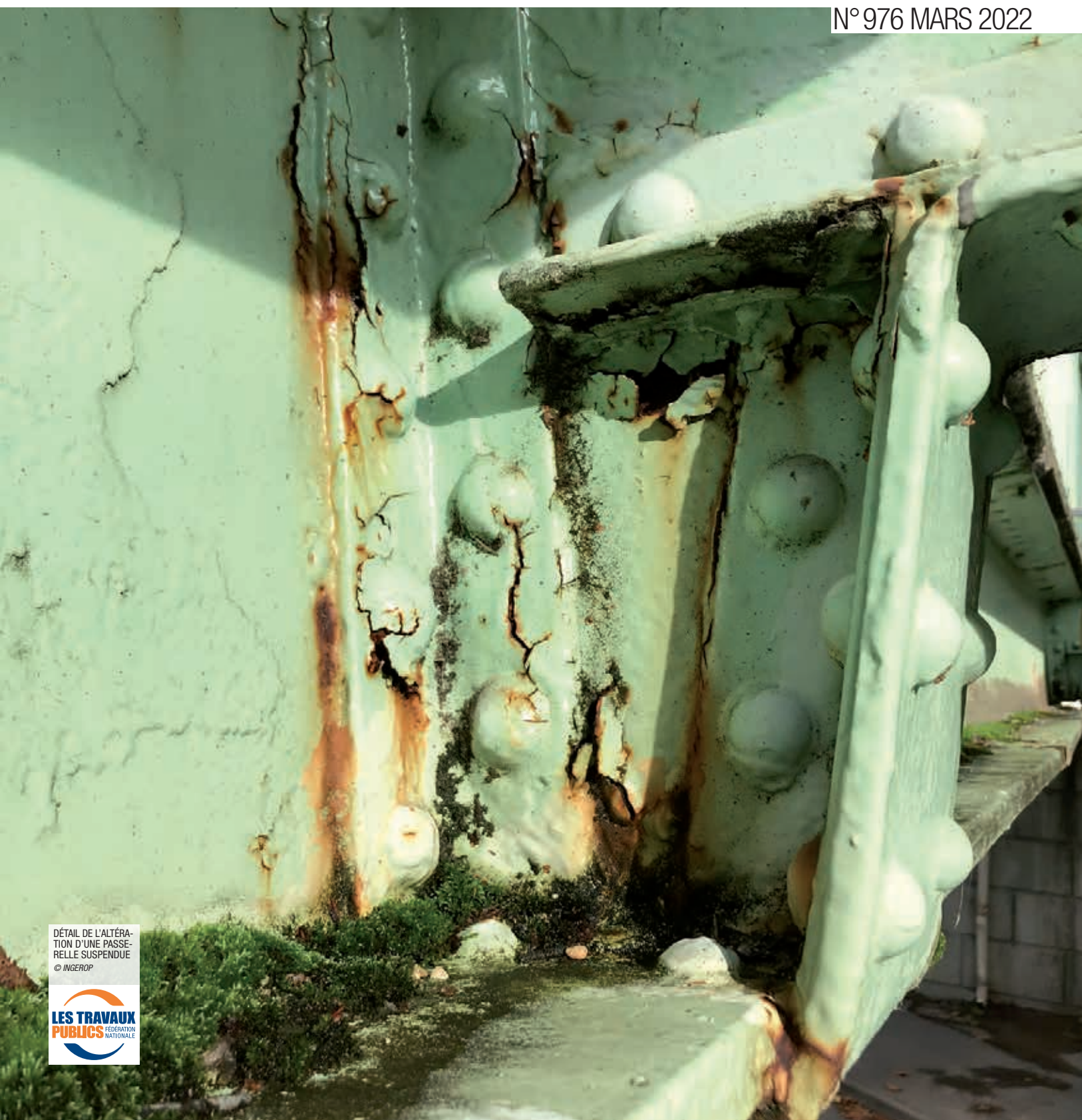


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES. AUTOROUTE A79. REHABILITATION D'OUVRAGES POUR LE PASSAGE EN AUTOROUTE DE LA RN79. A36 - ETANCHEITE BFUP SUR OUVRAGE D'ART. PASSERELLE SUSPENDUE A CHARLEVILLE-MEZIERES. TRAITEMENT DE SOLS POST-FUKUSHIMA. PONT SUSPENDU DE CHATILLON-SUR-LOIRE. TRAVAUX D'URGENCE DANS LA VALLEE DE LA VESUBIE. LA VALLEE DE LA ROYA SE RECONSTRUIT. BUSE METALLIQUE HYDRAULIQUE SOUS L'A6. PONT SUSPENDU DU MAS D'AGENAIS

N°976 MARS 2022



DÉTAIL DE L'ALTÉRATION D'UNE PASSERELLE SUSPENDUE

© INGEROP



Canal de la Sambre à l'Oise - pont canal de Vadencourt (France) | © Patoux Travaux Spéciaux

Réduisez l'impact environnemental de vos projets avec les palplanches acier **EcoSheetPile™ Plus**.

Fabriquées à partir d'acier 100% recyclé et 100% d'électricité certifiée de sources renouvelables, leur production émet jusqu'à 61% de gaz à effet de serre de moins que les aciers conventionnels.



XCarb®
De sources recyclées
et renouvelables



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@fntp.fr

Comité de rédaction

Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Denis Etienne (Bouygues), Philippe Gotteland (Fntp), Florent Imbert (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Vinci), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage), Nastaran Vivian (Artelia), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.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

GESTION DES OUVRAGES SUR UN TERRITOIRE ET UNE MÉTROPOLE



© DR

C'est à la création de l'ancienne Communauté Urbaine de Marseille en l'an 2000 qu'une doctrine de la gestion du patrimoine des ouvrages d'art a été initiée. Elle est venue formaliser le travail effectué depuis déjà plusieurs années par l'ensemble de ses agents.

Le Territoire Marseille-Provence, sous sa nouvelle appellation, compte plus de 1 000 ouvrages de type ponts et tunnels. Sur la base du texte de référence en vigueur pour les ouvrages du réseau routier national, le Territoire et aujourd'hui la Métropole Aix-Marseille-Provence ont pris en compte ces prescriptions et les ont adaptées à leurs propres objectifs et à leur organisation (instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art de 2010 qui a été rendue exécutable par la circulaire du 16 février 2011).

La doctrine de gestion des ouvrages validée en 2001 permet d'avoir la connaissance de l'état du patrimoine au sein de la collectivité, de conserver et transmettre un savoir-faire, et de garder une homogénéité de gestion au fil des années.

Le document se présente comme un code de conduite à tenir définissant le nombre de visites à effectuer selon la nature de l'ouvrage, son état et les dégradations éventuelles, etc. Les caractéristiques de chaque ouvrage ont été intégrées dans un logiciel informatique baptisé Oasis.

Recensement, visites... Toutes les informations sont rassemblées dans une base de données. Un logiciel permet de classer les ouvrages par catégories et de les hiérarchiser par rapport à leur pathologie après les avoir notés suivant une évaluation appelée Visites Annuelles Qualifiées des Ouvrages d'Art ou Image de la Qualité des Ouvrages d'Art.

Ce logiciel permet de retrouver en quelques secondes la fiche signalétique de chaque ouvrage, ses dimensions, ses particularités, les dates des visites périodiques.

C'est aussi une aide à la décision car il permet, à travers différents critères, de définir les priorités et d'établir une programmation des interventions à réaliser.

La programmation s'appuie donc sur une méthodologie, aujourd'hui éprouvée en France, qui consiste à optimiser les coûts d'entretien en prenant en compte à la fois l'état de santé des ouvrages d'art et leur impact socio-économique pour la collectivité.

Chaque année le Territoire, avec l'appui de la Métropole Aix-Marseille-Provence dont il dépend, consacre entre 1,5 M€ et 2 M€ pour les visites et les réparations d'ouvrages.

Les opérations plus lourdes de reconstruction ou de réhabilitation font l'objet de marchés et d'enveloppes financières spécifiques.

La Métropole, peut donc être fière aujourd'hui, avec la réhabilitation complète et la mise aux normes de la corniche Kennedy et celle du tunnel sous le Vieux-Port, d'avoir permis l'entretien de ces grands ouvrages emblématiques de Marseille.

JOËL VANNI

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES DÉLÉGUÉ
AU TERRITOIRE MARSEILLE PROVENCE



MAINTENANCE DES INFRA- STRUCTURES

TRAVAUX D'URGENCE DANS LA VALLÉE DE LA VÉSUBIE © GUILLAUME ROMAN





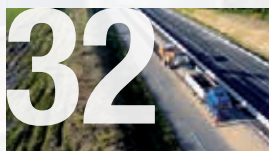
04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16 ENTRETIEN AVEC
CHRISTIAN TRIDON
STRRES -
UNE PASSION ENFIN RÉCOMPENSÉE

24 ECP -
PLURALITÉ DE SAVOIR-FAIRE
EN RESTAURATION/CONSERVATION



32 CONCESSION-
CONSTRUCTION
DE L'AUTOROUTE A79
(RCEA)



37 RÉHABILITATION
D'OUVRAGES EXISTANTS
POUR LE PASSAGE EN
AUTOROUTE DE LA RN79



44 ÉTANCHÉITÉ BFUP
SUR OUVRAGE D'ART
Une première sur l'A36
du réseau APRR



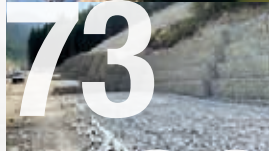
51 UNE RÉPARATION
ATYPIQUE
DE PASSERELLE
SUSPENDUE
à Charleville-Mézières (08)



56 TRAITEMENT DE SOLS
POST-FUKUSHIMA ET
GRAND CARÉNAGE D'EDF
au cœur des activités
de maintenance



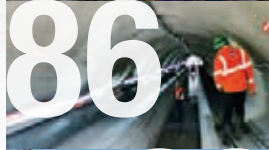
64 RÉHABILITATION
DU PONT SUSPENDU
de Châtillon-sur-Loire (45)



73 TRAVAUX D'URGENCE
DANS LA VALLÉE
DE LA VÉSUBIE



80 LA VALLÉE
DE LA ROYA
SE RECONSTRUIT



86 RENFORCEMENT ET
ABAISSEMENT DU SEUIL
D'UNE BUSE MÉTALLIQUE
HYDRAULIQUE
sous l'autoroute A6



92 TRAVAUX DE RÉPARATION
DU PONT SUSPENDU
DU MAS D'AGENAIS (47)



CURE DE JOUVENCE POUR LE PONT DE CHÂTILLON- SUR-LOIRE

Arcadis et Baudin-Chateauneuf, respectivement mandataire d'un groupement d'AMO et mandataire d'un groupement de conception-réalisation, ont procédé au remplacement total de la suspension obsolète de ce pont à câbles suspendu de 354 m construit en 1841, plusieurs fois détruit et reconstruit. Cette lourde rénovation a également porté sur la charpente, les pylônes, les massifs d'ancrage et les appuis. Une passerelle latérale pour modes doux a été créée. (Voir article page 64).



DÉTECTER LE COMPORTEMENT D'UN MUR DE SOUTÈNEMENT

Un mur de soutènement ne montre pas toujours qu'il menace de s'écrouler. Le webinaire de l'AFGC sur l'évaluation et la gestion de ces murs a été l'occasion de présenter deux cas de diagnostic d'état.



Le mur de soutènement Guizay 2 (Loire) sur la RN 88 fait l'objet d'investigation pour trouver l'origine des fissures et éclats qui témoignent de son instabilité.

« Y a-t-il beaucoup de cas de défauts de conception des murs de soutènement qui génèrent des désordres puis une stabilisation qui laisse espérer moins de sinistres à l'avenir ? » a demandé un auditeur du webinaire sur l'évolution et la gestion des murs de soutènement⁽¹⁾. « Si tout va bien au départ, que la stabilité externe est assurée, l'ouvrage ne bouge pas sauf événement exceptionnel comme des intempéries, » a répondu Nicolas Bessoule, directeur technique de Sixense Engineering.

Dans le cas précis des murs en remblai renforcé par des aciers, la corrosion des armatures n'influe ni sur la stabilité externe ni sur la stabilité générale mais sur la stabilité interne car elle altère la résistance en traction. C'est donc un élément à prendre en compte dans leur évolution. « Un mouvement de 1 mm voire moins peut aboutir à une rupture, précise Mathieu Sur, chef de projets et associé de Profractal⁽²⁾. Il ne sera pas détecté par mesure topométrique. L'expertise doit comprendre des prélèvements d'échantillons de sol et d'armatures pour pronostiquer son évolution probable. »

« Les murs en maçonnerie peuvent supporter une grande déformation avant rupture, observe Anne-Sophie Colas, ingénieure-chercheuse au laboratoire risques rocheux et ouvrages techniques (Université Gustave Eiffel). Leur composition en matériaux est très variable d'un mur à l'autre. Il n'y a pas toujours de dossier d'ouvrage, vue leur ancienneté. »⁽³⁾

→ **Chercher l'origine des désordres**
Parfois, les plans ne sont pas fidèles à la réalité. C'est le cas du mur en béton armé encastré sur semelle n°2 de Guizay sur la RN 88 entre Saint-Étienne et La Ricamarie (Loire), gérée par la Direction interdépartementale des routes Centre Est (Dir CE). Le mur en béton montre des fissures, des éclats et de l'humidité. « La campagne d'investigations en 2001-2002 n'a pas abouti à une détection, relate Julien Cabut, chef de projet réparations ouvrages d'art à la Dir CE. Il manquait la connaissance de la géométrie de l'ouvrage et de la géotechnique du site. La recherche de l'origine des désordres a repris en 2018 sur ces deux points. Manque-t-il le talon du mur ? Y a-t-il corrosion des aciers entre voile et semelle ? L'investigation

en 2022 répondra à ces questions. » Le mur de Guizay n°2 est le dernier ouvrage à être traité parmi les 18 à priorité la plus haute sur les 150 présents sur 50 km, sur le secteur RN88-A47 et A72, autour de Saint-Étienne. « Suite à deux accidents sans signe avant-coureur en 1988 et en 1999 dans la Loire, une méthodologie d'étude de ces murs a été conçue avec le Cerema Centre, expert en appui de la Dir, a développé Agnès Joseph, référente géotechnique à l'unité risques naturels (Cerema). La plupart date des années 1960 et sont en béton armé sur semelle. »

Parmi les 18 ouvrages prioritaires, 9 ont été écartés. Certains ne dépendaient plus de l'État. Sur d'autres, la poussée des terres a été allégée. Au Chambon-Feurolles, une bretelle d'accès à la RN88 a été déplacée de façon à décaisser le mur problématique. Toujours au Chambon, un délaissé de la route, qui souffrait de servir de parking, a été converti en espace vert.

→ **Sols compressibles sous culée**

Autre étude de cas du webinaire : celui du viaduc de Lyons à Rouen (Seine-Maritime).

Le viaduc routier de 100 m franchit une voie ferrée. Il date de 1981. Sur sa culée nord de 6 m de haut, une dizaine d'écaïlles de béton du parement sont cassées ou décalées les unes par rapport aux autres, et on peut voir des gonflements. Le joint de chaussée au-dessus se dégrade. Risque : que les écaïlles tombent sur la voie ferrée.

« L'analyse des risques a déterminé une forte criticité vis-à-vis de la corrosion des

armatures dans le remblai, informe Nicolas Bessoule de Sixense Engineering à qui la Dir Nord-Ouest a confié le diagnostic. Au vu des déformations, nous avons suspecté un tassement et avons déclenché un prédiagnostic. Dans le dossier d'ouvrage, nous avons découvert une forte épaisseur de sol compressible en tourbes et limons, et des problèmes dès la construction. Mais le tassement n'explique pas tout. Pourquoi y a-t-il déplacement des écaïlles en forme d'ondulation ? Les points bas correspondent à l'emplacement des piliers du viaduc dans le remblai. L'auscultation a montré que le bétonnage des pieux a débordé sur les armatures, ce qui a bridé des écaïlles qui ont cédé. Les armatures en acier galvanisé sont en bon état, ce qui a été confirmé par des analyses et essais en laboratoire sur des témoins extraits du mur. »

→ **Tassement stabilisé**

Les travaux devraient avoir lieu cette année après avoir défini la technique de remplacement des écaïlles, des panneaux en croix de 1,50 m et 14 cm d'épaisseur, afin de ne pas menacer la stabilité du mur. « Par nos calculs, vu l'âge de l'ouvrage et l'amplitude du tassement, nous avons estimé qu'il était stabilisé, ajoute M. Bessoule. Nous allons continuer le suivi topométrique annuel sur trois ans. » ■

⁽¹⁾ Organisé par l'Association française de génie civil, le 13 janvier.

⁽²⁾ Cf. "La gestion du patrimoine", Mathieu Sur et Mohamad Assaad, Bulletin ouvrages d'art n°78 (www.setra.fr), juillet 2021, page 71.

⁽³⁾ Voir projet Dolmen.

À CONSULTER

Le Cerema a publié des guides d'analyse des risques appliquée aux murs en maçonnerie (2021), aux murs en béton armé sur semelle (2018) et en remblai renforcé (terre armée) (2014).



En rouge, les écarts entre écaïlles sur la culée du viaduc de Lyons à Rouen (Seine-Maritime). En surimpression, les piliers et le chevêtre.

VOUS INTERVENEZ SUR UN CHANTIER CONTENANT DE L'AMIANTE



Un site intuitif et simple d'utilisation, pour connaître à chaque étape de vos interventions :

- les bons gestes à effectuer
- les équipements recommandés
- les meilleures pratiques, validées par les experts.

Rendez-vous sur reglesdelartamiante.fr



L'AGENCE "INNOVATION TRANSPORTS"

Le protocole d'accord de mise en œuvre opérationnelle de l'Agence de l'innovation pour les transports (AIT) a été signé le 22 novembre par Damien Cazé, directeur général de l'aviation civile (DGAC) et Marc Papinutti, directeur général des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM). Il précise la répartition du pilotage, de la coordination, de la gouvernance, et définit les moyens budgétaires par direction.

L'AIT avait été préfigurée en juillet 2021 à la demande de Jean-Baptiste Djebbari, ministre des transports. Elle dispose de deux antennes, l'une à Toulouse (Direction des services de la navigation aérienne), l'autre à Paris La Défense (DGAC-DGITM). L'Agence structure un réseau de partenaires afin d'accélérer l'innovation dans les transports car c'est le 1^{er} secteur émetteur de gaz à effet de serre (31 % en France).

Les agences sont des espaces dédiés à l'innovation équipés de moyens de simulation. Un accord-cadre a aussi été signé avec l'Association française des instituts de recherche technologique. Les pôles de compétitivité spécialisés sont aussi impliqués.

75 MILLIONS POUR LA FORMATION

Les organismes de formation ont jusqu'au 31 décembre 2024 pour répondre à l'appel à projets "investissements innovants" du CCA-BTP. Le financement de 25 millions par an sur trois ans sera dédié à de l'immobilier lié à des innovations pédagogiques et éducatives, ou aux achats de matériel allant en ce sens. Cette aide est particulièrement dirigée vers l'apprentissage.

ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE : AVANCÉES SUR LE TERRAIN



L'hydro-électricité peine à se développer. Utiliser un seuil existant est un bon moyen pour lancer un projet. Ici, ancien moulin équipé sur la Nive des Aldudes (Pyrénées-Atlantiques).

© FRANCE HYDRO ÉLECTRICITÉ

« La production d'électricité renouvelable permet de retrouver de la puissance pour satisfaire les besoins croissants et ne dépendre ni des importations ni de la spéculation, » a affirmé Xavier Nicolas, président de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), lors de la présentation du 12^e baromètre des énergies renouvelables électriques. Actuellement, « les défaillances du parc nucléaire ne sont pas compensées par la production électrique renouvelable, c'est pour cela que nous maîtrisons peu le prix de l'électricité, » explique Stefan Louillat, chef de service adjoint réseau énergies renouvelables de l'Ademe. Le manque de production entraîne l'achat de kilowattheures sur le marché au prix fort.

→ Limite des fermes photovoltaïques

En 2021, 4 GW supplémentaires d'électricité renouvelable ont été installés. Le photovoltaïque, l'éolien et l'hydraulique assurent ainsi un peu moins de 25 % de la consommation finale. C'est en dessous de l'objectif de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) qui était de 27 % et 2022 n'ira pas plus loin, selon l'Observatoire des énergies renouvelables (Observ'ER) qui réalise le baromètre. En 2021, sur les 4 GW installés, plus

de 2 le sont en photovoltaïque contre 1 pour l'éolien, surtout avec des centrales au sol. « Ce développement va connaître une limite à cause du problème de l'acceptabilité d'implantations de si grande taille, » remarque Vincent-Jacques Le Seigneur, président d'Observ'ER.

→ Confiance grandissante

Malgré des résultats insuffisants, la confiance dans l'électricité renouvelable progresse. Les collectivités locales et leurs habitants y investissent. « Les formats d'organisation juridique, économique et de gouvernance sont de plus en plus variés et innovants, » écrit Observ'ER. De gros consommateurs n'hésitent pas à s'équiper sans aide de l'État.

Rappelons que la 1^{re} source d'électricité renouvelable reste l'hydraulique avec près de 61 700 gigawattheures (GWh) produits en 2021 à travers 26 000 MW installés⁽¹⁾, contre 38 200 GWh en éolien et 13 700 en photovoltaïque.

La puissance hydraulique évolue peu, elle était de 25 962 en 2020. « C'est l'interprétation et la mise en œuvre de la loi sur l'eau, au nom de la continuité écologique, notamment par l'administration, qui condamne le potentiel hydro-électrique, » selon Aurélie Dousset, chargée de communication de France Hydro Electricité (exploitants de petites centrales de 15 kW

à 12 MW). « Le stockage d'eau qui peut être mis en route très rapidement en cas de besoin d'électricité, est une force de l'hydraulique que le secteur aimerait valoriser de façon à dégager des moyens pour rénover d'anciens ouvrages, » rapporte Frédéric Tuillé, chargé du baromètre.

→ Hydro-électricité cachée

« Les techniques existent pour préserver la rivière et son environnement, » souligne Aurélie Dousset. L'appel à projets européen pour le développement d'hydro-électricité cachée, c'est-à-dire sur l'hydraulique existante (conduite d'eau potable, canalisation d'eaux usées), clos le 22 février, « va améliorer la rentabilité des projets, » selon France Hydro Electricité.

Pour accélérer l'implantation d'électricité renouvelable, « il faut soutenir l'innovation et travailler davantage sur les impacts environnementaux, » selon l'Ademe.

Baromètre téléchargeable sur : www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/energie_renouvelable_france/ObservER-Barometre-EnR-Electrique-France-2021.pdf. ■

⁽¹⁾ Cf. Travaux N°967, mars 2021, p. 8.



Pont Eiffel - Cubzac-les-Ponts



Viaduc de Bonpas - Vaucluse



Œuvrer ensemble à un monde durable et offrir à chacun une vie meilleure

Nos expertises :

Concevoir et réaliser des ouvrages d'art architecturaux

Diagnostiquer et concevoir des solutions de réparation/transformation d'ouvrage

Assurer des missions de maîtrise d'œuvre complète de projets d'infrastructure

Bâtiment | Eau | Énergie | Industrie | Infrastructure & Mobilité | Transport | Ville

Tél. 01. 49. 04. 55. 00 - ivt@ingerop.com

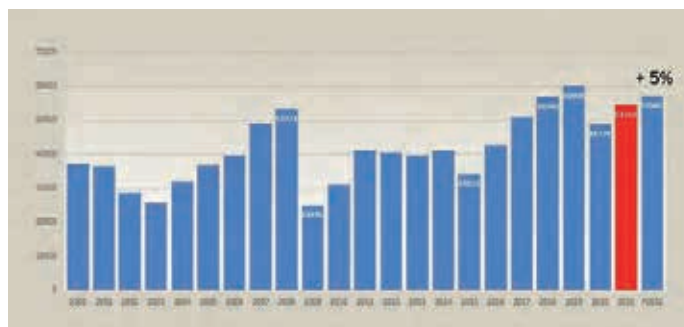
LES ENGINES DE CHANTIER RETROUVENT UN RYTHME DE CROISIÈRE

Il ne se passera rien de décisif avant trois-quatre ans en ce qui concerne le changement d'énergie dans les engins de chantier, a déclaré le Syndicat des entreprises internationales de matériels de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage, manutention (Seimat) lors de la présentation des chiffres de vente de matériel en 2021.

→ Hydrogène en expérimentation

Les minipelles électriques seront, pour la 1^{re} fois, décomptées en 2022 dans ces statistiques. Quant à l'alimentation en hydrogène, une commission prospective étudie les capacités de l'industrie. Il s'agit pour le moment d'expérimentations car il faut un gros volume d'hydrogène pour des machines puissantes. Que ce soit avec l'électricité ou avec un carburant nouveau, reste la question de leur disponibilité sur les chantiers.

En ce qui concerne les résultats 2021, Pascal Guillemain, président du Seimat, a fait part d'une hausse du marché par rapport à 2020, à 2,7 milliards d'euros



Les mises à disposition d'engins de chantier n'ont pas, en 2021, retrouvé le niveau de 2019. En 2022, elles pourraient rejoindre celui de 2018.

de chiffre d'affaires (+12,5%) et 54 500 unités mises à la consommation (+11%), contre 2,4 et 49 000, l'année où a débuté la crise sanitaire.

→ Le creux de 2020 se résorbe

Sans surprise, le creux de 2020 se résorbe. 2021 montre une croissance à deux chiffres qui ne se répétera pas en 2022. De nombreuses commandes ont été prises fin 2021, avec un report de

facturation au 1^{er} semestre 2022 qui sera probablement plus actif que le second. Au total, 57 000 engins toutes catégories confondues devraient être écoulés en 2022, soit 5% de mieux qu'en 2021. C'est encore sous le niveau de 2019 (60 000), année qui avait comme 2017 et 2018, profité de la mesure de suramortissement prise par le président de la République. ■

MOBILITÉS MODÉLISÉES

Egis et l'École nationale des travaux publics de l'État (Vaulx-en-Velin/Rhône) ont créé une chaire "nouvelles mobilités et modélisation", à la mi-janvier.

Les deux partenaires s'engagent sur cinq ans pour accroître connaissance et savoir-faire sur ce thème. Cette chaire s'inscrit dans le projet de recherche Simval, entre le Laboratoire aménagement économie transports, commun au CNRS, à l'ENTPE et à l'Université Lyon 2, et Egis.

Simval vise à développer « la simulation de l'impact d'une offre de navettes automatisées sur la mobilité quotidienne dans la métropole de Lyon. »

INFRASTRUCTURES CONNECTÉES

Les candidats à l'appel à projets "mobilités routières automatisées, infrastructures de services connectés et bas carbone" (PIA4) peuvent se manifester jusqu'en janvier 2023. En ce qui concerne le volet infrastructures, PIA4 soutiendra des solutions faisant appel à des capteurs d'état de l'infrastructure et des sollicitations qui pèsent sur elle, à des techniques d'inspection à grand rendement, des outils de gestion ou maintenance prédictives du patrimoine. Indura en a fait une présentation à distance le 20 janvier.

LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE TRADUITE EN TRAVAUX



© VILLE DE CHERBOURG-EN-COTENTIN

Cherbourg (Manche) se prépare à une submersion acceptable du quai Lawton-Collins.

La Fédération nationale des travaux publics (FNTP) s'est adressée à plusieurs candidats à l'élection présidentielle, lors de son forum le 24 février. Elle entendait proposer des investissements en infrastructures, indispensables à la

réussite de la transition écologique et recueillir leur avis.

Elle a commencé à travailler sur ce thème il y a deux ans avec Carbone 4, Utopies et l'Observatoire français des conjonctures économiques. Les études

menées montrent que la moitié des émissions de CO₂ en France sont liées aux usages des infrastructures.

→ Restaurer les milieux naturels

Deux scénarios d'investissement sont proposés, les deux menant à la neutralité carbone en 2050. Le premier, dit de sobriété, suppose un surplus d'investissement de 16 milliards par an. Le second, basé sur des besoins croissants et des innovations, génère un surplus de 30 milliards.

Quatre domaines d'actions sont à privilégier : prolonger la vie des infrastructures par une meilleure maintenance ; les travaux liés aux mobilités et énergies décarbonées ; la restauration des milieux naturels, la désartificialisation des sols et la création de puits de carbone ; la résilience des territoires face aux aléas climatiques.

La FNTP compare cet effort à celui au lendemain de la Seconde guerre mondiale. ■



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° 977 « Travaux souterrains »
- TRAVAUX n° 978 « International »



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

BILAN CARBONE EN TERRASSEMENT ET GÉNIE CIVIL



© MICHEL MENGUY/CEREMA

Le bilan carbone d'un ouvrage d'art ne s'arrête pas à celui des matériaux (projet Ciogen).

Chacun peut comprendre que le terrassement émet des gaz à effet de serre à travers les engins et que transporter des matériaux par voie d'eau fera baisser ces émissions. Mais quelle différence de bilan carbone y a-t-il entre utiliser des matériaux issus de carrière et réutiliser ceux en place ? « *Le point de bascule entre ces deux façons de faire est moins intuitif, il est au centre de notre recherche Ter-CO2*, » précise Jocelyn Bouchut, chef de projet au département géotechnique d'Egis qui collabore avec le département environnement sur le sujet. TerCO2 est un des six lauréats du dernier appel à projets de la fondation Ferec⁽¹⁾ intitulé "décarbonation et économie circulaire".

Les matériaux nobles nécessitent des engins d'exploitation et de transport. Pour ceux réutilisés sur place, c'est le traitement à la chaux ou au ciment des matériaux à teneur en eau élevée qui alourdit leur bilan carbone. La fabrication de ces deux produits émet beaucoup de CO₂. La recherche vise à élaborer une méthode et un outil « *afin qu'ingénieurs et maîtres d'ouvrage fassent leur choix en connaissance de cause entre matériaux nobles et réutilisation*, » indique M. Bouchut. L'utilisateur de l'outil pourra tester différents scénarios et constater l'influence sur le bilan carbone.

« *Nous allons décliner les outils existants sur un chantier de terrassement à travers les échanges avec Valérian et Eiffage*, » informe M. Bouchut.

La Ferec verse 30 000 euros au projet d'un an.

→ Bilan CO₂ d'un ouvrage d'art

Autre lauréat de la Ferec en 2021, Ciogen qui reçoit 40 000 euros, ce qui « *va per-*

mettre d'accélérer les travaux dont l'idée remonte à 2011, informe Tiffany Desbois, chargée d'études recherche et méthodologie au service ouvrages d'art et maritimes du Cerema Ouest. *Un ingénieur va être embauché et un livrable, publié en novembre.* »

Ciogen est parent de Diogen, base de Données d'impacts environnementaux des matériaux de génie civil issue du groupe de travail de l'Association française de génie civil du même nom⁽²⁾. Le projet Ciogen considère l'ensemble d'un ouvrage d'art sur sa durée de vie - matériaux constitutifs, mise en œuvre, réparation-maintenance et déconstruction - et en calcule les impacts. Les solutions seront proposées selon la norme

NF EN 15804 de façon à les comparer sans biais. L'impact environnemental d'un ouvrage se différencie des études d'impact centrées sur l'ouvrage dans son environnement (faune, flore, etc.).

L'outil, gratuit, pourrait, comme Ter-CO₂, être signalé dans les appels d'offres. L'ingénieur de recherche va collecter des données précises sur des chantiers auprès d'entreprises (avis à participation).

→ Émissions en géotechnique

Le projet du 3^e lauréat que nous avons retenu s'intitule Performances environnementales des ouvrages géotechniques sur leur cycle de vie (Peogeo). La recherche s'intéresse aux dispositifs dont « *la durée de vie est souvent beaucoup plus importante que celles des superstructures portées*, écrit son équipe animée par Myriam Saadé, chercheuse associée au laboratoire Navier. *Les méthodes et outils disponibles ne répondent pas réellement quand il s'agit de prendre en compte cette durée de vie.* »

Sont partenaires de Peogeo : Antea Group et Vinci. Montant versé par la Ferec : 40 000 euros. Livrables entre août et décembre. ■

⁽¹⁾ La fondation Ferec a été créée fin 2017 par SNCF Réseau, Eiffage Infrastructures, Vinci Construction, Eurovia, Colas puis Total Energies. Cf. *Travaux* n°946, novembre 2018, p 13 ; n°955, novembre 2019, p 10 ; n°970, juillet-août 2021, p 9.

⁽²⁾ Groupe de travail animé par M^{me} Desbois et Adelaïde Feraille du laboratoire Navier (École nationale des ponts et chaussées, Université Gustave Eiffel et CNRS).



© JOCELYN BOUCHUT/EGIS

TerCO2 se penche sur les émissions de gaz à effet de serre en terrassement. Ici, chantier au Maroc.

STATION D'HYDROGÈNE À BELFORT

Belfort se dote d'une station d'hydrogène. Au 1^{er} trimestre 2023, sept bus fonctionnant avec ce carburant pourront s'approvisionner à proximité du dépôt de la Régie des transports du territoire de Belfort. L'hydrogène sera produit par un électrolyseur d'1 MW alimenté en électricité renouvelable (non précisée). Il faudra une heure pour la recharge. Le site sera équipé de trois bornes d'alimentation exploitées par Hynamics, filiale d'EdF.

Eiffage Energie Systèmes-Clemessy a remporté le marché de conception-réalisation, début janvier. Eiffage Route est chargée du terrassement, du génie civil et des VRD. En 2025, 27 bus, des utilitaires et des bennes à ordures pourraient venir s'y alimenter.

© LE BUREAU DU PAYSAGE/PIERRE TOURNIER



La station d'hydrogène sera mise en service début 2023.

JUMEAU NUMÉRIQUE LÉGER

Egis a conçu un jumeau numérique léger et modulaire destiné aux collectivités et aux exploitants d'infrastructures de transport. Il fait la connexion entre des logiciels et des outils existants, ce qui « permet de mieux répondre aux besoins opérationnels des utilisateurs : accès à la documentation plus rapide, mise en contexte des alertes, meilleure traçabilité, continuité de l'information entre outils, accès aisé en mobilité, etc. »

Un jumeau numérique reproduit un ouvrage dans le cadre du Bim avec mises à jour. Le Connectwin d'Egis a été élaboré avec Catenda, Eurostep, Vossloh (technique ferroviaire), Ubiplace et Carl Berger-Levrault.

VINCI INVESTIT LE MARCHÉ HISPANIQUE

Vinci a finalisé le rachat des activités énergie d'ACS (Espagne) le 31 décembre. Il s'agit de reprendre les parties "contracting" (construction, maintenance, exploitation), concessions et développement de projets d'énergies renouvelables de Cobra, de la division services industriels d'ACS. Ainsi, le groupe français s'enrichit-il d'une expérience dans le solaire photovoltaïque, l'éolien terrestre et, éventuellement, en mer. Il s'ouvre des marchés en Espagne et en Amérique latine.

SPIE BATIGNOLLES VALLIA GROSSIT

Spie Batignolles Vallia a pris une participation majoritaire dans le capital de BATP 44, entreprise de terrassement, assainissement, aménagements de voirie, aux côtés de Laurent Blanoeil, associé et directeur d'exploitation de l'entreprise.

BATP 44, située à Carquefou (Loire-Atlantique), emploie 29 personnes et réalise 4,5 millions de chiffre d'affaires.

REPRISE D'EQUANS PAR BOUYGUES

La reprise par Bouygues d'Equans, entité indépendante depuis le 1^{er} juillet 2021 du groupe Engie et spécialisée dans les services multi techniques, annoncée le 5 novembre, devrait se concrétiser au 2^e semestre 2022.

Engie entend ainsi se concentrer sur des investissements dans les énergies renouvelables. Equans emploie 74 000 personnes dans 17 pays dont 27 000 en France. Elle génère 12 millions de chiffre d'affaires par an.

POSTE D'AIGUILLAGE À STRUCTURE EN PALPLANCHES



© AUTEURS DE VUES

Trois postes d'aiguillage ont été réunis en un seul à Nantes Blottereau (Loire-Atlantique).

Les postes d'aiguillage changent de tête. À Nantes Blottereau, près du parc floral du même nom, un bâtiment bas tout en longueur remplace trois petits postes numérotés comme il en existe à l'approche des grandes gares. Il s'agit du transfert d'activités ferroviaires de Nantes

État, terminus sur l'île de Nantes dont 15 ha ont été acquis par la métropole de Nantes.

→ Équerre d'argent 2021

Le bâtiment, conçu par l'agence d'architectures nantaise Titan, a été nommé à l'Équerre d'argent 2021, concours d'ar-

chitecture, catégorie "lieux d'activité". Long de 108 m sur 7,50 m de large et 3,50 m de haut, il est logé entre deux voies, sans lien avec elles. S'enchaînent dans cette longueur, des locaux pour les transformateurs électriques, les télécommunications, les ordinateurs et les équipements de signalisation, ainsi que des salles dont celle d'exploitation avec 3 agents de la circulation. La façade est vitrée à cet endroit sur 35 m de long. Le reste est couvert de bardage en aluminium reflétant l'environnement.

→ Mise en service en 2022

La structure du bâtiment est en palplanches semi-enterrées (Charier TP) sur laquelle sont fixés des éléments préfabriqués. Les planchers sont en béton.

Les travaux du bâti se sont terminés en mars 2021 mais l'équipement sera prêt à servir courant 2022. L'ensemble du transfert de Nantes État à Nantes Blottereau inclut d'autres travaux comme un nouveau pont-rail (Bouygues Travaux publics). ■

CONTRATS EN ÉOLIEN OFFSHORE

Smulders va participer à l'implantation d'éoliennes offshore au large des côtes britanniques. La filiale belge d'Eiffage Métal a remporté en groupement un contrat de fondations et un second de sous-stations électriques en mer. Avec Sif, entreprise néerlandaise, Smulders se charge du façonnage de l'acier secondaire des pièces de transition, de l'assemblage, du revêtement de 87 fondations d'éoliennes composées d'un monopieu et d'une pièce de transition. Le parc du Dogger Bank auquel elles sont destinées, se situe au large des côtes du Yorkshire, dans l'Est de l'Angleterre. C'est sa 3^e et dernière phase. Ce parc, aux mains de SSE Renewables, Equinor et Eni, aura une puissance totale de 3,6 GW à son achèvement en 2026. Il produira l'équivalent de l'électricité consommée par 6 millions de foyers. Il recourt au système de transmission de courant continu à haute tension, une première selon Eiffage.

→ Deux sous-stations en Écosse

Smulders va aussi fabriquer, en groupement avec Siemens Energy, deux sous-

stations électriques, du projet Moray West au nord-est de l'Écosse. Les sous-stations centralisent et transforment le courant produit par 85 éoliennes. Revient à la filiale belge, l'ingénierie et la construction des parties supérieures (topside). Siemens Energy fournit le transformateur offshore.

Pour ce chantier, Smulders utilise ses sites belges et celui de Newcastle (Angleterre) qui, jusqu'ici, se concentrait sur les jackets (fondations en tubes) pour le projet Moray East.

Le Moray West, de 860 MW, développé par Ocean Winds et Ignitis Group, sera effectif en 2024. ■



© SMULDERS

L'usine Smulders à Newcastle va assembler les sous-stations électriques pour le projet Moray West, au large de l'Écosse.

