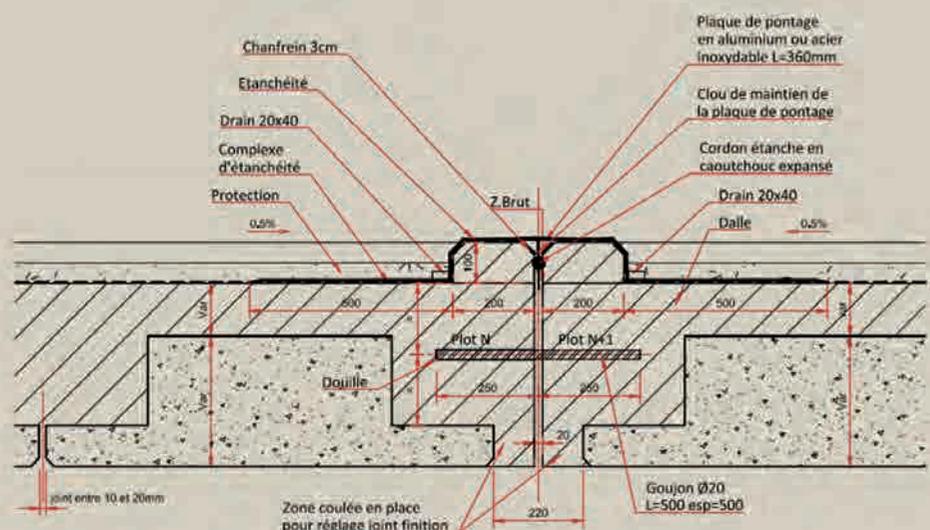
9- Solution technique - coupe transversale projetée au droit des tunnels 1, 2 et 3.

10- Solution technique - coupe longitudinale sur tablier au droit du joint de dilatation.

9- Technical solution - planned cross section at the level of tunnels 1, 2 and 3.

10- Technical solution - longitudinal section on deck at the expansion joint level.

SOLUTION TECHNIQUE - COUPE LONGITUDINALE SUR TABLIER AU DROIT DU JOINT DE DILATATION



© SYSTRA SOA
10

11- Réalisation des dalles D6 et D7.

12- Basculement de l'avenue Foch sur les dalles D6 et D7.

13- Poursuite et finalisation du chantier du lot Ouvrage d'Art.

11- Execution of slabs D6 and D7.

12- Avenue Foch carriageway crossover on slabs D6 and D7.

13- Continuation and finalisation of the Engineering Structure work section project.

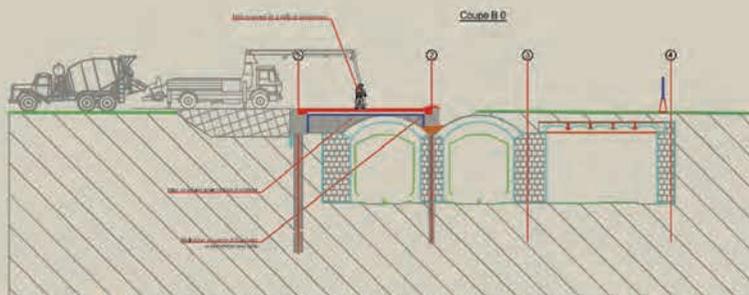
PHASAGE DES TRAVAUX DE RÉALISATION DES DALLES DE L'OA20

Le phasage des travaux résulte d'une analyse globale des contraintes. Il a été établi après concertation avec le service des voiries de la Ville de Paris afin que chaque phase de voiries soit validée en amont des travaux. Ainsi, la réalisation des travaux de l'OA20 s'est déroulée en 2 phases principales de voiries (figures 11 à 13) :

→ Première phase avec maintien de la circulation autour de l'anneau Dauphine mais avec réduction des largeurs de voie au droit de l'aire de chantier de l'OA20. Cette réduction de largeur de voie a permis de dégager une place suffisante pour forer les pieux des dalles D6 et D7 sur la file 1 adjacente aux voies circulées sur l'anneau ;

→ Deuxième phase avec basculement des voies routières de l'avenue Foch sur les dalles D6 et D7 du tablier A et mise en circulation en double sens sur 3/4 de l'anneau Dauphine. Cette phase était nécessaire pour pouvoir dégager une place suffisante pour forer les pieux des dalles centrales du tablier A, là où la distance entre le tablier A et l'anneau Dauphine est la plus faible.

RÉALISATION DES DALLES D6 ET D7



11

© SYSTRA SCA

BASCULEMENT DE L'AVENUE FOCH SUR LES DALLES D6 ET D7



12

© SYSTRA SCA

POURSUITE ET FINALISATION DU CHANTIER DU LOT OUVRAGE D'ART



13

© SYSTRA SCA

TRAVAUX IDENTIFIÉS ET RÉALISÉS AVEC RISQUES SUR LE RÉSEAU FERROVIAIRE

TERRASEMENT

Les terrassements sont réalisés depuis la surface avec dégarnissage du matériau de compression au-dessus des voûtes.

Après retrait de la première couche de structures de chaussées au-dessus des ouvrages du RER C, composées de pavés, une couche dure de gros béton d'épaisseur moyenne 25 cm a été découverte.

Pour assurer la sécurité des voyageurs et la pérenité des ouvrages existants, une procédure de démolition a été proposée, soumise à la validation de la mission de sécurité ferroviaire.

Elles consistent à réaliser un sciage de ce gros béton en journée tout en respectant des mailles de dimensions maximales de 1 m x 1 m. Ces blocs sont ensuite retirés en intervenant sous interruption temporaires des circulations ferroviaires.

Les risques identifiés pendant les opérations de terrassement sont :

- Mise en charge des ouvrages existants ;
- Création de désordres dans les voûtes par les engins de terrassement ;
- Chargement avec engins de terrassement fortement dissymétrique ;
- Chutes de matériaux sur les voies lors du grattage dû au choc du godet ;
- Délestage des voûtes, les rendant plus sensibles aux charges dissymétriques.

Pour réduire les risques décrits ci-dessus, des mesures palliatives ont été fixées, à savoir :

- Mise en place de système de contrôle des vibrations ;
- Utilisation privilégiée d'appareils légers avec, éventuellement, un terrassement manuel ou un grattage à la pelle positionnée hors de l'emprise de la voûte ;
- Interdiction de stationnement de matériel lourd sur les ouvrages existants ;
- Réalisation d'études préalables pour analyser le comportement des ouvrages déchargés et définition d'un phasage de positionnement de petits engins pour réaliser les terrassements de façon à atténuer le risque de délestage ;
- Compatibilité des engins avec la capacité des ouvrages existants. Au besoin, un platelage de réparti-

tion pourra être mis en œuvre pour répartir la charge des engins de chantier.

REMBLAIEMENT AU DESSUS DES VOÛTES EXISTANTES

Les risques identifiés pendant les opérations de remblaiement sont :

- Vibrations induites par engins de compactage ;
- Utilisation d'engins lourds pour mettre en œuvre le remblaiement au-dessus d'ouvrages existants.

Pour éviter tout risque de dégradation des existants, le remblaiement a été mis en œuvre à l'aide d'engins très légers. Le compactage par plaque vibrante n'a pas été autorisé.

MISE EN PLACE DES POUTRES PRÉFABRIQUÉES EN BÉTON PRÉCONTRAINT PAR FILS ADHÉRENTS

Les risques identifiés pendant les opérations de pose des poutres sont :

- Chutes des poutres pendant la manutention ;
- Renversement de la grue mobile sur les ouvrages SNCF.

Pour pallier ces risques, les mesures suivantes ont été mises en œuvre :

- Levage des éléments à l'horizontale à une hauteur maximale de 1 m par rapport au sol ;
- Élingues et ancrages dimensionnés pour reprendre au minimum deux fois la charge à manutentionner ;
- Mise en œuvre d'une gravement au-dessus de la dalle existante ;
- Le stationnement des grues sera réalisé en dehors des ouvrages, selon une position à définir par l'entreprise dans ses procédures de réalisation. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 3 200 m³ de déblais
- 2 500 m² de surface de retrait de gros béton
- 45 pieux Ø 600 de 12 m de longueur et 73 micropieux Ø 230 de 22 m de longueur
- 74 t d'armatures pour longrines
- 477 m³ de béton pour longrines
- 180 poutres BP en T inversé ferrailage actif en T15.2 (moyenne de 20 T15.2/poutre et 120 kg/m³ en aciers passifs)
- 400 m³ de béton de hourdis coulé en place
- 5 poteaux L.A.C

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Paris cellule Mission Tramway (insertion urbaine) / RATP (Système de transport)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Artelia mandataire (pilote des marchés INFRA 1, INFRA 2, OA1, OA2, Fourniture Pierre) / Systra cotraitant (pilote des marchés EPSLT, OA20 marché OA2, Dossiers carrefours SLT) / Attica cotraitant (architecte urbaniste)

ENTREPRISES : Pareng (mandataire) / Capocci (terrassement) / Pro-fond (pieux) / Chanin BTP (micropieux)

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Contrôle extérieur topo : Géofit / Contrôle extérieur étanchéité : Adiss / Contrôle Technique : Dekra / Géotechnicien G4 : BS consultants / AMO Pollution : Idea

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Matière pour les poutres PRAD / Stratera pour les études de génie civil

ABSTRACT

WESTERN EXTENSION OF T3 TRAMWAY FROM PORTE D'ASNIERES TO PORTE DAUPHINE - BRIDGING STRUCTURE OA20 FOR RAPID TRANSIT (RER) LINE C AT PORTE DAUPHINE

DJAFFAR MIMECHE, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART - LOÏC MICHEL, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART

A technical solution using an inverted prestressed concrete T-beam, employed for execution of the RER C bridging slabs, allows the construction of thin decks without loading the existing structures during the works and service phases. It allows faster production times by anticipating prefabrication in the factory, and swift, secure installation of the deck. This solution optimises the total project cost by saving on servicing and maintenance costs (absence of bearings). □

PROLONGACIÓN HACIA EL OESTE DEL TRANVÍA T3, DE PORTE D'ASNIERES A PORTE DAUPHINE - OBRA OA20 DE TENDIDO DE PUENTE SOBRE EL RER C, EN PORTE DAUPHINE

DJAFFAR MIMECHE, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART - LOÏC MICHEL, SYSTRA FRANCE-DÉPARTEMENT STRUCTURES ET OUVRAGES D'ART

La solución técnica basada en una viga en T invertida de hormigón pretensado, aplicada en el marco de la realización de las losas de puente sobre la línea de tren regional RER C, permite construir tableros finos sin perturbar los elementos existentes en fase de obra y servicio. Asimismo, permite acelerar los plazos de realización, anticipando la prefabricación en fábrica, así como una instalación rápida segura del tablero. Esta solución optimiza el coste global de la obra al reducir los costes de conservación y mantenimiento (ausencia de equipos de apoyo). □

ESPACES PUBLICS ET DÉVELOPPEMENT DURABLE : "LES FABRIQUES" À MARSEILLE

AUTEUR : OLIVIER LEDRU, RESPONSABLE INNOVATION VILLE DURABLE, EGIS

OPÉRATION EMBLÉMATIQUE DE L'EXTENSION D'EUROMÉDITERRANÉE DANS LES QUARTIERS NORD DE MARSEILLE, L'ÉCOQUARTIER DES FABRIQUES A L'AMBITION DE CRÉER LA VILLE MÉDITERRANÉENNE ET LITTORALE DE DEMAIN, DURABLE ET INNOVANTE. EN QUOI LES ESPACES PUBLICS PEUVENT-ILS ÊTRE UN LEVIER MAJEUR AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ? PAR QUELLES DÉMARCHES ET OUTILS ENGAGER CETTE TRANSITION AVEC TOUS LES ACTEURS ? L'OPÉRATION DES FABRIQUES EST EXEMPLAIRE ET INSPIRANTE À PLUSIEURS TITRES.



D'EUROMÉDITERRANÉE AU QUARTIER DES FABRIQUES

Née d'une initiative de l'État et des collectivités territoriales en 1995, l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM) a été créé pour conduire l'Opération d'Intérêt National (OIN) Euroméditerranée.

Sur 480 ha (figure 1), cette opération peut être considérée comme la plus grande opération de rénovation urbaine d'Europe du Sud. Elle a pour ambition de hisser Marseille au niveau des plus grandes métropoles européennes.

Le projet d'écoquartier "Les Fabriques" s'inscrit dans la Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) Littorale, une des quatre ZAC créées pour Euroméditerranée. Dans les quartiers Nord de Marseille (15^e arrondissement), sur 14 ha à 3 km du Vieux Port, "les Fabriques" portent le nom des anciennes fabriques artisanales d'huile et de savon implantées dans le quartier. En 2015, le groupement Linkcity et UrbanEra a été désigné lauréat de l'appel à manifestation d'intérêt lancé par Epaem pour concevoir et réaliser le quartier, en tant qu'opérateur immobilier.

1- Vue générale du périmètre d'Euroméditerranée - Vert : périmètre initial, Rouge : périmètre de l'extension, dont fait partie le quartier des Fabriques.

1- General view of the Euroméditerranée area - In green: initial area, In red: extension area, of which the Fabriques district forms part.

En constituant la première intervention ayant une "masse critique" sur l'extension de l'OIN Euroméditerranée, les Fabriques ont vocation à constituer un quartier exemplaire en termes de qualité des espaces publics, d'innovation et de développement durable. Par ailleurs, l'Epaem et l'opérateur sont engagés conjointement dans la labélisation ÉcoQuartier. La maîtrise d'œuvre des espaces publics du quartier est assurée par le groupement Ilex paysages + urbanisme (mandataire), Egis Villes et Transports, et Strates Ouvrages d'art, désigné en 2018.



© JACOMO13. LICENCE CC BY-NC-ND 2.0

2

UN NOUVEAU QUARTIER EMBLÈME DE LA RECONSTRUCTION DE LA VILLE SUR LA VILLE

Le quartier est délimité à l'ouest par le chemin de la Madrague Ville, future corniche littorale, à l'est par la rue de Lyon où l'extension du tramway T3 est en construction, au nord par l'avenue du Cap Pinède qui débouche sur la nouvelle station de métro Gèze et au sud par la rue André Allar.

2- Le marché aux Puces de Marseille.
3- Les lignes fortes du programme d'espaces publics des Fabriques.

2- The Marseille flea market.
3- Main features of the Fabriques public space programme.

Plusieurs polarités urbaines vont permettre au quartier des Fabriques de rayonner à l'échelle inter-quartiers et aussi métropolitaine :

- Le marché aux puces, marché populaire majeur de l'agglomération marseillaise ;
- Le pôle d'échanges multimodal de Gèze dont la future station de tramway sera un levier au développement de l'attractivité du quartier et de sa valorisation ;

- Ici Marseille, manufacture qui accueille des entrepreneurs ou "makers" qui font des travaux manuels - autour du bois, du textile, de la céramique, du numérique - mais aussi des concepteurs ou des architectes - dans un hangar de 3500 m² mis à disposition par Euroméditerranée ;
- Smartseille, îlot démonstrateur de la ville durable ouvert en 2018, jouxtant les Fabriques au sud de la rue Allar.

En outre, l'opérateur immobilier a en charge de développer 250 000 m² de surface de plancher dont 170 000 m² de logements, soit plus de 2 200 logements, 44 000 m² de locaux tertiaires, 24 000 m² pour les commerces et activités et 10 000 m² d'équipements publics.

Le projet d'espaces publics représente 40% des 14 ha du quartier, ce qui est significativement plus élevé que la moyenne. Les grands principes de composition spatiale et paysagère du quartier (figure 3) sont les suivants :

- Au nord des Puces, des secteurs très urbains et fréquentés ;
- Au centre, des secteurs plus calmes accueillant des activités et les commerces ;
- Au sud, un cœur du quartier résidentiel préservé et intimiste autour de la rue Jardin ;
- La traverse de l'Extension ouvrira une percée transversale dans le quartier, reliée à terme à Smartseille au sud et au quartier de la Cabucelle au nord ;
- Une trame verte ambitieuse (figures 4 et 5), avec 20% des espaces publics végétalisés (900 arbres plantés, 45 variétés, 14 000 m² de massifs plantés) ;



© GROUPEMENT ILEX - EGIS - STRATES

3



© GROUPEMENT ILEX - EGIS - STRATES

→ La volonté de concevoir et réaliser progressivement des espaces publics simples, durables, adaptables et faciles à vivre pour chacun. *Easy tech, low tech*, est la philosophie générale posée par l'Epaem dans son cahier des charges : « *En traduction littérale : peu coûteux et de technologie facile. Mais aussi facile à mettre en œuvre, à entretenir, et facile à se procurer. Cette approche ne supprime pas pour autant l'ambition d'installer des produits de qualité, esthétiques et durables. Ici, il s'agit également de s'adapter au climat méditerranéen et d'en tirer parti. Les espaces publics du quartier des Fabriques devront être conçus dans cet esprit en recherchant une continuité avec les espaces publics de la ville de Marseille et ceux réalisés sur Euro-med 1 pour inscrire véritablement ce quartier dans la ville.* »

TROIS AXES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE PRIORITAIRES POUR CRÉER LA VILLE MÉDITERRANÉENNE ET LITTORALE DE DEMAIN, DURABLE ET INNOVANTE

L'Epaem a souhaité faire de l'innovation un marqueur fort de son intervention. Le quartier des Fabriques est particulièrement porteur d'enjeux sur ce point car les innovations qui y seront développées pourront servir de retour d'expérience pour les aménagements ultérieurs.