CENTRALE HYDRO ÉLECTRIQUE COUPLÉE À UN RÉSEAU D'IRRIGATION

À Châteauroux-lès-Alpes (Hautes-Alpes), micro-centrale hydro-électrique et modernisation de l'irrigation sont « deux projets indissociables », souligne Christian Faure, responsable de la mission partenariat eau-énergie de la Société du canal de Provence (SCP), membre d'un GIE pour la première et maître d'ouvrage délégué pour la seconde.

L'idée de ce couplage revient à Xavier Long, 1^{er} adjoint au maire, et à Éric Lions, responsable des Associations syndicales autorisées (Asa) regroupant les irrigants du secteur, par ailleurs président de la Chambre d'agriculture départementale.

Maintenir l'activité agricole passe par la modernisation du réseau d'irrigation du 19^e siècle, évaluée à 5 millions d'euros. La micro-centrale hydraulique vendra ses kilowattheures à EDF à un prix garanti pendant vingt ans⁽¹⁾. Ce revenu facilite l'accès à des emprunts pour financer les projets.

→ Conduites sous pression

Châteauroux-lès-Alpes se situe dans la vallée de la Durance en amont du lac de Serre-Ponçon. La prise d'eau sur le tor-

rent du Rabioux est prévue à 1 380 m d'altitude. La conduite forcée descend sur 4,8 km jusqu'à 980 m, à Saint-Marcellin, hameau de Châteauroux.

La prise au fil de l'eau est un ouvrage d'art ménageant une voie réservée au torrent et comportant notamment un dessableur et une passe à poissons. Dans une conduite de 600 mm de diamètre, l'eau arrive à 40 bars de pression à la centrale (turbine Pelton de 2 MW) qui devrait produire 8 GWh par an.

L'irrigation actuelle par canaux à ciel ouvert capte 5,5 millions de mètres cubes par an sur le torrent. Les conduites forcées entre 500 mm de diamètre et 40 en prélèveront un peu plus de 3.

→ Irrigation très subventionnée

Le nouveau réseau d'irrigation se piquera sur la conduite de la centrale aux Pinées (marais de la Sainte-Croix, 1 220 m). Son maillage - 45 km de tuyaux - desservira 450 ha de prairies fourragères, cultures, vergers et maraîchage. En période d'étiage, une 2^{de} prise plus basse, rénovée, alimentera des terres en plaine. Le débit dans le torrent est prioritaire sur les usages humains. L'irrigation vient en

deuxième. Son débit maximum, encore en discussion, tournera autour de 400 litres par seconde. La centrale ponctionne 730 l/s environ au maximum et démarre à 10%. « Elle va fonctionner neuf mois sur douze environ », estime M. Faure. Les projets sont au stade des autorisations vis-à-vis de l'environnement et de la santé. Les travaux d'irrigation devraient débuter fin 2022 pour deux ans. Ils sont subventionnés à 80% par l'Europe⁽²⁾, la région Provence/Alpes/Côte-d'Azur et l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse.

→ GIE Energie

La micro-centrale ne reçoit pas d'aide hormis la garantie de rachat de l'électricité par EDF. Son coût est estimé à 6 millions. Les travaux pourraient commencer en 2023 et la mise en service, avoir lieu au 2^e semestre 2024.

Elle est créée par un groupement d'intérêt économique Énergie au capital duquel figurent la commune, les Asa et la SCP. ■

⁽¹⁾ Lauréate de l'appel à projets de la Commission de régulation de l'énergie en janvier 2021.

⁽²⁾ Fonds européen agricole pour le développement rural.

ROUTES

5^e RAPPORT IDRRIM

Les communautés de communes et les agglomérations sont toujours à la traîne pour fournir des données sur la gestion de leur réseau routier.

L'Observatoire national des routes (ONR), mis en œuvre par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrrim), s'efforce de remédier à cette lacune.

La 5^e édition du rapport de l'ONR, parue fin 2021, se réjouit de la participation des départements et des métropoles, en augmentation depuis 2016, année de sa création par des associations de collectivités locales et de professionnels de la route.

« L'historique met en exergue la croissance continue des dépenses publiques dans la voirie depuis 2016 (...), fait d'autant plus marquant que les données correspondent à 2020, écrit l'ONR.

Malgré la forte pression due aux rectifications budgétaires liées à la crise sanitaire, les gestionnaires ont maintenu leurs niveaux d'investissement dans les infrastructures de mobilité. »

La 5^e édition n'a pas pu encore établir de lien entre investissement et état de la route*.

www.idrrim.com/ressources/documents/12/9164-IDRRIM_Rapport_ONR-2021.pdf

* Rapports ONR dans Travaux n°922, mars 2016, page 10 ; n°948, janvier-février 2019, page 9 ; n°960, juin 2020, page 6 ; n°967, mars 2021, page 16.

FAITS ET CHIFFRES

L'Union routière de France a publié l'édition 2021 de ses "Faits et chiffres, statistiques des mobilités en France et en Europe" (données 2020).

En 152 pages, l'organisation qui regroupe des organisations automobiles, de transporteurs et autoroutières, donne tous les chiffres sur l'utilisation de la route dont la circulation.

www.unionroutiere.fr, rubrique publications



© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

Le dénivelé entre la prise d'eau sur le torrent du Rabioux et la centrale est de 400 m.



© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

Le canal d'irrigation aux Pinées, à proximité du futur piquage sur la conduite forcée de la centrale hydro-électrique.

PERFORMANCES D'UN DISPOSITIF DE RETENUE

Le Cerema a publié *Choix des performances d'un dispositif de retenue sur ouvrage d'art*, en décembre dernier. Ce guide de 48 pages (payant) présente la méthode de calcul de l'indice de danger pour les infrastructures routières dont la vitesse autorisée est supérieure ou égale à 70 km/h. Destiné aux projeteurs et gestionnaires, il concerne les ponts neufs ou existants ou les murs de soutènement. Il tient compte des évolutions réglementaires dont les normes EN 1317 et remplace le guide Setra de 2002.



Passage d'un convoi exceptionnel sur un ouvrage d'art de la RD 600 dans l'Hérault.

© CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE L'HÉRAULT

COMPRENDRE LE JUMENTA NUMÉRIQUE

Syntec Ingénierie propose une synthèse et une vidéo sur l'intérêt du jumeau numérique au regard du changement climatique. « Le jumeau numérique est un clone virtuel de l'ouvrage réel, » explique l'organisation professionnelle. Il s'inscrit dans la démarche Bim. Il aide à prévoir les coûts d'investissement et d'exploitation, à simuler différentes solutions en optimisant les performances, la construction et la fabrication. Enfin, en exploitation, il reflète le projet au mieux, ce qui contribue à trouver les bonnes réponses aux problèmes qui surgissent.

OUVRAGES DE PROTECTION AUX RISQUES NATURELS : CAS PARTICULIER DE LA CORROSION DES ACIERS



En 2007, des câbles ont été corrodés par manque de zinc lors de la galvanisation de l'acier.

© NGE FONDATIONS

« Les éléments métalliques des ouvrages de protection contre les risques naturels gravitaires⁽¹⁾ se situent dans un milieu agressif car près du sol et sont difficiles d'accès, » explique Philippe Robit, directeur recherche et innovation de NGE Fondations, lors du webinaire I-Risk sur ce thème⁽²⁾.

« I-Risk est un regroupement collaboratif avec comme but de porter à la connaissance du plus grand nombre outils et expériences des laboratoires et des entreprises, » a rappelé Margot Bernard, chargée de projet.

« De mon retour d'expérience, par ordre du plus touché au moins touché, les petits accessoires comme les serre-câbles le sont le plus mais sont relativement faciles à changer, témoigne M. Robit. Ensuite, viennent les câbles. En 2007, ils ont contenu moins de zinc à cause de la hausse de son coût, d'où des problèmes de corrosion. »

Les ancrages sont plus difficiles à remplacer et à protéger. La corrosion peut être foudroyante, en 3-4 ans sur des aciers soumis à la flexion. La partie en aérien peut être plus agressée que celle dans le sol, en bord de mer par exemple. Il reste encore beaucoup d'écrans EI dont les câbles étaient "jonctionnés" par des chaînes dont les maillons ont un axe non galvanisé. « Des filets sont tombés par

terre sans aucune sollicitation, relate M. Robit. Consigne : remplacer les chaînes par des manilles. »

Les éléments les moins touchés sont les pièces assez grosses, galvanisées à chaud, comme les poteaux, les platines, et les filets graissés ou les grillages. En ce qui concerne les armatures dans le béton, « vous n'aurez pas de problème si vous respectez les règles de l'art de l'enrobage et la formulation du béton contre les sels de déverglaçage, » assure M. Robit.

« Sur les aciers dans le béton, il se forme d'abord une couche de corrosion qui protège l'acier, c'est la passivation mais s'il y a présence de chlorure, il peut y avoir dépassivation et perte de protection, » a complété Laurent Gaillet, directeur de recherche au laboratoire structures métalliques à câbles de l'Université Gustave Eiffel, qui a développé des notions de métallurgie lors du webinaire. La corrosion des aciers peut être générale et uniforme et aboutir à une perte de matière et donc de section dans le temps.

→ Ne pas lésiner sur la galvanisation

Elle peut être localisée. Dans ce cas, elle est plus dangereuse car elle engendre de la fissuration. « Il ne faut pas la louper à l'inspection, recommande Laurent Gaillet.

La fissure va se propager. En corrosion sous contrainte, on peut avoir un petit défaut le matin et une pièce coupée en deux, l'après-midi. »

La corrosion localisée peut aussi dépendre des composants de l'alliage. « La galvanisation à chaud par immersion dans un bain, en quatre couches de zinc, est selon nous, la meilleure, » assure M. Gaillet. « Changer de fournisseur si vous rencontrez un problème, » dit-il sans hésiter. « Adressez-vous à une entreprise compétente même si elle est plus chère. »

« Nous contrôlons l'épaisseur de galvanisation sur câble par dissolution d'un peu de zinc à l'acide chlorhydrique et nous pesons la différence de poids avant-après, » confie M. Robit.

→ Normes

La galvanisation à chaud fait l'objet de la norme NF EN Iso 1461.

Autre norme importante : la NF EN Iso 14713-1 grâce à laquelle le maître d'ouvrage caractérisera l'agression atmosphérique et la NF EN 14490, celle du sol.

Webinaire à voir sur :

<https://vimeo.com/669350781>. ■

⁽¹⁾ Glissements de terrain, chute de blocs, coulées de boue, crues torrentielles.

⁽²⁾ Organisé par Indura, le 19 janvier.

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



NOS MISSIONS

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

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

sur Internet : www.cnetp.fr

sur l'appli mobile : **CNETP Salarié**





Membre du Réseau Congés Intempéries BTP



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

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

• 5 ET 6 AVRIL

Solutions bas carbone
Lieu : Paris (Porte de Versailles)
<https://bas-carbone.com>

• 5 AU 7 AVRIL

13^e rencontres géosynthétiques
Lieu : Saint-Malo (Ille-et-Vilaine)
www.rencontresgeosynthetiques.org

• 8 AVRIL

Analyse du cycle de vie dans le génie civil
Lieu : Paris La Défense
<https://augcavv.sciencesconf.org>

• 2 AU 5 MAI

20^e conférence internationale ISSMGE
Lieu : Sydney (Australie)
<http://www.icsmge2021.org>

• 10 ET 11 MAI

Journées techniques Route
Lieu : Nantes (Cité congrès)
<https://jtr.univ-gustave-eiffel.fr>

• 25 AU 27 MAI

Défis des structures existantes ou futures
Lieu : Prague (République tchèque)
<https://iabse.org/prague2022>

• 27 MAI AU 3 JUIN

27^e congrès, Commission internationale des grands barrages, et réunion du Comité français des barrages et retenues
Lieu : Marseille
<https://cigb-icold2021.fr/fr>

• 31 MAI

Diagnostic et réparation du béton armé dégradé par corrosion (Ingénierie maintenance génie civil)
Lieu : Paris (FNTP)
www.afgc.asso.fr

FORMATIONS

• 10 AU 12 MAI

Entretien et réparation des ouvrages en béton
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 11 AU 13 MAI

Système ferroviaire : acteurs, organisation, évolutions
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 12 ET 13 MAI

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

• 18 AU 20 MAI

Conduite d'un projet de réparation d'ouvrage d'art
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

CAPEB :

Valérie Sfarmt est la nouvelle déléguée générale de l'Union régionale Pays-de-la-Loire de la Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment. Elle remplace Bruno Leclerc, retraité.

CNAM :

Juliette Vallée succède à Claude Verger à la direction régionale du Conservatoire national des arts et métiers dans les Hauts-de-France.

ÉCOLE FRANÇAISE DU BÉTON :

La direction de l'École française du béton passe des mains de Sandrine Mansoutre à celles de Laure Regnaud. De plus, Christian Clergue en préside le conseil scientifique après Laurent Izoret.

SNBPE :

Guillaume André est nommé président du collège béton prêt à l'emploi de Normandie à la suite de Thierry Flandre.

ST-GOBAIN WEBER FRANCE :

Charlotte Famy est remplacée à la direction générale par Marine Charles. M^{me} Famy devient directrice du développement de Chryso, société d'additifs, adjuvants et produits béton pour la construction, rachetée fin septembre par Saint-Gobain.

STRRES

UNE PASSION ENFIN RÉCOMPENSÉE

Cela fait de longues années que Christian Tridon, président du STRRES, (Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes de Travaux de Réparation et Renforcement de Structures) depuis 2002, tire la sonnette d'alarme. Après l'effondrement du pont Ricardo Morandi à Gênes, son idée de carnet de maintenance est enfin entendue en France. Désormais on regarde les ponts différemment. Christian Tridon quittera la présidence du STRRES le 15 juin 2022 mais son combat pour la nécessité absolue d'entretenir les structures est loin d'être terminé, pour lui et pour le STRRES. **Entretien avec Christian Tridon, président du STRRES.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



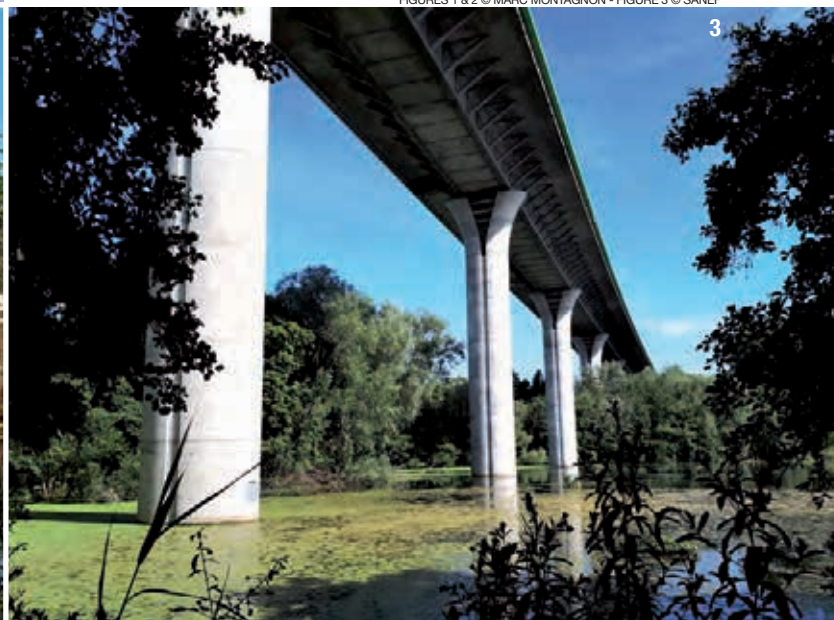
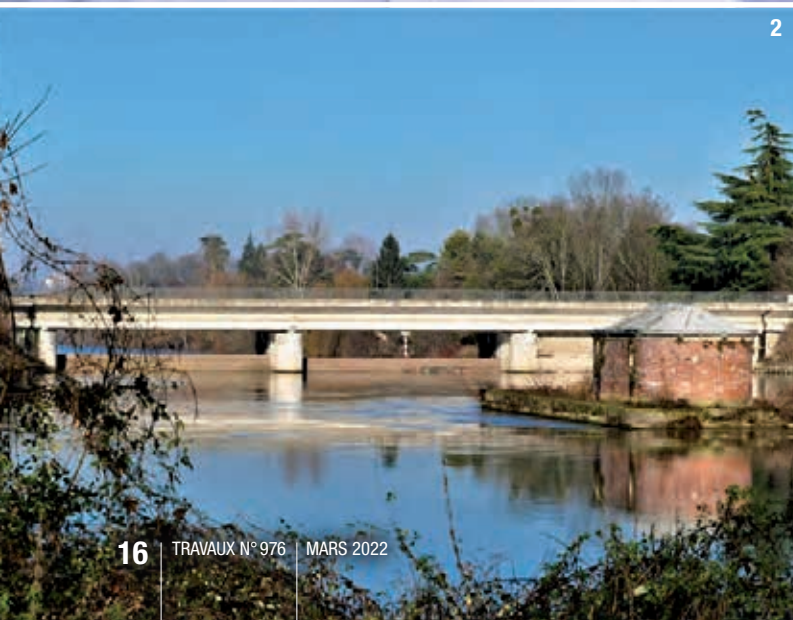
1- Christian Tridon, président du STRRES depuis 2002.

Après 20 ans passés à la présidence du STRRES, quel constat pouvez-vous faire sur l'état d'avancement de ce qui vous préoccupe depuis toujours : l'entretien des structures et, plus spécialement, des ponts ?

Depuis la création du STRRES en 1982, je n'ai cessé de véhiculer le message de la nécessité absolue de l'entretien des structures, notamment des ponts, mais mon discours n'a pas toujours rencontré l'écho que j'aurais pu en attendre jusqu'à ce que survienne, le 14 août 2018, un événement particulier qui a provoqué un tsunami dans les esprits dans toute l'Europe, y compris

en France, c'est l'effondrement du pont Morandi à Gênes qui a fait quarante trois victimes. On a eu sous les yeux la chute d'un pont impressionnant datant des années 60, exemple type d'un ouvrage qui n'avait pas été entretenu correctement. En effet, les haubans qui retenaient le tablier de ce pont étaient constitués par quatre poutres en béton précontraint, avec les risques d'infiltration et de corrosion des câbles que cela induit. Ce matin du 14 août, un orage important régnait sur Gênes et, sans que l'on sache encore s'il en est à l'origine, l'un des câbles de ces poutres a cassé, provoquant l'effondrement d'une grande partie du tablier.

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



CHRISTIAN TRIDON : LA PASSION DES PONTS

Quelques mois après, une commission parlementaire a été constituée au Sénat sous la présidence de Hervé Maurey, sénateur de l'Eure. J'ai été auditionné par cette commission en tant que président du STRRES et j'ai en profité pour renouveler mon message et, notamment, de rééditer l'idée que j'avais en tête depuis longtemps, de constituer un carnet d'entretien ou de maintenance pour chaque pont. Il me semblait assez logique de disposer pour chaque pont d'un document

2- Le pont Abbé-Pierre et le barrage de Bougival, à l'emplacement de la fameuse "machine de Marly" qui acheminait l'eau de la Seine jusqu'aux bassins et fontaines du parc du château de Versailles.

3- Le viaduc du Scardon, sur l'autoroute A16, conçu par l'architecte Jean-Vincent Berlotier, permet de franchir la vallée du Scardon, affluent de la Somme, et du Drucat, un petit affluent de la rivière et une zone de marais.

4- Le viaduc Ricardo-Morandi à Gênes, quelques heures après son effondrement le 14 août 2018.

5- Aspect final après restauration des arcades dites du "Grand Maître" de l'aqueduc de la Vanne dans la forêt de Fontainebleau.

Après des études qui le destinaient plutôt à l'industrie mécanique et après s'être essayé dans le domaine musical, c'est par le plus inattendu des hasards que Christian Tridon a rencontré le monde des Travaux Publics.

L'histoire débute en 1970. Après quinze années passées dans le secteur du Génie Civil au sein de Spie-Batignolles, du souterrain aux parois moulées, des parkings aux ouvrages d'art, beaucoup d'ouvrages d'art routiers, autoroutiers, ferroviaires, il quitte l'entreprise en 1985 et crée ECM, une société spécialisée dans le domaine des réparations et des renforcements de structures de génie civil.

Dans les années qui suivent, en parallèle d'ECM, il crée ADS, spécialisée dans la réparation et la sécurité des ouvrages métalliques anciens, en fer puddlé, principalement pour les besoins de la SNCF, et à sa demande (pose de rivets à chaud, reconstitution de structures, ...).

En 1997, Christian Tridon rachète STPL une société située près de Grenoble, dont l'activité est orientée sur les travaux en montagne, intervenant essentiellement pour EDF (énergie hydraulique).

En parallèle de ses entreprises, et pour satisfaire les demandes de DDE et de certains Conseils Généraux, il crée GETEC, structurée en six agences, toutes axées dans le domaine de l'expertise des ponts et la maîtrise d'œuvre de réparation (Aix-en-Provence, Lyon, Paris, Strasbourg, Toulouse et la Réunion).

À cet ensemble s'ajoute une société en Roumanie, dans le même secteur d'activité, avec des financements européens (FASEP). Soit un total d'une dizaine de petites entreprises de travaux et d'expertises totalisant environ 200 personnes.

Christian Tridon a rejoint la FNTF en 1996. Il est à l'origine d'IMGC (Ingénierie Maintenance Génie Civil) en 2000.

Il est également président du Conseil de l'Ordre des tuteurs des travaux publics, d'ASCO-TP (association pour la connaissance des TP) et organise depuis 26 ans, conjointement avec l'AFGC, le colloque "Le Pont" qui se déroule tous les ans en octobre à Toulouse (2 jours avec environ 400 participants) dont le thème générique est la maintenance des ouvrages de génie civil.

Aujourd'hui, Christian Tridon a cédé toutes ses sociétés et se consacre principalement aux activités liées à la FNTF (STRRES, Asco TP, Conseil de l'Ordre des Tuteurs, Égletons). Il participe à des formations dans son domaine à l'École des Ponts, dans les masters Génie Civil de Toulouse et d'Égletons, l'INSA Lyon et donne des conférences sur l'histoire des ponts et la pathologie des matériaux un peu partout dans le monde (Afrique, Amérique du Sud, Canada, États-Unis, Nouvelle Calédonie).

Il aime à dire que les personnalités exceptionnelles que ce métier lui a donné la chance de rencontrer ont fortement contribué à construire et à enrichir sa passion qui, on l'aura compris, est celle des ponts.

Christian Tridon est président du STRRES depuis 2002 et préside le "conseil des spécialités" qui regroupe l'ensemble des syndicats professionnels de la FNTF.

qui, un peu à l'image du carnet d'entretien d'une voiture, comporterait trois types d'informations : la fiche technique de l'ouvrage, son état de santé mis à jour périodiquement, la traçabilité de l'ensemble des interventions réalisées sur le pont depuis sa construction.

Il faut bien savoir que sur 10 ponts en France, quels qu'en soient les gestionnaires, 8 ne disposent quasiment d'aucune archive. Cette idée de carnet de maintenance a été inscrite dans les propositions qu'il a faites au gouvernement et a été reprise par le ministre des transports de l'époque, Jean-Baptiste Djebbari en février 2020.

En décembre 2020, l'État a fait connaître qu'il s'engageait à mettre à disposition un budget de 40 millions d'euros pour l'entretien de 70 000 ponts dépendant de 28 000 communes. Ce travail est en cours d'exécution dans toute la France, région par région, avec un délai de trois ans pour produire le carnet de santé de ces ponts.

L'idée du carnet de santé a été renforcée le 7 juin 2019 par les propositions du Sénat dans un rapport incluant également l'idée d'un plan Marshall sur la sécurité des ponts.

Sur les 200 000 ponts français, 30 % d'entre eux ne sont pas suivis. Mais un état des lieux est en cours de mise en place, notamment à destination des maires, afin qu'ils prennent des dispositions pour les ouvrages nécessitant des interventions sinon urgentes du moins indispensable à brève échéance.

Les services de l'État gèrent 12 000 ponts. Ce n'est pas grand-chose. Les autres sont gérés par les départements et les communes.

Autrefois, l'État était représenté sur le terrain par les DDE. Et chacune d'entre elles était subdivisée. Il n'était pas un maire qui ne puisse faire appel, ▷

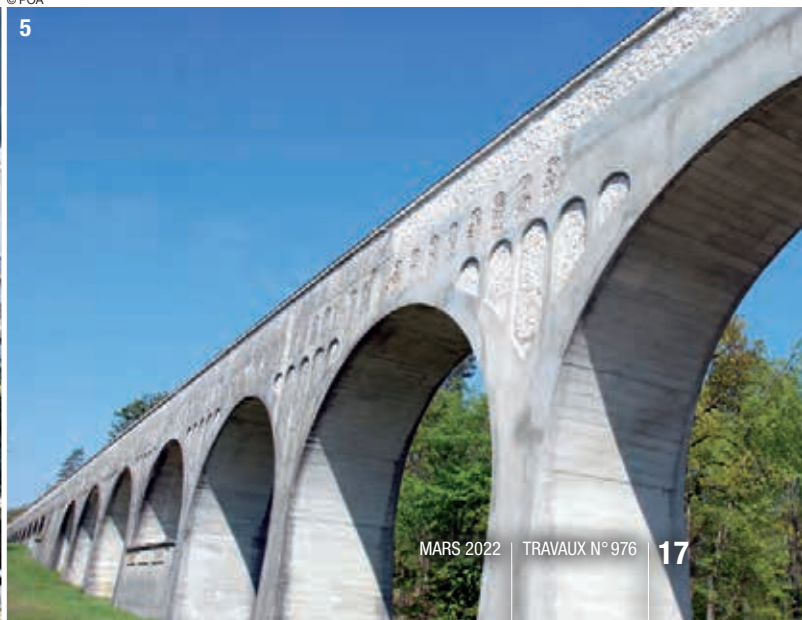
© PIERO CRUCIATTI/AFP

4



© POA

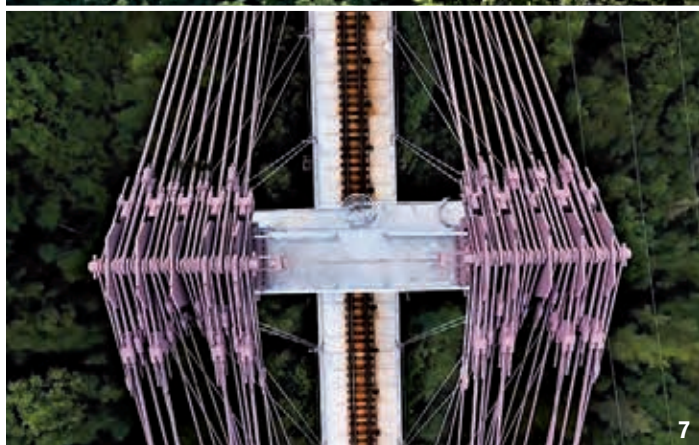
5





© DR

6



7

© DR



8

© JF PERPIGNAN

dans un rayon de 50 km, à un ingénieur ou un technicien de l'État à sa disposition pour lui signaler les problèmes sur les ponts. Désormais, le maire n'a plus ce recours. Celui qui gère une commune de 5 000 habitants, s'il n'est pas ingénieur en génie civil, n'a pas la compétence pour connaître l'état du ou des ponts de sa commune.

Qu'en est-il des ouvrages d'art face au changement climatique ?

Nous avons monté à ce sujet un groupe de réflexion sur le problème des fon-

dations anciennes car les caprices de la nature ont fait évoluer rapidement la situation.

Depuis plus de deux mille ans, pour franchir des rivières où la hauteur d'eau est grande et les alluvions mobiles, l'usage des pilotis en bois a été pratiquement le seul procédé exploité jusqu'au troisième quart du XIX^e siècle. Pour des ouvrages sur des rivières de largeur modeste et pour rechercher un niveau de fondation sous quelques mètres d'alluvions, ce procédé est resté jusqu'au premier quart du XX^e siècle.

Quand les alluvions étaient assez portantes ou peu épaisses au-dessus d'un substratum résistant il convenait d'édifier les fondations sur massifs de maçonnerie ou, dès 1825, sur massifs de béton de chaux immergé.

Sur les 200 000 ponts répertoriés en France, 120 000 sont construits en maçonnerie et datent du 17^e au 19^e siècle. Pour la grande majorité d'entre eux, ils s'appuient sur des pieux en bois battus dans le lit du fleuve au travers de couches d'alluvions de 4 à 8 mètres d'épaisseur. Les têtes de pieux

sont coiffées par un platelage en bois et on veillait à ce que ces fondations en bois soient toujours immergées. Cette technique a fait ses preuves pendant quasiment 2 000 ans. Le problème aujourd'hui est la conséquence du dérèglement climatique : des périodes de basses eaux très importantes succèdent à des périodes de hautes eaux tout aussi importantes. L'amplitude a augmenté. Pendant les basses eaux, il y a ainsi des périodes dans l'année, de plus en plus fréquentes, où le niveau d'eau se situe en dessous de la tête des



© L. DE NOËLL

9



© DR

10

6- Le pont suspendu de la Cassagne ou pont Albert-Gisclard franchissant la Têt, situé sur la ligne de chemin de fer de Villefranche-de-Conflent à Bourg-Madame, dite ligne de Cerdagne (ou du " Petit Train Jaune ").

7- Détail des pièces d'ancrage des têtes de haubans du pont Albert-Gisclard.

8- Chantier de construction du pont de Cassagne (1905-1908), classé monument historique depuis avril 1971.

9- Chantier de construction en 1907 du viaduc Séjourné, près de Fontpédrouse, dans les Pyrénées Orientales, sur la ligne, nouvelle à l'époque, entre Perpignan et Mont-Louis.

10- Le " petit train jaune " du pays catalan sur le viaduc Séjourné.

11- Le château de Chazelet, dans l'Indre, et le pont en béton armé franchissant ses douves.

12- Le garde-corps est typique de la " marque " de Monier, c'est-à-dire béton imitation branches d'arbres.

TROIS GRANDES ÉPOQUES

Pour Christian Tridon, l'histoire de la construction peut être classée en trois grandes époques en ce qui concerne le vieillissement des structures.

« La première, explique-t-il, s'applique aux ouvrages considérés comme " très anciens ", c'est-à-dire dont la construction a été réalisée entre l'époque romaine et le milieu du XIX^e siècle, avec trois matériaux dominants : la pierre, la brique et le bois ».

Pour cette première époque, les pathologies sont principalement dues à l'assise de l'ouvrage (fondation) et à l'agression (mécanique et chimique) de l'eau sur les ouvrages en maçonnerie.

« Vient ensuite l'époque des ouvrages dits " anciens ", qui s'étend de 1830 à 1950 avec la mise en œuvre de trois matériaux dominants : la pierre, la brique et le fer mais aussi les prémices du béton, du béton armé et de l'acier. Vicat retrouve les secrets du ciment artificiel en 1817, Haussmann aura recours à la pierre artificielle. Certains constructeurs ont l'idée dans les années 1850 d'intégrer le fer dans ce ciment artificiel et inventent ainsi le béton armé tandis que le fer " puddlé " fait aussi son apparition. Le viaduc de Garabit, La Tour Eiffel, par exemple, sont construits par Gustave Eiffel avec ce matériau ».

Pour cette deuxième époque, les pathologies sont dues à l'assise de l'ouvrage (fondation) et à l'agression (mécanique et chimique) de l'eau, sur les ouvrages en maçonnerie ou métallique.

La deuxième guerre mondiale est à l'origine de nouveaux progrès techniques avec l'apparition de l'acier, ce qui amène à la troisième époque, celle du génie civil moderne, des années 1950 à nos jours.

« Les premiers aciers performants apparaissent dès 1920 tandis que le béton armé en est encore à ses balbutiements, notamment pour des questions de mise en œuvre lorsqu'apparaît Eugène Freyssinet, jeune polytechnicien. Il dépose son premier brevet : celui de l'aiguille vibrante qui permet de " serrer " le béton et d'améliorer sa résistance en traction puis, quelques années plus tard, en 1926, celui de la précontrainte qui permet de réaliser un bond considérable ».

Pour cette troisième époque, les pathologies sont beaucoup plus orientées sur la réaction physico-chimique des matériaux (béton et acier), ce qui n'était pas le cas des ouvrages en pierre. Leurs pathologies sont beaucoup plus importantes et évolutives.

120 000 ouvrages construits en maçonnerie. Il est l'objet du groupe de travail lancé par le STRRES qui va réfléchir aux moyens à mettre en œuvre pour remédier au problème. La SNCF y remédie déjà depuis une trentaine d'années avec des systèmes de gabionnage autour des appuis. L'idéal serait de pouvoir remonter le niveau d'eau en créant par exemple, un petit barrage à la base de chaque pont de façon à s'assurer que l'ensemble des pièces en bois reste toujours immergé. Mais cela à l'encontre d'une directive européenne de 2009 signifiant qu'il fallait supprimer dans les cours d'eau tous les barrages de façon que le cours d'eau retrouve de lui-même un écoulement régulier. Il n'est pas impossible que, compte tenu de l'évolution climatique, cette directive soit reprise.

D'autres solutions peuvent être envisagées telles que des injections dans les pieux en bois, leur ceinturage, la création de gabions...

Les projections sur les années à venir montrent que le maintien actuel des étiages ne pourra pas être assuré. Il faut donc envisager des solutions pérennes tenant compte de l'abaissement local des niveaux d'étiage. Je pense que l'on peut retrouver localement un comportement morphologique de la rivière satisfaisant avec un niveau d'étiage qui protège nos ouvrages. En recréant par exemple des méandres on peut supprimer des seuils et conserver le niveau de la ligne d'eau en amont.

Les ouvrages en béton armé sont-ils affectés de la même manière ?

Les ouvrages en béton peuvent être également victimes des effets de ce changement climatique. Notamment ceux fondés sur des pieux forés. ▷

pieux. Tant qu'il est dans l'eau, le bois se pétrifie, par contre, celui qui est dans l'alternance eau et air, pourrit par un phénomène naturel provoquant le développement d'un champignon au contact de l'oxygène qui affaiblit la résistance

du bois. Pour conserver les éléments de bois il faut les maintenir dans un état saturé qui évite le contact avec l'air, ou les mettre à l'abri de l'air. Sans air, le champignon ne peut se développer. Ce problème concerne 70 % des

© FRANÇOIS HOUSSIN

11



© FRANÇOIS HOUSSIN

12



La modification du profil du lit du cours d'eau peut découvrir ces pieux sur une hauteur souvent importante, mettant ainsi en fragilité leur capacité de résistance du fait de la corrosion des aciers de ferrailage ou des câbles de précontrainte, pour les ouvrages construits à partir des années 60.

Le problème ne vient pas du béton lui-même mais des armatures qui y sont incorporées et qui sont soumises à la corrosion engendrée par l'air.

Qu'en est-il à ce sujet de celui qui est considéré comme le premier pont en béton armé ?

J'en connaissais évidemment l'existence mais je n'avais encore jamais eu l'occasion de le voir. C'est chose faite depuis l'été 2021.

Le premier pont en "ciment armé" et, par extrapolation, en "béton armé" au monde se situe sur les douves du château de Chazelet, près d'Argenton-sur-Creuse, dans l'Indre. Il a été conçu et construit en 1875 par l'inventeur et entrepreneur Joseph Monier.

Ce dernier utilise déjà le ciment de Vicat en y incorporant des éléments ferreux, pour les travaux d'aménagement de parcs parisiens en création (Boulogne, Monceau et Buttes Chaumont, notamment) qu'il réalise en France et, en 1867, il dépose à Paris un brevet pour l'invention du "ciment armé" et plusieurs brevets dans le domaine du fer armé, dont un pour "un système de caisses-bassins mobiles en fer et ciment applicables à l'horticulture".

Le 13 août 1873, Joseph Monier dépose un additif à son brevet de 1867 intitulé "Application à la construction des ponts et passerelles de toutes dimensions". Ce brevet, comme beaucoup d'autres sera déposé dans différents pays européens. Cette invention

DES "GUIDES VERTS" AUX "RECOs-STRRES"

Dans les années 80, le STRRES a été, avec les fameux "Guides verts", à l'origine des seules normes encore en application aujourd'hui sur la réparation des structures :

- **NF-P 95-101** : Reprise du béton dégradé ;
- **NF-P 95-102** : Béton projeté ;
- **NF-P 95-103** : Traitement des fissures ;
- **NF-P 95-104** : Précontrainte additionnelle ;
- **NF-P 95-105** : Renforcement par armature extérieure collée ;
- **NF-P 95-106** : Réparation et renforcement des fondations ;
- **NF-P 95-107** : Maçonnerie.

soit 19 guides répartis en 4 familles :

- Le béton et la maçonnerie (famille FABEM) ;
- Le métal (famille FAME) ;
- Les fondations (famille FAFO) ;
- Les équipements d'ouvrage (famille FAEQ).

Un guide "0" (généralités) et précisant notamment les règles d'hygiène et de sécurité, a été élaboré avec l'aide de l'OPPBT.

Ces normes sont toujours d'actualité, mais certaines doivent être révisées. Elles ont constitué les documents de base de la participation française à l'élaboration des normes européennes au sein du Comité Technique du CEN N°104 (CEN/TC 104/SC B).

Leur contenu : définitions des termes et des techniques, documents de référence, préparation de l'opération, choix des produits et matériaux, matériels à utiliser, modes opératoires, essais et contrôles à effectuer, règles d'hygiène et de sécurité, gestion des déchets, plan d'assurance qualité.

À ceci s'ajoutent les RECOs-STRRES, des publications destinées aux contrôleurs et aux surveillants de travaux, consacrées à une tâche précise.

Sous forme de fiches de 3 ou 4 pages, les RECOs-STRRES présentent la tâche, son mode opératoire et proposent un plan de contrôle : béton maçonnerie (10 fiches), équipements d'ouvrages (3 fiches), fondations (2 fiches), métal (3 fiches).

Les guides du STRRES sont accessibles gratuitement sur le site : www.strres.orf.

va déclencher une véritable révolution dans l'art de la construction. Mais Monier ne percevra jamais les droits liés à ces brevets.

En 1875, à la demande du marquis Taupinat de Tilière, propriétaire du

château de Chazelet, l'architecte en chef du département de l'Indre Alfred Dauvergne contacte Joseph Monier pour concevoir et réaliser un pont en "ciment armé" permettant de franchir les douves du château et d'accéder

plus facilement au puits qu'il vient de faire aménager à une cinquantaine de mètres de ce dernier.