Dans le cadre de la démarche d'innovation baptisée "Euroméditerranée Metropolitan Urban Lab" (Emul), Epaem et maîtrise d'œuvre ont convergé sur trois axes prioritaires pour les espaces publics :

- Permettre le développement d'une nature en ville durable ;
- Assurer la perméabilité des sols pour gérer les eaux pluviales par infiltration ;

→ Construire le quartier à partir des matériaux du site.

Ces trois axes supposent un important travail d'innovation sur les sols et les matériaux.

Permettre le développement d'une nature en ville durable

L'histoire du site est marquée par une présence importante d'activités industrielles pendant plusieurs décennies, qui ont contribué à une pollution des sols plus ou moins importante suivant le secteur. Ces activités passées ont également conduit à une minéralisation totale du sol et à l'absence de terre végétale existante.

Cependant, la réalisation du projet d'espaces publics des Fabriques propose

4- Perspective de la rue Jardin et de son aire de jeux.

5- Plan masse du quartier des Fabriques.

4- Perspective view of Rue Jardin and its play area.

5- Layout plan of the Fabriques district.

tion pour une croissance optimisée des végétaux.

Dans un souci évident de durabilité des aménagements mais aussi parce que la terre végétale devient aujourd'hui un matériau précieux et rare, l'objectif du projet d'aménagement est de reconstituer de la terre fertile en utilisant les matériaux en place et de leur apporter les composantes organiques nécessaires à la régénération d'un biotope méditerranéen.

Le Cnrs et l'université de Montpellier sont associés à l'équipe de maîtrise d'œuvre pour mener une recherche innovante sur la question du recyclage des sols urbains scellée au travers d'une thèse sur "la capacité de mycorhization des sols urbains (de la banque

une place prédominante du végétal et impose la mise en place d'un sol fertile de terre végétale. L'estimation est d'au moins 12000 m³ de terres à apporter pour constituer les fosses de planta-



© GROUPEMENT ILEX - EGIS - STRATES



6
© EGIS



7
© EGIS

de spores aux réseaux d'interaction ectomycorhizienne)".

Le végétal, pour croître convenablement et présenter un port naturel, a besoin de fosses de plantation et d'un sous-sol adapté, le plus généreux possible. Ainsi, les cubatures généralement utilisées sont maximisées dans l'ensemble des corps de rues et des espaces publics. L'idée est de créer des sous-sols continus entre les fosses de plantation et d'occuper la majeure partie du sous-sol. Sur la rue Jardin, libérée de la circulation routière, le projet généralise cette démarche en créant un sous-sol continu sur l'ensemble du corps de rue.

6- Construction des planches de matériaux.

7- Plantation des planches de végétaux.

8- Surfaces perméables.

6- Construction of material trial areas.

7- Planting of plant trial areas.

8- Permeable surfaces.

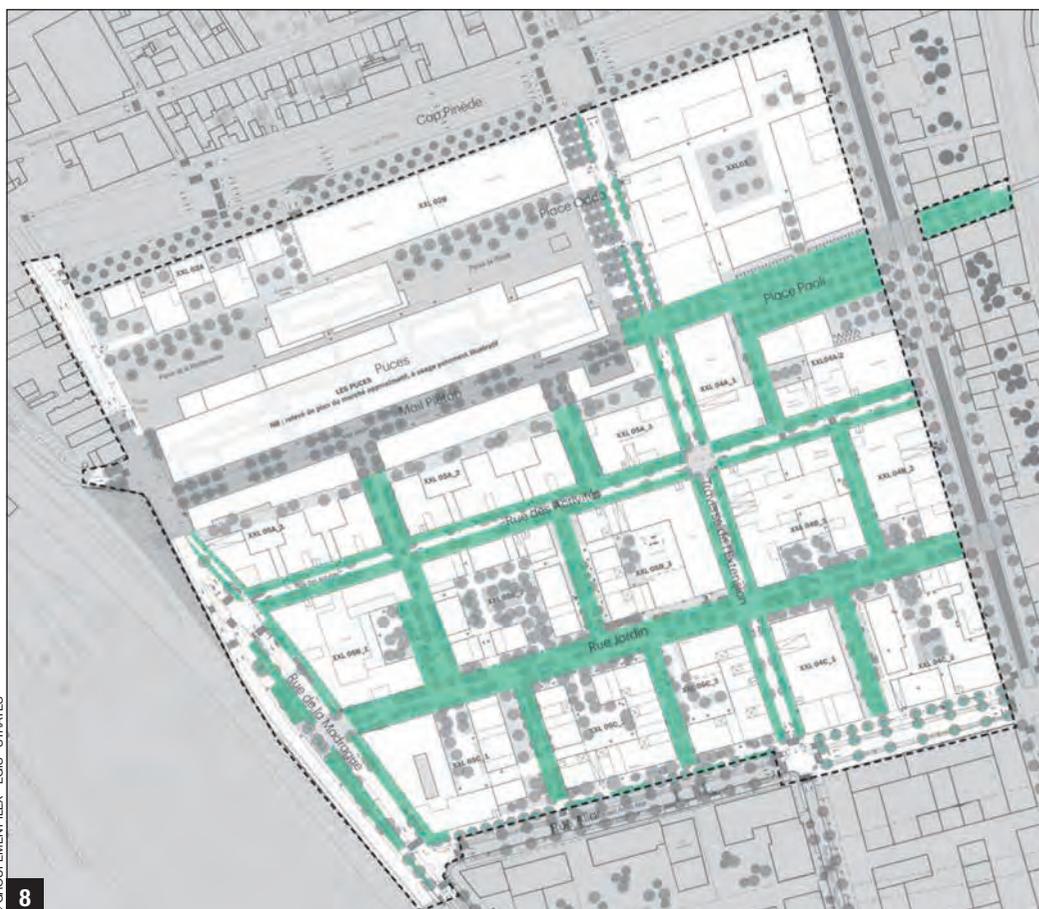
Sur les voiries circulées, les fosses de plantations s'étendent sous les trottoirs pour permettre aux végétaux et à leurs systèmes racinaires de se développer largement et d'offrir des séquences paysagères riches et variées.

Ces dispositions remettent également en question l'implantation des réseaux dans les corps de rue.

Il est alors indispensable de concevoir l'implantation et la maîtrise des réseaux conjointement avec le projet végétal : les réseaux sont alors concentrés sur des espaces restreints en prenant en compte les demandes respectives de chaque gestionnaire. Dans le cas de

la rue Jardin, dédiée au végétal, les réseaux sont reportés sur les rues adjacentes, à l'exception des besoins spécifiques liés à l'exploitation de cet espace (éclairage, vidéo-surveillance...). Sur les voiries circulées, les réseaux seront regroupés par types et sont concentrés sous les trottoirs et les voiries, à une distance la plus éloignée possible des fosses d'arbres et de l'espace des racines.

En complément à ces travaux sur le sol et le sous-sol, le projet cherche également à adapter la palette végétale méditerranéenne au milieu urbain dense ainsi qu'à tester des techniques alternatives d'arrosage.



8
© GROUPEMENT ILEX - EGIS - STRATES

Assurer la perméabilité des sols

Le milieu urbain se caractérise aujourd'hui par une très grande minéralité des sols. Les rues et les espaces publics sont quasiment intégralement recouverts d'enrobé, rendant ces sols complètement imperméables. Ainsi, en cas de pluie, les eaux ruissellent et sont évacuées dans le réseau souterrain, complexe et surdimensionné la plupart du temps.

La réflexion menée dans le projet des Fabriques vise à éviter au maximum l'utilisation des réseaux et utiliser l'eau comme ressource pour arroser mais aussi l'infiltrer directement dans le sous-sol. L'emploi de matériaux perméables en surface est donc indispensable tout en permettant de maintenir les usages habituels de l'espace public. Ces matériaux et techniques de mise en œuvre, encore peu répandus en ville dense, limitent ainsi considérablement le recours au réseau d'assainissement, ce qui à l'échelle d'une ville peut représenter des économies considérables. Ainsi, le projet d'espace public des Fabriques prévoit 25 000 m² de surfaces perméables, soit 59 % des espaces publics, ce qui est considérable (figure 8).



9 © EGIS

En outre, le projet prévoit la constitution d'un sous-sol spécifique permettant de drainer et d'infiltrer au maximum les eaux de surface et de les envoyer naturellement dans les fosses plantées vers les systèmes racinaires favorisant la croissance des végétaux. C'est d'autant plus important dans le contexte méditerranéen où les besoins en eaux sont importants et les ressources limitées.

Construire le quartier à partir des matériaux du site

Dans un souci constant d'économie durable, le projet prévoit de réemployer au maximum les déblais nécessaires à la réalisation des constructions sur les îlots pour réaliser le pré-nivellement général des espaces publics et l'assise des voies de chantier provisoires, indispensables compte tenu des différences altimétriques Sud-Nord.

Le bilan déblais/remblais est le suivant : déblais 23 700 m³, remblais 27 000 m³.

L'opération prévoit la déconstruction des bâtiments en place dont environ 40 000 m² de dalles béton. Ces dernières seront traitées, broyées et recalibrées afin de devenir des matériaux de constitution du sous-sol pour la création de complexes drainants.

Avec le même objectif de réemploi, les terres polluées, principalement aux hydrocarbures, ont fait l'objet d'un traitement de type bioterte, qui n'a pas dégradé leur qualité géotechnique et a permis le réemploi sur site de plus de 5 000 m³ de matériaux en remblais. Le projet d'aménagement propose la réalisation de bandes techniques et de caniveaux en pavés recyclés sur la rue des Activités et la traverse de l'Extension. Ces pavés seront issus soit de la

déconstruction des voiries du site des Fabriques, soit d'opérations en cours sur le secteur.

Ainsi, tout matériau du site réutilisable pour la création des espaces publics nouveaux sera stocké sur une plateforme dédiée puis réutilisé après traitement spécifique.

UN ESPACE D'EXPÉRIMENTATION TECHNOLOGIQUE, MÉTHODOLOGIQUE ET DE DÉMARCHÉ DE GESTION VERTUEUSE DE L'ESPACE PUBLIC

Une singularité du projet des Fabriques est la réalisation d'un jardin d'expérimentation de 2 000 m² pour tester en

9- Différentes planches de matériaux béton.

10- Différentes planches de matériaux pavés.

11- Différentes planches de végétaux.

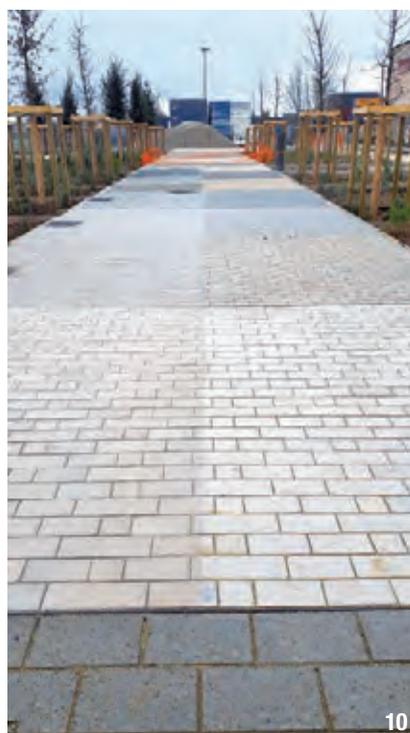
9- Various concrete material trial areas.

10- Various paved material trial areas.

11- Various plant trial areas.

vraie grandeur et en plein cœur du futur quartier les innovations et solutions envisagées. Le jardin a reçu un financement de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.

Entre 2020 et 2023, le Jardin des Fabriques rassemble quatre expérimentations complémentaires. Les trois premières ont comme fil conducteur les trois axes de développement durable prioritaires : sols drainants (2020-21), nature durable en ville (2020-23) avec la régénération des sols urbains et l'adaptation de la palette végétale méditerranéenne à l'urbain dense, techniques alternatives d'arrosage (2020-23). La quatrième porte sur de



10

© EGIS



11

© EUROMÉDITERRANÉE

nouveaux cas d'usages, autour de l'installation de futurs mâts d'éclairage pour le quartier (2021-22).

Ce sont ainsi 45 planches de matériaux drainants (au total, 56 revêtements fournis et posés par quatre entreprises différentes) et 36 planches abritant des associations végétales méditerranéennes qui ont été réalisées. L'évaluation des matériaux drainants est en cours, par Efficacity, selon 11 critères : glissance, îlot de chaleur, drainabilité-perméabilité, mise en œuvre et disponibilité, nettoyabilité, pérennité, investissement et réparation, entretien, qualité architecturale, confort visuel et des différents usages, bilan carbone, recyclabilité.

Les matériaux testés répondent favorablement dans l'ensemble aux critères de performance testés.

Les expérimentations de matériaux menées dans le Jardin d'expérimentation l'ont été en parallèle d'une partie des premières phases d'aménagement des espaces publics sur le quartier. Si des choix de matériaux ont dû être faits "au fil de l'eau", même si l'ensemble des tests n'avaient pas encore livré leurs enseignements, cette démarche a permis de faire évoluer des matériaux grâce aux retours des services gestionnaires, de la maîtrise d'œuvre et grâce à l'implication des fabricants.

UNE ÉTAPE SUPPLÉMENTAIRE FRANCHIE AVEC L'INTRODUCTION DE CRITÈRES DE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DANS LES APPELS D'OFFRES TRAVAUX

Après un premier test réalisé en 2021 par Euroméditerranée et sa maîtrise d'œuvre Egis pour le réaménagement de la rue Mazenod dans le quartier de la Joliette, l'Épaem a décidé d'intégrer des critères de performance environne-

mentale quantitatifs dans l'appel d'offres de la phase 1 des travaux d'aménagement d'espaces publics du quartier des Fabriques.

Ainsi, jusqu'à 15 points sur 100 étaient attribués en fonction de la compréhension des ambitions de développement durable et procédés et outils par les entreprises de travaux, ainsi que par l'analyse du rapport d'écocomparaison Seve. Seve ou Système d'Évaluation des Variantes Environnementales est

un écocomparateur développé par Routes de France, en collaboration avec Egis pour son module EcoPro. Cet outil est intégré au Guide de l'Achat Public depuis 2016. Il permet de comparer l'impact environnemental de la réalisation d'un aménagement selon quatre critères :

→ Les émissions de gaz à effet de serre, prenant en compte les émissions de l'extraction des matières premières, de leurs transformations

en matériaux, du transport et de la mise en œuvre sur chantier ;

→ La consommation d'énergie, prenant en compte les mêmes étapes que l'indicateur précédent ;

→ La tonne kilométrique, qui est le produit des tonnes de matériaux transportés et du nombre de kilomètres parcourus. Cet indicateur permet de quantifier l'endommagement du réseau routier du fait du chantier ;

→ Et la préservation de la ressource, qui va donner la consommation de granulats naturels, d'agrégats d'enrobé, de matériaux recyclés et de déblais du site.

L'introduction de ce critère dans l'appel d'offres, et sa concrétisation aussi dans les clauses administratives du marché pour le suivi des engagements pris en phase d'offres, a conduit les entreprises à reformuler leur offre, par exemple, en proposant des modes de transports par voie maritime, pour les 5000 mètres de bordures et les près de 5200 m² de dallage prévu. Pour les bétons en couche de base, les entreprises se sont orientées vers des solutions à base de granulats recyclés... l'utilisation de l'écocomparateur permet aussi au maître d'ouvrage de s'assurer que les soumissionnaires respecteront (ou dépasseront) l'objectif de valorisation minimale de 70% des déblais et produits du chantier, ainsi que le recours majoritaire aux matériaux issus du réemploi et du recyclage.

Un saut qualitatif a clairement été constaté dans les offres des entreprises, sur cette thématique de la performance environnementale, de par les ambitions affichées et le souhait d'y répondre, mais aussi par l'introduction d'un outil de mesure partagé par tous. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- **Programme :**
 - Logements 170 000 m², soit plus de 2 200 logements
 - Tertiaire 44 000 m²
 - Commerces / Activités 24 000 m²
 - Équipements publics 10 000 m², médiathèque, crèche, école publique
- **20% des espaces publics végétalisés, 60% des surfaces perméables**
- **2 000 m² de jardin d'expérimentation pour tester 45 planches de matériaux drainants (au total, 56 revêtements fournis et posés par quatre entreprises différentes) et 36 planches abritant des associations végétales méditerranéennes**
- **Dates clés : 2020, création du jardin d'expérimentation, 2022-23 travaux d'espaces publics phase 1, 2025 : fin des travaux d'espaces publics**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Établissement public d'aménagement Euroméditerranée

CONCEPTEUR DU PLAN GUIDE D'EUROMÉDITERRANÉE ET URBANISTE COORDONNATEUR DE LA ZAC LITTORALE :

Groupement François Leclerc / Agence Ter / Setec,

MAÎTRE D'ŒUVRE DES ESPACES PUBLICS :

Groupement Ilex (mandataire), Egis et Strates

OPÉRATEUR IMMOBILIER : Groupement Linkcity et UrbanEra

CO-FINANCEUR DU JARDIN D'EXPÉRIMENTATION :

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

ABSTRACT

PUBLIC SPACES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: "LES FABRIQUES" IN MARSEILLE

OLIVIER LEDRU, EGIS

The Fabriques eco-district is an urban renovation project on 14 hectares in the northern districts of Marseille. The ambition is to create there the Mediterranean coastal city of tomorrow, sustainable and innovative. The innovation approach focused on three key features for public spaces: allow the development of nature in a sustainable city, ensure soil permeability to manage rainwater through seepage, and build the district using materials on the site. In 2020, a 2000 m² experimental garden was executed right in the heart of the project to test and improve solutions and innovations. In 2021, quantitative environmental performance criteria calculated by the Seve software program were introduced into the first public space works contract. □