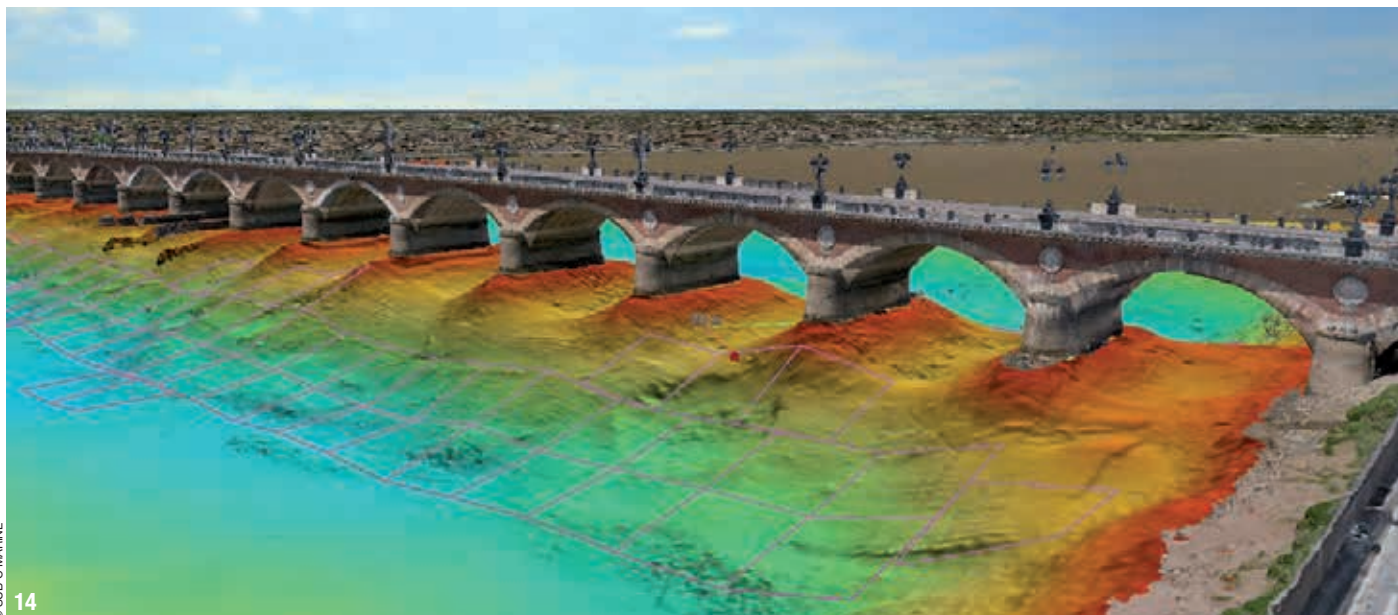
Avec une longueur de 13,80 m et une largeur de 4,25 m, c'est le premier pont en béton armé au monde.

Il faut franchir la douve en une seule portée. Monier ne dispose pas de modèle de calcul. C'est par la méthode de l'empirisme et du "bon sens" qu'il va concevoir cet ouvrage. Il imagine donc une dalle en béton armé supportée par quatre poutres parallèles légèrement en arc. Les efforts sont donc reportés sur les murs bajoyers de la douve qui jouent le rôle de culée.

Chaque poutre est constituée de deux plats métalliques, le premier tout en haut au niveau supérieur de la dalle et le second en sous-face de la poutre. Ces plats, d'une largeur pratiquement égale à l'épaisseur de la poutre, sont reliés verticalement par des cadres en fer. Le béton, manifestement très riche en chaux, a été coulé dans un coffrage sur cintre. Les deux poutres de rive supportent, sur leur face extérieure, l'appui de jambes de force qui soutiennent la partie de dalle en encorbellement. La table supérieure est également en béton ; on distingue, à sa surface, le plat métallique supérieur de chaque poutre. Cette table comporte deux trottoirs latéraux qui servent eux-mêmes d'appuis au garde-corps typique de la "marque" de Monier, c'est-à-dire en béton imitation branches d'arbres.

Il va de soi que cet ouvrage est aujourd'hui, 145 ans plus tard, dans un état que l'on peut qualifier de limite structurelle. Cependant, même si l'on constate de grosses lacunes sur le matériau béton lui-même, sur les poutres et sur la dalle, en de nombreux endroits, il est permis d'imaginer





© SUB-C MARINE

14

une solution de confortement et de conservation, d'autant qu'il est inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques.

Des techniques de génie civil modernes au secours d'un ouvrage ancien. Ce ne serait pas une première.

Le dôme du Panthéon de Paris a bien été renforcé par des câbles de précontrainte.

Le colloque "Le Pont" que vous organisez avec l'AFGC et l'IMGC depuis 26 ans poursuit-il sa "croisade" en faveur des ouvrages de génie civil ?

Le 26^e colloque "Le Pont", qui s'est tenu à Toulouse en septembre 2021, organisé effectivement en collaboration avec l'Association Française de Génie Civil et Ingénierie Maintenance Génie Civil, équivalent du STRRES en ingénierie, avait pour thème "Le chan-

13- Pont dit de "la girafe" à Féricy, en Seine-et-Marne, datant de 1866, sur le ru de la vallée Javot.

14- Maquette 3D du fond de la Garonne avec calepinage de pose des gabions de confortement du pont de pierre à Bordeaux.

15- Sur la rivière l'Aulne, le pont de Chambernoul, à la limite de Bullion et de La Celle-Bordes (78), réalisé entièrement en pierres.

16- Le pont enjambant le ruisseau de Guette à Bullion, dans les Yvelines.

gement climatique et les ouvrages de génie civil".

Depuis sa création en 1992, ce colloque réunit chaque année les acteurs spécialistes du génie civil sur des problématiques de maintenance des ouvrages d'art. Les pathologies, techniques d'entretien, de réparation et de transformation, sont des thèmes abordés régulièrement.

En effet, la communauté d'ouvragistes en génie civil se mobilise fortement sur les conséquences du changement climatique. Elle ne porte pas son expertise sur les causes, mais sur le constat qu'elle en fait. Et alerte les gestionnaires d'ouvrages sur les conséquences que ces effets pourraient avoir à court et moyen terme, si rien n'est fait pour les protéger. Y ont été présentées notamment des solutions clé en main de surveillance et de gestion de la durabilité des parcs d'infrastructures.

La 27^e édition qui se tiendra les 18 et 19 octobre 2022 à Toulouse traitera des risques majeurs dus au vieillissement des structures. Cela concerne désormais les grands ouvrages en béton précontraint.

Au sein de la FIEC (Fédération des Industries Européennes de la Construction), le STRRES a également pris l'initiative de créer un groupe "pont" (Bridge-Working-Group) afin d'y intégrer des représentants de quelques-uns des pays européens les plus représentatifs et d'examiner avec eux la meilleure façon de faire comprendre aux gestionnaires que les ouvrages d'art vieillissent, que cela risque de provoquer des catastrophes et qu'il faut donc les anticiper.

Dans ce cadre, le groupe de travail "pont" organise le 17 mars 2022 à Bruxelles le premier colloque sur la sécurité des ponts en Europe. En effet, ▷

© DR

15



© DR

16



le problème de l'entretien des ponts concerne tous les pays européens.

Dans les cours que je donne dans plusieurs écoles ou universités spécialisées, je parle depuis longtemps de la règle des trois "C". Le premier "C" étant la conception, le deuxième la construction et le troisième qui devrait être toujours rattaché aux deux premiers étant la conservation de l'ouvrage.

Malheureusement, pendant très longtemps, on s'est tenu aux deux premiers en négligeant complètement le troisième. On a laissé les choses "à vau-l'eau" en se disant que l'on verrait plus tard. Le plus tard nous coûte très cher aujourd'hui car les ouvrages ont pris leur fonction dans le panorama et il est impossible de les couper pour les entretenir.

C'est la première fois dans notre humanité que nous sommes confrontés à un problème de structure pour les ouvrages en béton armé.

Lorsque les cathédrales ont été construites, entre les 12^e et 14^e siècle, la seule contrainte venait des intempéries.

De même pour les ouvrages en maçonnerie que j'évoquais précédemment. La notion d'entretien n'était pas présente : on réparait, on démolissait, on reconstruisait...

Pour les ouvrages en béton armé, c'est la première fois que l'on est en présence d'un matériau qui se dégrade intérieurement, du fait du contact entre l'acier et le ciment, par un processus de corrosion qui provoque l'éclatement du béton : le mariage heureux du béton et de l'acier s'avère aujourd'hui source de désordre du fait des réactions internes entre la chaux contenue dans le béton et les agents extérieurs (CO₂, chlore...).



17

Vous allez quitter en 2022 la présidence du STRRES dont vous avez largement contribué à développer l'influence. En conclusion, quelques mots sur l'action de ce syndicat professionnel et sur son action.

Le STRRES a été créé en 1982 à l'initiative d'un petit groupe d'entrepreneurs qui, dans le cadre de la FNTP, 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 environ 80 entreprises de Travaux publics (membres actifs) et une quinzaine de membres correspondants (fabricants de produits et de matériels). Dans un premier temps, ils ont participé à la publication des guides - les "guides verts" - décrivant les prescriptions à respecter en vue d'entretenir, réparer ou renforcer les structures existantes, quelle que soit la nature des matériaux qui les composent, ce qui est devenu un véritable métier depuis



18

17- et 18- Deux des publications du STRRES : bulletin du syndicat et carnets d'entretien à destination des maires.

19- Le pont de la Gennerie à Féricy : un petit ouvrage du quotidien, discret mais indispensable, comme il en existe des milliers en France et à l'entretien desquels il faut veiller.

quelques décennies déjà. En effet, la conservation et l'amélioration du parc d'ouvrages, avec le souci de le maintenir apte à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu et de préserver l'environnement est, de nos jours, une exigence fondamentale.

Ces guides présentaient l'avantage de regrouper des informations jusque-là extrêmement dispersées dans les dif-

férents organismes ou services techniques intervenant dans le secteur du Génie Civil (LCPC, SETRA, SNCF, EDF) et de définir les bases d'une méthodologie de réparation. D'autant que les premiers effets de la décentralisation commençaient à se faire sentir et qu'il devenait urgent de mettre à la disposition des entreprises des documents techniques définissant et facilitant leurs interventions.

Leur rédaction s'est achevée en 2012 mais, le premier datant de 2005, les responsables du STRRES se sont aperçus, qu'entre-temps, de nombreuses modifications étaient intervenues à telle enseigne qu'il convenait d'actualiser leur contenu. À cet effet, a été mis en place un COPIREV (Comité de Pilotage de Révision), qui fonctionne depuis 2013 et reprend les guides un à un en y apportant les modifications liées notamment à de nouvelles normes ou de nouvelles directives. Quatre ont déjà été révisés et la démarche est en cours de poursuite pour les autres.

Parallèlement a été entreprise la rédaction d'un vingtième guide consacré à la protection des ouvrages métalliques. En complément de ce travail de fond, le STRRES poursuit son action de promotion auprès de tous les acteurs de la profession - maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre - il organise des journées techniques, des visites de chantier et participe à l'ensemble des groupes de travail liés aux ouvrages d'art.

Il ne faudrait pas en déduire pour autant que le domaine d'activité du STRRES se limite aux "ponts". En réalité, il concerne la maintenance et la réhabilitation de l'ensemble des ouvrages de génie civil : ponts, viaducs, tunnels, soutènements, barrages, réservoirs, ouvrages portuaires, ouvrages aéro-portuaires. □



NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

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



PRO BTP
GROUPE

www.probtp.com





ECP

PLURALITÉ DE SAVOIR-FAIRE EN RESTAURATION/CONSERVATION

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

QU'IL S'AGISSE DE DÉCAPANTS, DE NETTOYANTS, DE MORTIERS DE RESTAURATION, DE MODÉNATURES, D'ENDUITS DE FAÇADE, ECP DÉVELOPPE, FABRIQUE ET DISTRIBUE UNE GAMME EXTRÊMEMENT COMPLÈTE DE PRODUITS POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DU PATRIMOINE BÂTI ET CULTUREL EN PROPOSANT POUR CHAQUE CHANTIER UNE SOLUTION SPÉCIFIQUE AU PROBLÈME À RÉSOUDRE. ELLE N'INTERVIENT PAS ELLE-MÊME SUR CHANTIER MAIS FOURNIT À DES ENTREPRISES SPÉCIALISÉES, VOIRE À DES MAÎTRISES D'OUVRAGE, DES PRODUITS ET DES TECHNIQUES DESTINÉS À RESTAURER ET CONSERVER LE PATRIMOINE. JOSÉ SOARES, FONDATEUR ET DIRECTEUR DE L'ENTREPRISE, RETRACE LE PARCOURS SINGULIER DE CETTE PME QUI A FAIT ÉVOLUER DE FAÇON DÉCISIVE LES TECHNIQUES DE RESTAURATION/CONSERVATION.

ECP. "Entreprise pour la Conservation du Patrimoine", a été créée en 1990 par José Soares qui dirigeait à l'époque une petite entreprise de bâtiment. Il était à la recherche de techniques de "restauration en conservation" de monuments, plus performantes et surtout plus respectueuses de l'existant, que celles couramment mises en

œuvre jusque-là, et qui le sont encore aujourd'hui pour certaines, notamment nettoyer une pierre par projection de granulats. À la recherche d'une alternative, José Soares commence à élaborer une gamme en interne avec des chimistes, puis en externe, avec des universitaires, et à assurer la production de la quasi-totalité des produits

1- Formation au mortier de restauration Altar® Pierre avec restitution du demi-visage manquant dans l'atelier de modénature.

qui existent d'ailleurs encore dans son offre en 2022. Les premiers chantiers démarrent en Alsace puis s'étendent à l'échelle nationale.

L'idée de s'implanter dans la région parisienne se fait rapidement jour et ECP s'installe dans l'une des zones d'activité d'Aubervilliers (93) tandis qu'une antenne est créée à Marquette-

**2- José Soares,
fondateur et
directeur de ECP.**
**3- La famille
Soares.**

lez-Lille (59), dirigée par un sculpteur-tailleur de pierre.

L'agence d'Aubervilliers intègre un atelier de modénatures en plâtre destinées notamment aux façades parisiennes, réalisées à partir d'originaux prélevés sur chantier. Cet atelier permet également de faire des formations sur les techniques de restauration. Par exemple, à partir de la modénature d'un demi-visage, les participants, très souvent des architectes, ont l'occasion de restituer l'autre moitié à partir de mortiers de restauration ce qui leur permet de se familiariser avec les produits dont ils peuvent disposer pour restaurer en conservation. L'atelier est piloté par Cyril Sellem, staffeur-ornemaniste. Il accueille chaque année entre 50 et 80 stagiaires.

ECP dispose également depuis trois ans d'une antenne à Lisbonne, au Portugal, "Resmonuh", dirigée par Alexandre Soares assisté de deux techniciens. En 2022, ECP emploie 20 personnes et réalise un chiffre d'affaires de 2,2 M€. Les professionnels qui constituent l'entreprise et qui accompagnent les chantiers sont issus en grande partie du milieu de la restauration.

José Soares s'est nourri de multiples expériences lors d'événements majeurs pour l'entreprise, qui lui ont permis de développer une pluralité de savoir-faire. Une étroite relation avec le monde scientifique et universitaire et le bureau d'études d'ECP contribuent à la recherche scientifique. Ses diverses interventions en 2000 sur la grotte de Lascaux et sa capacité à formuler des liants de qualités employés sur les arènes gallo-romaines d'Arles mais aussi sur les façades haussmanniennes, ont sensibilisé ECP à la préservation et à la valorisation du patrimoine. La réhabilitation du Panthéon en 2013, l'a placé au cœur des problématiques de restauration.

**LES ARÈNES D'ARLES :
UNE TECHNIQUE NON INTRUSIVE**

Au cours de ses 30 ans d'existence, ECP va connaître plusieurs tournants qui vont influencer notablement son développement et son approche de la restauration/conservation.

Le premier se situe en 2000 suite au rapprochement avec l'entreprise

© MARC MONTAGNON



2

JOSÉ SOARES : PARCOURS

Tout naturellement, une formation de mécanicien-fraiseur destinait José Soares à travailler dans l'industrie, ce qu'il a fait pendant quelques années au sein de la société Sedis avant de rejoindre en 1983 une entreprise artisanale de bâtiment de l'est de la France puis de fonder en 1987 sa propre entreprise artisanale spécialisée dans la restauration de monuments historiques.

Très rapidement, lui est venue l'idée de transformer les méthodes de restauration et de conservation utilisées à l'époque et d'innover dans ce domaine.

C'est ainsi qu'il crée en 1990 ECP, "Entreprise pour la Conservation du Patrimoine", à la recherche de techniques de "restauration en conservation" de monuments, plus performantes et surtout plus respectueuses de l'existant.

30 ans plus tard, ECP a non seulement atteint l'objectif que s'était fixé José Soares en développant une gamme propre de produits réellement innovants mais a su aussi largement diversifier son domaine d'activité en faisant appel à des équipements sophistiqués tels que le laser de restauration des œuvres d'art qui lui ouvre désormais la porte des musées, des laboratoires spécialisés et des écoles de formation à la restauration. En octobre 2021, José Soares et son équipe ont participé au salon international du patrimoine culturel au Carrousel du Louvre à Paris et y ont présenté avec succès le dernier-né de la gamme Ei.En. – l'Infinito Laser 300 W.



© ECP

néerlandaise Jahn, spécialisée dans les mortiers de restauration, dont elle assure la représentation en France. Dès 2001, cela lui permet d'intervenir sur le chantier emblématique des arènes d'Arles pour lequel elle fournit des mortiers Jahn mais aussi, dès 2006, ses propres mortiers Altar® Pierre. Sur ce chantier, la volonté de l'Architecte en Chef des Monuments Historiques Alain Charles Perrot, était de réaliser des restaurations en mortier pour les parties manquantes sans utiliser d'ancrages pour fixer les éléments rapportés.

« Ce que nous avons proposé à l'époque à l'architecte en chef et l'atelier Jean Loup Bouvier, restaurateur de renom international, ce sont des tenons de petite dimension en mortier qui assurent le profil d'ancrage.

Par la suite, notre philosophie sur la restauration est restée fidèle à cette initiative qui constituait une innovation. En France, lorsqu'il est procédé à une restauration, il est courant de chercher des pierres similaires à celles en place. Si la carrière n'existe plus, on cherche des pierres de substitution. Ceci n'est pas très courant avec les mortiers.

Un autre exemple est celui de la restauration en 2008 de la basilique Saint-Denis où, à l'initiative de l'Architecte en Chef des Monuments Historiques Benjamin Mouton et du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH), la volonté était de fournir des mortiers dont les caractéristiques et l'aspect esthétique se rapprochent le plus possible des pierres à restaurer. La seule valeur technique à respecter conformément au DTU est celle de l'adhésion, de 0,4 MPa. Ce qu'il a été possible d'obtenir avec les mortiers que nous avons fournis. La restauration de Saint-Denis a fait par ailleurs l'objet d'une étude relative à la dilatation tant des pierres en place que des mortiers de restauration. L'étude a permis de sélectionner certains mortiers qui présentaient une dilatation proche de celle des pierres en œuvre. Les dilatations respectives des mortiers de restauration et de la pierre sur laquelle ils sont appliqués constituent un élément clé dans leur tenue dans le temps ».

**ALTAR® PIERRE :
UNE GAMME "HAUTE COUTURE"
DE RESTAURATION**

Il faut savoir qu'en France, il a été exploité, selon le LRMH, jusqu'à 10 000 carrières dont les matériaux qui en ont été extraits présentent les faciès les plus variés.

Nombre de ces carrières ont aujourd'hui disparu.

Pour développer un matériau qui soit compatible avec ces multiples faciès, ECP choisit donc de créer une gamme de mortiers aux propriétés physico-mécaniques et à l'esthétique proches de la pierre à restaurer : c'est Altar® Pierre, que José Soares n'hésite pas à qualifier de gamme "haute couture" pour restaurer les pierres de notre patrimoine.

Chacun de ses mortiers correspond à la pierre d'une région. C'est ainsi que plus de 80 formulations hors teinte ont déjà été développées par le pôle R&D de l'entreprise : Saint-Leu, Saint-Maximin, Anstrude, Euville, Savonnières, Saint-Vaast, Frontenac, Rouffach, Saverne, Labaroche, les Eyzies, Albi, Fontvieille, Carrare, Hainaut...

Leurs destinations sont multiples :

→ Reconstitution des pierres et matériaux délités ou épaufrés ;



© MARC MONTAGNON

4- Les installations de ECP à Aubervilliers.

5- Dans l'atelier de modénature, Cyril Sellem et Ema Tallarida-Carlier.

6- Formation au mortier de restauration Altar® Pierre.

7- Restauration d'une pièce originale en plâtre-chaux.

8- Préparation de l'élastomère par Laurene Chartier et Cyril Sellem.

→ Réparation de parements, corniches, encadrements ;

→ Rénovation d'ouvrages sculptés ou moulurés ;

→ Réparation de sols et d'emmarchements.

La force des mortiers Altar® Pierre est de s'intégrer parfaitement aux maté-

riaux sur lesquels ils sont appliqués tant en ce qui concerne les caractéristiques techniques que la texture et la couleur : par exemple, le mortier pour la restauration de la pierre de tuffeau a un poids de 1,3 kg/l et une porosité de 45 %, comme la pierre à restaurer.



© MARC MONTAGNON



© ECP



© ECP



© ECP

« Lorsque ces similitudes sont obtenues, ajoute José Soares, le vieillissement du mortier est identique à celui de la pierre sur laquelle il est appliqué. C'est ce que l'on peut voir sur les façades haussmanniennes où les mortiers de restauration se patinent comme la pierre, s'encrassent comme la pierre et se fondent parfaitement avec la pierre ».

Une constante adaptation aux conditions et exigences de chaque chantier a poussé tout naturellement ECP au développement de nouvelles formulations.

9- Le nouveau laser El.en. Infinito 300 W, plus performant pour le nettoyage des grandes surfaces et l'élimination des graffitis : entre 10 et 50 m²/jour.

10- Pour la basilique Saint-Denis, la volonté était de fournir des mortiers dont les caractéristiques et l'aspect esthétique se rapprochent le plus possible des pierres à restaurer.

11- Altar® Pierre : une gamme de mortiers aux propriétés physico-mécaniques et à l'esthétique proches de la pierre.



ECP : LES PRODUITS

- **Produits pour la pierre : une gamme complète développée et produite dans son laboratoire de Strasbourg, et produite dans ses locaux.**
- **Béton de chanvre : isolant biosourcé, composé de chaux aérienne et de chanvre.**
- **Modénatures décoratives : réalisées par prise d'empreintes sur chantier ou en tirage direct dans l'atelier de l'agence Paris – Île-de-France.**
- **Lasers de restauration, en partenariat avec El.En., leader mondial, en vente, location et entretien.**
- **Enduits à la chaux aérienne, bénéficiant de la technologie Tradical Inside (gamme Ornatis).**

Deux autres gammes complètent Altar® Pierre : Altar® Moulage et Jointolith®. Altar® Moulage constitue une gamme de mortiers de nature minérale, teintée dans la masse, prête à gâcher à l'eau, destinée à la reproduction de sculptures et d'éléments d'ornementation en pierre, avec différentes formulations disponibles en fonction du matériau à restaurer, de l'esthétique, de

la texture et de la teinte recherchée. Jointolith® est une gamme de mortiers conçue pour le jointoiment des façades en pierre et brique de parement, qui se présente sous forme d'un mélange à sec, à gâcher à l'eau, applicable en une couche et livrables en plusieurs teintes et textures.

« La gamme Altar® Pierre n'a réussi à s'imposer sur le marché, précise

José Soares, que grâce à un important travail des techniciens de l'entreprise pour convaincre les professionnels de son utilité : les architectes, les entreprises, les applicateurs sur chantier. D'où la mise en place de formations spécifiques pour les informer, les sensibiliser, les convaincre, les accompagner sur chantier. Cette démarche est essentielle car la garantie de résultat est portée par les utilisateurs, notamment ceux qui maintient la truelle ».

LE RETOUR DU LASER EN RESTAURATION

Le deuxième tournant dans la vie de l'entreprise est le partenariat avec le leader mondial des lasers El.En., une entreprise italienne dont ECP assure la représentation en France pour son département "Light for Art". Light for Art est spécialisé dans la production de systèmes laser pour la préservation du patrimoine et des œuvres d'art.

Ce département d'El.En. combine les mêmes préceptes majeurs qu'ECP : la réalisation de nouveaux défis technologiques tout en préservant les traditions artistiques du passé et, notamment, le patrimoine culturel.

Le rapprochement s'est fait en 2014 alors que la technique laser éprouvait de grandes difficultés à se développer en France suite aux polémiques survenues dans les années 2000 relatives au jaunissement provoqué sur la pierre par la mise en œuvre de lasers.

Le développement de nouveaux types de laser, la mise en place du projet JAPILA par le LRMH ainsi que les divers travaux menés notamment par le CICRP (Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine), ▷



10
© MARC MONTAGNON



11
© MARC MONTAGNON



12

© MARC MONTAGNON

les travaux de thèse de Marie Godet ont permis la compréhension du phénomène et de développer les méthodes de "déjaunissement".

En 2018, lors du colloque "High-Tech & Patrimoine", Véronique Verges-Belmin, ingénieure au LRMH, intervenant sur le thème "Laser, le renouveau d'une technique décriée", a regretté que, pour les travaux de restauration de la pierre, le laser ait été abandonné au profit de techniques abrasives telle que la projection de granulats, sous le prétexte du jaunissement qu'il provoquait. Insistant sur le fait que, non seulement il ne s'agit que d'un désordre esthétique, et que, de plus, il est réversible, l'intervention de Véronique Verges-Belmin a permis de repositionner le laser sur le marché de la restauration et, surtout, a permis le "déblocage" de son utilisation demandé dans les années 2000 par les conservateurs.

« Ceci nous a confortés dans notre volonté de réintroduire ces appareils sur le marché. Nous avons formé du personnel pour qu'il puisse lui-même transmettre cette formation.

Dès lors, il nous a été possible de commercialiser plusieurs appareils de la gamme El.En. conçus pour la sauvegarde du patrimoine : il en existe



13

© MARC MONTAGNON

plusieurs en fonction des applications. En octobre 2021, lors de la 26^e édition du "Salon international du patrimoine culturel", au Carrousel du Louvre, à Paris, nous avons d'ailleurs présenté le nouveau modèle Infinito Laser 300 W, plus performant, pour le nettoyage des grandes surfaces et l'élimination des graffitis : entre 10 et 50 m²/jour ». L'aventure du laser ne fait sans doute

12 et 13- La restauration de la coupole du Panthéon à Paris a constitué un détonateur pour faire appel à des techniques inédites pour la restauration des monuments historiques.

que commencer pour ECP. Les organismes de pointe de la restauration se sont à nouveau équipés de systèmes lasers et le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF) vient d'acquiescer le modèle Light Brush 2 (système laser Er : YAG), dans le cadre d'une thèse sur l'étude du nettoyage des peintures de chevalet. Le nettoyage au laser Er : YAG est basé



14

© PASCAL TOURNAIRE/JARNIAS



15

© PATRICK ZACHMANN/MAGNUM

14- Le chantier de Notre-Dame de Paris pourrait faire appel à des produits ne contenant aucun principe actif.

15- Notre-Dame de Paris pourrait être le théâtre de la confirmation de techniques inédites en restauration.

16 et 17- Dans la cathédrale Notre-Dame de Paris, essais du laser El.En. Infinito 100 watts par Luc Ellermann.

sur la forte absorption à la longueur d'onde de 2940 nm des couches superficielles contenant des liaisons oxygène-hydrogène. Les études montrent que l'utilisation du laser en humidifiant légèrement la surface à l'aide d'un media adéquat permet de faciliter, voir même de directement supprimer les vernis et autres incrustations sans modifier ni physiquement ni chimiquement la couche picturale.

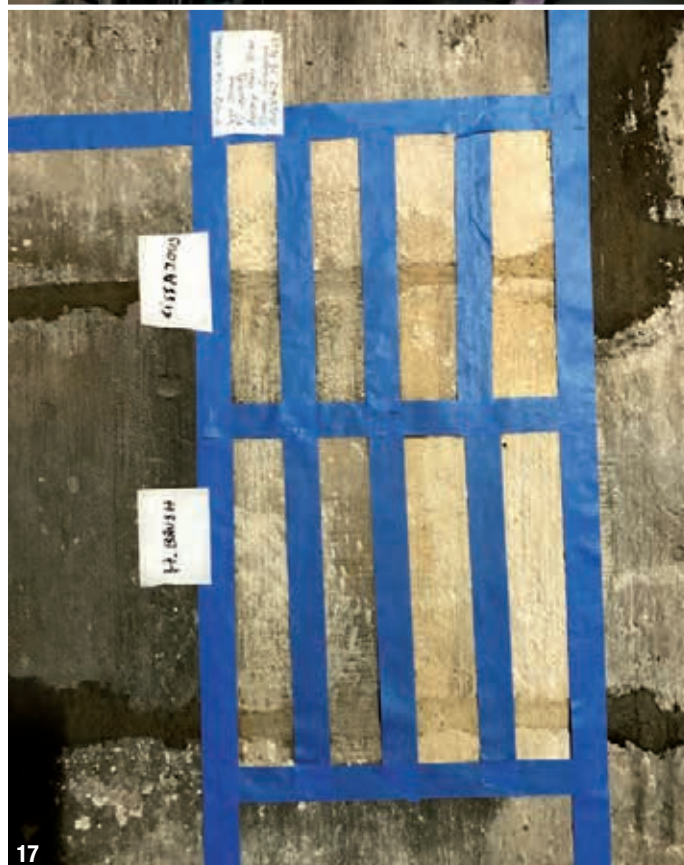
Light Brush 2 est ainsi particulièrement adapté pour éliminer les repeints et vernis sur peintures murales et peintures de chevalet sans les altérer.

« En nous appuyant sur les compétences de notre partenaire El.En., nous allons désormais proposer des solutions pour la restauration/conservation dans des secteurs autres que ceux des monuments et des façades. Nous sommes en train de prendre une orientation vers le domaine des musées. L'École Supérieure des Beaux-Arts de Tours, pour former des restaurateurs, s'est équipée d'un laser Eos Combo, un appareil polyvalent doté de deux

© ECP



16



17

© ECP

régimes temporels d'impulsion pour une grande souplesse d'utilisation. Les centres de recherche et restauration reconnus tels le LRMH, le C2RMF, les ateliers de restauration sculpture du château de Versailles en sont équipés. Deux lasers Infinito 100 W de nouvelle génération sont actuellement en action dans l'église Notre Dame d'Auteuil à Paris ».

DU PANTHÉON À NOTRE DAME DE PARIS

ECP mise également sur le chantier de Notre Dame de Paris pour introduire le laser dans la restauration des structures intérieures et des œuvres d'art de la cathédrale endommagées par l'incendie du 15 avril 2019.

José Soares et Luc Ellermann, directeur commercial de ECP et spécialiste de longue date des lasers en France, sont intervenus pour réaliser les essais pré-alables dans deux chapelles-tests afin de déterminer les techniques à mettre œuvre pour la restauration de Notre Dame avec une réelle volonté d'utiliser des lasers. Les marchés d'appel d'offre sont sortis et ils font apparaître l'Eos Combo et l'Infinito 100 W dans les pièces écrites.

Les essais sur Notre Dame de Paris ont démontré que le laser pouvait être un outil adapté tant en termes de nettoyage que de restauration, d'autant que les modèles les plus récents de la gamme El.En. ont des performances en matière de rendement qui font nettement baisser leur coût d'utilisation.

« Avec ces essais, précise José Soares, nous avons contribué à remettre le laser dans la caisse à outils du restaurateur. Plusieurs solutions "classiques" existent pour nettoyer la pierre. Mais le chantier de Notre-Dame a fait apparaître une volonté du monde scientifique de chercher des techniques, ▷



18 © ECP

pour le nettoyage des structures intérieures, qui permettent à la fois de retirer les particules de plomb dont elles sont chargées tout en préservant la pierre ».

Un premier changement s'était déjà opéré avec la restauration, en 2014, de la coupole du Panthéon. La technique retenue à l'époque était celle de la projection de granulats par voie sèche. Au démarrage du chantier, des caractérisations mettent en évidence la présence de plomb sur l'ensemble des parements. Il y a alors nécessité de sécuriser les différents intervenants ainsi que le voisinage des poussières générées par l'intervention de nettoyage.

ECP est abordée par l'architecte en chef en charge du projet, Daniel Lefevre, afin de trouver une alternative à la projection de granulats.

Une campagne d'essais est alors menée afin de sélectionner des techniques de nettoyage efficaces, capables de sécuriser le chantier et sans danger pour la pierre.

Deux familles de compresses sont proposées par ECP ; un nettoyant pelable Syra Latex, formulé à partir de latex naturel et une compresse de

nettoyage, Syra Cataplasme, élaborée avec de l'argile et des fibres végétales. Après les caractérisations des différentes variantes (17 au total) ; le choix se porte sur les 2 formulations destinées au nettoyage des parements.

Le nettoyage est complété par un rinçage final au moyen du procédé d'injection-extraction Lipsotech.

À l'arrivée, il s'est avéré que la mise en œuvre de deux compresses conjuguées au procédé de rinçage ont permis le nettoyage, en toute sécurité, de 7 000 m² en moins de 2 mois.

Le Panthéon a constitué un détonateur pour faire appel à des techniques inédites pour la restauration des monuments historiques.

Il pourrait en être de même pour Notre-Dame de Paris où seraient mis en œuvre des produits qui, en plus de leurs performances, ne contiendraient aucun principe actif. Ces produits existent dans la gamme ECP : ce sont Syra-Reverso et Advceplomb, des compresses à base de polymère pour encrassements faibles à croûtes



19 © ECP

18- Dans la cathédrale de Tours, pulvérisation du procédé Biocalcis® Patrimoine.

19- Biocalcis® Patrimoine de Soletanche Bachy est destiné à la restauration de la pierre en adaptant la formulation d'origine destinée aux applications en grande profondeur : ici, dans la cathédrale de Tours, caractérisations en cours au moyen du procédé DRMS.



© ECP 20

20- Le stand ECP au salon international du patrimoine culturel au Carrousel du Louvre à Paris en octobre 2021.

noires. Ces désincrustants au pH neutre exempts d'agents chimiques ont une triple action qui provoque une solubilisation des encrassements dus à la pollution atmosphérique, un encapsulage des polluants atmosphériques y compris les métaux lourds, ainsi qu'une désolidarisation du support au séchage.

BIOCALCIS® PATRIMOINE : PARTENARIAT AVEC SOLETANCHE BACHY

Le dernier tournant effectué par ECP concerne le partenariat entamé en 2020 avec Soletanche Bachy autour du procédé Biocalcis® Patrimoine. À l'origine, Biocalcis® (brevet Soletanche Bachy) est un procédé industriel de biocalcification obtenu à partir de bactéries naturelles, destiné aux travaux de renforcement des sols en grande profondeur. Le principe repose sur la formation in situ d'un liant biologique à base de calcite CaCO₃, généré par voie uréolytique, pour créer des ponts cohésifs entre les grains de sol traité. Pour la petite histoire, le procédé est né de l'observation dans un lac aus-

ECP : LES PARTENAIRES

El.En., société mère d'un groupe international, a fondé son activité sur la recherche, le développement et la production de systèmes laser destinés à la médecine, l'industrie et la recherche scientifique. Son département "Light for Art" est spécialisé dans le développement de systèmes laser pour la conservation et la restauration d'œuvres d'art.

Sanistone Prosystem intervient dans l'assèchement des maçonneries par électro-osmose. Ses appareils permettent de modifier les champs électromagnétiques des matériaux, et d'inverser dans les murs la direction de migration de l'humidité sans interférer avec la maçonnerie.

BCB Tradical, (Balthazar et Cotte Bâtiment-Tradical), expert en chaux aérienne, propose une gamme de chaux parfaitement adaptées au bâti ancien (gamme Ornatis®, ainsi que des isolants biosourcés).

Vicat : afin de compléter la gamme de mortiers de restauration, ECP en plus des chaux, a choisi, pour certaines formulations, le ciment naturel prompt de Vicat pour ses propriétés de durabilité et de prise et durcissement rapides.

Plâtres Vieujo : les "Plâtres Vieujo" est une entreprise familiale créée en 1880 qui s'est spécialisée dans le plâtre traditionnel. Elle fournit une large gamme de plâtres destinées aux ravalements de façades, à la production et la confection d'enduits décoratifs sur les murs et les plafonds.

Soletanche Bachy, leader dans le confortement des sols, a confié à ECP la distribution du procédé Biocalcis® Patrimoine. Ce procédé innovant est basé sur la capacité d'une bactérie à générer du carbonate de calcium depuis la surface des pierres jusqu'à des profondeurs de plusieurs centimètres. En fonction du taux de porosité et de l'altération de la pierre, il peut être pulvérisé en surface ou injecté. Élaboré dans un souci de respect des matériaux, ce processus naturel renforce l'état du matériau et lui permet d'étendre sa durée de vie sans avoir à être remplacé. Il nourrit la pierre en profondeur par l'action de la bactérie qui produira du carbonate de calcium sous forme de calcite.

tralien de nodules appelés stromatolithes, qui ressemblent à de la pierre et sont notamment formés par l'activité de la *Sporosarcina pasteurii*, une bactérie qui, sous certaines conditions, arrive à créer du carbonate de calcium. À partir de ce phénomène, Soletanche Bachy a développé un procédé breveté qui permet de consolider du sable en grande profondeur. Il s'agit d'injecter des bactéries non pathogènes et une solution calcifiante dans des sols granulaires (type sable) ou des pierres pour les rendre plus résistants mécaniquement, sans en modifier la perméabilité. La bactérie *Sporosarcina pasteurii* est non pathogène pour l'homme et l'environnement. Elle est cultivée selon un protocole industriel développé par Soletanche Bachy. La précipitation de calcite s'obtient par réaction des bactéries avec une solution nutritive calcifiante. La quantité de calcite précipitée est réglée en fonction des critères de résistance mécanique recherchés. La réaction est complète au bout de quelques heures.

« Dans le prolongement de Biocalcis®, poursuit José Soares, Soletanche Bachy a développé en 2020 le Biocalcis® Patrimoine pour des applications de restauration de la pierre, en adaptant la formulation d'origine destinée aux applications en grande profondeur ». La méthode de mise en œuvre est déterminée en fonction des objectifs de traitement, des caractéristiques initiales de la pierre et de son état d'altération. La réaction de biominéralisation est obtenue en 2 ou 3 jours et elle n'évolue plus dans le temps. Un phasage doit être respecté au niveau de l'application des bactéries et de la solution calcifiante ; il sera adapté au cas par cas en fonction des caractéristiques à obtenir. Des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre ont déjà manifesté leur intérêt pour cette solution. Le procédé est en phase de validation auprès du LRMH. ECP en assure la représentation pour la France et l'Europe.

Avec une gamme complète de produits de restauration/conservation, une assistance technique à chaque étape de chaque chantier, des solutions spécifiques pour les problématiques particulières, le développement du laser en restauration, des solutions de décontamination pour les façades au plomb, des formations techniques agréées, tant théoriques que pratiques, ECP est prêt pour s'imposer avec des solutions pérennes sur le marché de la restauration de la pierre sous toutes ses formes. □



1
© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE

CONCESSION-CONSTRUCTION DE L'AUTOROUTE A79 (RCEA)

AUTEURS : AMMAR TRICHE, DIRECTEUR TECHNIQUE CLEA (GROUPEMENT CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR), EIFFAGE - CHRISTOPHE SANDRE, DIRECTEUR DE PROJET CLEA (GROUPEMENT CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR), EIFFAGE - ISABELLE LACHARME, DIRECTEUR D'OPÉRATION ALIAE (CONCESSIONNAIRE A79), EIFFAGE

ACTUELLEMENT EN COURS DE TRAVAUX, LE PROJET DE L'AUTOROUTE A79 (RCEA) EST LE CHANTIER D'INFRASTRUCTURE LINÉAIRE LE PLUS IMPORTANT EN FRANCE ACTUELLEMENT. IL SE DÉMARQUE PAR UNE COMPOSANTE IMPORTANTE D'ENTRETIEN ET DE RÉHABILITATION D'OUVRAGES EXISTANTS : OUVRAGES D'ART, CHAUSSÉES, ÉQUIPEMENTS. CE FOCUS SUR LES TRAVAUX DE CHAUSSÉES ET D'ÉQUIPEMENTS DÉTAILLE EN PARTICULIER LES MESURES ENVIRONNEMENTALES RETENUES PAR EIFFAGE POUR OPTIMISER LE BILAN CARBONE DU PROJET.