ESPACIOS PÚBLICOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE: "LES FABRIQUES" EN MARSILLA

OLIVIER LEDRU, EGIS

El ecobarrio de Les Fabriques es una operación de renovación urbana sobre una superficie de 14 ha en los barrios del norte de Marsella. La ambición es crear en ellos la ciudad mediterránea y litoral del futuro, sostenible e innovadora. El proceso de innovación se ha centrado en tres ejes prioritarios para los espacios públicos: permitir el desarrollo de una naturaleza en la ciudad sostenible, garantizar la permeabilidad de los suelos para aprovechar las aguas pluviales por infiltración y construir el barrio a partir de los materiales del lugar. En 2020, se realizó un jardín de experimentación de 2000 m² en pleno centro del proyecto para probar y mejorar soluciones e innovaciones. En 2021, se introdujeron criterios de eficiencia medioambiental cuantitativos, calculados por el software Seve, en el primer contrato de obras en espacios públicos. □



© DIR NORD-OUEST

LA RÉPARATION D'URGENCE DU VIADUC DE CALIX À CAEN

AUTEURS : THIERRY COCONNIER, REPRÉSENTANT DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE, DIR NORD-OUEST - JÉRÔME MICHEL, RESPONSABLE D'ÉTUDES OUVRAGES D'ART, CEREMA ITM - SÉBASTIEN DEFAUX, RESPONSABLE GROUPE OUVRAGES D'ART, CEREMA NORMANDIE CENTRE - ALAIN SIMON, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA - DIDIER KARCHER, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA

UNE FISSURATION ANORMALE A ÉTÉ DÉTECTÉE EN MAI 2021 DANS LA TRAVÉE CENTRALE DU VIADUC DE CALIX. LES MESURES D'URGENCE AUSSITÔT PRISES PAR LA DIR ONT PERMIS AU CEREMA D'ÉTABLIR UN DIAGNOSTIC ET DE CONCEVOIR EN QUELQUES JOURS UN PROJET DE RÉPARATION PAR PRÉCONTRAINTE ADDITIONNELLE. LES TRAVAUX ONT DÉBUTÉ 3 MOIS APRÈS LA DÉCOUVERTE DU PHÉNOMÈNE, AVEC L'OBJECTIF D'UNE REMISE EN CIRCULATION 3 MOIS PLUS TARD.

L'OUVRAGE

Ouvrage emblématique de l'agglomération caennaise, le viaduc de Calix a été construit entre 1972 et 1975. Il s'agit d'un ouvrage en béton précontraint de 1182,60 m de long à 15 travées (figure 2) dont la plus longue atteint 156 m. L'ouvrage a été construit par encorbellements successifs avec des voussoirs préfabriqués. Transversalement, la structure de son tablier est constituée de deux caissons reliés par le hourdis supérieur (figure 3). Afin de

permettre sa dilatation, l'ouvrage présente la particularité de posséder un appui cantilever près de son milieu.

LE CONTEXTE

Le viaduc est suivi depuis plusieurs années par un Comité technique national rassemblant des experts en ouvrages d'art, notamment en raison du fonctionnement du cantilever par grand froid qui fait l'objet d'un suivi spécifique appelé "haute surveillance". Dans le cadre des travaux de ce Comité tech-

1- Renforcement terminé, ouvrage en service.

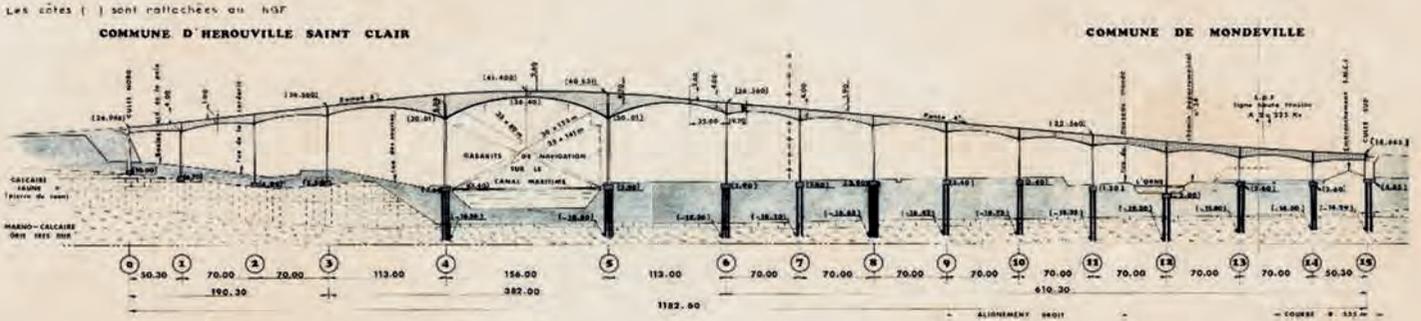
1- Consolidation completed, structure in service.

nique et suite aux résultats des inspections diligentées régulièrement par la DIR NO (Direction interdépartementale des Routes Nord Ouest), des fissures ont été observées et ont fait l'objet

d'une instrumentation permettant le suivi de leur évolution.

Fin mai 2021, l'instrumentation a révélé une amplitude d'ouverture de fissure anormalement élevée au niveau d'un joint entre deux voussoirs sur le hourdis inférieur du caisson aval (figure 5). Cette ouverture de fissure remontait en partie dans les âmes du caisson. Cette amplitude était alarmante et très nettement supérieure à ce qui est observé habituellement pour des fissures de ce type.

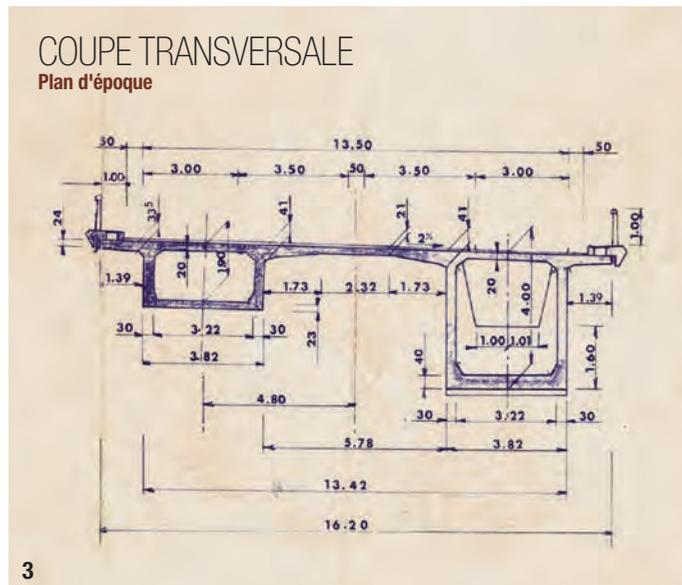
ÉLÉVATION Plan d'époque



2
© DDE DU CALVADOS

- 2- Élévation (plan d'époque).
- 3- Coupe transversale (plan d'époque).
- 4- Position de la fissure principale dans la travée 5 - extrait plan d'exécution - Coignet - 1973.

- 2- Elevation view (period drawing).
- 3- Cross section (period drawing).
- 4- Location of main crack in span 5 - construction drawing excerpt - Coignet - 1973.



3
© DDE DU CALVADOS

thermique n'a pas été pris en compte dans les calculs.

Les mesures ont également montré une forte activité du mouvement de la fissure sous l'effet du trafic avec des amplitudes d'intensité tout à fait exceptionnelle. Il s'agit de cycles relatifs au passage de chaque poids lourd et non plus de cycles journaliers (figure 7).

Le risque était que des câbles de précontrainte traversant cette fissure se rompent sous l'effet du gradient thermique et de la "fatigue" occasionnée par le passage d'un grand nombre de poids lourds sur cet axe très fréquenté, entraînant une défaillance de la structure.

LES MESURES D'URGENCE

Afin de continuer à garantir le fonctionnement de l'ouvrage, tout en assurant la sécurité des usagers et en générant un minimum de gêne, la DIR Nord Ouest, maître d'ouvrage et gestionnaire de ce viaduc, a aussitôt mis en œuvre trois mesures simples préconisées par le Comité technique :

L'analyse des mesures et les calculs menés par le Cerema ont montré que les mouvements de cette fissure étaient pilotés par deux paramètres, l'effet de l'ensoleillement et l'impact du trafic poids lourds.

En effet, la différence de température entre le dessus et le dessous du tablier sous l'effet de l'ensoleillement sollicite celui-ci. Ce phénomène appelé "gradient thermique" est à l'origine de cycles journaliers

d'ouverture de la fissure (figure 6). Il s'agit d'un phénomène connu depuis le milieu des années 1970 et pris en compte dans les calculs depuis 1975. Le viaduc de Calix ayant été conçu au début des années 1970, le gradient

POSITION DE LA FISSURE PRINCIPALE DANS LA TRAVÉE 5 Extrait plan d'exécution - Coignet - 1973



4
© DR

5- Position et schéma des fissures (caisson aval) - détail.

6- Souffle millimétrique du hourdis inférieur sous gradient thermique.

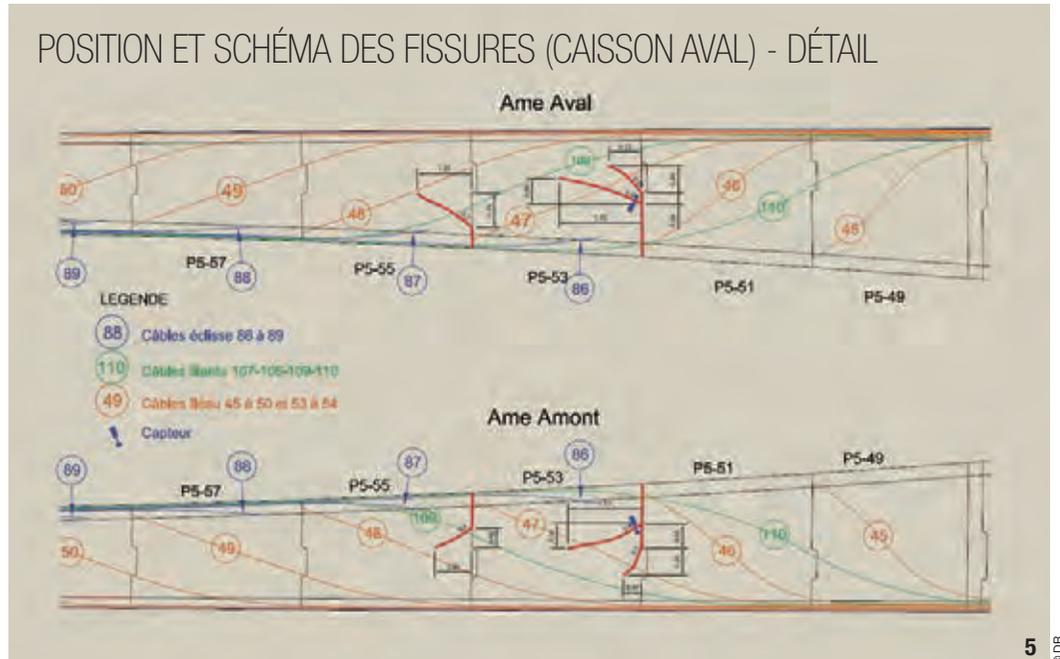
7- Souffle millimétrique du hourdis inférieur sous trafic.

5- Location and diagram of cracks (downstream caisson) - detail.

6- Millimetric displacement of the lower slab under thermal gradient.

7- Millimetric displacement of the lower slab under traffic.

POSITION ET SCHÉMA DES FISSURES (CAISSON AVAL) - DÉTAIL



5 © DR

→ Une procédure spécifique de "Haute surveillance" des principales fissures avec instrumentation 24h/24h et définition de seuils de vigilance et d'alerte a été mise en œuvre. Ainsi, la DIR était informée en temps réel du niveau de fissuration afin de prendre les mesures de sécurité nécessaires (fermeture à la circulation) en cas d'atteinte des seuils prédéfinis. Les résultats étaient analysés quotidiennement par le Comité technique.

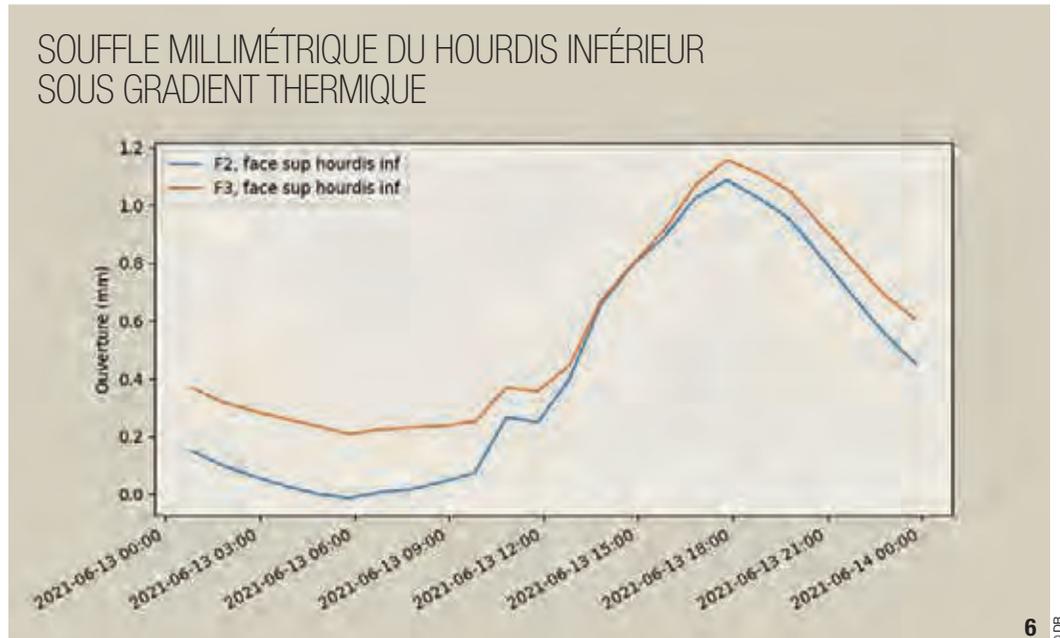
→ Pour maîtriser le gradient thermique et donc atténuer son effet sur l'ouvrage, dans un premier temps le tablier a été arrosé quotidiennement de 13h30 à 16h30, puis dans un second temps une peinture blanche a été mise en œuvre sur la chaussée de la grande travée et des deux travées adjacentes afin de limiter l'élévation de température en partie supérieure (figure 8). Ces mesures simples ont été efficaces.

→ En complément, l'ouvrage a été fermé à la circulation des poids lourds de plus de 3,5 t, les véhicules légers n'ayant qu'un effet négligeable sur les mouvements des fissures.

CONCEPTION DE LA RÉPARATION LOCALE D'URGENCE

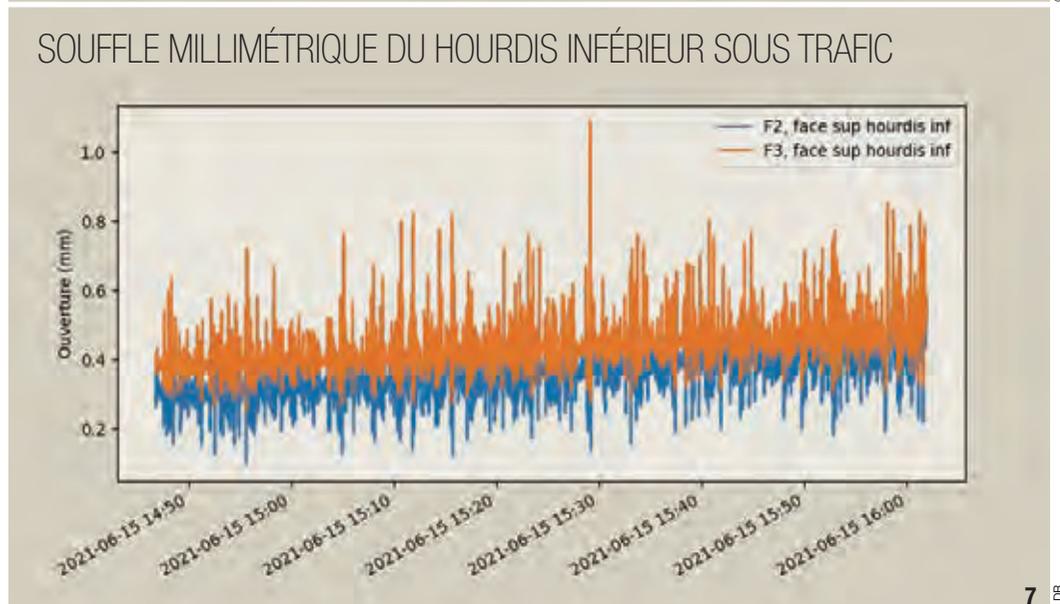
Le Comité technique a préconisé une réparation provisoire locale afin, notamment, de bloquer les mouvements du joint fissuré et donc d'éviter un endommagement supplémentaire des câbles traversant le joint. Le Cerema a donc étudié et proposé une solution de répa-

SOUFFLE MILLIMÉTRIQUE DU HOURDIS INFÉRIEUR SOUS GRADIENT THERMIQUE



6 © DR

SOUFFLE MILLIMÉTRIQUE DU HOURDIS INFÉRIEUR SOUS TRAFIC



7 © DR



8

© CELESTE DRONE / ÆVIA

ration locale par précontrainte additionnelle à l'intérieur du caisson autour de la zone fissurée afin de recomprimer celle-ci.

6 câbles 7T15S sont disposés dans chaque caisson autour du joint fissuré. Ces câbles sont ancrés dans des bossages liés à la structure par des barres de précontrainte (figure 9). Afin de limiter les efforts concentrés apportés par la précontrainte additionnelle à la structure existante, les paires de câbles sont ancrées dans des voussoirs successifs. Afin de reprendre les efforts locaux

8- Mise en peinture partielle du tablier.
9- Plan du projet de réparation locale - extrait.