LE PROJET

La société Aliae (Autoroute de Liaison Atlantique Europe), entité du groupe Eiffage, a été désignée concessionnaire de la future autoroute A79 par décret ministériel publié au Journal Officiel le 15 mars 2020. Le contrat de concession-construction porte sur une portion d'environ 88 km et formera la future autoroute A79 entre Sazeret (Allier) et Digoin (Saône-et-Loire). Les travaux, consistant en la mise au standard autoroutier, seront assurés par les différentes filiales du groupe Eiffage (Eiffage

Génie-civil, Eiffage Énergie, Aprr, ...) ainsi que des entreprises hors groupe Eiffage parmi lesquelles des entreprises locales dans le cadre de contrats de sous-traitance.

Le tronçon en question fait partie d'un axe majeur européen : la RCEA (Route Centre Europe Atlantique). Le trafic journalier de cet axe est compris entre 10 000 et 15 000 véhicules selon les sections, dont la part des poids-lourds peut représenter jusqu'à environ 40% du trafic total, un taux bien supérieur à la moyenne nationale.

1- Mise en œuvre du tapis en BB5®.

1- Laying the asphalt overlay in BB5®.

L'objectif prioritaire de ce projet est d'accroître la sécurité des usagers. La mise au standard autoroutier de cet axe majeur permettra également d'améliorer durablement les conditions de circulation de tous les véhicules.

Enfin, la mise aux normes environnementales permettra la préservation de la biodiversité en place.

L'une des spécificités majeures de ce projet est de reprendre la quasi-totalité du tracé actuel, à l'exception d'environ 5 km au niveau de Toulon-sur-Allier qui seront totalement neufs (ouvrages d'arts, chaussées, équipements, etc.).

Les ouvrages existants (ponts, routes, équipements, bassins, ouvrages hydrauliques, etc.) seront soit remis à niveau, soit construits à neuf.

2- Schéma de principe du péage en flux-libre.
3- Travaux de rabotage sur la chaussée existante.

2- Schematic diagram of the free-flow toll system.
3- Planing works on the existing pavement.



© FABRICE NÉEL, POUR ALIVE

2

UNE PREMIÈRE EN FRANCE : UN PÉAGE SANS BARRIÈRE POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE

Pour la première fois à cette échelle sur le territoire français, un système de perception du péage sans barrière, dit péage en flux libre ou *free flow*, sera mis en place sur l'A79. Hormis à l'extrémité ouest de l'autoroute, à la jonction avec l'A71, les classiques

barrières/gares de péage seront ainsi remplacées par six portiques qui s'égrèneront le long du parcours. C'est une technologie qui existe déjà dans de nombreux pays du monde (Norvège, États-Unis, Chili, Irlande, Angleterre ou Italie) (figure 2).

Ces portiques permettront d'identifier chaque véhicule et de collecter les informations nécessaires à la perception du péage. Outre la liberté et la

facilité de circulation qu'il apporte aux usagers en supprimant les obstacles physiques constitués par les barrières de péage, le péage *free flow* œuvre en faveur de la mobilité durable.

Ce type de péage représente l'avenir et, à cet effet, le gouvernement vient de valider à Sanef le passage des autoroutes A13 et A14 en péage flux-libre pour 2024. D'autres projets suivront naturellement.

L'ENVIRONNEMENT AU CŒUR DU PROJET

L'intégration paysagère et architecturale est au cœur du projet.

Ainsi, les séquences paysagères traversées sont valorisées en respectant les particularités locales, en veillant à intégrer l'ensemble de l'infrastructure dans cet environnement tout en restant cohérent avec les projets locaux.



© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE

3



4

© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE

Un effort particulier a été mis sur la conception des ouvrages d'art afin d'offrir des points de vue aux automobilistes sur les différents paysages traversés.

Pour limiter l'impact du projet sur la faune mais aussi sur la flore, le projet améliore la transparence écologique de l'infrastructure existante et restaure 360 ha de milieu naturel.

La future autoroute traverse des environnements où la présence d'une dizaine d'espèces d'animaux et de végétaux à valeur patrimoniale forte est avérée.

Le projet fait également la part belle à l'économie de ressources naturelles et la minimisation de l'empreinte énergétique du projet sur l'environnement, ainsi les solutions suivantes ont été adoptées afin de minimiser l'empreinte carbone :

- Le réemploi systématique des matériaux de déblais sur le projet (figure 3) ;
- La mise en place d'une bande transporteuses depuis une carrière à proximité jusqu'au chantier, afin de réduire le nombre de poids-lourds sur les voiries locales durant les travaux ;
- Le réemploi de la totalité des fraisats d'enrobés par incorporation dans les nouveaux enrobés ;
- Le passage des centrales d'enrobés au gaz et l'abandon du fioul ;
- Etc.

LES OUVRAGES D'ARTS

La quasi-totalité des ouvrages d'art existants sur le projet ont été élargis et/ou remis à niveau dans le cadre du projet (voir article "Réhabilitation d'ouvrages existants pour le passage en autoroute de la RN79" d'Eléonore de Vasselot dans ce même numéro de Travaux).

À noter que certains passages inférieurs dont l'épaisseur de chaussée

**4- Vue d'une zone élargie (couche de forme).
5- Mise en œuvre de la grave-bitume.**

**4- View of an enlarged area (capping layer).
5- Placing road base asphalt concrete.**

dépassait 15 cm, ont été "allégés" avec la mise en place d'un enrobé allégé de type Apontem® issu de l'innovation des laboratoires Eiffage Route.

Ce matériau a été utilisé en assise de chaussée. Les performances in-situ de cet enrobé seront suivies pendant 10 ans par les équipes d'Eiffage en lien avec le concessionnaire. Un développement futur en couche de



5

© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE



© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE

6

6- Mise en œuvre de la grave-bitume.

7- Travaux d'équipements de sécurité.

6- Placing road base asphalt concrete.

7- Safety equipment works.

roulement de ce produit est envisagé et actuellement testé en laboratoire ou en planches d'essais.

LES CHAUSSEES ET LES EQUIPEMENTS

Sur les 88 km de voiries à réhabiliter, environ un tiers est déjà en configuration 2x2 voies dont les travaux consistent à renouveler totalement la couche de roulement et à renforcer certaines parties de l'itinéraire en accord avec un dimensionnement pour une durée de vie de 30 ans.

Les deux tiers restants sont en configuration 2x1 voie. Pour ces dernières, deux actions sont réalisées : un élargissement des chaussées pour obtenir une chaussée séparée à 2x2 voies (équivalent à des travaux de construction) et la chaussée existante 2x1 voie est réhabilitée et renforcée selon le même principe que les 2x2 voies existantes (figure 4). Les solutions d'entretien et de renfor-



7

© HERVÉ PIRAUD, POUR EIFFAGE

cement ont été prescrits conjointement entre les équipes techniques d'Eiffage et celles d'Egis Villes et Transports, experts dans la construction et l'entretien des chaussées depuis des décennies. Elles sont basées sur des solutions techniques largement éprouvées par ailleurs. Des produits issus de la recherche Eiffage Route ont également été utilisés : la grave-bitume GB5®, le Béton Bitumineux de type BB5® ainsi qu'une innovation sur quelques ouvrages le nécessitant, l'enrobé allégé Apontem® (figures 5 et 6).

La totalité de la signalisation horizontale et verticale sera remise à neuf.

Pour les équipements de sécurité (glissières métalliques, glissières en béton et glissières sur ouvrages), la quasi-totalité de ceux-ci ont été repris pour se conformer à l'arrêté du 4 juillet 2019 relatif aux performances et aux règles de mise en service des dispositifs de retenue routiers. Pour les équipements conservés (zone des 2x2 voies existantes et certains ouvrages d'arts), Eiffage s'est assuré que ces derniers étaient fonctionnels et en accord avec l'arrêté du 4 juillet 2019 (figure 7).

PETIT ZOOM SUR LES CENTRALES D'ENROBAGE VERTES EIFFAGE

Les travaux de la future A79 nécessiteront la fabrication, le transport et la mise en œuvre d'environ 1 million de tonnes d'enrobés en 21 mois.

4 usines d'enrobés, de type continues mobiles à chaud, sont, pour ce faire, réparties le long du tracé, à Cressanges, Toulon-sur-Allier, Dompierre-sur-Besbre et Vitry-en-Charollais. Elles permettront au chantier de réaliser en propre 100% des structures de chaussées bitumineuses.

Les usines, qui ont été entièrement rétrofitées, sont toutes équipées de bacs bitume étanches et sont raccordées au réseau électrique par des transformateurs de 1250 Kva. Cela permet une gestion optimisée des carburants et des besoins énergétiques.

Les usines installées à Cressanges et Dompierre sont équipées de brûleurs mixtes au gaz de 20 MW ; celle de Toulon-sur-Allier d'un brûleur gaz WJ100 de 29 MW. La transition énergétique, assurée par ces brûleurs GPL qui remplacent intégralement les brûleurs au fioul lourd, inscrit ces usines dans une démarche environnementale de réduction des rejets atmosphériques.

En outre, les processus de séchage, malaxage et enrobage augmentent les taux de recyclage jusqu'à 70% grâce à un concept de double tambour. Ce dernier permet, dans un premier temps, le séchage optimal des granulats vierges, avant un malaxage des agrégats d'enrobés et des pulvérulents, puis l'enrobage de l'ensemble dans un malaxeur continu externe. L'ajout de ce malaxeur continu permet, lui, d'allonger considérablement le temps de malaxage et de disposer ainsi d'un enrobé homogène en sortie de processus, assurant une qualité optimale et une forte optimisation énergétique.

QUELQUES INNOVATIONS D'EIFFAGE SUR LE PROJET

Les travaux de chaussées sont décomposés en plusieurs types de travaux :

- Travaux de renforcement et d'entretien sur les zones à 2x1 voies qui deviennent un sens de la future 2x2 voies ;
- Travaux de renforcement et d'entretien sur les zones à 2x2 voies existantes et maintenues ;
- Travaux neufs sur les zones à 2x1 voies transformées en 2x2 voies par élargissement.

Dans le cadre des travaux, les produits issus de l'innovation Eiffage Route vont être utilisés : la Grave-Bitume GB5® et le BBSG 0/10 classe 3 de type BB5®. La GB5® est un produit utilisé en couche d'assise, présentant des performances mécaniques qui vont au-delà des limites de la GB fixées par

la norme NF P 98-086 et basé sur le concept d'optimisation granulaire. Ce produit a été lauréat de la charte de l'innovation routière 2010 ; il est suivi par le Cerema et dispose à ce titre d'un certificat de bonne fin accompagné de références. Le comportement constaté à l'issue des cinq années d'expérimentation/suivi a conclu à l'équivalence de performances entre la GB5® et l'EME2. La GB5® a l'avantage de ne pas avoir recours à des bitumes durs, ce qui réduit drastiquement la susceptibilité et la fissuration thermique à froid et offre généralement une meilleure résistance à la fatigue. Cette solution sera mise en œuvre sur un tronçon neuf d'environ 5 km.

La couche de surface proposée pour la totalité du projet est un BBSG 0/10 classe 3 (ou 0/14 pour des applications particulières) de type BB5®, formule discontinue à très hautes performances. Ce matériau est caractérisé par une forte compacité, une grande résistance à l'orniérage et une macro-rugosité élevée. Il est constitué de granulats sélectionnés pour leurs propriétés mécaniques, de résistance au polissage en particulier, et d'un liant bitumineux modifié aux élastomères (SBS). Le module de rigidité est d'au moins 9000 MPa à 15°/10 Hz. Le choix de ce produit innovant permet d'assurer une sécurité optimale pour les usagers et une durabilité renforcée, tout en ayant un module de rigidité amélioré par rapport à un BBSG de classe 3 classique.

Le BB5® permet d'obtenir en une seule couche toutes les qualités requises pour le complexe habituellement bicouche liaison/roulement : qualité d'uni, PMT élevées et une durabilité accrue ainsi qu'une étanchéité importante grâce à une compacité élevée. Le BB5® sera formulé avec un liant modifié aux polymères de type SBS, ce qui permettra d'obtenir une excellente résistance à l'orniérage et une très faible susceptibilité thermique (à chaud, comme à froid). Le SBS (RW Elast®) est directement introduit en centrale d'enrobage sous forme de granulés. Le bitume est donc modifié sur place sans recours à une usine de liants.

Le produit BB5® est appliqué depuis 2011 sur les différents réseaux autoroutiers de France et permet de certifier sa performance durable. Ce produit a été primé dans le cadre de la procédure CIRR 2012, suivie par le Cerema au niveau du programme public national d'expérimentation des routes et rues, et s'est vu décerner à ce titre un certificat de bonne fin. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Aliae

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Egis Villes et Transports, Architecte : Cabinet Néel

GIE CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR : Clea (Eiffage)

ENTREPRISES CHAUSSÉES ET ÉQUIPEMENTS :
Eiffage Gte, Eiffage Aer, Pass

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur du projet : 88,4 km
- Durée de concession : 48 ans y compris la période de réalisation des travaux
- Durée du chantier initial : 24 mois
- Coût des travaux : 550 M€
- 21 communes traversées
- 12 échangeurs (existants et neufs)
- 4 aires de repos, 2 haltes simples, 1 aire de services
- 65 km d'élargissement
- 23 km de requalification autoroutière
- 3,5 millions de m³ de déblais
- 1 million de t d'enrobés (grave-bitume et BBSG)
- 140 ouvrages existants dont 79 passages inférieurs ; 45 passages supérieurs et 16 ouvrages déconstruits
- 6 passages inférieurs avec couche d'assise en Apontem®
- 64 ouvrages neufs

ABSTRACT

CONCESSION-CONSTRUCTION OF THE A79 MOTORWAY (RCEA)

AMMAR TRICHE, EIFFAGE - CHRISTOPHE SANDRE, EIFFAGE - ISABELLE LACHARME, EIFFAGE

Motorway works to comply with new standards are currently taking place on the portion of the Route Centre-Europe Atlantique (RCEA) located in the Allier Department of France, i.e. highway RN79, which will in future become the A79, under an ALIAE concession arrangement. The technique adopted is to re-use the existing infrastructure as a backbone of the future motorway. Accordingly, structure renovation and maintenance works represent a substantial part of this project: pavements, safety equipment, signage, tunnels and bridges, etc. This article focuses on the pavement and equipment works, and in particular the environmental solutions implemented by Eiffage. □

CONCESIÓN-CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA A79 (RCEA)

AMMAR TRICHE, EIFFAGE - CHRISTOPHE SANDRE, EIFFAGE - ISABELLE LACHARME, EIFFAGE

Se están llevando a cabo obras de adecuación a las normas de autopistas en el tramo de la Ruta Centro Europa Atlántico (RCEA) que discurre por el departamento de Allier (RN79) y que se convertirá en la futura A79, concedida a ALIAE. El principio elegido es reutilizar la infraestructura actual como columna vertebral de la futura autopista. Por este motivo, las obras de rehabilitación y mantenimiento de los elementos existentes representan una parte considerable del proyecto: calzadas, equipamientos de seguridad, señalización, obras de fábrica, etc. Este artículo se centra en las obras de calzadas y equipamientos, y en especial en las soluciones medioambientales aplicadas por Eiffage. □



1

© HERVÉ PIRAUD

RÉHABILITATION D'OUVRAGES EXISTANTS POUR LE PASSAGE EN AUTOROUTE DE LA RN79

AUTEURS : ÉLÉONORE DE VASSELLOT DE RÉGNÉ, DIRECTION TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTOPHE SANDRÉ, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTIAN CLERGUE, DIRECTEUR DÉPARTEMENT INNOVATION, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

DANS LE CADRE DE LA RECONFIGURATION D'UNE PARTIE DE LA RN79 EN AUTOROUTE A79, LE CHANTIER SE COMPOSE DE NOUVELLES SECTIONS D'OUVRAGES ET DE LA REQUALIFICATION DE CERTAINS OUVRAGES EXISTANTS POUR SATISFAIRE AUX NORMES DE SÉCURITÉ ET DE FONCTIONNALITÉ AUTOROUTIÈRES. CES TRAVAUX PERMETTRONT D'AMÉLIORER LES CONDITIONS DE CIRCULATION ET DE SÉCURITÉ DES NOMBREUX VÉHICULES LÉGERS ET POIDS LOURDS EMPRUNTANT CET ITINÉRAIRE QUI ASSURE LA LIAISON EST-OUEST DE LA FRANCE. LE MONTANT DU MARCHÉ EST ESTIMÉ À ENVIRON 550 M€ POUR UN DÉLAI DE CONSTRUCTION INITIAL DE 24 MOIS VISANT À LIMITER LA GÊNE AUX USAGERS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

La Route Centre Europe Atlantique (RCEA - RN79) constitue une liaison transversale entre Royan sur la façade atlantique et Chalon-sur-Saône et Mâcon à l'est. Elle fait partie de l'itinéraire européen E62 reliant Nantes à Gênes par Genève et Milan (figures 2a et 2b). Il s'agit de la principale liaison

1- Doublement d'un tronçon de l'actuelle RN79.

1- Doubling a section of the existing RN79.

Est/Ouest située au nord du Massif Central permettant d'éviter les reliefs et les difficultés de circulation qui en découlent, notamment en hiver.

Dans les départements de l'Allier et de la Saône-et-Loire, la RCEA a été construite à partir des années 1970, dans un premier temps à 2x1 voie, avec la perspective d'aménagement à terme d'une "route express" d'après

les référentiels supposés ICTAAL 1971 ou ICTAAL 1985 selon les époques. L'aménagement à 2x2 voies a été inscrit dans le Schéma Directeur Routier National de 1992 et déclaré d'utilité publique entre 1995 et 1997. Il doit permettre d'améliorer significativement le niveau de service de l'itinéraire et également de contribuer à l'amélioration des problèmes de sécurité de l'axe. ▷



© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

L'évolution du trafic sur la RCEA, outre les allongements de temps de parcours, a conduit à une forte augmentation du nombre d'accidents mortels dont certains ont fait l'actualité des médias nationaux. La dangerosité de cette route a été largement dénoncée, lui valant des surnoms sinistres.

En juillet 2013, la décision a été prise de recourir à une concession uniquement sur le tronçon de 88,4 km entre l'A71 à Montmarault (03) et l'échangeur de Digoin (71) pour l'aménagement de la RCEA à 2x2 voies au statut autoroutier avec le principe de conserver le tracé dans la bande déclarée d'utilité publique entre 1995 et 1997. Suite à l'appel d'offres de concession dite "améliorée" en ars 2019, la société Aliae - détenue par Eiffage et Apr - a été désignée comme "concessionnaire pressenti unique" le 12 juin 2019, aboutissant à la signature du PV de remise de la RN79 et au transfert d'exploitation à Apr le 15 mars 2020 (date de début de la concession de 48 ans).

Parmi les 88,4 km d'infrastructure existante, 27 km ont déjà été aménagés en section à 2x2 voies lors de plusieurs campagnes de travaux précédentes. Ces élargissements sont survenus à différentes périodes, d'où une grande variation des contextes normatifs et des hypothèses de dimensionnement des ouvrages qu'un travail de recherche d'archives a permis de regrouper par époque. Les autres zones encore à 2x1 voie s'inscrivent dans le tracé de la future autoroute en empruntant l'un ou l'autre des sens de circulation de la configuration définitive, le doublement est alors réalisé dans le sens opposé (figures 3 et 4). Enfin un tronçon de 5 km entièrement neuf est construit le long de la nationale existante dans la zone du Val d'Allier pour satisfaire entre autres à des critères de non-submersibilité.

Les travaux de mises aux normes autoroutières nécessitent d'améliorer la sécurité des usagers par la mise en place d'un meilleur niveau de retenue

2a- Plan de situation du projet.

2b- Détail du plan de situation du projet à l'échelle du département.

3- Doublement terminé (gauche), voies existantes en attente de travaux (droite).

4- Prolongement d'un ouvrage existant de type cadre.

2a- Project location drawing.

2b- Detail of the project location drawing on the scale of the department.

3-Doubling completed (left-hand), existing lanes pending works (right-hand).

4- Extension of an existing frame type structure.

depuis la chaussée autoroutière mais aussi depuis les voies la franchissant (figure 5). Les dispositifs de retenue des voies portées doivent donc respecter le niveau de retenue minimum H2 et tous les ouvrages doivent être équipés d'une fonction garde-corps selon les caractéristiques des talus environnants.

ÉTAT DES LIEUX DES OUVRAGES EXISTANTS

La première étape pour ces ouvrages d'art a été de récupérer les archives départementales disponibles, réparties dans différents locaux par les regroupements passés des services de l'État, afin d'en faire l'inventaire. Une grande proportion des ouvrages dispose de récolements suffisants mais certains demeurent absents ou inexploitable. Pour bâtir un état des lieux complet, des visites de site ciblées ont été organisées avec la maîtrise d'œuvre et l'entreprise en vue de compléter les données d'entrée et de créer le dossier PRO. Une fois cette synthèse terminée, il a été



© HERVÉ PIRAUD



© HERVÉ PIRAUD



5

© HERVÉ PIRAUD

possible de démarrer la production d'un calage précis du profil en long des chaussées en utilisant les campagnes de reconnaissance des épaisseurs d'enrobés sur les ouvrages (radar en particulier). Enfin la réutilisation de certains dispositifs de retenue existants a requis de vérifier leur conformité d'où la réalisation d'essais de poussée sur les poteaux des barrières pour en mesurer la résistance. Ce premier bilan a permis d'aboutir à un programme de travaux lié aux contraintes de tracé et de résistance des ouvrages.

IMPÉRATIFS TRAVAUX ET CHOIX TECHNIQUES

La réalisation sous circulation de l'aménagement d'une infrastructure existante de cette envergure implique l'intégration des contraintes liées à l'environnement du projet pour lesquelles il a fallu cher-

5- Outil de sciage des corniches sur les passages supérieurs.

6- Mise en place des poteaux des barrières DOLRE H241.

7- Réalisation des nouvelles longrines support de barrières.

5- Parapet sawing tool on overpasses.

6- Installing posts for DOLRE H241 barriers.

7- Execution of new barrier support stringers.

cher des solutions de travaux compatibles, en particulier en regard des enjeux de sécurité.

La prise en compte des enjeux environnementaux a eu un impact majeur sur le projet de remise en état des ouvrages existants. En effet il était important d'améliorer les conditions de franchissement des espèces protégées comme les chiroptères ou la petite faune.

Les ouvrages ont dû être équipés de dispositifs adaptés types banquettes, écrans réfléchissants, dispositifs de guidage pour chauve-souris... accompagnés d'aménagements écologiques et de végétalisation.

Les différentes époques de construction des ouvrages les inscrivent dans des règlements et donc des hypothèses de chargements variées. Ces hypothèses ont été comparées aux normes autoroutières en vigueur pour confirmer que

les ouvrages étaient capables d'assurer leur fonction avec la dimension des chaussées dans la configuration définitive. En particulier les appuis des ouvrages franchissant l'infrastructure ont été vérifiés aux chocs réglementaires actuels.

L'augmentation de la vulnérabilité au séisme a également été étudiée afin d'estimer l'impact des travaux sur les structures, bien que l'environnement du projet le classe dans une zone à risque sismique faible. Il est à noter qu'à l'époque de leur construction, les ouvrages concernés se situaient en zone de sismicité nulle et n'ont donc fait l'objet d'aucun dimensionnement au séisme.

Les études ont été conduites avec l'objectif de rationaliser les renforcements sur les ouvrages tout en permettant la requalification du tronçon. ▶



6

© HERVÉ PIRAUD



7

© HERVÉ PIRAUD



8a

© HERVÉ PIRAUD



8b

© HERVÉ PIRAUD

Concernant les dispositifs de retenue, il a été fait le choix de système de niveau H2 réduisant les efforts en pied de poteau, type DOLRE H241 (figure 6) qui absorbe les chocs grâce à la plastification du poteau au lieu de poteau rigide, ce qui permet de diffuser dans les tabliers des efforts jusqu'à 4 fois inférieurs à des systèmes traditionnels. Ces dispositifs ont permis de s'affranchir de renforcements structuraux y compris lorsque les ouvrages n'étaient équipés que de garde-corps (figure 7). Par ailleurs les campagnes de reconnaissance d'épaisseur de chaussée ont montré que certains ouvrages étaient surchargés par rapport à leur dimensionnement initial. Lorsqu'il n'était pas possible de réduire l'épaisseur des enrobés en raison du calage altimétrique du tracé, des enrobés allégés Apontem® (produit développé par Eiffage Route) sont employés, permettant de revenir à une épaisseur équivalente à celle théoriquement supportée par l'ouvrage. Ceci a permis de s'affranchir

du renforcement nécessaire pour supporter la surcharge. D'autre part, certains ouvrages ont été construits avec un profil en travers dit "en toit" adapté à la situation provisoire de circulation à 2x1 voie mais incompatible avec la configuration définitive. En configuration finale ce profil doit être mono-déversé pour le confort des usagers et pour permettre l'écoulement des eaux vers la rive. Les ouvrages en question doivent donc être reprofilés et supporter une surcharge dissymétrique par rapport à leur structure qu'il convient de justifier. Le renformis doit également être réalisé de manière à ne pas présenter un risque d'orniérage ni de dégradation de l'assainissement de l'ouvrage (figures 8a et 8b).

INSPECTIONS MENÉES SUR LES OUVRAGES

En marge de l'état des lieux fonctionnel des ouvrages, une mission d'inspection a été menée pour caractériser l'état de l'infrastructure. Ce diagnostic s'appuie

8a- Un passage supérieur avant travaux.

8b- Un passage supérieur après travaux.

9- Inspection des grands ouvrages avec nacelle négative.

10- Travaux de réparation sur les ouvrages.

8a- An overpass before works.

8b- An overpass after works.

9- Inspection of large structures with an under-bridge work platform.

10- Structure repair works.

sur les visites IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) disponibles et récentes ainsi que sur une nouvelle campagne de visites (figure 9). Pour rappel, la notation IQOA développée par le Cerema résulte d'une visite périodique permettant de qualifier l'état de la structure d'un ouvrage selon qu'il est en bon état (note 1), qu'il présente des défauts plus ou moins évolutifs (2, 2E), ou bien qu'il est altéré (3 ou 3U) avec éventuellement l'ajout de la notion de risque pour la sécurité des usagers (S). Cette nouvelle campagne a donc été déclenchée pour les ouvrages ne disposant pas de visite de moins de deux ans ou présentant des notation IQOA supérieures strictement à 2 pour constater l'évolution des désordres éventuels. Le contrat de concession exige la remise en état des ouvrages pour atteindre systématiquement la note de 2 et l'absence stricte de défauts de sécurité à la mise en service de l'autoroute. La nouvelle campagne de visite a donc permis l'établissement d'un programme



9

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE



10

© HERVÉ PIRAUD



11

© HERVÉ PIRAUD

de travaux pour la remise en état des ouvrages concernés (figure 10). Dans le cas des ouvrages avec peu ou pas d'archives, des investigations complémentaires ont été réalisées pour permettre de compléter les données techniques nécessaires aux travaux de remise en état fonctionnel. Par exemple pour le calcul de la résistance des piles au choc, des reconnaissances géométriques non destructives ont été menées par radar depuis la chaussée pour détecter la profondeur et l'épaisseur des fondations. En complément les piles ont fait l'objet de relevés géométriques complets, de reconnaissances par ferroscaan des armatures, complétés par des sondages. Pour le changement des dispositifs de retenue, des reconnaissances géométriques et de ferrillages ont été nécessaires au niveau des rives des ouvrages. Le programme de ces investigations a donc été adapté pour chaque ouvrage en fonction des travaux déterminés dans le but de le reconfigurer (figure 11).

11- Ouvrage terminé avec corniche architecturale et nouveaux dispositifs de retenue, vu depuis la chaussée de l'autoroute.

12- Buse renforcée par béton projeté.

13- Changement du joint de chaussée d'un ouvrage.

11- Completed structure with architectural cornice and new restraint systems, seen from the motorway pavement.

12- Culvert reinforced by shotcreting.

13- Changing a structure's pavement jointing.

TRAVAUX DE REMISE EN ÉTAT DES OA EXISTANTS

Une fois les visites d'inspection réalisées, le programme des travaux de remise en état est présenté à l'exploitant et à la maîtrise d'ouvrage avant passage en exécution. La plupart des travaux consistent en la remise en état des équipements d'ouvrage comme les joints de chaussée, les appareils d'appui, la reprise des assainissements ou bien la réparation d'épaufrures, de fissures et d'aciers apparents. Dans quelques rares cas, les visites ont révélé des problèmes non identifiés relatifs à la pérennité des ouvrages et ont déclenché des études plus complètes pour justifier sa conservation ou envisager des travaux de renforcement. Lorsque les ouvrages existants étaient manifestement en mauvais état, un renforcement plus ou moins lourd a été réalisé. Par exemple certaines buses métalliques abîmées par des chocs ont été renforcées de l'intérieur par un anneau de béton projeté (figure 12).

TRAVAUX LIÉS À LA RGI (RÉACTION DE GONFLEMENT INTERNE)

Dans le cas d'un petit nombre d'ouvrages, les visites IQQA ont permis de détecter des pathologies sur les bétons des appuis liés à leur composition et à des désordres sur les réseaux d'assainissement de type RGI. Pour ces ouvrages, il a été nécessaire de faire des investigations complémentaires comme des relevés complets de fissuration sur site servant de point de repère pour leur évolution, des indices de fissuration, des prélèvements pour analyse de la composition chimique des bétons et des prélèvements pour réaliser des essais de gonflement accélérés. En parallèle de ces investigations, des mesures conservatoires ont été mises en œuvre pour éviter les dégradations ultérieures. Ces dernières consistent notamment en la réfection des joints de chaussée (figure 13) et l'amélioration de l'assainissement pour limiter les venues d'eau sur les appuis. ▷



12

© HERVÉ PIRAUD



13

© HERVÉ PIRAUD



14

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

Des préconisations de suivi seront remises à l'exploitant pour la surveillance ultérieure des ouvrages afin de détecter une potentielle évolution du phénomène.

UN OUVRAGE REMARQUABLE : LE VIADUC DE DIGOIN

Le viaduc de Digoin (figure 14) a été livré en 1998/1999 et assure le franchissement de la Loire au niveau de Digoin. Il est constitué de 2 tabliers jumeaux indépendants et parallèles, séparés par un vide central. Chaque tablier porte un sens de circulation et mesure 486 m de long réparti en 5 travées : 66 m - 3x118 m - 66 m. L'ouvrage est de type caisson béton précontraint à hauteur variable construit par encorbellements successifs et fondé sur fondations profondes. Il dispose d'une précontrainte intérieure et extérieure. Les inspections détaillées de 2009 et 2016 traduisent une pathologie sur les culées vraisemblablement liée à d'importantes arrivées d'eau.

Elles ont eu pour effet de faire gonfler les bétons d'où un faïençage étendu des chevêtres des culées (figure 15). D'autre part des fissures au niveau des joints de voussoirs laissaient supposer un risque de déconjugaison à surveiller. Les investigations à réaliser comprennent une inspection détaillée des ouvrages et de leur précontrainte extérieure, des investigations spécifiques sur les parties d'ouvrage présentant des pathologies, afin d'établir un diagnostic et de proposer des solutions de suivi et de réparation le cas échéant. Elles ont pour but la recherche et la caractérisation de la RGI sur les culées et les appuis en général et la vérification du comportement des joints entre voussoirs des tabliers, en service et sous éprouves de chargement. Dans le cadre de la pathologie des appuis, la première analyse a porté sur le dossier d'ouvrage. Il a été réalisé une analyse documentaire des bétons utilisés durant la construction, des phasages de réalisation, de la géo-

14- Vue générale du viaduc sur la Loire à Digoin.

15- Fissuration sur les culées du viaduc.

16- Carottage dans les culées en vue des analyses du béton.

14- General view of the viaduct over the Loire at Digoin.

15- Crack formation on the viaduct abutments.

16- Core sampling in the abutments for concrete analyses.

premier classement de l'ensemble des bétons du viaduc vis-à-vis du risque de RSI (Réaction Sulfatique Interne). Ceci a permis de définir le programme d'investigations déterminant le type et le nombre de prélèvements de béton à faire (figure 16) ainsi que la nature des expériences à conduire. Certains prélèvements ont été analysés au microscope électronique à balayage pour caractériser la microstructure de la pâte de ciment et identifier les pathologies à l'origine des désordres. Cette étape a permis de confirmer la présence d'une RSI. Les prélèvements ont ensuite été mis dans des conditions permettant leur gonflement accéléré de manière à mesurer le potentiel de réaction résiduel. En parallèle, les appuis ont été équipés de systèmes de suivi en direct des déformations via des capteurs de déplacement et des sondes de température et d'hygrométrie. Ceci permet de suivre le gonflement des appuis in situ. L'ensemble de ces investigations a pour objectif de déterminer l'avancement de

métrie des pièces, des conditions d'exposition... afin d'estimer les températures théoriques d'échauffement du béton pendant la prise et permettant un



15

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE



16

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE



17

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

17- Réalisation d'épreuves de chargement sur l'un des tabliers.
18- Vue de la précontrainte extérieure depuis l'intérieur du caisson.

17- Execution of loading tests on one of the decks.
18- View of external prestressing from inside the caisson.



18

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

et par la reconstitution d'épreuves de chargement couplées à la mesure des déformations de l'ouvrage (figure 17). Pendant ces épreuves, des capteurs de déplacement ont été disposés sur certains joints choisis pour vérifier l'absence d'ouverture entre les voussoirs.

Ceci a permis d'appuyer le fait que les ouvertures de joints relevées étaient très certainement dues à des défauts de construction mineurs et non à un problème structurel. Quant à la précon-

trainte, un relevé complet des défauts a été fait dans le cadre de l'inspection périodique ainsi que des analyses physico-chimiques pour surveiller le vieillissement des gaines PEHD (figure 18). L'ensemble de ces investigations permet d'établir un programme de travaux pour cet ouvrage et de fournir à l'exploitant des recommandations sur le suivi ultérieur pour éviter l'apparition de nouvelles pathologies ou le développement de celles qui existent déjà.

CONCLUSION

Ces étapes ont permis, par une approche déterministe, de s'assurer de l'état du parc d'ouvrages existants conséquent de la future autoroute et d'identifier précisément les travaux à réaliser pour assurer leur pérennité et leur bonne utilisation dans les années à venir. L'accent a été mis sur la sécurité des usagers et le respect des normes en vigueur alors même que la base de l'autoroute a été réalisée sur des règlements antérieurs. □

la réaction, le potentiel de gonflement et permettre d'adapter les méthodes de renforcement.

Le tablier a, quant à lui, fait l'objet d'investigations pour vérifier son fonctionnement en service et d'un état des lieux de sa précontrainte extérieure. Le premier point a été confirmé par des analyses mécaniques des bétons

CHIFFRES CLÉS

- 88,4 km d'autoroute
- Durée de la concession : 48 ans
- Coût des travaux : 550 M€
- Durée du chantier initial : 24 mois
- 140 ouvrages existants dont 79 passages inférieurs ; 45 passages supérieurs et 16 ouvrages déconstruits
- 64 ouvrages neufs
- Linéaire de dispositifs H2 neufs sur ouvrages existants : 4200 m
- Nombre de scellements d'aciers : 77 000

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Aliae
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Egis, Eiffage Génie Civil, Architecture N
GIE CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR : Clea
ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil

ABSTRACT

RENOVATION OF EXISTING ROAD STRUCTURES FOR THE TRANSITION FROM HIGHWAY RN79 TO A MOTORWAY

ÉLÉONORE DE VASSELOT DE RÉGNÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTOPHE SANDRÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTIAN CLERGUE, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

The existing highway RN79 is a major road artery providing an East/West link north of the Massif Central mountains, heavily trafficked by heavy goods vehicles and very accident-prone. This highway is undergoing requalification to become a motorway, the A79, and thereby improve travel conditions and user safety. The works include repair or doubling of the existing roads. The project comprises a large number of existing structures for which inspection work should be performed to determine their condition and plan for works accordingly. Requalification of the section also implies upgrading work for these structures to bring them into compliance with motorway safety and functionality standards. □

REHABILITACIÓN DE ELEMENTOS EXISTENTES PARA LA CONVERSIÓN EN AUTOPISTA DE LA RN79

ÉLÉONORE DE VASSELOT DE RÉGNÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTOPHE SANDRÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTIAN CLERGUE, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

La actual RN79 es un importante eje que enlaza este y oeste al norte del Macizo Central, muy utilizado por vehículos pesados y que presenta un elevado índice de accidentalidad. Esta carretera se encuentra en fase de recalificación para convertirla en autopista, la A79, lo que permitirá mejorar las condiciones de circulación y la seguridad de los usuarios. Las obras incluyen la recuperación de las vías existentes o su duplicación. El proyecto aprovecha abundantes construcciones existentes, en las que se deberán realizar tareas de inspección para evaluar su estado y prever las obras que correspondan. La recalificación del tramo requiere también obras de nivelación de dichos elementos para que respondan a las normas de seguridad y funcionalidad de las autopistas. □



1
© SÉMAPHORE & CO

ÉTANCHÉITÉ BFUP SUR OUVRAGE D'ART, UNE PREMIÈRE SUR L'A36 DU RÉSEAU APRR

AUTEURS : ROMAIN PITTET, RESPONSABLE PATRIMOINE OUVRAGES D'ART-TUNNELS, APRR -
JEAN-LUC DABERT, CONSEILLER TECHNIQUE PATRIMOINE, APRR - BENJAMIN SIMIAN, CHEF DE PROJET OUVRAGES D'ART, INGEROP

APRR, CONFRONTÉ À UNE RÉELLE PROBLÉMATIQUE DE TENUE DU COMPLEXE ÉTANCHÉITÉ/ENROBÉS SUR UN OUVRAGE, S'EST TOURNÉ VERS LE BÉTON FIBRÉ ULTRA HAUTES PERFORMANCES (BFUP). NÉANMOINS, POUR PERMETTRE CETTE APPLICATION EN FRANCE, C'EST UNE VÉRITABLE EXPÉRIENCE QUI S'EST DÉROULÉE SUR ENVIRON 6 MOIS POUR UNE DURÉE DE TRAVAUX DE 2 MOIS ET DEMI SEULEMENT. POUR CETTE OPÉRATION INNOVANTE, APRR S'EST BASÉ SUR LES NORMES FRANÇAISES AINSI QUE SUR L'EXPÉRIENCE EN SUISSE OÙ CE TYPE D'APPLICATIONS EST RÉGULIÈREMENT MIS EN ŒUVRE.

PRÉSENTATION DU PROJET LE CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Le viaduc du Canal de Dérivation de la Saône sur l'A36 présente un désordre récurrent au niveau de sa chaussée. Avec les conditions de températures

extrêmes de ces derniers étés amplifiées par la structure de l'ouvrage, les enrobés renouvelés en 2018 ont fortement flué, occasionnant des bourrelets d'enrobé de l'ordre de 8 cm sur la bande d'arrêt d'urgence et en voie lente.

1- Vue aérienne
de l'ouvrage.

1- Aerial view
of the structure.

Dans certaines zones, ce sont des plaques d'enrobé et d'étanchéité qui se sont décollées, générant un très fort risque d'accident (figure 2). L'analyse du complexe étanchéité/enrobés constate une mixion entre

les enrobés et l'étanchéité existante en asphalte sous l'effet de la chaleur. La particularité structurelle de ce viaduc (figure 1) composé de deux poutres Warren massives connectées à une ossature métallique en intrados supportant un hourdis béton armé nervuré peu épais, 20 cm d'épaisseur moyenne, est un point important à prendre en considération dans la conception de la réparation de cet ouvrage.

Cette configuration structurelle génère une accumulation de la chaleur l'été, provoquée par le rayonnement solaire, tant sur les poutres Warren que sur les enrobés de la chaussée. Le hourdis peu épais ne permet pas une dissipation complète de cette chaleur qui influe sur le comportement de l'étanchéité et de l'enrobé.

Dans le cadre de la mise en sécurité de l'ouvrage par Aprr, une réparation provisoire a été effectuée en 2020 sur la chaussée, sans reconstitution de l'étanchéité. L'opération de réparation définitive est ainsi prévue au premier semestre 2021, une échéance courte, une contrainte forte.

LE CHOIX DE LA SOLUTION

Ingerop est mandaté en tant que maître d'œuvre sur cette opération alliant la réfection du complexe enrobés/étanchéité et le remplacement de certains équipements (BN4 et appareils d'appui).



2
© APRR

2- Dégradations de la chaussée.
3- Dalle de convenance.

2- Deterioration of the pavement.
3- Suitability slab.

Plusieurs solutions de réparation sont étudiées en phase avant-projet avec notamment des solutions classiques (feuilles préfabriquées, système d'étanchéité liquide) et une solution innovante en France d'étanchéité BFUP. À l'issue de l'analyse multicritère intégrant les contraintes du projet, les conditions d'exploitation et la sécurité des clients,

le coût global, la durée de vie et le coût d'entretien sur le long terme, la solution d'étanchéité BFUP a été retenue.

Cette solution permet la réalisation d'une étanchéité continue sur le tablier et les longrines supports des dispositifs de retenue mais aussi de conserver l'épaisseur existante et le poids propre existant (2 cm d'étanchéité et 5 cm d'enrobé dans la configuration initiale). C'est grâce à une intervention du professeur Eugen Bruhwiler de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Epfl) au Colloque "Le Pont" de 2017 que la solution émerge et se construit entre Ingerop et Aprr : l'application d'un BFUP écrouissant de classe T2 ou T3 au sens de la norme française NF P18-470, ou CFUP de type UB au sens du référentiel suisse SIA 2052.

Un BFUP écrouissant en traction est un matériau très fortement dosé en fibres métalliques (dosage > 3% en volume) lui conférant une ductilité permettant d'atteindre un palier de plastification dépassant 2 à 3‰ et une limite de rupture en traction au-delà de 10 Mpa (limite post-fissuration). C'est un matériau offrant de très bonnes caractéristiques de durabilité de par sa compacité permettant une mise en œuvre dans des conditions humides pour une uniformité de la protection (tablier et longrines comprises).

En Suisse, l'ensemble des dispositions techniques permettant l'application d'un BFUP en tant qu'étanchéité est consigné dans le cahier technique SIA 2052:2016 décrivant les joints de reprises, la préparation des surfaces, les aciers de couture et le type de BFUP. En France, les normes NF P 18-451, NF P18-470 et NF P 18-710 ne traitent pas de cette application. Aprr et Ingerop décident alors de s'entourer d'experts sur le sujet.

UN COMITÉ TECHNIQUE D'EXPERTS ET UN PROTOCOLE

Grâce à l'expérience suisse sur le domaine, Aprr convainc Fca (représentant l'État - Ministère de la Transition Écologique) pour la mise en œuvre du dispositif en créant un Comité Technique BFUP pour cette opération. On y retrouve l'Epfl avec le professeur Eugen Bruhwiler mais également des experts du Cerema, de l'Uge, d'Ingerop, d'Ixo, de Quadric et des représentants de Fca en tant qu'observateur.

Les objectifs et les attentes sont de :
→ Assurer l'adhérence du BFUP sur le béton ;
→ Démontrer l'adhérence des enrobés sur le BFUP ;



3
© APRR

4a & 4b- Dalle témoin de vieillissement.
5- Plan de conception BFUP tablier et longrine.

4a & 4b- Ageing indicator slab.
5- UHPFRC design drawing, deck and stringer.

- Démontrer l'étanchéité globale d'une couche de BFUP composée de joints de reprise ;
- Appréhender l'évolution des performances dans le temps (vieillessement de l'étanchéité).

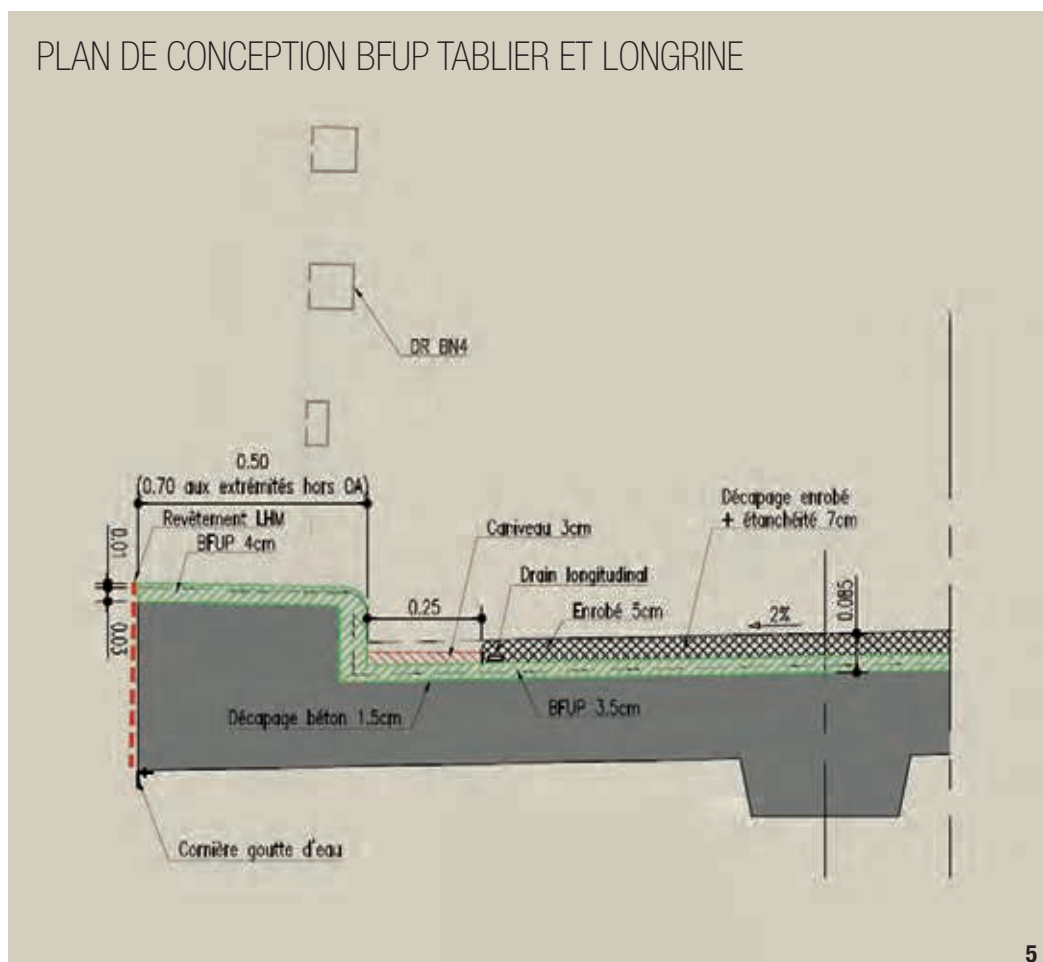
Aprr et Ingerop bâtissent un cahier de prescriptions en se basant sur le référentiel français tout en incluant des dispositions issues du cahier technique SIA 2052:2016 et des travaux de l'Epfl.

Avec l'aide du Comité Technique BFUP A36 et du contrôle extérieur (Cerema/Uge), un protocole expérimental est élaboré pour la réalisation d'une dalle de convenance, la mise au point des critères de performance et des adaptations en phase chantier sur le viaduc ainsi que le suivi d'une dalle témoin de vieillissement, disposée à côté du viaduc, sur une période de 10 ans. Les objectifs de la dalle de convenance (figure 3) sont :

- Valider les procédures de fabrication et de mise en place du BFUP dans les conditions représentatives de production et exécution ;
- Tester l'ensemble des joints de reprise et des points singuliers ;
- Déterminer les critères liés aux performances attendues (adhérences des couches) ;
- Tester l'étanchéité globale d'une couche de BFUP de 35 mm (joints de reprise compris) ;
- Éprouver les méthodes de mise en œuvre (coffrage, bétonnage, reprises de bétonnage, ...).

Les objectifs de la dalle témoin de vieillissement (figure 4) sont :

- Tester les performances du BFUP sur une période de 10 ans, en l'absence de protection par l'enrobé ;
- Vérifier l'interface BFUP/Béton et son adhérence ;
- Vérifier l'évolution des caractéristiques du BFUP soumis aux sels de déverglaçages.





6

© APRR

PRÉSENTATION DE LA CONCEPTION

LA SOLUTION EN DÉTAILS

La solution proposée doit permettre de concilier les nombreuses contraintes du projet : durabilité, aléas météorologiques pour la mise en œuvre, résistance à la chaleur, gêne et sécurité des clients sur le long terme. De plus, étant donné les dégradations importantes des longrines et des ancrages BN4 soumis à une exposition importante des sels de déverglaçage et des cycles gel-dégel, elle doit offrir la possibilité

6- Coulage en cours du BFUP du tablier.

7- Finition BFUP au droit d'un joint de chaussée.

6- UHPFRC pouring under-way on the deck.

7- UHPFRC finishing at the level of a pavement joint.

d'étendre l'étanchéité sur les longrines permettant d'obtenir une continuité de protection sur l'ensemble de l'extrados (figure 5).

L'épaisseur d'application retenue pour le BFUP est de 35 mm. Cette épaisseur permet de s'affranchir de la mise en œuvre d'armatures complémentaires anti-fissuration tout en conservant une épaisseur suffisante pour assurer la très faible perméabilité de la couche. En amont de l'application du BFUP, une préparation de surface par hydro-démolition de l'extrados est nécessaire.

Sur ce projet, il est décidé de purger 15 mm de béton afin de conserver le profil en long actuel de l'A36 et le poids propre de l'ouvrage tout en assurant la micro et macro-rugosité nécessaire à l'adhérence. Le BFUP se substitue donc au béton d'enrobage préexistant des aciers supérieurs du hourdis.

Les joints de reprise retenus pour le chantier sont issus des évolutions du cahier technique SIA 2052:2016. Leur calepinage est en fonction de la cadence de production de l'entreprise sur une journée. Deux types de joints sont présents, les joints transversaux sur section courante et les joints longitudinaux aux raccordements des longrines.

Des points singuliers sont intégrés dans la conception du revêtement avec notamment la reprise des gargouilles en BFUP, la remontée de l'étanchéité sur les solins de joints de chaussée conservés, l'intégration des reprises des ancrages BN4 scellés dans les longrines.

Le caractère étanche ou la faible perméabilité du dispositif repose sur le caractère écrouissant du BFUP utilisé, sur la vérification d'une déformation calculée sous l'effet du retrait du BFUP et des sollicitations de trafic compatible avec les exigences des recommandations suisses.

Du fait de l'absence de normalisation et de guide d'application de cette technique en France, la conception intègre les prescriptions et retours d'expérience des confrères suisses. Ainsi, le projet se base tant sur la normalisation BFUP en France que sur la qualification du matériau que sur le référentiel et les projets suisses pour l'application du produit en tant qu'étanchéité.



© APRR

7

LES PRESCRIPTIONS DU BFUP ÉCROUISSANT

La résistance en compression minimale prescrite désigne un BFUP 130/145 MPa (BFUP-Z non structurel au sens de la norme NF P18-470) composé de fibres métalliques (M).

Les performances de résistance aux agressions extérieures sont améliorées avec les classes de durabilité Dp+ (porosité à l'eau à 90 jours) et Dc+ (diffusion des ions chlorures) selon la NF P 18-470. Enfin, pour garantir la non-fissuration du matériau, il est demandé des caractéristiques écouissantes élevées (comportement en traction T2 ou T3 selon la NF P 18-470). Le projet prévoit la mise en œuvre de BFUP sur la section courante et sur les longrines, ce qui requiert deux consistances distinctes. Pour le hourdis, un BFUP d'une consistance thixotrope est mis en œuvre afin de "tenir la pente" transversale de 2% présente sur le tablier (figure 6). Pour les longrines coffrées, il s'agit d'un BFUP plus fluide pour faciliter sa mise en œuvre.

Les consistances de ces deux BFUP sont vérifiées en phase de convenance. À ce stade, le contrôle extérieur valide la spécification de ces consistances distinctes, bénéficiant d'une différence significative d'adjuvantation pour fixer la cible et les plages d'acceptabilité au regard d'une mise en place satisfaisante.

LES CONTRAINTES DU PROJET

Les travaux sont réalisés en partie en deux postes de 8h avec plusieurs tâches en simultané afin de respecter les conditions de programmation de travaux propres à une autoroute en exploitation.

De plus, l'ouvrage franchissant le canal de dérivation de la Saône, le site est fortement exposé aux aléas climatiques tel que le vent, l'humidité et à des températures variant rapidement. Ces contraintes météorologiques ont un impact important sur la mise en place du revêtement BFUP puisque ce dernier peut être très sensible aux conditions d'environnement. Sa formulation doit donc être anticipée et adaptée en fonction des conditions météorologiques pour garantir une consistance adéquate. La cure doit être également adaptée. Enfin, la présence d'ouvrages d'accès de forme triangulaire et la nécessité de conserver les joints de chaussée existants (remplacés très récemment) impactent les phasages travaux et nécessitent des adaptations de coffrage pour le coulage du BFUP (figure 7).



8a

© APPR / CEREMA



8b

© APPR / CEREMA

**8a & 8b-
Préparation
du support
béton.**

**9a & 9b- Joint
de reprise des
longrines.**

**8a & 8b-
Preparation of
the concrete
substrate.**

**9a & 9b-
Stringer construction joint.**

POINTS SENSIBLES DE L'ÉTANCHÉITÉ BFUP

L'application d'une étanchéité BFUP sur ouvrages d'art nécessite des points d'attention particuliers propres à ce type de procédé.

Malgré une fabrication foraine du BFUP (sur chantier et proche du site d'application), la centrale BFUP proposée par l'entreprise doit permettre une fabrication précise (dosage à + ou - 2%) et régulière (régularité de production : répétitions de cycles de malaxage, production de gâchées de consistance identique, maintien de températures...) tout au long du chantier pour garantir une régularité de production, gage de qualité de matériau.



9a



9b

© APPR / INGEROP



© INGEROP
10

Les modifications, même mineures, des quantités de matériaux mélangés ont un impact non négligeable sur l'ouvrabilité et les caractéristiques intrinsèques finales du BFUP.

Un autre point sensible réside dans la préparation des surfaces du béton existant et BFUP pour garantir la bonne adhérence des interfaces BFUP/béton et enrobés/BFUP. Concernant la préparation de surface du béton existant, une indentation de l'ordre de 8 à 10 mm est nécessaire pour générer une adhérence suffisante du BFUP et reprendre ainsi les efforts de cisaillement (retrait gêné, freinage, flexion locale, ...) le tout sans connecteur. Cette préparation est réalisée par hydrodémolition (figure 8).

Pour le surfacage du BFUP supportant les enrobés, il est prescrit une préparation plus légère par hydrodécapage créant une microrugosité de l'ordre de 2 à 4 mm sans pour autant dégarnir les fibres métalliques de surface.

Enfin, le dernier point réside au niveau des reprises de bétonnage sur section courante et au droit des longrines, zones de discontinuité de la couche mise en œuvre. En prenant appui sur les techniques et les référentiels suisses, la performance d'étanchéité des joints de reprise est obtenue par recouvrement des différentes phases de coulage BFUP et l'insertion d'aciers de liaison (figure 9).



© APRR / QUADRIC
11a

10- Dalle d'essai après hydrodémolition.

11a & 11b- Instrumentation du tablier Nord.

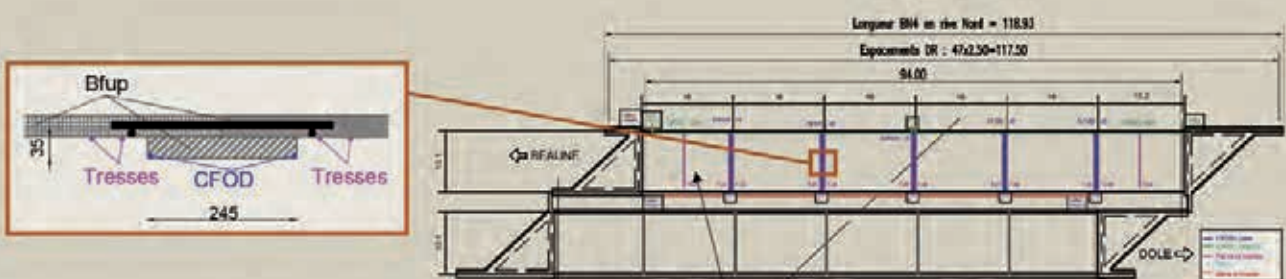
10- Test slab after hydrodemolition.

11a & 11b- Instrumentation of the North deck.

CONVENANCE BFUP ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Comme tout projet BFUP, la phase de convenance en période de préparation du chantier est primordiale pour vérifier les propriétés du matériau une fois en place et recalculer si besoin les hypothèses de calcul. ▽

INSTRUMENTATION DU TABLIER NORD



© APRR / QUADRIC
11b



La phase convenue sert également à vérifier et optimiser la mise en œuvre du matériau.

Dans ce projet, la convenue comprend la réalisation d'une dalle d'essai représentative de la section transversale du tablier (5 m de longueur et 10 m de largeur conforme à la largeur du tablier). Cette dalle comprend l'ensemble des points de détails de l'ouvrage (pente transversale, longrines, gargouilles, joints de chaussée, ancrages BN4, ...) et retranscrit toutes les phases de chantier (préparation de surface, joints de reprises, coulage BFUP, enrobés...).

La convenue, composée de la convenue matériau et de la dalle de convenue, s'avère essentielle pour qualifier sur une courte durée (48 heures de mise en eau) la non-perméation de l'eau liquide à travers la couche BFUP mise en œuvre et pour le calage des méthodes de l'entreprise.

Pendant cette phase, le procédé de fabrication du BFUP est réajusté (calage des consistances BFUP, ajustement de la centrale...), les préparations de sur-

face sont étalonnées et certains détails techniques avec leur mise en œuvre sont adaptés (modification des joints de reprise...). La phase convenue est une étape cruciale pour se rapprocher au maximum des conditions du

12- Finition de l'enrobé sur le tablier Sud.

12- Asphalt finishing on the South deck.

chantier et permettre une validation du procédé entre tous les acteurs du projet (figure 10).

Ainsi, dans l'objectif de s'assurer du caractère étanche du procédé, la dalle de convenue a été instrumentée pour déterminer les éventuelles ouvertures de fissures et constater l'absence d'infiltration lors d'un essai de mise en eau.

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE DE TABLIER : 2500 m²

QUANTITÉ DE BFUP : 150 m³

DURÉE DES TRAVAUX : 2 mois et demi

BALISAGE : 2 basculements de circulation de 5,5 semaines chacun

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Aprr

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : Ingerop

ENTREPRISE DE TRAVAUX : Freyssinet Agence Rhône-Alpes Auvergne

FOURNISSEUR BFUP : Vicat

CONTRÔLE EXTÉRIEUR ET SUIVI DALLE DE VIEILLISSEMENT :

Cerema et Uge (Université Gustave Eiffel)

INSTRUMENTATION : Quadric

CONCLUSION

L'expérimentation se poursuit avec un protocole sur une période de 10 ans comprenant des visites en intrados de l'ouvrage, le suivi des résultats de l'instrumentation installée sur l'un des tabliers (figure 11) et une dalle témoin de vieillissement pour appréhender l'évolution du comportement du dispositif. Cette opération réussie (figure 12) dans un délai classique d'opération autoroutière encourage Aprr à reprendre cette technique sur de futures réparations d'ouvrages d'art. Il s'agira non seulement de viser une fonction d'étanchéité mais également de renforcement de tablier, une autre application du BFUP déjà éprouvée en Suisse. □

ABSTRACT

UHPFRC SEALING ON A BRIDGE, A FIRST ON THE APRR NETWORK'S A36 MOTORWAY

ROMAIN PITTET, APRR - JEAN-LUC DABERT, APRR - BENJAMIN SIMIAN, INGEROP

To ensure clients' safety on the A36 motorway and safeguard the environment, APRR experimented the innovative UHPFRC sealing process on a bridge in France. The viaduct over the Saône diversion channel at PR 196+918 showed a major pavement and sealing defect at that time, mainly due to the bridge's atypical design. Based on French standards, on Swiss experience and on an expert committee, the "BFUP A36" project began in January 2021 with the execution of a suitability slab in the preparation phase and was completed in June 2021 by finishing the work on the North deck after only two-and-a-half months of site works. □

ESTANQUEIDAD BFUP EN OBRA DE FÁBRICA, UNA PRIMICIA EN LA A36 DE LA RED APRR

ROMAIN PITTET, APRR - JEAN-LUC DABERT, APRR - BENJAMIN SIMIAN, INGEROP

Con objeto de garantizar la seguridad de los usuarios de la autopista A36 y proteger el patrimonio, APRR ha decidido experimentar en Francia el procedimiento innovador de estanqueidad BFUP en una obra de fábrica. El viaducto del canal de derivación del Saona en el PR 196+918 presenta un déficit de calzada y de estanqueidad considerable, básicamente debido al diseño atípico de este puente. Basándose en las normas francesas, en la experiencia suiza y en un comité de expertos, el proyecto BFUP A36 comenzó en enero de 2021 con la realización de una losa de ensayo en fase de preparación, y finalizó en junio de 2021 con el acabado de las obras del tablero norte, al cabo de tan solo dos meses y medio de trabajo. □



1

© INGEROP

UNE RÉPARATION ATYPIQUE DE PASSERELLE SUSPENDUE À CHARLEVILLE-MÉZIÈRES (08)

AUTEURS : NICOLAS ROUZET, CHEF DE SERVICE, INGEROP - CHRISTIAN CROIZIER, DIRECTEUR DÉPARTEMENT RÉNOVATION D'OUVRAGES D'ART, BAUDIN CHATEAUNEUF

LA PASSERELLE DU MONT OLYMPE, SITUÉE EN PLEIN CŒUR DU CENTRE-VILLE DE CHARLEVILLE-MÉZIÈRES, EST UN OUVRAGE DE TYPE SUSPENDU. DATANT DU DÉBUT DES ANNÉES 1930, ELLE ÉTAIT À L'ÉPOQUE DE SA CONSTRUCTION LA PREMIÈRE PASSERELLE SUSPENDUE DU DÉPARTEMENT DES ARDENNES. CET OUVRAGE A SUBI UN CHOC ROUTIER EN 2012 QUI A ENTRAÎNÉ UNE DÉFORMATION ET UNE TORSION DU TABLIER MÉTALLIQUE. DES TRAVAUX DE RÉPARATION ONT ÉTÉ ENTREPRIS EN 2021 POUR LUI REDONNER UN ÉTAT DE SERVICE SATISFAISANT.

ORIGINE ET GENÈSE DU PROJET

HISTORIQUE

La passerelle du Mont Olympe est une passerelle métallique de type suspendue (figure 1). L'ouvrage initial a été construit en 1934.

À noter qu'il s'agissait à l'époque de la première passerelle suspendue des Ardennes.

1- Vue de la passerelle existante.

1- View of the existing foot bridge.

La passerelle a été construite par la société Leinekugel le Cocq et Fils (basée à l'époque en Corrèze). Apparemment, la passerelle initiale a été détruite pendant la seconde guerre mondiale et reconstruite à la libération par le constructeur d'origine. Aucun dossier relatif à l'ouvrage n'a pu être retrouvé aux archives de la Ville de Charleville-Mézières.

Ceci limite la connaissance de l'ouvrage aux événements suivants :

- Construction de l'ouvrage en 1933 par les Établissements Métallurgiques G. Leinekugel Lecocq & fils à Larche ;
- Remplacement de l'ensemble des suspentes et réfection des parements béton au milieu des années 1980 ;

→ Réhabilitation de l'ouvrage en 2007 par l'entreprise Baudin Chateaufort, réfection complète de la suspension, réfection des parements en maçonneries, remplacement des appareils d'appui, remise en peinture des éléments d'ossature métallique.

En matière de surveillance de l'ouvrage, les éléments suivants ont pu être retrouvés :

- Auscultation électromagnétique des câbles par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux en 1981, 1993 et 2003 ;
- Inspection détaillée de l'ouvrage par Boas en 2001.

LES DÉGÂTS SUBIS PAR LA PASSERELLE LORS DU CHOC ROUTIER

Le 25 juin 2012, un camion de livraison de béton a heurté le tablier de la passerelle malgré la signalisation de limitation de gabarit existant de part et d'autre de l'ouvrage.

Le camion ayant forcé le passage, il s'est produit une forte déformation du tablier.

Des désordres importants ont ainsi été engendrés sur la passerelle :

- Une torsion importante des deux poutres longitudinales sur environ 20 m (angle d'environ 15°) ;
- Une déformation de plusieurs entretoises ;
- Une rupture de plusieurs assemblages poutres longitudinales / entretoises ;
- La déformation de l'étrier d'attache inférieur des suspentes ;
- Une déformation par torsion du rail de guidage de la nacelle d'inspection ;
- Une fissuration du revêtement anticorrosion sur les poutres longitudinales, localisée principalement au droit des assemblages ;
- Une rupture de certains rivets ;
- Des flaques d'eau en extrados côté Sud de la zone endommagée, traduisant une modification du profil en long de la passerelle due au fluage des câbles dans le temps et au dérèglement de la suspension suite au choc.

Les désordres ainsi constatés ont montré que le tablier s'est déformé de manière importante, à la fois dans le sens vertical (dévers amont/aval) qu'horizontal. La déformation dans le sens vertical traduit une déformation due au passage forcé du PL et la déformation dans le sens horizontal traduit l'impact direct du choc qui a été absorbé par la dalle et le contreventement.



2

© INGEROP



3

© INGEROP

Le choc a également eu pour effet de déchirer le film de protection anticorrosion. Par conséquent, la protection de l'acier n'était plus assurée et il a été constaté la présence de plusieurs zones corrodées sur les 20 m de tablier déformé (figures 2 et 3). Même si aucune perte de section ne semble présente, la multitude des zones était préoccupante et pouvait entraîner à terme une perte de section et donc une perte de résistance.

La déformation significative de la pièce d'attache a certainement eu pour effet de modifier les efforts de tension dans les suspentes.

La torsion engendrée sur les poutres longitudinales et la déformation de la semelle inférieure vers l'axe de la passerelle entraînent des stagnations d'eau dans certaines zones de la structure, pénalisantes pour la passerelle à moyen terme.

VOLET CONCEPTION

La conception a démarré par une étude de faisabilité, qu'Ingérop a réalisée au début de l'année 2020. Cette phase avait pour objet d'établir un état des lieux de la passerelle, et de proposer une méthode de réparation de l'ouvrage.

Un appel d'offres de maîtrise d'œuvre complète a ensuite été lancé par la Ville durant l'été 2020. Ingérop a été notifié de ce marché à la rentrée 2020.

La conception a été organisée en deux phases principales, une étude de niveau AVP rendue à la fin de l'année 2020 et un DCE établi en mars 2021.

2- Vue de la zone altérée de la passerelle.

3- Détail de l'altération de la passerelle.

2- View of the damaged area of the foot bridge.

3- Detail of damage to the foot bridge.

La consultation a été lancée en avril pour une réponse des entreprises au 26 mai 2021.

Le marché a été notifié à l'entreprise Baudin Chateaufort début juillet 2021.

PHASAGE ET PLANNING DE L'OPÉRATION

Le phasage des travaux et le planning ont été établis pour minimiser les impacts sur les riverains et les installations situées à proximité de l'ouvrage :

- Les travaux ont démarré le 4 octobre 2021 pour ne pas gêner le déroulement du Festival international des Marionnettes, qui a eu lieu du 17 au 26 septembre 2021 ;
- La rue des Pâquis, qui est franchie par la passerelle côté Nord, a été totalement coupée à la circulation. La rue a été rouverte au public environ trois semaines avant la fin des travaux pour minimiser la gêne aux usagers ;
- La passerelle a été coupée pendant toute la durée des travaux.

DESCRIPTION DE LA PASSERELLE ET DE LA SOLUTION PRÉVUE

TYPE DE STRUCTURE ET DESCRIPTION

Les principales caractéristiques de l'ouvrage (figure 1) sont les suivantes :

- Type de structure : Passerelle suspendue ;
 - Date de construction : 1933-1934 ;
 - Ouverture totale : environ 126 m ;
 - Gabarit : 3,40 m au niveau de la rue des Pâquis ;
 - Longueur totale du tablier : 141,52 m ;
 - Biais : 100 grades ;
 - Ouvrage rectiligne ;
 - 3 travées (2 travées principales de 64,60 m + 1 travée d'accès de 12,32 m) ;
 - Largeur hors tout : 3,385 m ;
 - Largeur de cheminement : environ 2,50 m ;
 - Profil en long/en travers : horizontal.
- La suspension est composée de deux nappes latérales comprenant chacune :
- Deux câbles porteurs posés sur des selles d'inflexion glissantes en haut des pylônes et ancrés à leurs extrémités à un massif en béton armé ;
 - Deux câbles de tête dont le rôle est de maîtriser les déplacements horizontaux des selles ;
 - D'un câble de retenue fixé sur les selles au niveau de chaque pylône d'extrémité, et ancré au même massif d'ancrage que les câbles porteurs.



© INGEROP
4

Les diamètres des câbles sont les suivants :

- Pour les câbles de retenue/ de tête, diamètre de 42,3 mm (câble toronné de 61 fils ronds de diamètre 4,8 mm) ;
- Pour les câbles porteurs, diamètre de 53 mm (câble toronné de 127 fils ronds de diamètre 4,1 mm).

Le tablier est suspendu aux nappes de câbles par un ensemble de 2x26 tiges de suspension de 28 mm de diamètre. La protection des câbles est assurée par une peinture de type Intertuf 16 Noire (International Coating), il s'agit d'un revêtement bitumineux.

Le tablier est à ossature métallique, constitué de :

4- Vue du garde-corps architecturé.

5- Fabrication du nouveau tronçon.

6- Expédition du tronçon depuis les ateliers.

4- View of the architect-designed guard rail.

5- Manufacture of the new section.

6- Shipment of the section from the workshops.

- Deux poutres latérales à âmes pleines de 50 cm de hauteur, assurant la rigidité de l'ensemble ;

- Un longeron central parallèle aux poutres, également à âmes pleines et de 20 cm de hauteur ;

- Pièces de pont perpendiculaires aux poutres latérales, disposées tous les 5,00 m et de hauteur 20 cm ;

- Un contreventement horizontal. Les profilés métalliques formant l'ossature du tablier sont d'anciens profilés ayant pour dénomination ILA500x300 pour les poutres latérales et ILA200x200 pour le longeron et les entretoises. L'ensemble des assemblages de l'ossature du tablier est réalisé à l'aide de rivets.

Le platelage est une dalle de béton armé constituée d'éléments préfabriqués, mise en place en 2007 en remplacement de la dalle précédente.

CHOIX ARCHITECTURAL ET CONTRAINTES ABF

L'ouvrage ayant une identité forte et un impact important dans le paysage de la ville, l'esthétique de la passerelle doit être préservée au maximum.

De plus, l'ouvrage est situé à moins de 500 m de plusieurs bâtiments classés au titre des Monuments Historiques :

- L'hôtel de ville situé Place Ducale ;
- Plusieurs bâtiments de cette même place ;

- Le musée Arthur Rimbaud.

Le projet a donc fait l'objet d'une déclaration préalable et d'échanges auprès de l'Unité Départementale de l'Architecture et du Patrimoine des Ardennes et de l'Architecte des Bâtiments de France.

La demande a été déposée le 25 janvier 2021 et a été accordée le 23 mars 2021.

L'image de la passerelle ne devait en aucun cas être impactée ni modifiée. Le tronçon neuf devait être reconstruit à l'identique malgré quelques adaptations inévitables.

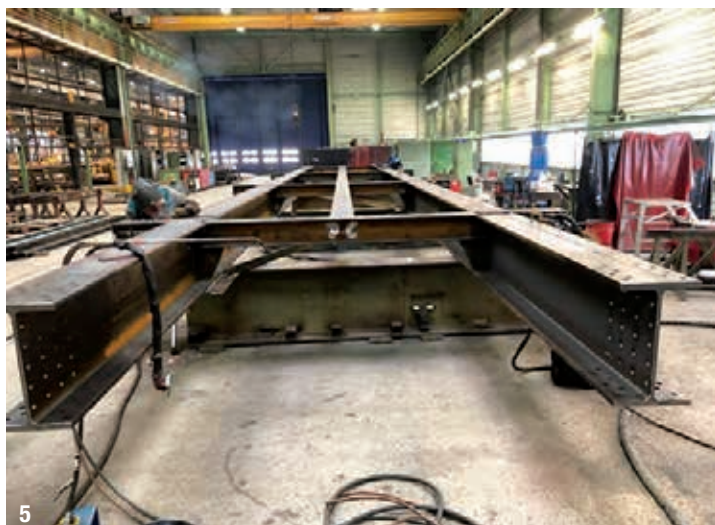
En particulier, les profilés constituant le tablier n'existant plus, l'aspect des nouveaux profilés devait être le plus proche possible de l'existant.

La teinte RAL devait également être identique.

De même, les gardes corps existants étaient à déposer soigneusement pour être reposés à l'identique (figure 4).

INVESTIGATIONS RÉALISÉES

Afin de prévoir les travaux, plusieurs investigations ont été réalisées :



5
© BAUDIN CHATEAUNEUF



6
© BAUDIN CHATEAUNEUF

- Diagnostic amiante/HAP dans les enrobés ;
- Prélèvements d'acier pour effectuer des essais de traction afin de déterminer les caractéristiques mécaniques, analyse chimique pour déterminer les caractéristiques physico chimiques, étude microstructure pour analyser les revêtements, les éventuels défauts et pathologies ;
- Investigations sur les peintures, analyse amiante et plomb.

Les résultats de ces investigations sont les suivants :

- Absence d'amiante et de HAP dans les enrobés ;
- Limite élastique de l'acier d'environ 265 MPa ;
- Présence de plomb dans les peintures, absence d'amiante.

PRINCIPE DE LA RÉPARATION

Les travaux de réparation ont été divisés en deux parties :

- La réparation au droit de la zone du choc ;
- La réparation en dehors de la zone du choc.

En effet, bien que le premier objectif de ces travaux fut de traiter la zone impactée par le choc, le maître d'œuvre a intégré dans le marché de travaux la réalisation d'autres travaux de réparation/réhabilitation comme le changement des joints aux extrémités de l'ouvrage, le nettoyage des gardes corps, le remplacement des appareils d'appui. Concernant la zone de choc, le principe de réparation retenu est le remplacement complet du tronçon impacté.

RÉALISATION DES TRAVAUX LE GROUPEMENT

Les travaux ont été confiés à l'entreprise Baudin Chateaufneuf (département Rénovation d'Ouvrages d'Art), entreprise habituée à effectuer des travaux de réparation sur des ouvrages suspendus. L'intervention sur ce type d'ouvrages nécessite en effet un certain savoir-faire.

ORGANISATION DU CHANTIER

Baudin Chateaufneuf a réalisé en propre les travaux de métallerie et de suspension et a sous-traité à sa filiale Berthold les travaux de génie civil, notamment le remplacement des dalles béton et la réalisation de l'étanchéité.

La base vie a été installée sous la passerelle du Mont Olympe au niveau d'un parking.

Dès le 4 octobre 2021, l'ouvrage suspendu et la rue des Pâquis ont été fermés, laissant tout de même un passage



© BAUDIN CHATEAUFNEUF

au centre médical et aux piétons via un cheminement dédié.

La ville de Charleville-Mézières, maître d'ouvrage, a installé les différentes signalisations de déviation et fait dévier le temps des travaux la conduite d'eau accrochée à l'ouvrage.

MÉTHODE DE RÉPARATION

En début d'opération, un géomètre expert a réalisé un relevé topographique complet de la travée accidentée.

Ce relevé a permis d'affiner la connaissance de l'ouvrage et de confirmer les dimensions des pièces à fabriquer. Pour limiter la durée des travaux et donc l'impact pour les usagers, l'entreprise

7- Mise en œuvre du nouveau tronçon.

8- Vue de l'extrados.

9- Extrémité de la passerelle - Joints.

7- Putting in place the new section.

8- View of the extrados.

9- End of the foot bridge - Joints.

a proposé d'acheminer sur chantier le tronçon neuf de 20 m entièrement préfabriqué en atelier.

Durant l'été 2021, le Bureau d'Études de l'entreprise a conçu le nouveau tronçon.

Les principales caractéristiques étaient les suivantes :

- Longueur totale : 20 m ;
- Poutres de rigidité : HEB 500 pour correspondre aux ILA 500*300. Pose de fourrures pour reprendre les différences d'épaisseur entre les deux profilés ;
- Longerons et entretoises : HEB 200 pour correspondre aux ILA 200*200. Pose de fourrures pour reprendre les différences d'épaisseur entre les deux profilés ;
- Aspect architectural extérieur conservé. Conception mécanosoudée des consoles à l'identique avec des têtes de rivets rapportées par soudure ;
- Assemblage entre tronçons existants et neuf : boulons HR ;
- Dalles préfabriquées neuves identiques aux existantes ;
- Peinture : Système ACQPA C4ANV 699 RAL 6019.

À compter du 4 octobre 2021, et pendant 3 semaines, les ateliers de Baudin Chateaufneuf ont fabriqué le nouveau tronçon (figure 5). BC SPIR, filiale du groupe, a ensuite mis en peinture la nouvelle ossature.



© BAUDIN CHATEAUFNEUF



© BAUDIN CHATEAUFNEUF

Le Cerema est venu contrôler et réceptionner en atelier la fabrication et la mise en peinture du nouveau tronçon. La passerelle a pu être acheminée par convoi exceptionnel (figure 6), le 27 octobre.

En parallèle de la fabrication de la charpente, le chantier a débuté le 4 octobre 2021. Le processus de réparation a été le suivant :

- Mise en place d'une tour d'étalement pour supporter une canalisation d'alimentation d'eau partiellement déviée vis-à-vis des déplacements du tablier en phases travaux ;
- Dépose de l'enrobé sur la totalité de la passerelle et de l'étanchéité sur 20 m ;
- Dépose soignée de 2*25 m de garde-corps ;
- Découpe des zones de clavage de la dalle BA préfabriquée et démolition locale au niveau des éclissages ;
- Découpe des éclissages aux extrémités du tronçon à remplacer. Cette découpe était rendue possible à ce stade des travaux par l'absence de charges d'exploitation et la présence de la quasi-totalité des charges de poids propre ;
- Le tronçon endommagé était désormais désolidarisé du reste du tablier ;
- Dépose des 10 dalles préfabriquées par une grue et évacuation par un prestataire extérieur pour être recyclées ;
- Dépose du tronçon existant par une grue 70 t (poids du colis : 10,4 t) ;
- Découpe du tronçon en 4 morceaux pour permettre l'évacuation dans un centre de traitement.