8- Partial painting of the deck.
9- Drawing of local repair plan - excerpt.

apportés par les ancrages des câbles de précontrainte mis en place et afin de renforcer la résistance à l'effort tranchant et à la flexion de la section fissurée, les caissons doivent être renforcés par la mise en œuvre de matériaux composites collés.

DÉMARRAGE DES TRAVAUX

Au terme d'un appel d'offres passé dans un délai optimisé par la DIR, le marché a été attribué à l'entreprise ÆVIA. Les travaux ont pu démarrer dès le mois de septembre 2021, soit

3 mois à peine après la découverte des désordres.

Les premières opérations ont consisté à neutraliser les 2 voies lentes par mise en place de séparateurs, puis à installer les moyens d'accès aux différentes zones d'intervention. L'accès au tablier depuis la berge a ainsi été rendu possible par le montage d'une sapine fixée au fût de la pile P4, sur toute sa hauteur. L'accès en sous-face du tablier et sur la hauteur des âmes des caissons a nécessité la mise en place d'un échafaudage suspendu (figure 10), ▷

PLAN DU PROJET DE RÉPARATION LOCALE

En vert et rouge : renforts composites - En gris : précontrainte additionnelle - En bleu : précontrainte d'origine

Vue suivant 1

Ech : 1/20

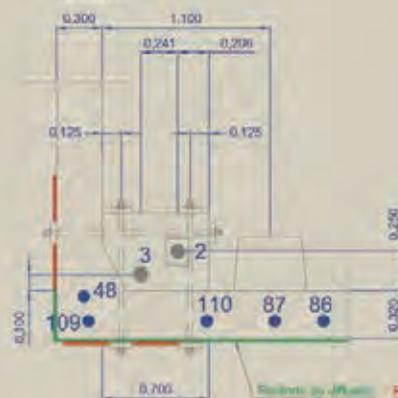
voussoirs 57



Vue suivant 2

Ech : 1/20

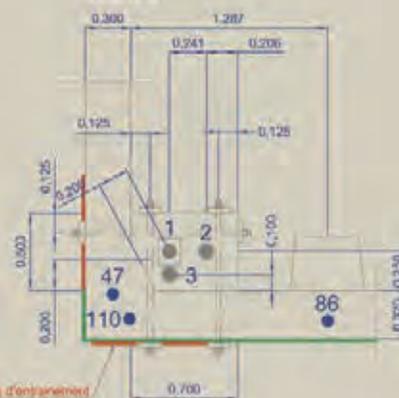
voussoirs 55



Vue suivant 3

Ech : 1/20

voussoirs 53



© CEREMA

9



10

© CELESTE DRONE / EVIA

dans le respect des contraintes des 3 gabarits navigables, à savoir 25 m, 30 m et 33 m. Enfin, des carottages en diamètre 600 mm ont été réalisés à travers le hourdis supérieur au droit des voies lentes, pour accéder à l'intérieur des 2 caissons.

Dès qu'il a été possible d'intervenir à l'intérieur des caissons, l'implantation des futurs massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle a été entreprise. Pour chaque massif, cette opération a notamment consisté à tracer localement sur l'ouvrage une grille orthonormée (pour le report des relevés sur les plans d'exécution) sur laquelle étaient représentés l'emprise théorique du massif, l'encombrement des câbles de précontrainte régnant dans l'ouvrage détectés au moyen d'un radar (câbles présents dans le hourdis inférieur et dans les âmes), ainsi que la position des massifs d'ancrage des câbles éclisses qui constituaient des obstacles à la fois en plan et en élévation. Compte tenu des enjeux de sécurité, quelques contrôles par sondage destructif ont été effectués par piquage léger, pour confirmer les tracés de câbles relevés au radar.

À l'issue d'un processus itératif, l'implantation définitive des carottages pour le passage des barres de clouage a pu être établie, et consécutivement les cotes du coffrage des massifs.

RÉALISATION DES MASSIFS D'ANCRAGE

Hormis la réalisation des carottages dans les âmes et dans le hourdis inférieur, les travaux préparatoires comprenaient aussi le piquage des parements en béton au droit des futurs massifs, pour atteindre une rugosité de 6 mm à l'interface. L'objectif était d'obtenir le coefficient de frottement considéré dans les calculs, à savoir $\mu=0,9$ pour un massif "coulé en place sur surface

très rugueuse avec aspérités de 6 mm" selon la définition de la norme NF P95-104 (2020).

À l'issue de cette préparation, les opérations de ferrailage et de coffrage des massifs ont été engagées. Pour chaque massif (12 par caisson), on a procédé à la mise en place :

- Du ferrailage (armatures HA) ;
- Des gaines métalliques pour les barres de clouage (feuillard Ø 59/64 mm) ;
- De l'ancrage du câble 7T15s du procédé BBR CME ;
- Des tubes déviateurs des câbles (déviations verticales + en plan), dont les extrémités étaient aménagées pour éviter toute blessure des gaines PEHD en entrée et sortie de massif ;
- Du coffrage bois, confectionné sur mesure pour s'ajuster à la géométrie réelle de l'ouvrage (figure 11).

Une fois fait, le bétonnage des massifs a été réalisé. Compte tenu des délais d'intervention extrêmement réduits, le choix s'est porté sur un micro-béton C50/60 prêt à l'emploi, avec

10- Vue d'ensemble du chantier.

11- Coffrage des massifs dans un caisson.

10- General view of the project.

11- Formwork for foundation blocks in a caisson.

$D_{max}=16$ mm, conditionné en sacs. Sa mise en œuvre s'est faite au moyen de 2 malaxeurs de 80 l, reliés à une pompe à vis pour une production en continu. Le matériel était disposé sur le tablier et le micro-béton était pompé jusqu'aux différents massifs, via le carottage réalisé à travers le hourdis supérieur. Deux journées de bétonnage par caisson ont été nécessaires. Après contrôle de l'atteinte de la résistance en compression minimum requise par l'agrément du procédé de précontrainte des barres, d'une part, et par les études d'exécution, à savoir

40 MPa, d'autre part, la mise en tension a été entreprise. Sur chaque massif (grande variété de configurations), elle a été opérée selon un ordre de mise en tension défini par les études, par application d'une contrainte maximale sous vérin $\sigma_{pmax} = \min \{0,8 f_{pk}; 0,9 f_{p0,1k}\} = 751$ MPa. Un contrôle par pesage (figure 12) d'au moins une barre par massif a été fait pour vérifier la tension résiduelle après pertes instantanées (effet d'autant plus important que les barres sont courtes).

Au total, ce sont 84 barres Macalloy M36 par caisson qui ont été mises en tension. En fin d'opération des capots de protection des extrémités ont été mis en place puis injectés au coulis de ciment.

RENFORTS EN MATÉRIAUX COMPOSITES

Pour le viaduc de Calix, le recours à des matériaux composites s'avérait nécessaire pour atteindre plusieurs objectifs de renforcement :

- À l'effort tranchant, sur les âmes des voussoirs qui présentaient des fissures ;
- En flexion, au niveau du hourdis inférieur dans la zone des joints de voussoirs à coudre ;
- Vis-à-vis de la diffusion de la précontrainte additionnelle, sur le hourdis inférieur au niveau des massifs ;
- Vis-à-vis de l'entraînement dû à la précontrainte additionnelle, sur le hourdis inférieur à l'arrière des massifs.

Environ 1 400 m de renforts composites ont ainsi été collés, en utilisant le procédé SikaWrap 600C (tissu de fibres de carbone au grammage de 600 g/m², disposant d'un avis technique du Cstb) en simple ou double couche selon les zones, avec 400 ancrages mécaniques en acier galvanisé. Le choix d'un fort grammage accompagné d'ancrages



11

© DIR NORD-OUEST

mécaniques s'est avéré nécessaire compte tenu des efforts en jeu.

Préalablement au démarrage des opérations, c'est-à-dire au stade des épreuves de convenue, des contrôles ont été réalisés pour s'assurer de la faisabilité de ces renforcements dans les conditions réelles du chantier. Ces contrôles ont porté sur :

- La cohésion superficielle du support béton $\geq 1,5$ MPa (par pastillage) ;
- Les conditions climatiques (T° , HR %, point de rosée) ;
- La dureté shore D de la résine (selon NF EN ISO 868) ;
- L'adhérence du renfort sur le support (selon NF EN 1542).

Pendant ce temps, une zone de préparation des composites était installée sur l'échafaudage suspendu sous le tablier, pour permettre la confection de la résine et la pré-imprégnation du tissu. Une fois les épreuves jugées concluantes, les travaux ont été engagés. La mise en œuvre des composites s'est effectuée par double encollage, c'est-à-dire sur le support béton et par pré-imprégnation du tissu. L'enchaînement des opérations était le suivant :

- Préparation du support ;
 - Pré-imprégnation du tissu (figure 13) ;
 - Encollage du support ;
 - Mise en œuvre du tissu sur le support (figure 14) ;
 - Marouflage ;
 - Mise en place des ancrages mécaniques sur le tissu, rabat du tissu pour former un verrou, puis serrage des tiges précédemment scellées ;
 - Marouflage des zones d'ancrage.
- Un contrôle qualité interne systématique était effectué à l'avancement des opérations de mise en œuvre. Il portait sur les conditions climatiques (T° , HR %, point de rosée), la dureté shore D de la



12
© JEVI A

12- Contrôle de la tension d'une barre.

13- Pré-imprégnation du tissu.

14- Mise en œuvre du tissu et marouflage.

12- Inspection of the tension of a bar.

13- Pre-impregnation of the fabric.

14- Placing the fabric and taping.

résine et l'absence de bullage dans la colle (par caméra thermique). Ce dernier contrôle était réalisé avant durcissement de la colle de façon à pouvoir apporter des corrections au fur et à mesure en cas de détection de bullage. En fin d'opération les composites ont été revêtus d'un produit de protection vis-à-vis des UV.

PRÉCONTRAINTES ADDITIONNELLES

La précontrainte longitudinale additionnelle retenue pour le renforcement du viaduc était constituée, pour chaque caisson, de 6 câbles 7T15s (figures 15 et 16) en torons gainés graissés (TGG), du procédé BBR CME.

Les étapes de la mise en œuvre de cette précontrainte ont été :

- Mise en place des tronçons de gaine PEHD $\varnothing 90$ mm sur des supports provisoires intermédiaires (contre le festonnage) ;
- Raboutages par manchons électrosoudés ;
- Enfilage des torons gainés graissés ;
- Essai d'étanchéité à l'air des gaines (à la pression de 3 bars) ;
- Injection du coulis de ciment (Superstresscem) ;
- Atteinte d'une résistance en compression de 20 MPa du coulis ;
- Mise en tension des câbles de précontrainte en actif/passif, avec une contrainte maximale sous vérin $\sigma_{pmax} = \min \{0,8 f_{pk}; 0,9 f_{p0,1k}\} = 1 476$ MPa ;
- Vérification des coefficients de transmission.

Préalablement à la mise en tension, une injection des fissures entre les voussoirs 51 à 55 a été réalisée au moyen de résine Sikadur Injection 52. Pour éviter tout effort parasite dans l'ouvrage, la mise en tension a été faite de façon simultanée dans les deux caissons (donc 2x2 câbles), au moyen de 4 vérins monotoron.

En fin d'opération, des capots de protection des ancrages sont mis en place puis injectés à la cire pétrolière.

FIN DU RENFORCEMENT - REMISE EN SERVICE

La précontrainte additionnelle étant mise en œuvre, la remise en circulation normale de l'ouvrage n'était plus conditionnée que par l'atteinte des performances requises pour les derniers renforts composites collés. Elles furent contrôlées par suivi de la dureté Shore D. ▶



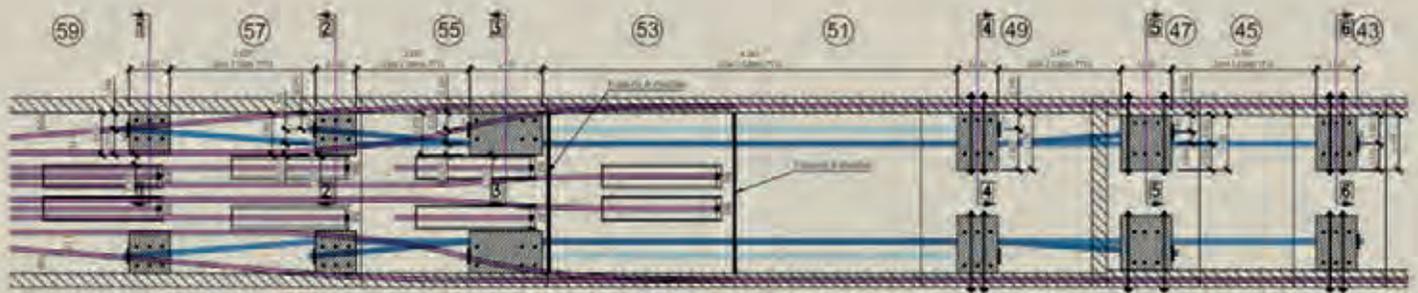
13
© JEVI A



14
© JEVI A

PLAN D'ENSEMBLE DE LA PRÉCONTRAINTE LONGITUDINALE POUR UN CAISSON

Vue de dessus - En bleu : précontrainte additionnelle - En magenta : précontrainte d'origine



15
© DR

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'ouvrage a pu être rouvert aux poids lourds dès le mois de novembre 2021, conformément au planning initialement prévu.

La réparation locale provisoire mise en œuvre dans l'urgence répond aux exigences de sécurité des usagers et de l'ouvrage. En effet, aucun désordre significatif n'a été observé depuis la réparation.

Par ailleurs, l'instrumentation initiale a été étendue à d'autres joints après la réparation et les résultats des mesures montrent qu'aucun de ces joints, en particulier le joint de voussoir renforcé, ne s'ouvre sous l'effet du trafic ou du gradient thermique. La réparation est cependant locale, et nécessite le maintien et l'entretien régulier de la peinture blanche sur le tablier en attendant la réalisation, actuellement à l'étude, d'un renforcement général de toute la structure. Grâce à la forte mobilisation de l'ensemble des intervenants, ministère, DIR, Cerema, Travée, Ævia... cette opération délicate a été menée



15- Plan d'ensemble de la précontrainte longitudinale pour un caisson.

16- Précontrainte en cours de mise en œuvre dans un caisson.

15- General plan of longitudinal prestressing for a caisson.

16- Prestressing during installation in a caisson.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** DIR Nord-Ouest
- ASSISTANT MOA :** Cerema
- CONCEPTION APROA :** Cerema
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** Travée
- ENTREPRISE :** Ævia
- BUREAU D'ÉTUDES :** Biep

avec succès dans un délai très court et dans le respect permanent de la sécurité des usagers et des ouvriers réalisant les travaux. □

RÉFÉRENCES :

- 1- Viaduc de Calix - Bulletin annuel AFPC - 1975.
- 2- La technique française du béton précontraint, 8^e congrès international de la précontrainte, Londres 1978.

ABSTRACT

EMERGENCY REPAIR OF THE CALIX VIADUCT IN CAEN

THIERRY COCONNIER, DIR NORD-OUEST - JÉRÔME MICHEL, CEREMA ITM - SÉBASTIEN DEFAUX, CEREMA NORMANDIE CENTRE - ALAIN SIMON, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA - DIDIER KARCHER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA

Abnormally large opening of a crack on the centre span of the Calix viaduct in Caen was detected at the end of May 2021. Several emergency measures were taken immediately regarding the effects of traffic and insolation, while designing a local repair plan using additional prestressing cables and organising an invitation to tender for work performance. The works began as of September and were completed three months later. They required suspended scaffolding under the deck about 30 metres above the water and apertures to obtain access inside the caissons. Twelve 7T15s cables with greased sheathed strands, anchored to the structure via 24 concrete blocks nailed to the caissons by pre-tensioning bars, and bonding of 1400 metres of composite materials of heavy weight per unit area had to be used to achieve the objectives of this repair work. □

LA REPARACIÓN DE EMERGENCIA DEL VIADUCTO DE CALIX, EN CAEN

THIERRY COCONNIER, DIR NORD-OUEST - JÉRÔME MICHEL, CEREMA ITM - SÉBASTIEN DEFAUX, CEREMA NORMANDIE CENTRE - ALAIN SIMON, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA - DIDIER KARCHER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL, ÆVIA

A finales de mayo de 2021, se detectó la apertura anormalmente elevada de una fisura a nivel de la luz central del viaducto de Calix, en Caen. De inmediato se tomaron varias medidas de emergencia contra los efectos del tráfico y la insolación, aplicadas durante el tiempo necesario para diseñar un proyecto de reparación local mediante cables de pretensado adicionales y organizar una licitación para la realización de las obras. Estas pudieron empezar en septiembre y concluyeron tres meses más tarde. Precisaron un andamio suspendido bajo el tablero, a unos 30 m por encima del agua, y aberturas para acceder al interior de los cajones. Para lograr los objetivos de esta reparación, se utilizaron 12 cables 7T15s de alambre trenzado revestido y engrasado, anclados a la construcción mediante 24 bloques de hormigón clavados a los cajones con barras de pretensado, así como el encolado de 1400 m de materiales compuestos de alto gramaje. □

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

Découvrez le nouveau **Podcast** de Maccaferri : « **Immersion chantier** », qui décortique les techniques de réalisations des ouvrages géotechniques et hydrauliques !



MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr



Podcast : Immersion chantier



En haut : A8/A10 sécurité
du tunnel de la Giraude,
Alpes Maritimes (06)

Gabions double torsion