À l'issue de ces phases, la passerelle a subi une forte perte de poids, d'où un changement conséquent de la géométrie de la suspension.

Lors des études d'exécution, il est apparu qu'un réglage temporaire de la



10
© INGEROP

10- Fin des travaux.

10- End of works.

suspension était nécessaire pour permettre l'alignement du nouveau tronçon sur l'ancienne ossature puis son éclissage :

- Équipement de l'ensemble des suspentes de la travée par un système de vérinage (deux vérins de capacité 10 t) ;
- Réalisation des phases de vérinage ;
- Fixation du nouveau tronçon aux suspentes ;
- Mise en place des 6 dalles préfabriquées sur le tronçon neuf. Les 4 dernières dalles prévues pour être

posées au niveau des joints entre la nouvelle et l'ancienne ossature du tablier ont été utilisées comme lest. Elles étaient posées sur les deux dalles d'extrémité du tronçon neuf (figure 7).

Le rôle des dalles "lests" était de minimiser la déformation des nappes au moment de l'éclissage des tronçons afin de limiter les courses de vérinage sur les suspentes, le but étant de réaliser l'éclissage avec le poids le plus proche de sa valeur finale.

- Éclissage du tronçon neuf sur les tronçons anciens par boulonnage HR ;
- Reprise de peinture des zones d'éclissage ;
- Mise à leur place définitive des 4 dalles préfabriquées ayant servi de lest ;
- Vérinage des suspentes d'une course opposée à la course réalisée avant éclissage afin de rendre à l'ouvrage son profil en long initial ;
- Repose des garde-corps ;
- Clavage des dalles préfabriquées (figure 8) ;
- Réalisation de l'étanchéité au niveau du nouveau tronçon ;
- Équilibrage de la suspension sur la travée concernée par les travaux avec correction du profil en long ;
- Pose de l'enrobé 0/6 sur toute la longueur de l'ouvrage : 30 t.

En parallèle des travaux principaux, des missions annexes ont été réalisées comme :

- Le remplacement des joints de chaussée (figure 9) ;
- Le remplacement à l'identique des appareils d'appuis ;
- Le nettoyage des garde-corps.

FIN DES TRAVAUX

Elle a eu lieu le 16 décembre 2021 conformément au planning (figure 10). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR TOTALE DU TABLIER : 141,52 m (2 culées et 2 piles)
TONNAGE TOTAL DE CHARPENTE POUR LE NOUVEAU TRONÇON : 11,4 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Charleville-Mézières
MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION, TRAVAUX : Ingérop
ENTREPRISE MANDATAIRE : Baudin Chateaufeur
INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES : Ginger
CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Cerema

ABSTRACT

ATYPICAL REPAIR WORK ON A SUSPENSION FOOT BRIDGE AT CHARLEVILLE-MEZIERES

NICOLAS ROUZET, INGEROP - CHRISTIAN CROIZIER, BAUDIN CHATEAUNEUF

The Mont Olympe foot bridge at Charleville-Mézières, a suspension type bridge, sustained a road shock in 2012 which caused significant damage to several structural members. It therefore underwent repair work in 2021. The work sequencing was designed to minimise the nuisance for the users. During the three months of the preparation period, on-site recordings and dimensioning, ordering of materials and assembly of the new section were performed in a workshop. The operations on site involved removing the existing framework, putting in place the new section and installing equipment (sealing, remounting of guard rails, etc.). □

UNA REPARACIÓN ATÍPICA DE PASARELA SUSPENDIDA EN CHARLEVILLE-MEZIERES (08)

NICOLAS ROUZET, INGEROP - CHRISTIAN CROIZIER, BAUDIN CHATEAUNEUF

Tras sufrir un choque de circulación en 2012, que supuso una alteración significativa de varios elementos estructurales, la pasarela del Mont Olympe en Charleville-Mézières, construcción de tipo suspendida, ha sido objeto de obras de reparación, iniciadas en 2021. La división en fases de las obras ha sido diseñada para minimizar las molestias a los usuarios. Durante los 3 meses de período de preparación, obtención de información in-situ y dimensionamientos, los pedidos de material y el ensamblaje del nuevo tramo se han realizado en el taller. Las intervenciones in-situ han consistido en desmontar la estructura existente e instalar el nuevo tramo y los equipamientos (estanqueidad, soporte de las barandas, etc.). □



1

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

TRAITEMENT DE SOLS POST-FUKUSHIMA ET GRAND CARÉNAGE D'EDF AU CŒUR DES ACTIVITÉS DE MAINTENANCE

AUTEURS : PHILIPPE MERCIER, RESPONSABLE DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GUILLAUME RATHIEUVILLE, MAÎTRE D'ŒUVRE, EDF CNEPE - NICOLAS ROMANOWSKI, RESPONSABLE D'AFFAIRES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

QUE CE SOIT À TRAVERS LES TRAVAUX DE MAINTENANCE DU GRAND CARÉNAGE OU LE MARCHÉ CADRE DE RENFORCEMENT ET AMÉLIORATION DE SOLS LIÉ AUX PROJETS POST-FUKUSHIMA, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS EST INTERVENU EN 2020 - 2021 SUR 3 CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ (CNPE) RENFORÇANT AINSI SON PARTENARIAT AVEC EDF.

Depuis plus de 25 ans, Spie Batignolles Fondations a pris une part active dans la maintenance des CNPE. Dans le cadre de cette activité, les équipes ont été sensibilisées et formées aux exigences d'interventions sur un site industriel en exploitation avec le développement d'une "culture sûreté des installations". Les travaux réalisés, leurs contextes et leurs com-

plexités propres, détaillés dans cet article, concernent les activités suivantes :

- Les travaux d'injection d'imprégnation des sols derrière la paroi moulée des tranches 1 et 3 du CNPE de Gravelines (département du Nord) ;
- Les fondations du portique extérieur pour le remplacement du générateur de vapeur des tranches 1 et 2

1- Zone de raccordement tuyauteries - paroi moulée et centrale de fabrication de coulis.

1- Piping connection area - diaphragm wall and grouting plant.

du CNPE de Flamanville (département de La Manche), Projet RGV du Palier 1300 MW ;

- Les travaux d'injection d'imprégnation sous les bâches ASG des tranches 1 et 2 du CNPE de Tricastin (département de La Drôme) s'inscrivant dans le cadre de la maintenance de la Visite Décennale n°4 du Palier 900 MW.

CNPE DE GRAVELINES

La maintenance génie-civil de la paroi moulée de Gravelines est intégrée dans une routine de surveillance qui s'articule autour de plusieurs points : la surveillance des niveaux de nappe, le suivi topographique et l'auscultation visuelle de la paroi côté canal. Ces éléments de surveillance périodique permettent de définir les actions de maintenance génie-civil complémentaires à mener sur le court, moyen et long terme. Ce sont les fluctuations de nappe et les quelques tassements qui ont permis de localiser, de définir et d'anticiper la nature des travaux correctifs à mener pour arrêter les mécanismes à l'origine des désordres et pour restaurer les paramètres de sol d'origine dans les zones impactées.

La plate-forme générale du CNPE de Gravelines est isolée du canal d'amenée par l'intermédiaire d'une paroi moulée datant de la construction de la centrale qui assure des fonctions de soutènement et d'étanchéité. Elle a été le siège, à l'arrière de la paroi moulée, de plusieurs désordres liés à la perte de compacité des remblais, consécutive à des entraînements de matériaux depuis la plateforme générale vers le canal. Ceux-ci s'opèrent sous l'effet des gradients hydrauliques alternés des marées, favorisés par des défauts ponctuels d'étanchéité de la paroi moulée. Des affaissements sont apparus à l'ar-



2 © SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

2- Forage dans des emprises réduites.
3- Modélisation 3D des ouvrages existants et des forages de traitement.

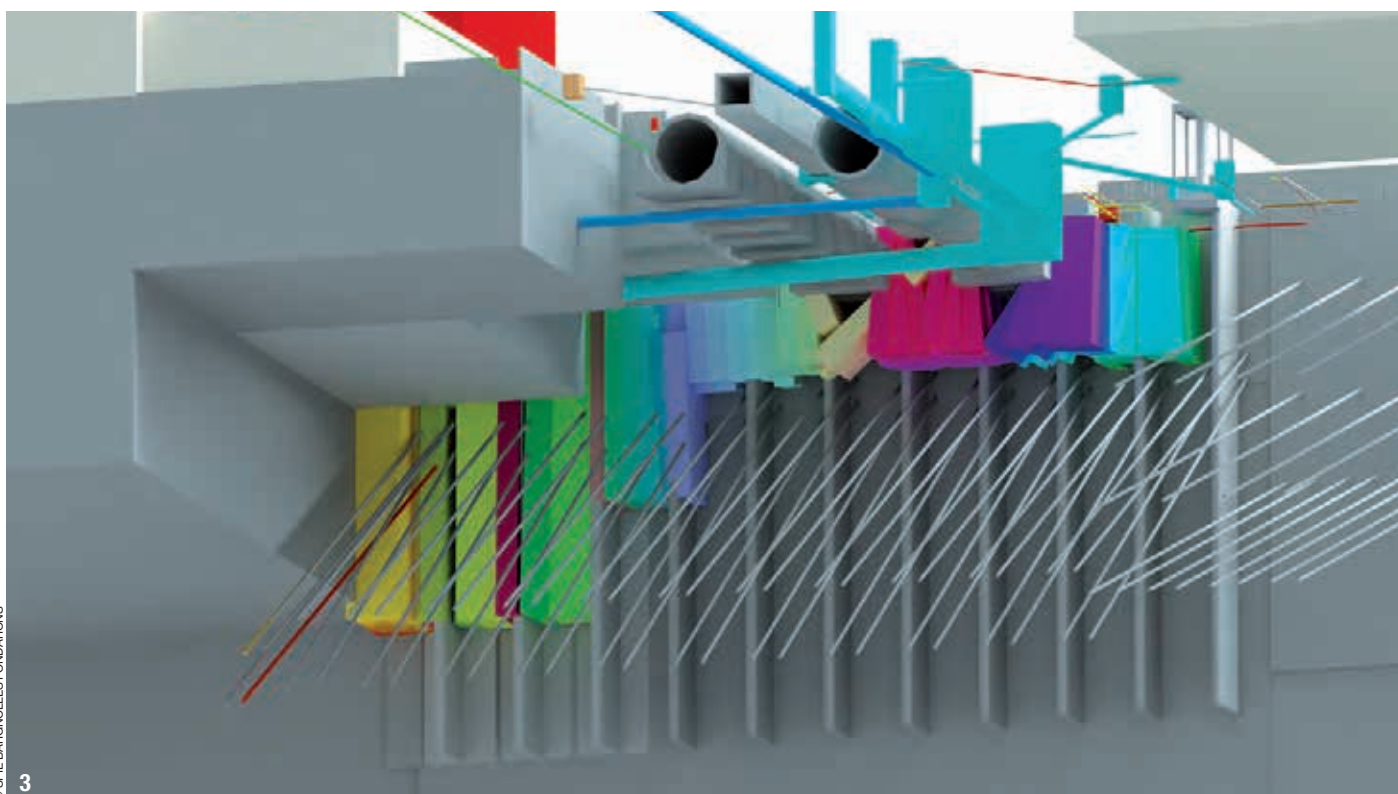
2- Drilling in small spaces.
3- 3D model of existing structures and treatment drill holes.

rière de la paroi moulée au droit des tranches 1 et 3, ils sont localisés au voisinage de la zone de raccordement des tuyauteries d'eau de réfrigération avec la paroi moulée (figure 1). Non préjudiciables pour la paroi moulée, ils peuvent néanmoins mener à moyen terme à des dégradations des ouvrages superficiels et faiblement enterrés à proximité de la paroi. Deux actions correctives sont nécessaires pour mettre un terme à cette cinétique de dégradation des

sols : rétablir l'étanchéité au droit de la paroi et combler les vides dans le sol. 4 années après les précédents travaux d'injection sous les déversoirs de rejet du CNPE de Gravelines durant les arrêts de tranche 2 (2015) et 3 (2016), la centrale de fabrication et d'injection de Spie Batignolles Fondations a retrouvé sa place le long de la station de pompage de la tranche 2 à mi-distance des 2 zones d'intervention.

Les travaux sont rendus très complexes du fait de l'exiguïté de la zone, de l'inaccessibilité à des engins traditionnels, de la grosse quantité de réseaux, des tirants d'ancrage de la paroi et nombre d'ouvrages imposants non déviables qui ne permettent pas d'accès direct au sous-sol. En outre, des problèmes de compacité de sol sont suspectés parfois jusqu'à 17 m de profondeur. La solution de traitement par injection de coulis s'est avérée être la seule permettant de résoudre les problèmes d'étanchéité et de compacité compte tenu des contraintes (figure 2).

En préalable à la foration, une phase de travaux préparatoires de reconnaissances exhaustives des existants et de leurs découvertes (ouvrages enterrés, tirants précontraints, contreforts de la paroi moulée, ...) s'est déroulée pendant les études afin de sécuriser l'implantation des forages et d'établir des plans de tirs fiables intégrant ces obstacles. ▷



3 © SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Du fait de l'étroitesse des emprises, il a été décidé d'intégrer le plot d'essai dans la première zone de traitement de la tranche 1, d'une profondeur de 17 m, afin de valider le maillage de forage (1 m x 1 m), le phasage et les coulis à mettre en œuvre.

La réalisation du plot d'essai en condition réelle a été déterminante pour la suite des travaux. En effet, il a permis de constater que le sol était hétérogène, présentait plus de fontis souterrains que prévu et était peu perméable au coulis de serrage initialement prévu. Ceci a conduit à l'ajustement des formulations de coulis et des séquences d'injection ; la validation de ces nouveaux paramètres sur un second plot d'essai a ainsi pu sécuriser la suite des travaux d'injection.

L'injection d'imprégnation a été précédée par le comblement et la stabilisation de 3 zones d'affaissement identifiées lors des reconnaissances géotechniques et de zones de décompressions découvertes à différentes profondeurs lors de la phase de foration (notamment une impactant le plot d'essai). Ce comblement a été réalisé avec un coulis de C/E = 1 avec une charge en filler calcaire pour limiter les déperditions du côté du canal d'amenée.

Les horizons sableux ont été traités de 1,50 m sous plateforme à une profondeur variant de 7 à 17 m selon les terrassements réalisés lors de la construction des tranches. Ce traitement du fait de la présence d'horizons très décomprimés et de sables fins est



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

compliqué à piloter ; il a été réalisé par l'intermédiaire de tubes à manchettes PVC de diamètre 40/48 mm selon le phasage suivant :

→ Une phase de serrage au coulis bentonite-ciment de C/E = 0,4 par passes ascendantes à l'obturateur

double de 1 m uniquement pour 1 forage sur 2 en quinconce d'une ligne à l'autre ;

→ Une phase de reprise au coulis fortement dosé C/E = 0,8 en cas de pression moyenne finale faible à l'issue de la phase précédente ;

4- Travaux de substitution de sol au droit des traversants.

5- Portiques de manutention en cours de montage sur la centrale de Paluel (Tranche 2).

6- Micropieu d'essai à la rupture foré dans la cour BK.

4- Soil substitution work at the level of the cross-members.

5- Handling portal frames undergoing assembly at the Paluel power plant (Unit 2).

6- Breaking-test micropile bored in the BK yard.

→ Une phase d'injection d'imprégnation au coulis de ciment surmoulu par passes ascendantes à l'obturateur double de 0,33 m pour tous les forages en respectant le principe primaire/secondaire ;

→ Selon nécessité et en accord avec EDF, une phase de reprise au coulis de ciment surmoulu pour certaines manchettes.

Toutes ces contraintes ont également nécessité un phasage particulier consistant à finaliser l'injection de



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

forages subverticaux, en accord avec EDF CNEPE et les ingénieurs géotechniciens d'EDF TEGG sur l'exhaustivité des reprises de traitement, puis à exécuter une nouvelle phase de foration de tirs subhorizontaux venant recouper les premiers pour traiter les zones d'"ombre" sous les ouvrages enterrés (figure 3). Pendant toute la durée des travaux, un contrôle du mouvement des ouvrages avoisinants jugés sensibles ou classés

7- Équipement de l'armature de micropieux dans un forage.

8- Vue de l'ensemble des massifs de fondations avec tiges d'ancrage de liaison aux portiques.

7- Micropile reinforcement equipment in a drill hole.

8- View of all the foundation blocks with anchor rods joining them to the portal frames.



© SPIE BATIONOLLES FONDATIONS

"de sûreté" a été mis en œuvre par l'intermédiaire d'un dispositif d'auscultation topographique automatique afin de détecter en temps réel les déplacements des ouvrages. Le suivi du comportement de ceux-ci a permis d'assurer le pilotage des travaux d'injection et l'adaptation des opérations de traitement. Un géomètre-expert est régulièrement intervenu pour confirmer le suivi automatique.

Les sondages pressiométriques de contrôle (environ 10 sondages par tranche) ainsi que le suivi de piézomètres situés derrière la paroi moulée sur une semaine présentant au moins 2 cycles de marées de coefficient supérieur à 80 ont permis de conclure que le traitement de sol avait tenu les objectifs :

- Réduire la perméabilité des terrains et prévenir ainsi les détériorations de la plateforme par érosion interne ;
- Renforcer la plateforme dégradée au droit des ouvrages traversants (ouvrages permettant aux tuyauteries et caniveaux de rejet des eaux de réfrigération d'enjamber le canal d'amenée pour rejoindre le canal de rejet qui lui est parallèle) et rendre ces derniers insensibles aux phénomènes de liquéfaction sous séisme et de tassements sismo-induits. ▷



© SPIE BATIONOLLES FONDATIONS

9- Modélisation 3D des injections d'imprégnation sous les existants et du puits de travail.

10- Forage du plot d'essais au pied du bâtiment ASG.

9- 3D model of permeation grouting under the existing structures and the work shaft.

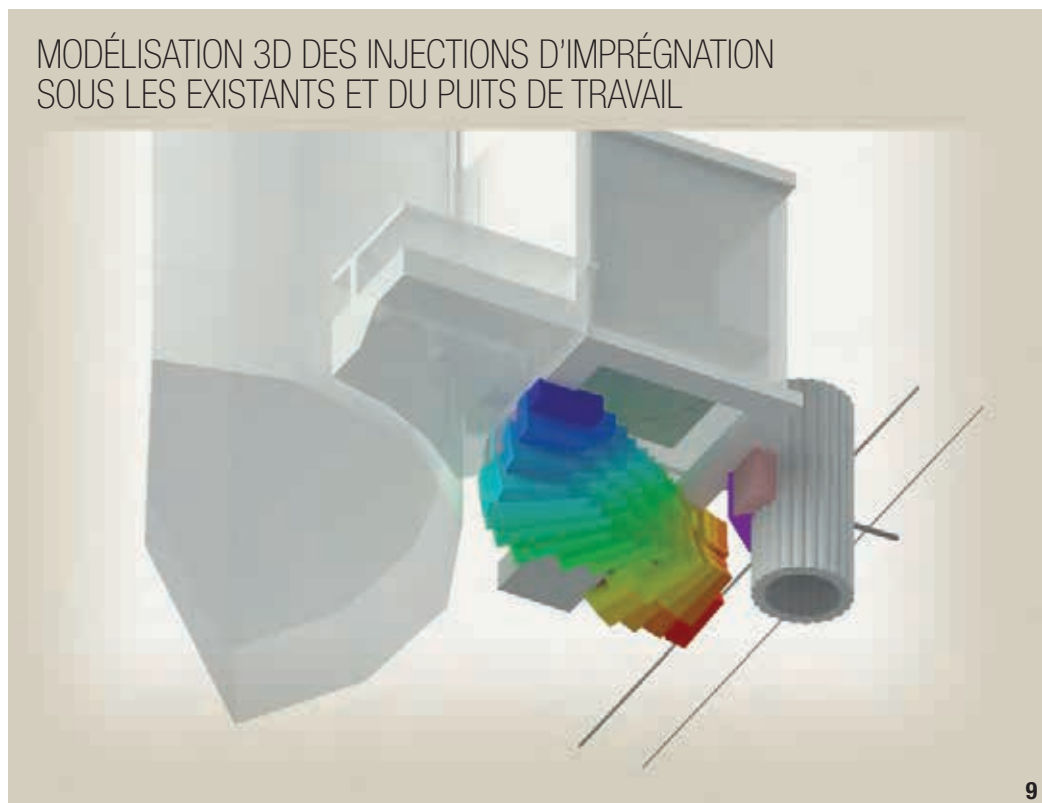
10- Drilling the test section at the base of the generator standby power supply building.

En phase finale d'intervention, des travaux de substitution du sol par une grave-ciment (figure 4) ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 1,50 m sur une bande de 6 m par 16 m au droit des traversants car cette frange de terrain trop proche de la surface ne pouvait pas être injectée de manière satisfaisante (résurgences de coulis).

CNPE DE FLAMANVILLE

Après une première intervention en 2014 sur le CNPE de Paluel, Spie Batignolles Fondations est intervenue durant l'été 2021 pour la réalisation des fondations des portiques sur la tranche 1 du CNPE de Flamanville dans le cadre des opérations de Remplacement de Générateurs de Vapeur (RGV). Le RGV est l'une des opérations emblématiques du programme Grand Carénage, qui permet de poursuivre l'exploitation après 40 ans des centrales nucléaires. Pour le palier 1 300 MW, il y a 4 générateurs dans chaque tranche, ils sont soumis à de fortes contraintes thermiques et mécaniques. Sur le parc nucléaire, 30 Générateurs de Vapeur ont déjà été changés.

Un Générateur de Vapeur neuf (23 m de haut pour 4 m de diamètre) pèse 520 t. Sur le palier 1 300 MW, le portique existant a été partiellement démonté à la fin des travaux de construction de la tranche. Ce portique doit être renforcé par une structure reposant sur 4 appuis. Un Portique Extérieur (PEX) supplémentaire (figure 5) doit être mis en place pour lever le générateur et pour assurer la continuité du système de ripage voie lourde du Bâtiment Réacteur. Le PEX, d'une trentaine de mètres de hauteur, repose sur 9 appuis distribués de part et d'autre d'un axe principal.



9

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

La géologie de la tranche 1 du site de Flamanville est la suivante :

→ Remblais de tout venant hétérogène constitué d'une matrice sablo-silteuse et de blocs granitiques de taille métrique provenant du minage de la falaise ;

→ Granite fracturé ;

→ Granite sain.

L'interface remblais-granite est située à une profondeur variable au droit des différents massifs.

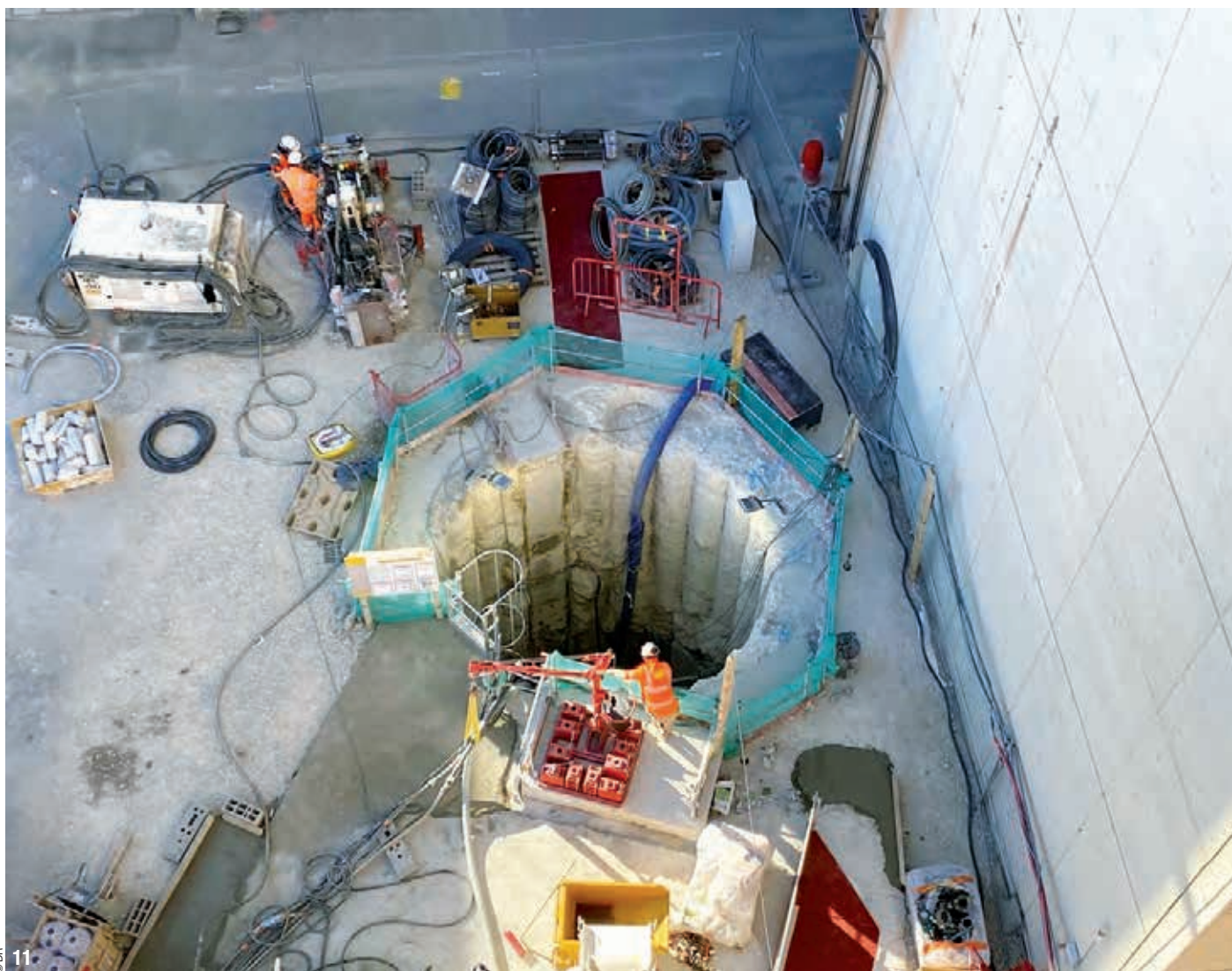
Ces variations proviennent en partie de la proximité ou non des fondations des bâtiments avoisinants ayant nécessité de réaliser d'importantes fouilles

et donc de purger le granite présent. La solution retenue est la réalisation de massifs en béton armé fondés sur micropieux. Elle permet de pallier la variation du toit granitique et en même temps de satisfaire les fortes exigences sur les tassements différentiels admissibles entre appuis des



10

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS



© DR 11

portiques. Ces massifs doivent pouvoir reprendre les efforts non seulement lors des différentes phases de manutention des générateurs (la sortie des usagés et l'installation des nouveaux) mais aussi dans les situations accidentelles (séisme et vent). S'agissant de travaux préparatoires à l'Arrêt de Tranche 1, les études et l'établissement du Dossier de Réalisation des Travaux ont débuté dès 2019 afin que tout soit bon pour exécution 6 mois avant la date prévisionnelle d'intervention. L'ingénierie d'EDF DIPDE a assuré la coordination avec le groupement en charge du montage de portiques et des opérations du RGV. En amont des travaux, une phase de dévoiement de réseaux divers et des essais d'arrachement à la rupture sur 2 micropieux ont également été réalisés (figure 6).

Les micropieux, de 12 m en moyenne, étaient de type III forés en diamètre 300 mm à l'aide d'un marteau fond de trou et d'un système de tubage à l'avancement. L'injection était de type

11- Vue de l'emprise des travaux et du puits de travail.

11- View of the area occupied by the works and the work shaft.

IGU avec un coulis de ciment dosé à 1 200 kg/m³ via un tube à manchettes 27/34 : elle a permis de contrôler la qualité de scellement et de vérifier le non délavement potentiel de celui-ci lors des marées. L'armature des micropieux était constituée de tubes métalliques de diamètre 178 mm et d'épaisseur 14,2 mm. Pour faciliter les phases d'équipement (figure 7) et éviter les multiplications de manutentions, les armatures étaient en 1 ou 2 éléments par micropieux quitte à avoir des éléments plus longs.

54 micropieux étaient répartis sous les 13 massifs fortement ferrillés afin

de reprendre les efforts horizontaux et les moments appliqués par les pieds de portique. Chaque massif disposait d'une plaque métallique de répartition de 1,65x1,65 m et de 8 tiges d'ancrages, GEWI 32 ou GEWI 50 (figure 8), permettant de le liasonner au pied de poteau ; l'encastrement était assuré par une mise en précontrainte des tiges d'ancrage après assemblage des portiques.

Pour respecter les contraintes de positionnement de la plaque et des tiges d'ancrage dans les 3 directions (tolérance de +/- 10 mm imposée par le montage de la charpente métallique préfabriquée), un gabarit en bois a été installé pour chaque massif et réglé par un géomètre avant bétonnage. En fin de travaux, un récolement topographique contradictoire a été fait.

Les équipes de Spie Batignolles Fondations seront de nouveau mobilisées en 2023 pour la réalisation des fondations des portiques de la tranche 2 de Flamanville.

CNPE DE TRICASTIN

Une dizaine d'années après des travaux de maintenance sous les bâches ASG des tranches 2 à 5 du CNPE de Bugey, Spie Batignolles Fondations intervient de façon similaire sur les tranches 1 et 2 du CNPE de Tricastin pour assurer le renforcement des sols sous les bâtiments ASG, ouvrages classés "de sureté".

Les travaux consistent en l'injection par imprégnation des remblais de seconde phase sous l'ensemble bâche - casemate et conduites associées afin d'éviter la liquéfaction des sols sous Séisme Noyau Dur (SND) et d'assurer la portance dynamique à l'ELU. Les remblais sont constitués d'alluvions sablo-graveleuses du Rhône, présentant des passées sableuses fines, surmontant les marnes dont le toit varie de 13 à 15 m de profondeur.

Le volume de terrain concerné par le renforcement (figure 9) est délimité par la cote d'assise des semelles de la casemate ASG en partie haute, ▷

par la base des remblais en partie basse et latéralement par le talus des fouilles des bâtiments réacteur et combustible. La nappe à l'intérieur de l'enceinte géotechnique étanche est maintenue à environ -5,50 m de profondeur. Au printemps 2021, un plot d'essais d'injection (figure 10) a été effectué avec 12 forages répartis en 2 demi-plots de maillage 1,20 m et 1,50 m. Les forages, exécutés en rotoperçusion sous tubage et outil perdu, ont été équipés de tubes à manchettes scellés dans le terrain au moyen d'un coulis de gaine ; le traitement des alluvions a été effectué par passes remontantes à l'obturateur double de 0,33 m par injection d'un coulis bentonite-ciment puis d'un coulis d'imprégnation à base de ciment surmoulé adapté aux passes sableuses fines. Des sondages SPT et pressiométriques de contrôle ont été réalisés au centre de chaque maille. Ils ont permis de retenir le maillage de forages de 1,50 m avec un taux de traitement d'environ 30% pour consolider les sols sous les bâtiments ASG.

Un puits de travail est nécessaire pour réaliser les forages subhorizontaux sous l'assise de fondations des existants à 5,40 m de profondeur. L'encombrement des emprises de travaux, l'exiguïté de la zone proche de la bâche (figure 11) et la présence de la nappe au même niveau que les fondations compliquent les travaux : la dimension du puits est limitée, son fond de fouille est 2,50 m sous le niveau de la nappe. Le rabattement extérieur n'est pas possible et les forages doivent être exécutés sous sas. Afin de limiter les débits de pompage durant les travaux, le puits a été réalisé en pieux sécants de diamètre 880 mm, ancrés d'un mètre dans les marnes à 14 m de profondeur (figure 12). Avant le terrassement du puits, un essai de pompage a confirmé la faiblesse du débit d'exhaure. Le puits est de forme elliptique avec un grand axe de 4,60 m intérieur orienté selon le plan de tirs pour faciliter le positionnement de la foreuse (figure 13). Son dimensionnement assure la reprise des contraintes apportées par les ouvrages avoisinants

classés "de sûreté" et la résistance au séisme. Pour la pose des sas, un mur masque de 2 m de haut et d'épaisseur 0,10 m a été coulé entre 6 et 8 m de profondeur.

12- Réalisation des pieux tubés devant le bâtiment existant.

13- Vue du fond du puits avec le carottage du mur selon l'implantation auréolaire des forages.

12- Execution of cased piles in front of the existing building.

13- View of the bottom of the shaft with core sampling of the shield wall according to the fan arrangement of the drill holes.

Les travaux étant réalisés "Tranche en Marche", l'auscultation des ouvrages et matériels classés, dans le rayon d'influence des traitements, est requise. Elle comprend le suivi, l'alerte automatique de dépassement de seuils et une analyse en permanence des déplacements et des vibrations pouvant impacter les avoisinants. L'instrumentation est constituée :

- D'un théodolite motorisé contrôlant les déplacements de la casemate ASG, du bâtiment diesel et du portique de manutention ;
- D'une série de capteurs à niveaux liquides répartis autour de la bâche intérieure contrôlant son basculement potentiel ;
- D'un nouveau type de capteurs de vibrations permettant une alerte de dépassement de seuils d'accélération des ondes.

L'instrumentation automatique est doublée de relevés topographiques réguliers sur une base de référence.

Le phasage des travaux est contraint à la fois par des délais d'intervention



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS



© DR 14

limités et par des dates prévisionnelles d'Arrêts de Tranches (AT) pouvant évoluer tout au long du marché jusqu'à la dernière minute : sur la tranche 1, la phase 1 a permis de réaliser le plot d'essais, le puits de travail y compris son terrassement puis son obturation

provisoire et le repli des installations pour l'AT de l'automne 2021. En ce début d'année, les équipes travaux ont été remobilisées pour la phase 2. Les travaux de traitement par injection sous la bâche de la Tranche 1 débu-

14- Vue des installations de chantier distantes de l'emprise travaux à Tricastin.

14- View of the site facilities remote from the work area at Tricastin.

tent par l'installation de la centrale (figure 14), l'amenée et la mise en place de l'atelier de forage en fond de puits ; ils s'étendront durant le premier semestre 2022.

D'autre part sur les tranches 2, 3 et 4 afin de préciser les caractéristiques des sols situés immédiatement sous chaque bâtiment ASG et les besoins de renforcement éventuels, une campagne de sondages complémentaires a été réalisée par Spie Batignolles Fondations en collaboration avec Geotec depuis l'intérieur même des ouvrages. Pour traverser le radier périphérique, des carottages sont nécessaires ; les emplacements possibles ont été justifiés par EDF DIPDE en analysant les facteurs de marge sismique.

Une reconnaissance géoradar du ferrailage a ensuite permis d'implanter précisément les carottages. Des sondages au pénétromètre de type Panda ont été réalisés jusqu'au refus vers 5,50 m.

Pour les sondages pressiométriques descendus de 3 m dans les marnes, la foration s'est faite, en raison des difficultés d'accès et de l'encombrement du bâtiment, à l'aide d'un mât de forage spécifiquement développé par le dépôt matériel pour perforer une quinzaine de mètres de sables et graves du Rhône. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

TRAITEMENT DE SOL PAR INJECTIONS DES TRANCHES 1 ET 3 DU CNPE DE GRAVELINES

FORAGES : 497 unités – 4270 m

INJECTION DE SERRAGE : 250 m³

INJECTION D'IMPRÉGNATION : 820 m³

AUSCULTATIONS DES OUVRAGES :

2 théodolites motorisés et 55 cibles suivies en permanence

VOLUME DE SUBSTITUTION DE SOL : 130 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE : EDF

ÉTUDES ET PROJET : EDF-DIPDE Marseille - EDF-CNEPE Tours

APPUI GÉOTECHNIQUE/GÉOLOGIQUE : EDF-CEIDRE- TEGG Aix en Provence

SURVEILLANCE DES TRAVAUX :

Scom Gravelines, Équipes Communes de Flamanville et Tricastin

ENTREPRISE : Spie Batignolles Fondations

ABSTRACT

SOIL TREATMENT POST-FUKUSHIMA AND EDF "GRAND CARÉNAGE" REFURBISHMENT PROJECT: KEY MAINTENANCE ACTIVITIES

PHILIPPE MERCIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GUILLAUME RATHIEUVILLE, EDF CNEPE - NICOLAS ROMANOWSKI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Spie Batignolles Fondations is involved in maintenance of three nuclear power plants. In the Gravelines power plant, this is work of filler grouting and impregnation of the decompressed and heterogeneous sands located behind the diaphragm wall running along the entrance channel. At Flamanville, work is performed on the micropiles and foundation blocks of the portal frames intended for the delicate work of replacement of the steam generators. In the Tricastin plant, the work involves consolidating the land under the buildings for the generators' standby power supply. The site constraints make it necessary to perform work from inside a small work shaft to be able to drill and perform grouting under the existing foundations. □

TRATAMIENTO DE SUELOS POST-FUKUSHIMA Y GRAN CARENADO DE EDF EN EL CENTRO DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

PHILIPPE MERCIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GUILLAUME RATHIEUVILLE, EDF CNEPE - NICOLAS ROMANOWSKI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Spie Batignolles Fondations intervient en el marco del mantenimiento de 3 centrales nucleares de producción de electricidad. En la central de Gravelines, lleva a cabo las obras de inyección de relleno e impregnación de las arenas descomprimidas y heterogéneas situadas tras la pantalla de hormigón, a lo largo del canal de alimentación. En Flamanville, realiza micropilotes y los bloques de cimentación de los pórticos para la delicada sustitución de generadores de vapor. En la central de Tricastin, se encarga del refuerzo de los terrenos bajo los edificios que albergan la alimentación de emergencia de los generadores. Las restricciones del emplazamiento obligan a intervenir desde el interior de un pozo de trabajo de reducidas dimensiones para poder perforar e inyectar por debajo de los cimientos existentes. □



1
© BAUDIN-CHATEAUNEUF

RÉHABILITATION DU PONT SUSPENDU DE CHÂTILLON-SUR-LOIRE (45)

AUTEURS : LAURENT GIQUEL, RESPONSABLE UNITÉ ETUDES ET TRAVAUX, DIRECTION DES INFRASTRUCTURES, DÉPARTEMENT DU LOIRET - STÉPHANE LÉGER, CHEF DE PROJET, ARCADIS - CHRISTOPHE ACCART, MAÎTRE D'ŒUVRE, ARTCAD - ANTHONY MARAIS, DIRECTEUR TRAVAUX, BAUDIN-CHÂTEAUNEUF - ALAIN SPIELMANN, ARCHITECTE

L'OBsolescence du système de suspension du pont de Châtillon-sur-Loire a conduit le département du Loiret à mettre en place des mesures d'exploitation très contraignantes pour le trafic local. Dans ce contexte, la collectivité a lancé un marché de conception réalisation afin de remplacer la totalité de la suspension ainsi que renforcer la charpente métallique et les appuis du pont. La sécurisation des circulations de piétons et cycles est assurée par la création d'une passerelle latérale réservée aux modes doux.

CONTEXTE

L'ouvrage permettant le franchissement du lit mineur de la Loire à Châtillon-sur-Loire est un pont à câbles de type suspendu dont la longueur est égale à 354 m. Le pont, dont la construction date de 1841, a été plusieurs fois détruit et reconstruit.

Les investigations, études et campagnes de caractérisation des aciers ont conclu à l'obsolescence du pont (risque d'effondrement maximal par temps froid) en l'absence de travaux de très grande importance. Des mesures d'exploitation, fonction des températures, ont été mises en place par le

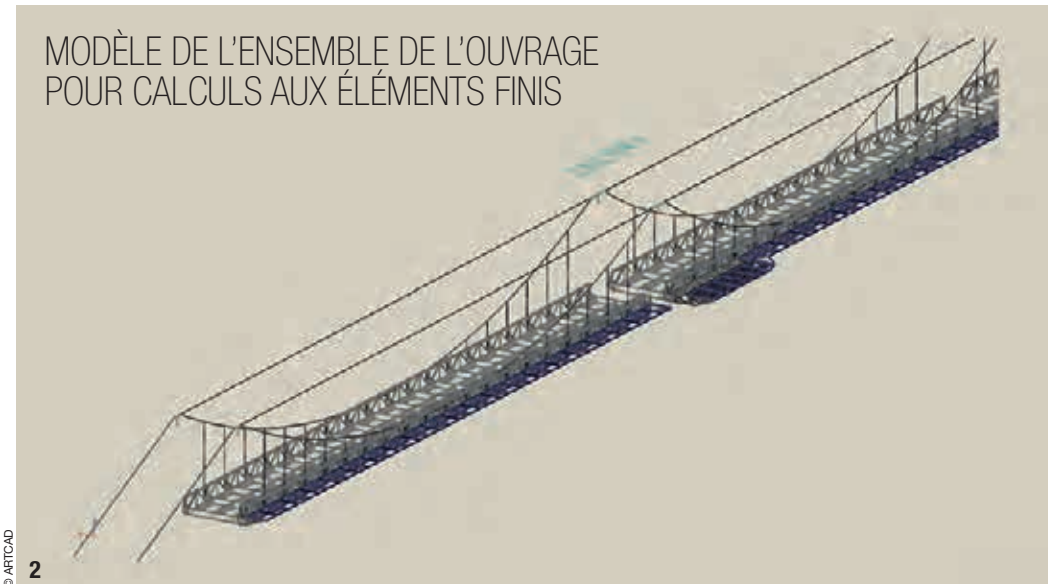
1- Vue aérienne de l'ouvrage en phase travaux.

1- Aerial view of the structure in the works phase.

département du Loiret : fermeture aux poids lourds de plus de 3,5 t, et fermeture aux véhicules légers en cas de températures négatives.

En outre, la faible largeur des trottoirs et leur interruption au droit de chaque pile rendent l'ouvrage non conforme à la circulation des piétons.

MODÈLE DE L'ENSEMBLE DE L'OUVRAGE POUR CALCULS AUX ÉLÉMENTS FINIS



© ARTCAD
2

L'ouvrage permet par ailleurs de relier deux variantes de l'itinéraire "Loire à vélo". Les circulations touristiques, à pied ou à vélo, sont donc très présentes sur le pont.

Enfin, l'ouvrage se situe en site classé et comprend un élément patrimonial remarquable par la présence d'un appui hélicoïdal ("Pile escargot"), qui faisait partie intégrante du système éclusier de franchissement de la Loire. Dans ce contexte, compte tenu de la complexité des travaux à réaliser, le Département du Loiret a retenu une procédure de conception-réalisation pour la réparation lourde du pont afin de rétablir la circulation des véhicules légers et lourds ainsi que la création d'une passerelle "modes doux" accessible aux PMR.

2- Modèle de l'ensemble de l'ouvrage pour calculs aux éléments finis.

3- Poutre de passerelle et ses consoles.

4- Zone d'attache de la passerelle et de la suspension (sans la passerelle).

2- Model of the whole structure for finite-element calculations.

3- Foot bridge girder and its cantilevered beams.

4- Attachment area of the foot bridge and the suspension system (without the foot bridge).

CONTRAINTES ET OBJECTIFS

L'environnement et l'histoire de l'ouvrage imposent de nombreuses contraintes pour la conception et la réalisation des travaux de réparation et d'élargissement du pont.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Les travaux de l'ouvrage se font sous circulation routière des véhicules légers avec possibilité de mise en place d'alternat. Les périodes de fermeture complète à la circulation doivent être restreintes au minimum.

CONTRAINTES TECHNIQUES

Les études menées en amont du marché de conception-réalisation ont permis d'identifier diverses pathologies

touchant à la charpente métallique et à la câblerie de l'ouvrage : aciers fragiles, chariots d'appuis bloqués, fonctionnement anormal de la câblerie de tête, usure interne des câbles, complexe anti-corrosion en fin de vie, défaut d'alignement sur un câble de tête...

Les travaux de réparation concernent :

- Le remplacement total de la suspension (câbles + étriers + suspentes) ;
- L'adaptation des massifs d'ancrage et des tirants d'ancrage ;
- Le renforcement des pylônes de rive ;
- Le renforcement éventuel de la charpente du tablier ;
- La remise en peinture de l'ensemble des parties métalliques du tablier.

Ces travaux lourds sont complétés par des travaux de voirie et réseaux divers, la suppression des nacelles de visite, la régénération des maçonneries et la réhabilitation de l'éclairage existant.

AMIANTE

La présence d'amiante dans la suspension engendre des contraintes environnementales et de réalisation (mode opératoire, augmentation des délais...).

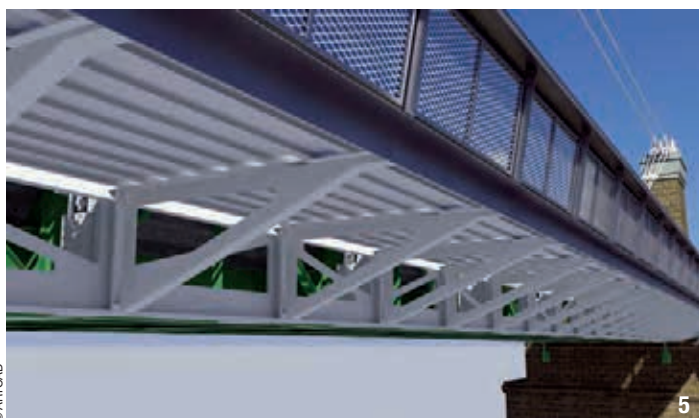
PASSERELLE

La passerelle, accessible aux personnes à mobilité réduite et aux cycles, doit être parallèle à l'ouvrage existant et positionnée au plus près de ce dernier, côté aval uniquement. L'intrados du tablier de la passerelle ne doit pas être plus bas que celui du pont. La travure de la passerelle doit être justifiée par une étude hydraulique montrant que la solution proposée n'entraîne pas d'exhaussement des eaux (tolérance : 1 cm). ▷



3
© ARTCAD

4
© ARTCAD



© ARTCAD

5

6

© ARTCAD

© ARTCAD

7

La fonctionnalité de la pile escargot pour descendre depuis l'ouvrage jusqu'à l'écluse doit être conservée. La pile escargot est par ailleurs réhabilitée pour sécuriser les circulations douces.

ASPECT ARCHITECTURAL

L'ouvrage est remarquable par sa brèche de près de 355 m et par sa silhouette qui marque fortement le paysage. Les dispositions proposées ne doivent pas remettre en cause l'esthétique ni la valeur patrimoniale de cet ouvrage ni conduire à les dénaturer. Le tablier, les piles et les portiques du pont dessinent un élément qui est devenu significatif dans l'accès à Châtillon-sur-Loire et donne un rythme à la lecture du paysage. La passerelle à construire doit être conçue sur ce même rythme.

ASPECT ENVIRONNEMENTAL

L'intégration des enjeux environnementaux dans l'élaboration du projet doit

être prise en compte dès le démarrage de la conception. Les enjeux environnementaux concernent principalement :

- La prise en compte du risque inondation, y compris pendant les travaux ;
- L'absence d'incidence sur le site classé, de la "digue de l'escargot" et des aménagements utilisés avant la construction du pont-canal de Briare pour faire traverser la Loire aux bateaux du canal latéral et présentant de ce fait un intérêt patrimonial ;
- L'enjeu patrimonial du pont, dans ses dimensions culturelles et paysagères, touristiques et de loisir ;
- Les milieux naturels et les espèces protégées de la vallée de la Loire ;
- La préservation de l'environnement lors de la conception de l'itinéraire de déviation qui sera mis en place pendant la fermeture du pont existant.

5- Caissons et console de la passerelle.

6- Structure de belvédère de la pile escargot depuis la partie supérieure.

7- Structure de belvédère de la pile escargot, vue du dessous avec emplacement de l'escalier amovible.

5- Caissons and cantilevered beam of the foot bridge.

6- Scenic lookout structure of pier from the upper section.

7- Scenic lookout structure of pier, bottom view with location of the removable stairway.

DÉLAI DES PROCÉDURES ADMINISTRATIVES

Les procédures administratives telles que l'étude d'impact, le dossier loi sur l'eau, le dossier Natura 2000, le dossier CNPN et le dossier de commission des sites ainsi que leurs délais d'instruction sont à prendre en compte dans les études de conception.

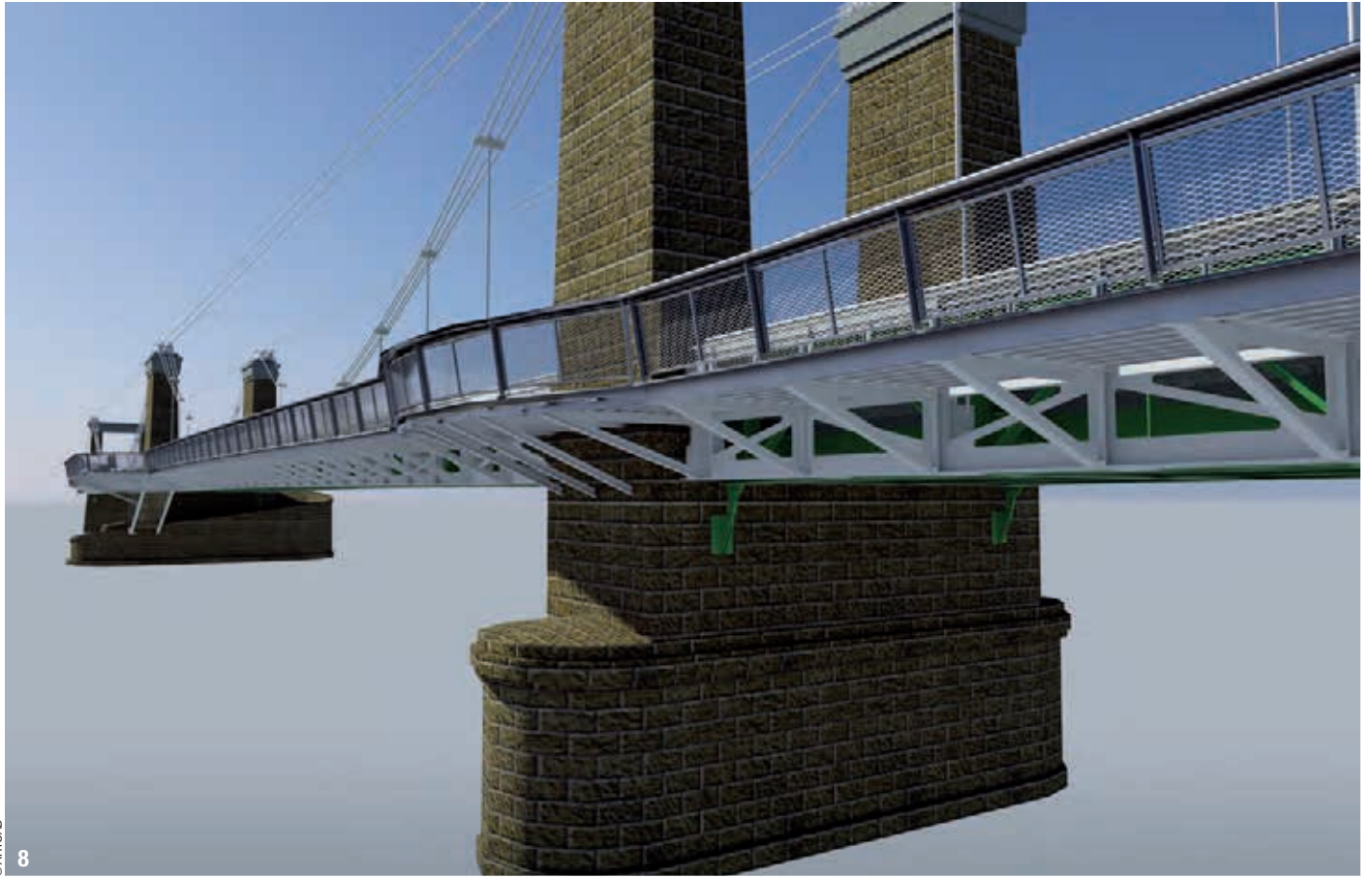
INTÉGRATION ARCHITECTURALE

LE PROJET ET SON INSERTION

Les cinq ensembles de piles maçonnées de ce pont suspendu rythment l'espace avec ses câbles. Cet ouvrage d'art imposant frappe le spectateur par la grande simplicité de ses lignes et par les proportions de ses travées, de ses pylônes.

Le concepteur s'est efforcé de proposer un projet à la fois respectueux de l'histoire et du lieu.

Le projet, très discret, affirme la volonté de s'insérer absolument dans son site,



© ARTCAD
8

8- Structure de contournement de pile courante accrochée sur cette dernière.

9- Suspension aval recevant la passerelle (nombre de câbles différent de la suspension amont, moins chargée).

8- Structure bypassing a standard pier, fastened to the latter.

9- Downstream suspension system receiving the foot bridge (different number of cables from the upstream suspension system, less heavily loaded).



© ARTCAD
9

sans heurts, sans effets particuliers, et vient se lover dans l'ouvrage existant tout en finesse.

L'idée centrale est de respecter le pont existant, de maintenir son image, son aspect, ses formes. Pour ce faire, le concepteur a proposé de le réparer, de le renforcer sans changer sa géométrie.

LE PARTI ARCHITECTURAL DE LA PASSERELLE

La nouvelle passerelle, qui est au niveau du pont routier, vient se "fondre" dans la hauteur de la poutre de rigidité du pont existant.

Il faut créer un "contournement" devant P1 et P2 et un belvédère devant P3 (pile escarlot). Le belvédère

permet une liaison directe et aisée avec le chemin de halage menant vers Mantelot et permet, depuis la passerelle, l'observation du magnifique site environnant.

Le revêtement des belvédères devant les piles P1, P2, P3 sont en bois dur type IPE et les espaces devant les culées C0 et C4 sont en pavés.

La discrétion et la distinction de cette solution sont les marques de son élégance.

L'éclairage fonctionnel de la passerelle est intégré dans la main courante extérieure. L'éclairage, ainsi que des projecteurs disposés sur les suspentes les plus hautes, participent à la mise en valeur de l'ouvrage. ▷

Cette mise en valeur est complétée par une mise en lumière contrôlée de la pile escargot. La conception de l'éclairage est telle qu'elle ne gêne pas la faune nocturne.

CONCEPTION

RÈGLEMENTS DE CALCULS

- Lors de la conception, les parties suivantes sont justifiées avec les charges Eurocodes (EC) :
 - Suspension,
 - Fondations, appuis, massifs d'ancrage,
 - Passerelle ;
- Le tablier est justifié avec les charges du règlement français (RF). L'application des charges EC conduit à des dépassements de capacité des poutres de rigidité et des pièces de pont ;
- Les justifications de tous les éléments de l'ouvrage sont menées selon les EC, conformément au Guide du Cerema "Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art" ;
- Le cas d'une passerelle piétonne accrochée à un ouvrage routier

avec un trottoir n'est pas explicitement prévu dans les textes réglementaires. L'étude des incidences des coefficients d'accompagnement a conduit le concepteur à faire des propositions pour être enveloppe des EC et du RF ;

- Le cas de rupture d'une suspente a aussi été envisagé pour écarter le risque de rupture en chaîne.

MODÈLES DE CALCULS - PHASE CONCEPTION

- Des modélisations aux éléments finis ont été réalisées, intégrant l'ensemble de l'ouvrage (figure 2). Lors de la phase conception, le concepteur a réalisé différents modèles :
 - Avant travaux : deux modèles (charges RF ou EC),
 - Après travaux,
 - Configurations provisoires,
 - Des modèles spécifiques pour zones particulières ;
- Les modélisations prennent en compte la non-linéarité géométrique des matériaux, les effets du second ordre, les instabilités et imperfections géométriques ;
- Justification du critère de confort ;

10- Renfort de la poutre de rigidité amont.

11- Chapeau de renfort en béton armé des massifs enrobant les mordaches de sécurité sur tirants anciens. Au 1^{er} plan les 2 tirants manchonnés sont additionnels et neufs pour la passerelle.

12- Confinement des poutres principales aval.

10- Strengthening the upstream stiffener beam.

11- Reinforced concrete top reinforcement of the foundation blocks embedding the safety clamping jaws on old tie anchors. In the foreground the 2 sleeved tie anchors are new add-ons for the foot bridge.

12- Confinement of the main downstream girders.

- Pour les modèles comportant l'ensemble de l'ouvrage, les calculs prennent plusieurs heures du fait du nombre de cas avec la non-linéarité.

PRINCIPE DE STRUCTURE PASSERELLE MODE DOUX

- Le groupement a choisi une solution qui évite tous travaux en rivière et préserve l'intégrité des appuis existants ;
- La solution choisie est une passerelle accrochée au tablier de l'ouvrage existant. Elle offre une largeur utile de 2,50 m et une hauteur de garde-corps de 1,20 m. Elle sera utilisable par les Personnes à Mobilité Réduite ;
- La structure porteuse de la passerelle est constituée d'une poutre longitudinale de grande inertie, accrochée via des consoles à la poutre aval du tablier (figure 3) ;
- La zone d'attache (figure 4) a fait l'objet d'une étude particulière et d'une prise en compte des interventions ultérieures sur l'ouvrage pour les remises en peinture notamment ;
- La structure du platelage est constituée de caissons métalliques appuyés sur des consoles transversales triangulaires. Celles-ci sont encastrées sur la poutre de passerelle (figure 5) ;
- Les contournements des piles courantes sont indépendants du tablier et le belvédère de la pile escargot est solidaire du tablier et de la pile (figures 6 et 7). Les éléments au droit des piles sont accrochés à ces dernières via des consoles métalliques (figure 8).

PRINCIPES DE TRAITEMENT DE L'OUVRAGE EXISTANT

- Afin de réduire l'impact visuel, les câbles de suspension et les suspentes en aval sont communs à la passerelle et à la poutre aval du tablier. Cette suspension aval



10



11



12

n'a donc pas le même nombre de câbles ni les mêmes diamètres de suspentes que la suspension amont (figure 9) ;

- Le recalcul complet de ces ouvrages anciens avec des règlements "modernes" sans parler des Eurocodes, n'est en pratique jamais réalisé lors des interventions antérieures. Ainsi les charges permanentes des notes d'origine se sont avérées très largement sous-estimées (+30%) ;
- Côté amont, où l'ajout de la passerelle en aval ne modifie pas les efforts, il a fallu renforcer les éléments suivants :
 - Les zones de pylône sous les selles (par précontrainte) et les parties hautes de certains pylônes,
 - La poutre de rigidité (figure 10) ;
- Côté aval, la poutre de rigidité du tablier n'a pas nécessité de renforts grâce à la poutre de passerelle ;
- Les massifs d'ancrage ont nécessité des renforts géotechniques. Ceux-ci ont été réalisés par des tirants actifs de grande longueur : 44 et 46 m en rive gauche et 46 m en rive droite ;
- Le renforcement des massifs d'ancrage est réalisé en deux phases : d'une part, un massif additionnel placé à l'avant de l'existant, ancré sur les tirants actifs et liaisonné au massif existant conforte la stabilité du massif afin de reprendre les



13
© ARTCAD

13- Pièce d'enroulement pour suspente amont.
14- Suspension existante en charge et câbles porteurs provisoires non chargés.

13- Winding part for upstream hanger.
14- Existing suspension system under load and temporary suspension cables not loaded.

- charges supplémentaires amenées par la future passerelle. D'autre part, les tirants fragiles sont remplacés par des tirants additionnels liés à des mordaches de sécurité, chapeautés par un massif béton lui-même ancré sur le massif existant et le massif additionnel (figure 11) ;
- La remise en peinture complète de la charpente est réalisée sous plusieurs phases de confinement (figure 12).

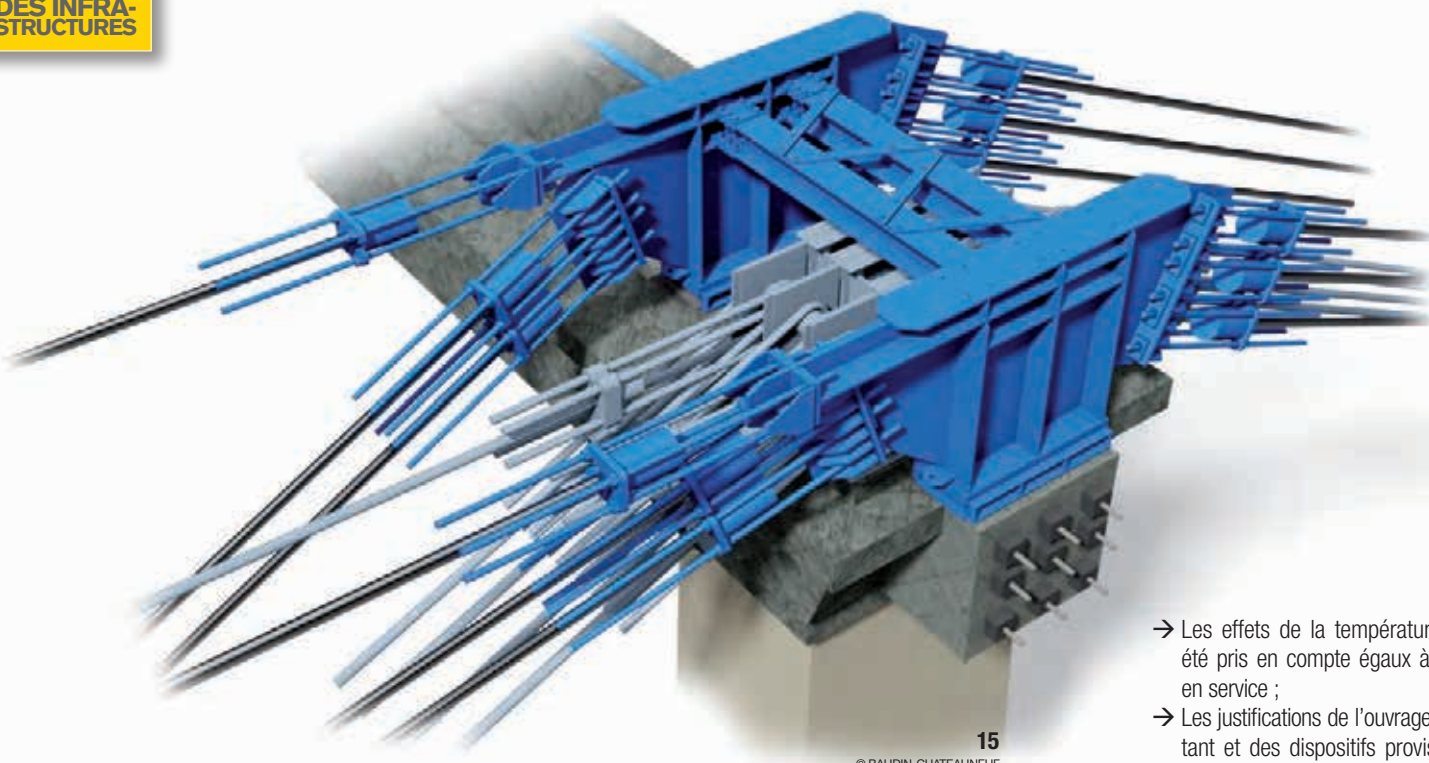
PRINCIPE DE PHASAGE ET SUSPENSION PROVISOIRE

- L'ouvrage en configuration projetée nécessitait au moins :

- La dépose des attaches des suspentes aval (côté passerelle) et amont. De ce côté il s'agit d'améliorer la liaison avec la poutre de rigidité : une pièce d'enroulement (figure 13) permettant la mise en œuvre d'un étrier est créée,
- Le remplacement des selles dont la mobilité n'était pas garantie,
- Le remplacement complet de la suspension ;
- Pour des raisons patrimoniales (ouvrage dans le périmètre de protection Monument Historiques des rives de l'Ancien Canal de Briare et de l'écluse de Mantelot), la suspension neuve ne pouvait pas être située au-dessus de la suspension existante ni de part et d'autre (dédoublage) ;
- Il était donc nécessaire de recourir à une suspension provisoire. Le concepteur n'a pas voulu mettre en place des palées provisoires en Loire. En effet les contraintes de planning liées aux procédures administratives et les risques encourus en cas de crue majeure de la Loire engendraient trop d'aléas. L'absence d'incidences sur l'environnement de la solution retenue, notamment dans le lit de la Loire, a restreint les autorisations administratives à une autorisation ministérielle de travaux en site classé : ▷



14
© ARTCAD



15
© BAUDIN-CHATEAUNEUF

- Pendant la phase conception, le maître d'œuvre a dimensionné une suspension provisoire avec les charges de chantier communiquées par l'entreprise. Il s'est aussi assuré que les flèches de pose des câbles à vide et sous charges permanentes ne gênè-

rent pas de conflits géométriques entre suspensions existante et neuve lors des transferts de charges (figure 14),

- La suspension provisoire n'est pas située dans le plan vertical de la suspension initiale ni de la suspension définitive ;

15- Selles provisoires (couleur bleue).

15- Temporary saddles (blue colour).

→ Les effets de la température ont été pris en compte égaux à ceux en service ;

→ Les justifications de l'ouvrage existant et des dispositifs provisoires ont considéré les charges RF (les Eurocodes n'ont pas de classes de limitation de charges). Les justifications sont menées aux EC.

Tous les travaux se sont déroulés sous circulation alternée. Seules quelques coupures de nuit ont été utilisées afin de pouvoir mettre en place une grue sur l'ouvrage pour les manutentions les plus lourdes. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Plancher suspendu : 3 500 m² (poids total : 95 t)
- 344 vérins de 50 et 90 t de capacité pour une poussée totale maxi de 22 000 t
- Suspension provisoire : 65 t de selles (figure 15), 144 suspentes et 4 592 m de câbles Ø 73,55 mm
- Suspension définitive : 88 t de selles, 136 suspentes de diamètres 60, 64 ou 80 mm et 4 520 m de câbles de diamètres 73, 68,2 et 61,5 mm
- Passerelle neuve : 300 t
- Clouage des massifs d'ancrage : 8 clous de 46 m par massif (effort de clouage 1 200 t)
- 574 pierres remplacées, 2 500 m² de nettoyage de maçonnerie

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Département du Loiret, Direction des Infrastructures

ASSISTANT AU MAÎTRE D'OUVRAGE :

Arcadis (Mandataire), Aei, Biotope, Brl, Cabinet Clément & Associés

GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION :

Baudin-Chateaneuf (mandataire), Artcad (maître d'œuvre), Alain Spielmann (architecte), Bertrand Penneron (architecte)

SOUS TRAITANTS :

- Segec (génie civil)
- Lassarat (protection anticorrosion)
- Tetra / Ifr (forages et clouages massifs)
- Coulmeau (taille de pierre)
- Citeos (éclairage ouvrage et passerelle)

ABSTRACT

RENOVATION OF THE CHATILLON-SUR-LOIRE SUSPENSION BRIDGE

LAURENT GIQUEL, DIRECTION DES INFRASTRUCTURES, DÉPARTEMENT DU LOIRET - STÉPHANE LÉGER, ARCADIS - CHRISTOPHE ACCART, ARTCAD - ANTHONY MARAIS, BAUDIN-CHÂTEAUNEUF - ALAIN SPIELMANN, ARCHITECTE

The Châtillon-sur-Loire Bridge is a suspension type cable bridge 354 metres long. Due to the obsolescence of the suspension system, Département du Loiret performed major works to replace the entire suspension system, adapt the anchoring foundations and tie anchors, and reinforce the towers and steel structure. The safety of pedestrian and cycle traffic is improved by creating a side foot bridge reserved for soft transport modes. The design and works were performed taking into account major technical, environmental and operating constraints. □

REHABILITACIÓN DEL PUENTE COLGANTE DE CHATILLON-SUR-LOIRE (45)

LAURENT GIQUEL, DIRECTION DES INFRASTRUCTURES, DÉPARTEMENT DU LOIRET - STÉPHANE LÉGER, ARCADIS - CHRISTOPHE ACCART, ARTCAD - ANTHONY MARAIS, BAUDIN-CHÂTEAUNEUF - ALAIN SPIELMANN, ARCHITECTE

El puente de Châtillon-sur-Loire es un puente colgante atirantado de 354 m de longitud. La obsolescencia del sistema de suspensión ha obligado al departamento francés de Loiret a realizar importantes obras para sustituir la totalidad de la suspensión, adaptar los bloques de anclaje y los tirantes, y reforzar los pilonos y la estructura metálica. Se ha creado una pasarela lateral reservada a la circulación de peatones y bicicletas. El diseño y las obras se han llevado a cabo teniendo en cuenta las fuertes limitaciones técnicas, medioambientales y operativas. □

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

960

TRAVAUX SOUTERRAINS

961

INTERNATIONAL

962

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

963

OUVRAGES D'ART

964

SOLS ET FONDATIONS

965

SPÉCIAL GARES

966

ÉNERGIE

967

VILLE ET PATRIMOINE

968

TRAVAUX SOUTERRAINS

969

INTERNATIONAL

970

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

971

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

*Offre valable jusqu'au 30/06/22 COMÉDENCE.BU

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 960 x | <input type="checkbox"/> 965 x | <input type="checkbox"/> 970 x |
| <input type="checkbox"/> 961 x | <input type="checkbox"/> 966 x | <input type="checkbox"/> 971 x |
| <input type="checkbox"/> 962 x | <input type="checkbox"/> 967 x | <input type="checkbox"/> 972 x |
| <input type="checkbox"/> 963 x | <input type="checkbox"/> 968 x | <input type="checkbox"/> 973 x |
| <input type="checkbox"/> 964 x | <input type="checkbox"/> 969 x | <input type="checkbox"/> 974 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 30/06/22 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 10,10€ 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 modification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des partenaires 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



1

© GUILLAUME ROMAN

TRAVAUX D'URGENCE DANS LA VALLÉE DE LA VÉSUBIE

AUTEUR : ALEXANDRE PLASTRE, DIRECTEUR TECHNIQUE, FRANCE MACCAFERRI

LA TEMPÊTE ALEX EN OCTOBRE 2020 A PROVOQUÉ D'IMPORTANTES DÉGÂTS MATÉRIELS ET HUMAINS DANS LES VALLÉES DE LA VÉSUBIE, DE LA TINÉE ET DE LA ROYA. LA MÉTROPOLE DE NICE CÔTE D'AZUR A PRIS DES MESURES D'URGENCE POUR RÉTABLIR L'AXE ROUTIER RELIANT LA VALLÉE DE LA VÉSUBIE À LA PLAINE DU VAR. ELLE S'EST APPUYÉE SUR LES ENTREPRISES LOCALES TITULAIRES DU MARCHÉ À BON DE COMMANDE ET SUR L'EXPERTISE DE FRANCE MACCAFERRI POUR RÉALISER DES SOUTÈNEMENTS EN REMBLAI RENFORCÉ ET DES DÉFENSES DE BERGES EN ENROCHEMENTS, GABIONS ET MATELAS RENO PLUS.

UN ÉVÈNEMENT CLIMATIQUE EXCEPTIONNEL

Lors du passage de la tempête Alex dans la vallée de la Vésubie (figure 2), la masse d'air chaud chargée de précipitations s'est concentrée sur les hauts sommets du sous-massif alpin. Il a plu à verse dans le bassin versant amont, généralement habitué à la neige à cette période de l'année. À certains endroits, il est tombé en 24h l'équi-

**1- Confor-
tement du
glissement
de la M2565
à Roquebillière.**

**1- Consoli-
dation of
the M2565
landslide at
Roquebillière.**

valent d'une année de précipitations. Les ruisseaux et torrents ont rapidement gonflé et sont sortis de leur lit, provoquant l'érosion massive des terrains environnants.

Les vallons de la Madone et du Boréon, situés sur la partie haute du bassin versant ont été dévastés par les torrents en crue, venant frapper tantôt la rive gauche, tantôt la rive droite, emportant des rochers de plusieurs m³, déracinant

des arbres et générant des glissements de terrain par dizaines. Le transport solide a été important, alimenté par les glissements successifs. Des routes d'accès au lac du Boréon et au sanctuaire de la Madone de Fenestre, seules quelques portions, éloignées du torrent ont été épargnées. À Saint-Martin-Vésubie, où les torrents de la Madone et du Boréon donnent naissance à la Vésu-
bie, la vision est apocalyptique (figure 3).

L'habitat est durement touché, certaines maisons sont emportées, d'autres sont entièrement engravées, certaines ont leurs fondations dans le vide et sont sur le point de basculer.

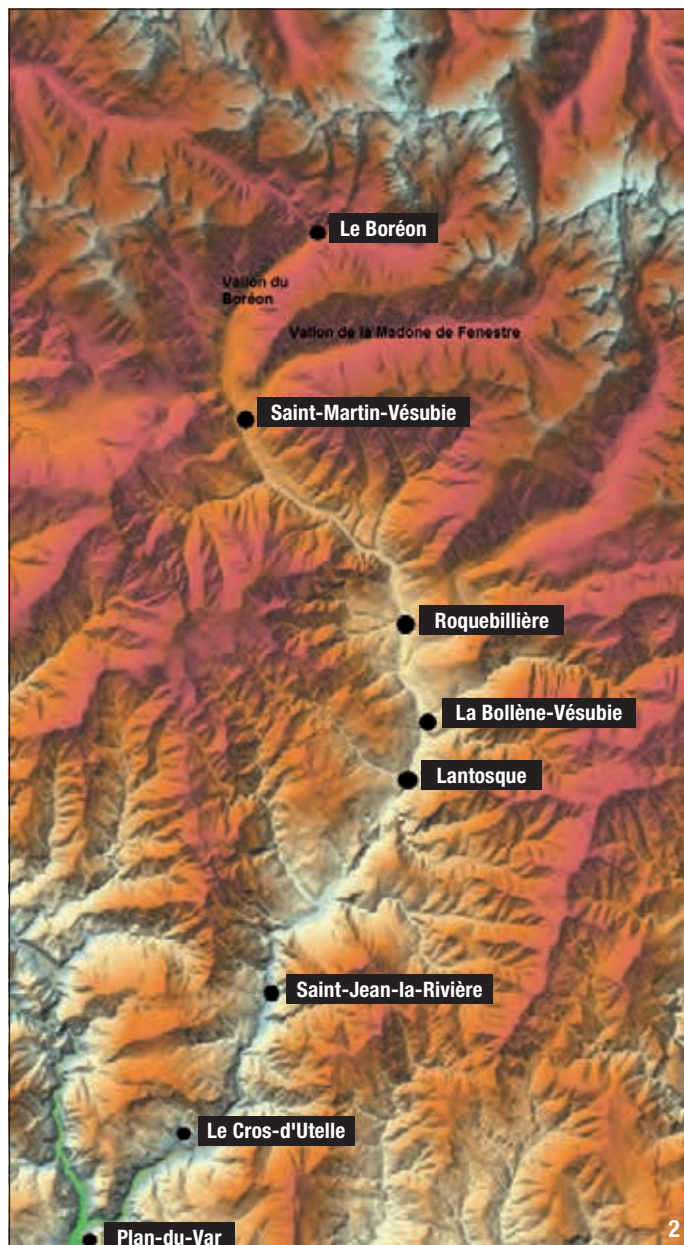
Vers l'aval, les villages de Roquebillière, Lantosque, La Bollène-Vésubie ne sont pas épargnés, notamment pour les terrains situés à proximité de la rivière ; plusieurs glissements sont recensés sur la route principale M2565. Plus en aval, la route principale traverse des gorges profondes où les dégâts sont certes présents mais moins importants.

Au lendemain de cette catastrophe naturelle qui a vu des millions de m³ de terrains et des maisons emportés, les infrastructures routières ont été coupées en de nombreux endroits et la faune aquatique locale a complètement disparu.

ORGANISATION DES TRAVAUX D'URGENCE

Très rapidement, des fonds exceptionnels ont été débloqués par la Métropole Nice Côte d'Azur et un premier état des lieux a été réalisé grâce à des relevés topographiques par LIDAR (lasergrammétrie), notamment pour mesurer l'ampleur des dégâts dans les zones non accessibles. La direction de territoire Vésubie de MNCA, avec l'appui des services du siège de la Métropole, s'est vu confier les tâches de maîtrise d'œuvre étude et travaux pour le rétablissement des axes routiers.

En parallèle des études, elle a mandaté le groupement d'entreprise Silbtp (mandataire), Cachat TP et Venturi, titulaire du marché de travaux des travaux d'entretien courant des routes Métropolitaine de la vallée de la Vésubie, pour réaliser une partie de ces travaux d'urgence notamment à l'amont du village de Saint-Jean-la-Rivière. En concertation régulière avec le Smiage, les Onf-Rtm, les grands principes de travaux ont été établis, notamment pour réaliser des ouvrages s'intégrant dans le nouveau lit de la Vésubie. Un chenal est rapidement creusé et conforté par des digues constituées des matériaux transportés par l'écoulement. Des talus de remblai provisoire sont constitués pour rétablir à minima une voie de circulation, le temps d'établir une solution définitive pérenne. Alors que les premiers travaux de terrassement et d'évacuation des gravats débutaient, le 7 décembre, un éboulement de grande ampleur se produit à l'entrée de la vallée, au lieu-dit du Cros d'Utelle, bloquant la route pour une durée alors indéterminée. Le seul accès possible à la vallée se fait alors



2- Carte de la vallée de la Vésubie.
3- Saint-Martin-Vésubie après la tempête.

2- Map of Vésubie valley.

3- Saint-Martin-Vésubie after the storm.

par la RM 19 dont le gabarit est limité à moins de 11 m de longueur et 3,55 m de hauteur. Cet événement ne ralentit pas l'activité des entreprises mais limite les solutions possibles pour la réalisation des ouvrages de soutènement de la route et les protections hydrauliques. Il n'est pas envisageable de faire parvenir des blocs d'enrochements calcaires ou de béton depuis la plaine du Var. Par ailleurs, des millions de m³ de matériaux d'origine granitique, de granulométrie très étalée, sont disponibles dans le lit de la rivière.

SOLUTIONS TECHNIQUES RETENUES

Fin 2020, France Maccaferri intervient sur site pour évaluer la pertinence de ses solutions techniques au regard des contraintes de site et des délais de réalisation. L'usage de solutions en remblai renforcé apparaît rapidement comme une évidence, les ouvrages étant principalement à réaliser en remblai et le matériau étant disponible sur place. Devant la similitude des ouvrages à construire, un principe général est retenu : réaliser des butées de pied au talus routier aval (reconstitué à une pente autostable de 3H:2V) en remblai renforcé par technique Terramesh (parement en grillage + géotextile ou gabions) et géogrilles de renforts.

Le massif en sol renforcé joue alors le rôle mécanique de confortement de berge, une protection hydraulique est nécessaire pour le protéger de l'érosion en façade et de l'affouillement en pied. Les enrochements de gros calibre disponibles sur place sont en quantité limitée, ils sont principalement réservés pour les parties d'ouvrage fortement sollicitées (courbures, pente forte, rétrécissement de l'écoulement...). Des protections en gabions et Matelas Reno Plus sont retenues pour les autres zones, à la fois pour protéger la façade des remblais renforcés (gabions) mais également en protection anti-affouillement (Matelas Reno Plus).



© MACCAFERRI

4a- Glissement sur la M2565 à La Bollène-Vésubie avant intervention.

4b- Glissement sur la M2565 à La Bollène-Vésubie après intervention.

4a- Landslide on the M2565 at La Bollène-Vésubie before works.

4b- Landslide on the M2565 at La Bollène-Vésubie after works.

Cette approche globale présente les avantages suivants :

- Une réutilisation des matériaux rocheux déplacés durant la tempête en couche de forme, remblai techniques, pierres à gabions et enrochements de gros calibre ;
- Une réduction de l'impact carbone sur les chantiers, en ayant recours à des solutions par remblais renforcés et gabions, en comparaison à des solutions de type enrochements ou blocs béton. Au total, une économie de plus de 4500 voyages en camions a été estimée sur l'ensemble des chantiers en 2021 ;



4a
© MACCAFERRI

- Une réduction du coût global de l'opération ;
- Une très bonne intégration paysagère avec la réutilisation de matériaux granitiques de la vallée de la Vésubie, au lieu d'utiliser des en-

rochements calcaires de teinte très claire.

Doté d'une forte capacité industrielle et de plusieurs équipes de travaux, France Maccaferri a pu répondre aux besoins des différents chantiers pour :

→ Réaliser les études d'exécution de ses ouvrages ;

→ Fabriquer et approvisionner la fourniture nécessaire à la réalisation des ouvrages ;

→ Mettre en œuvre les structures. ▷



© GUILLAUME ROMAN

4b

CHANTIERS SUR LA ROUTE M2565

Ce principe est ainsi retenu par la maîtrise d'œuvre pour les premiers chantiers sur la route M2565 et, en mars 2021, seulement 3 mois après le début des études d'exécution, les premiers m² de remblais renforcés sont installés à La Bollène-Vésubie.

Sur ce site, la route M2565 a été emportée sur 250 m de longueur à une quinzaine de mètres au-dessus de la Vésubie (figures 4a et 4b).

Un mur en remblai renforcé de 5,60 m de hauteur, incliné à 45° vient soutenir le talus aval à la route inclinée à 3H:2V (figure 5).

Des structures Terramesh Vert (figure 6) ayant une nappe de grillage de 2,50 m de longueur assurent la stabilité du parement de l'ouvrage en sol renforcé incliné à 60° par rapport à l'horizontale. Elles sont associées à des géogrilles de renfort Paragrid 100 (Résistance à la traction nominale de 100 kN/m) de 5 m de longueur, espacées tous les 70 cm de hauteur. L'inclinaison globale du parement est réduite à 45° en disposant des redans.

En façade de l'ouvrage, des gabions de 1,50 m d'épaisseur sont disposés en gradins afin de suivre la pente du parement.

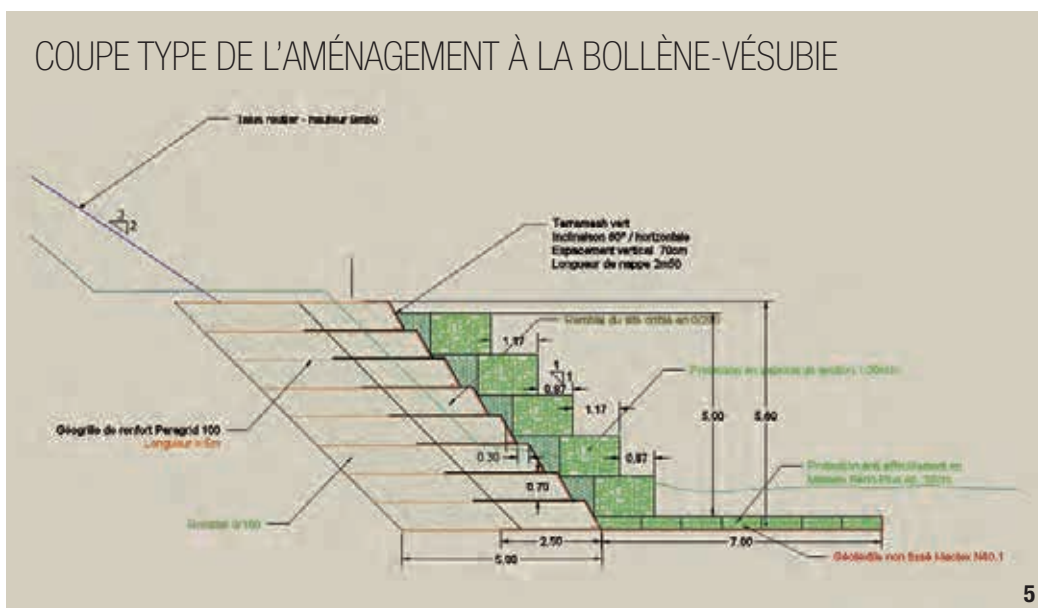
En pied la protection anti-affoulement est assurée par la mise en place de Matelas Reno Plus de 30 cm d'épaisseur et de 7 m de longueur.

À l'extrémité amont du glissement, l'ouvrage hydraulique du ruisseau de la Planchette conduit l'écoulement à son embouchure dans la Vésubie.

Le raccordement à l'ouvrage hydraulique, s'effectue par un mur subvertical en retour et la solution Terramesh System est retenue, consistant à avoir un module de remblai renforcé en grillage double torsion équipé d'un gabion de section 1x1 m en façade (figure 7). Les structures sont disposées à la verticale, avec un redan de 10 cm à chaque niveau. En pied, un radier en enrochements bétonnés est réalisé pour remonter la fondation hors d'eau. Les solutions gabions, Matelas Reno Plus et Terramesh sont à base de grillage métallique double torsion, présentant les avantages d'être flexibles (adaptation aux mouvements de terrain), modulaires (adaptation aux contraintes géométriques) tout en étant très résistant à la traction.

Les fils des grillages sont revêtus d'un alliage métallique Zinc/Aluminium et d'une protection organique extrudée sur le fil métallique assurant une parfaite

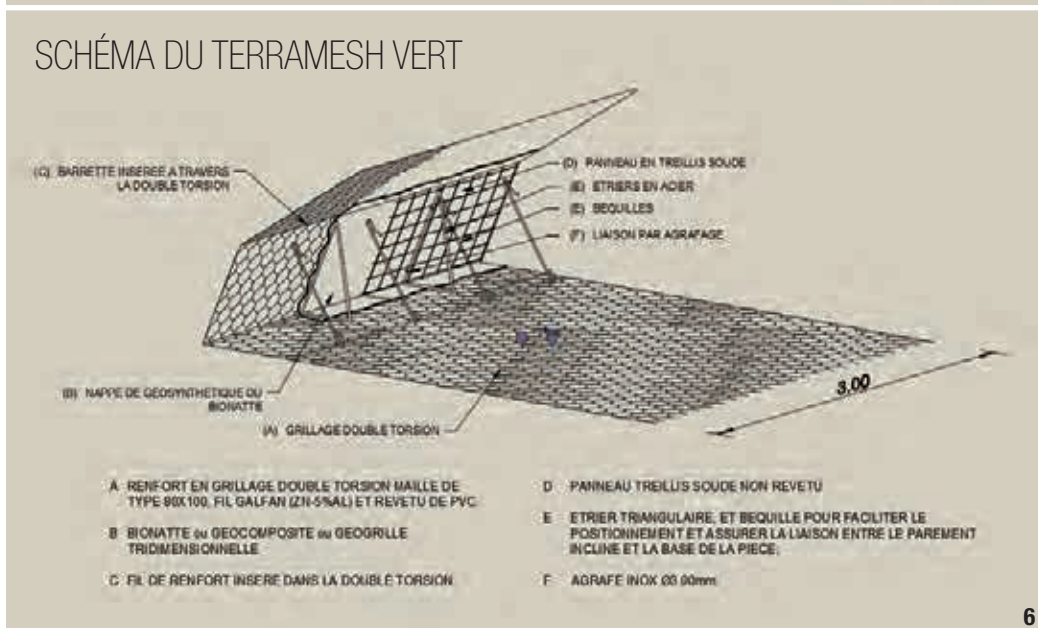
COUPE TYPE DE L'AMÉNAGEMENT À LA BOLLÈNE-VÉSUBIE



5

© MACCAFERRI

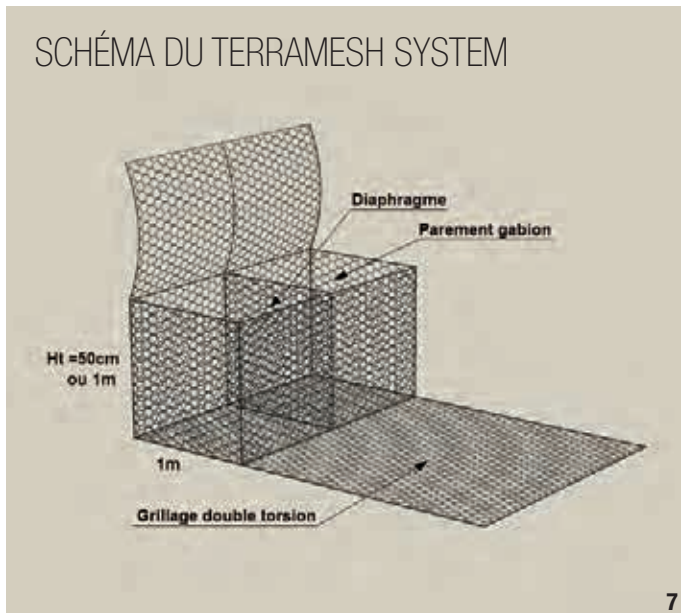
SCHÉMA DU TERRAMESH VERT



6

© MACCAFERRI

SCHÉMA DU TERRAMESH SYSTEM



7

© MACCAFERRI

5- Coupe type de l'aménagement à La Bollène-Vésubie.

6- Schéma du Terramesh Vert.

7- Schéma du Terramesh System.

5- Typical section of the development works at La Bollène-Vésubie.

6- Green Terramesh schematic.

7- Schematic of the Terramesh System.



8
© MACCAFERRI



9
© G.CACHAT

8- Confortement du glissement de la M2565 à Roquebillière.
9- Atelier de criblage mobile.

10a- Glissement "1" de la route M89 d'accès au Boréon avant intervention.

10b- Glissement "1" de la route M89 d'accès au Boréon après intervention.

10c- Glissement "1" de la route M89 d'accès au Boréon - Zoom sur les épis en gabions et la protection anti-affouillement en matelas Reno Plus.

8- Consolidation of the M2565 landslide at Roquebillière.

9- Mobile screening equipment.

10a- Landslide "1" on the M89 access road to Boréon before works.

10b- Landslide "1" on the M89 access road to Boréon after works.

10c- Landslide "1" on the M89 access road to Boréon - Close-up view of gabion spur and Reno Plus mattress anti-scouring protection.



10a
© MACCAFERRI



10b
© GUILLAUME ROMAN



10c
© MACCAFERRI

adhérence au fil. Ce traitement spécifique rend le fil insensible à la corrosion et très résistant à l'abrasion. En parallèle, des aménagements similaires sont à réaliser à Roquebillière (figure 8) et Lantosque.

Des ateliers de criblage mobiles (figure 9) se déplacent sur les chantiers pour trier les matériaux en remblai technique 0/100 et en pierres à gabions (90/180 mm).

Devant la simplicité, l'efficacité et l'intégration paysagère de ces solutions sur les premiers chantiers, et malgré la réouverture de la route M2565 à l'entrée de la vallée facilitant le trafic routier, le groupement d'entreprises et la Métropole décident de poursuivre le traitement des glissements avec les techniques développées par Maccaferri.

CHANTIERS SUR LA ROUTE M89 D'ACCÈS AU BORÉON

En mai 2021, de nouveaux financements sont mis à disposition pour le rétablissement routier de l'accès au lac du Boréon, situé à 1500 m d'altitude à 6 km en amont de Saint-Martin-Vésubie.

Réputé pour la beauté de son site, le Boréon est un point de passage et de départ pour de nombreuses randonnées vers le parc national du Mercantour, attirant de nombreux touristes l'été. L'accès à ce site unique est un enjeu majeur, l'ouverture de la route doit être assurée pour début juillet.

Objectif très ambitieux : la route est emportée en plusieurs tronçons, environ 2 km de chaussée à rétablir intégralement, 6 glissements de plusieurs centaines de mètres, des thalwegs à purger puis remblayer. En amont, il faut préparer les accès de chantier par le lit du Boréon, évacuer les troncs d'arbres et dimensionner les ouvrages de soutènement.



11

© GUILLAUME ROMAN

Sur les 6 glissements, trois seront traités de façon provisoire en rétablissant des talus à 3H:2V en aval de la voirie (avant de prévoir, à l'automne et au printemps prochain, des solutions définitives) et trois seront traités de façon définitive, des ouvrages de soutènement de grande ampleur devant être réalisés sur les glissements nommés "1", "2" et "6".

Le glissement "1" est de loin le plus impressionnant (figures 10a et 10b), d'une quarantaine de mètre de hauteur et d'une longueur en pied d'environ 250 m ; il va nécessiter la mise en place de 110 000 m³ de remblai. La butée de pied est réalisée par un ouvrage en Terramesh System de 8 m de hauteur présentant des redans transversaux de 25 cm/m, associé à des géogrilles de renforts Paragrid 100 de 10 m de longueur. En amont, un talus à 3H:2V réalisé en 2 levées de 15 m de hauteur avec une berge intermédiaire de 4 m de largeur vient soutenir la voirie. En pied d'ouvrage, la protection contre l'affouillement est réalisée en Matelas Reno Plus de 30 cm d'épaisseur et de 7 m de longueur. Si les matelas sont disposés parallèlement à la pente longitudinale, le remblai renforcé est disposé sur une fondation horizontale (terrain naturel compacté) avec des redans de 1 m de hauteur tous les 12 m de longueur.

En concertation avec l'Onf-Rtm, des épis en gabions sont disposés tous les 40 m en façade de l'ouvrage de soutènement pour repousser l'écoulement vers le centre du vallon (figure 10c). Les autres glissements sont traités en parallèle. Le glissement "2" (environ 20 m de hauteur sur 110 m de longueur - figure 11) est quant à lui traité

de façon similaire au chantier de la Bollène-Vésubie, avec une butée de pied en Terramesh Vert, des gabions de protection en façade de 1,50 m d'épaisseur et un tapis anti-affouillement en Matelas Reno Plus de 30 cm d'épaisseur. Des épis en gabions complètent l'aménagement. Pour le glisse-

ment "6" (environ 15 m de hauteur sur 120 m de longueur - figure 12), l'ouvrage est situé dans une courbure du Boréon et les sollicitations hydrauliques sont beaucoup plus importantes. Des enrochements bétonnés de calibre >5 t, de 2,50 m d'épaisseur viennent protéger la façade du remblai renforcé

Terramesh Vert alors qu'un sabot en enrochements libres de calibre >5 t, de 3 m d'épaisseur et 6 m de largeur est mis en place en fondation.

Le 9 juillet 2021, en l'espace de 2 mois ½ de travaux, la route du Boréon est ouverte, le défi a été tenu par le groupement d'entreprises.



12a

© GUILLAUME ROMAN



12b

© GUILLAUME ROMAN

11- Traitement du glissement 2 de la route M89 d'accès au Boréon.

12a- Glissement "6" de la route M89 d'accès au Boréon - Remblai renforcé Terramesh vert.

12b- Glissement "6" de la route M89 d'accès au Boréon - aménagement final avec protection en enrochements bétonnés.

11- Treatment of landslide 2 on the M89 access road to Boréon.

12a- Landslide "6" on the M89 access road to Boréon - Green Terramesh reinforced fill.

12b- Landslide "6" on the M89 access road to Boréon - final development with concreted rockfill protection.



© GUILLAUME ROMAN

13

13- Ouvrage en Terramesh System au village de Lantosque.

13- Terramesh System structure at the village of Lantosque.

Près de 60 personnes, une quinzaine de pelles entre 25 et 55 t et une quinzaine de tombereaux ont travaillé sur ce chantier exceptionnel, mettant en œuvre près de 260 000 m³ de matériaux.

À l'automne 2021, de nouveaux chantiers de confortements sont réalisés, sur la prise d'eau du Suquet (mur poids en gabions), à Lantosque village

PRINCIPALES QUANTITÉS

REMBLAIS : 500 000 m³

GABIONS DOUBLE TORSION ET MATELAS RENO PLUS : 13 000 m³

REMBLAI RENFORCÉ TERRAMESH SYSTEM ET TERRAMESH VERT : 10 000 m²

GÉOGRILLES DE RENFORTS : 80 000 m²

ENROCHEMENTS : 32 000 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Métropole Nice Côte d'Azur

MAÎTRE D'ŒUVRE : Métropole Nice Côte d'Azur

ENTREPRISES : groupement Sibtp (mandataire), Cachat TP et Venturi

FOURNISSEUR ET POSEUR des solutions gabions, remblais renforcés avec géogrilles & Matelas Reno Plus : France Maccaferri

(Terramesh system - figure 13) mais également pour les ouvrages définitifs du glissement "4" de la route d'accès au Boréon.

Durant l'année 2021, ce sont près de 500 000 m³ de remblais, 10 000 m² de parement de remblai renforcé, 13 000 m³ de gabions et Matelas Reno Plus, 80 000 m² de géogrilles de renforts et 32 000 t d'enrochements qui ont été mis en œuvre par le groupement d'entreprises dans la moyenne et haute vallée de la Vésubie pour un montant de travaux de 50 M€. Si les axes de circulation dans la vallée se rétablissent progressivement, de nombreux chantiers sont encore à réaliser, notamment pour l'accès routier au valon de la Madone-de-Fenestre et pour l'aménagement du lit de la Vésubie. □

ABSTRACT

EMERGENCY WORK IN VESUBIE VALLEY

ALEXANDRE PLASTRE, FRANCE MACCAFERRI

This article describes the technical solutions deployed in the middle and upper valley of the Vésubie River to restore the main road arteries, severely affected after the passage of Storm Alex in October 2020. Development works with reinforced fill, gabions and riprap were able to permanently treat multiple landslides over a height of several dozen metres. □

OBRAS DE EMERGENCIA EN EL VALLE DEL VESUBIE

ALEXANDRE PLASTRE, FRANCE MACCAFERRI

Este artículo presenta las soluciones técnicas desplegadas en las zonas media y alta del valle del Vésubie para restablecer los principales ejes viales, gravemente afectados por el paso del temporal Alex, en octubre de 2020. Se han realizado modificaciones en forma de terraplén reforzado, gaviones y escolleras, que han permitido tratar de forma definitiva múltiples deslizamientos del terreno de varias decenas de metros de altura. □



1
© WILFRIED GRUYER

LA VALLÉE DE LA ROYA SE RECONSTRUIT

AUTEUR : BORIS TOULOUSE, DIRECTEUR DE PROJET AGENCE CÔTE D'AZUR, RAZEL-BEC

LA TEMPÊTE ALEX DU 2 OCTOBRE 2020 A RAVAGÉ COMME JAMAIS LA VALLÉE DE LA ROYA, À L'EST DU DÉPARTEMENT DES ALPES MARITIMES. EN PLUS DU TRISTE BILAN HUMAIN, 70 KM DE ROUTES DÉPARTEMENTALES ONT ÉTÉ DÉTRUITS AVEC PLUS DE 200 BRÈCHES À RECONSTRUIRE DONT UNE CINQUANTAINES D'OUVRAGES D'ART. APRÈS QUE PLUS D'UNE VINGTAINES D'ENTREPRISE LOCALES SONT INTERVENUES EN URGENCES POUR RÉTABLIR LES LIAISONS PRINCIPALES, LE CHANTIER DE RECONSTRUCTION DE LA VALLÉE DE LA ROYA A DÉMARRÉ EN NOVEMBRE 2020 POUR 18 MOIS DE TRAVAUX.

RETOUR SUR UNE CATASTROPHE NATURELLE

Dans les vallées de l'arrière-pays niçois, c'est peu dire que la journée du 2 octobre 2020 a laissé de lourdes traces. Après le passage de la tempête Alex, les vallées de la Vésubie, de La Roya, de la Tinée et de l'Estéron sont

ravagées. Le bilan humain et matériel est très lourd. Dans les 70 communes des Alpes-Maritimes classées en état de catastrophe naturelle, on dénombre 480 bâtiments gravement endommagés ou détruits, une centaine de kilomètres de routes emportées et une cinquantaine d'ouvrages d'art (ponts...) impactés ou détruits (figure 1).

**1- Recalibrage
de la Roya à
Breil-Giandola.**

**1- Recalibration
of La Roya at
Breil-Giandola.**

Les dégâts ont également entraîné dans les vallées impactées une rupture des réseaux d'eau, d'électricité et des moyens de communication nécessitant dès le lendemain et pendant plusieurs semaines la mise en place d'un pont aérien par hélicoptère entre l'aéroport de Nice et les villages isolés du haut pays.

La Roya est un fleuve côtier de 59 km qui prend sa source au col de Tende à 1871 m d'altitude sur la commune de Tende. Il coule globalement du nord vers le sud-sud-ouest et se jette en mer de Ligurie sur la commune italienne de Vintimille.

Lors de la matinée du 2 octobre 2020, il est tombé près de 271 mm à Breil-sur-Roya, soit l'équivalent de deux mois de précipitations. Cet épisode météorologique exceptionnel a engendré des phénomènes de ruissellement de surface et des crues extrêmement destructrices.

La Roya, au débit et à la profondeur très faibles, s'est transformée en torrent déchaîné passant d'un débit moyen de 15 m³/s à 1 000 m³/s.

Les crues de type torrentielle ont transporté une grande quantité d'éléments solides : rochers, galets, troncs d'arbres, boues. Cela a considérablement augmenté la capacité d'érosion des berges des cours d'eau et explique le paysage dévasté qu'ont découvert les habitants après la catastrophe (figure 2).

L'inventaire des désordres causés sur les infrastructures routières répertorie 200 brèches sur l'axe principal, la route

LA TEMPÊTE ALEX DANS LES ALPES-MARITIMES

- **80 bâtiments gravement endommagés.**
- **Plus de 100 km de routes endommagées.**
- **Une cinquantaine d'ouvrages d'art détruits.**
- **Vent de 161 km/h relevé au plus fort de la tempête sur la localité de Levens.**
- **200 brèches répertoriées sur la vallée de la Roya et les vallées alentours.**

départementale 6204 qui relie Tende à Breil-sur-Roya, mais aussi sur des axes secondaires comme la RD40 ou la RD91, rendant impossible les déplacements dans la vallée.

2- Vue depuis un hélicoptère de l'entrée de Saint-Dalmas.

2- View of the Saint-Dalmas entrance from a helicopter.

UNE MOBILISATION EXCEPTIONNELLE

Les équipes de l'Agence Côte-d'Azur de Razel-Bec ont été mobilisées au lendemain de la catastrophe par la Rea (Régie Eau d'Azur) et le Smiage (Syndicat Mixte pour les Inondations, l'Aménagement et la Gestion de l'Eau Maralpin) pour réaliser d'importants travaux d'urgence. La première intervention se déroule sur la commune de Saint-Jean-la-Rivière. Les eaux du canal de la Vésubie y sont captées pour alimenter plusieurs usines de traitement d'eau de la région. Avec la crue, la prise d'eau a été obturée sur 200 m de long et s'est remplie de

sable (jusqu'à 80 m de sable en partie aérienne et 120 m en galerie). La Régie d'Eau d'Azur charge donc Razel-Bec de dégager la prise d'eau dans le but d'alimenter le plus vite possible les 130 000 foyers et établissements privés d'eau potable (figure 3). Les routes étant coupées, tous les engins qui ont permis d'évacuer le sable du canal ont été héliportés. Un suivi météorologique avait également été mis en place dans le but de suivre la progression des orages qui auraient pu faire remonter la crue, ainsi qu'une étroite collaboration avec EDF pour coordonner les travaux et la gestion du barrage plus haut dans la vallée. Lors de ces intempéries, les vannes, caméras, jauges ont été détruites. La seconde intervention s'étendait de la commune de Breil-sur-Roya à celle de Tende. Diligemment par le Smiage, elle consistait à restituer la capacité hydraulique des rivières, c'est-à-dire de remettre le lit de la rivière dans son état habituel à l'aide des pelles de 50 t et de bulldozers. À certains endroits, l'hydromorphologie des rivières s'est élargie de 200 m et le lit de la rivière est monté de plus de 6 m de haut, signe de l'équilibre sédimentaire très excédentaire (figure 4). ▷



© WILFRIED GRUYER

UN GROUPEMENT MOBILISÉ ET RÉSILIENT POUR LES TRAVAUX D'URGENCE DE LA VALLÉE DE LA ROYA

Début novembre 2020, sept entreprises locales constituent un groupement qui s'engage auprès du Conseil Départemental des Alpes-Maritimes, dans le cadre d'un marché de travaux d'urgence, pour la reconstruction de la vallée de la Roya. Razel-Bec assure la direction technique projet des opérations au sein du groupement composé de Garelli, La Nouvelle Sirolaise, Masala, Nativi BTP, TP Spada et Tama mandataire. Le marché est d'une durée de 12 mois et sera finalement prolongé jusqu'à fin avril 2022. Il s'agit d'un marché à bons de commandes qui vise à rétablir les accès et routes dans les communes et villages de la vallée. Dans le cadre de ce marché, les équipes font preuve d'une grande résilience, à l'image des habitants de la vallée.

La résilience car chaque brèche constitue une découverte en soi : son importance, les matériaux, ... Sur la RD6204



© WILFRIED GRUYER

entre les communes de Breil-sur-Roya et Tende, c'est plus de 80 brèches qui ont été recensées : absence de soutènement, chaussées ou ouvrages effondrés... Et sur l'ensemble de la vallée, c'est plus de 200 brèches qui ont été causées par les intempéries, qui font entre 15 à 200 m chacune. À chaque brèche, les équipes découvrent, conçoi-

vent, réalisent et adaptent les solutions. Après chaque brèche réparée, une nouvelle brèche et son lot de surprises apparaissent.

La résilience car le groupement s'est engagé à reconstruire les voies d'accès au maximum sur le tracé initial, en apportant toutes les améliorations possibles mais surtout en respectant la

3- Dégagement de la prise d'eau.

4- Confortement provisoire des berges de La Roya - Commune de Breil-sur-Roya.

3- Clearing the water intake.

4- Temporary consolidation of the banks of La Roya - Breil-sur-Roya Commune.



© WILFRIED GRUYER



5- 100 % des matériaux de remblaiement sont constitués de matériaux du site.

6- Murs poids constitués de parements en écailles préfabriquées.

5- 100% of the backfilling materials are materials from the site.

6- Gravity walls formed of prefabricated facing panels.

nombreux terrassements et remblaiements est d'utiliser au maximum les matériaux de la vallée elle-même (figure 5). La tempête a emporté sur son passage de nombreux matériaux. En contrebas de la vallée, ils sont triés, passés aux ateliers de criblage, concassés, réutilisés ou éliminés. L'objectif est de n'utiliser aucun matériau d'apport afin de limiter le bilan carbone et de respecter la nature initiale des terrains de cette vallée. Le golf de Vievola, dont les greens ont été noyés sous 380 000 m³ d'alluvion, a passé un accord avec le groupement pour que les matériaux déposés soient récupé-

rés, passés au criblage et réutilisés dans la vallée. À quelques semaines de la fin du marché, 100 % des matériaux de remblaiement sont constitués de matériaux du site.

LES TRAVAUX D'URGENCE UNE GAMME DE PRODUITS EN CATALOGUE

Ce marché fonctionne sur le principe des bons de commandes. Une commande est ouverte pour chaque brèche : mur de soutènement à reconstruire, route, piste... Seuls les travaux de terrassement, en grand nombre, sont réalisés en régie. Pour garantir agilité,

rapidité et efficacité au groupement et au client, une grille de prix forfaitaire est bâtie (elle contient environ 310 prix) et un catalogue de solutions est proposé. Validés au préalable, les équipes en charge de la reconstruction peuvent ainsi piocher solutions et tarifs pour déclencher rapidement les travaux. C'est l'exemple des différents murs de soutènements qui sont réalisés pour consolider les brèches. Le groupement propose une série de murs de soutènement différents, dans les matériaux ou modes constructifs, qui permettent d'adapter la solution aux spécificités de la brèche.

Les murs en "L" préfabriqués permettent de construire un mur sur 1,6 km au total, de 2,50 à 6 m de haut.

Les éléments sont préfabriqués et arrivent par camion. On réalise une assise en béton par enrochement percolé et on vient poser les éléments de mur côte à côte.

Les murs poids sont constitués de parements en écailles préfabriquées de 1,10 m x 0,80 m ou 2,10 m x 0,80 m. On commence par réaliser une assise en béton en effectuant une souille puis en comblant avec des enrochements percolés, ensuite on utilise les écailles comme coffrage perdu. Enfin, en cofrant à l'arrière des écailles, on réalise la partie poids du mur en forme d'escalier jusqu'en haut (figure 6).

Les murs ancrés sont réalisés en scellant des aciers haute adhérence HA 20, 25 ou 32, en fonction de la hauteur, dans les affleurements rocheux ou dans des blocs rocheux de volume et masse importante, puis on réalise une semelle épaisse et haute puis, enfin, on coule un voile d'épaisseur variable, toujours en fonction des caractéristiques géométriques du soutènement (figure 7). Les brèches plus complexes sont reconstruites en deux temps. Cette technique répond à un impératif de maintien de la circulation en convois en limitant les périodes de coupure totale. La solution retenue consiste à construire deux murs en parallèle, l'un, provisoire, en écailles AD/OC afin de rétablir une voie de circulation et l'autre, définitif, à l'aide du principe des écailles complétées de béton entre les 2 murs, pour des raisons de gain de temps. ▽



Toutes les brèches sont ensuite remblayées suivant les règles de l'art, avec un système de drainage, et les murs sont surmontés d'une longrine en béton de 0,50 m x 0,50 m qui reçoit une glissière en bois avec un pare-moto et enfin un revêtement provisoire en GB. Certaines brèches ont également fait l'objet d'aménagements hydrauliques avec des cadres préfabriqués, allant du 2 m x 2 m au 8 m x 5 m en passant par du 3 m x 2 m et du 6 m x 4 m.

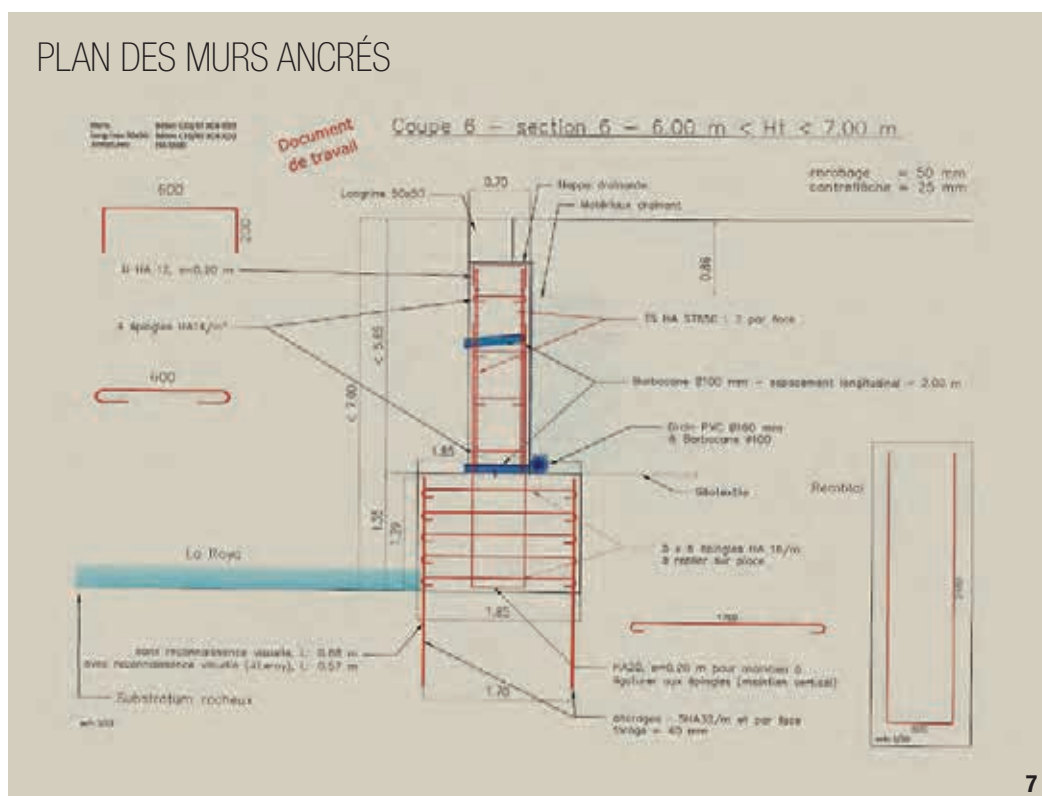
UN NOUVEAU PONT DU PERTUS

Cet ouvrage situé au sud de Breil-sur-Roya, partiellement détruit par la tempête, permet de relier le village des Alpes-Maritimes à l'Italie. Les fortes coulées de boue ont emporté la culée aval du pont, le tablier, quant à lui, est resté en place. Dans l'urgence, les équipes travaux réalisent un passage à gué permettant de rétablir une liaison essentielle. Le Conseil Départemental des Alpes-Maritimes, en charge de la reconstruction, décide de ne pas reconstruire le pont à l'identique.

Le chantier de construction sur site dure 5 mois.

Les travaux consistent en la réhabilitation du pont existant et en la construction d'un nouveau pont accolé de 24 m, portant l'ensemble à 90 m (figure 8). Sur le premier, les appareils d'appui, les corniches en béton et l'étanchéité du tablier sont remplacées, des trottoirs sont créés. La nouvelle structure est composée de deux culées (culée amont du nouvel ouvrage accolée à la culée aval de l'ouvrage existant), de quatre poutres métalliques de 24 m et 10 t chacune et d'un tablier en béton armé (figure 9). Construites au Luxembourg par Arcelor Mittal, les poutres métalliques sont acheminées par voie ferrée et déchargées à proximité du pont, depuis le viaduc des Éboules, situé à 15 m au-dessus de la route. La culée amont du nouvel ouvrage a été fondée sur des enrochements bétonnés et la culée aval sur un éperon rocheux.

Le tablier a été réalisé en posant les poutres sur des chevêtres et par la mise en œuvre de 18 dalles préfabriquées clavetées de 0,30 m d'épaisseur, surmontées des superstructures. Enfin l'enrobé du pont est réalisé par les équipes d'Eiffage Route. Elles déposent 350 t de grave bitume puis 250 t de béton bitumineux semi-grenu le lendemain pour la couche de roulement. La mise en œuvre des 3 joints de chaussée scelle ainsi définitivement les deux ouvrages ensemble. Ce nouveau pont d'une longueur de



90 m offre ainsi une portée de 50% supplémentaire, en comparaison à l'ancien ouvrage, le rendant plus résistant en cas de nouvelles intempéries. Il respecte la transparence hydraulique et le nouveau lit de La Roya, qui s'est élargi lors de la tempête. La réouverture à la circulation s'opère le 17 septembre dernier. C'est un moment symbolique

7- Plan des murs ancrés.
8- Pont du Pertus.

7- Drawing of anchored walls.
8- Pertus Bridge.

car le pont du Pertus est le premier pont détruit par la tempête Alex à être reconstruit de manière définitive.

LA ROUTE DÉPARTEMENTALE 91

La RD 91, qui démarre depuis la RD 6204 vers l'ouest, conduit au hameau de Casterino, situé au pied du Parc national du Mercantour. Niché à 1 550 m d'altitude, ce village est

LE PONT DU PERTUS EN CHIFFRES

- 5 mois de travaux.
- 2,5 millions d'euros.
- 13 000 heures de travail.
- 90 m de travées.
- 90 000 kg d'armature.
- 1 000 m³ de béton.





9
© WILFRIED GRUYER

entouré de beaux sommets. Sur cette route, les dégâts sont monstrueux : 25 brèches sur 7 km. Suite au passage de la tempête, elle devient impraticable et les riverains se retrouvent complètement isolés. Une piste de secours a été réalisée, praticable par les seuls riverains jusqu'aux Mesches. Les travaux définitifs de la piste viennent de s'achever. Pour rétablir cet accès, les équipes du groupement ont dû commencer par le rétablissement d'une brèche longue

9- Poutres métalliques du Pont du Pertus.

10- Murs en béton armé de 8 m de haut.

9- Steel girders of Pertus Bridge.

10- Reinforced concrete walls 8 metres high.



10
© WILFRIED GRUYER

de 500 m en aval de cette route. Initialement les équipes avaient imaginé et conçu des caissons béton sans fond qui auraient été posés pour réaliser des murs de soutènements jusqu'à 14 m de haut. Il s'agissait de fabriquer 900 caissons de 9 t, mais, dans l'impossibilité d'installer l'aire de préfabrication dans les délais impartis et face à l'urgence de la situation, la construction d'un mur de 8 m de haut et 0,80 m d'épaisseur coulé en place reposant sur une semelle de 5 m de large par 1 m d'épaisseur fondé sur une substitution en enrochement percolés, a été privilégiée (figure 10).

En remontant vers le lac des Mesches, certaines brèches sont traitées avec des murs ancrés, des murs poids

ou des confortements en berlinoises (micropieux + écailles AD/OC), technique faisant parti du catalogue pré-établi.

Le groupement traitera dans le cadre des travaux d'urgence, les brèches 1 à 24 du RD91.

CONCLUSION

Malgré des conditions météorologiques défavorables, des accès complexes dû à l'état des routes, de gabarit routier et de travaux réalisés sous circulation, les équipes du groupement, en collaboration étroite avec l'équipe du Conseil Départemental des Alpes-Maritimes, relèvent le défi non seulement technique mais aussi sociétal pour la population locale. □

CHIFFRES CLÉS DU PROJET

- Effectif moyen : 180/200 personnes (hors encadrement)
- Matériels significatifs : 40 pelles mécaniques de 5 à 75 t, 25 camions 8x4, des dumpers, bulls, compacteurs, grues mobiles de 50 à 160 t, et divers matériels de manutention et d'approvisionnement
- 2 ateliers de concassage et criblage

QUANTITÉS SIGNIFICATIVES DE MATÉRIAUX

BÉTON : 35 000 m³ de structure et de remplissage

ACIER : 1 500 t

DÉBLAIS/REMBLAIS : 200 000 m³

MURS PRÉFABRIQUÉS DE 2 m À 6 m DE HAUTEUR : 1 600 m

ÉCAILLES PRÉFABRIQUÉES : 10 000 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Département des Alpes-Maritimes

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Direction des Routes et des Infrastructures de Transport du département des Alpes-Maritimes

ENTREPRISES : Razel-Bec, Garelli, La Nouvelle Siroloise, Masala, Nativi BTP, TP Spada et Tama mandataire

ABSTRACT

LA ROYA VALLEY IS REBUILT

BORIS TOULOUSE, RAZEL-BEC

La Roya Valley had never experienced a weather spell as devastating as that of 2 October 2020 when Storm Alex ravaged this natural region in the eastern part of the Alpes-Maritimes Department. Apart from the sad consequences for human life, there was serious material damage. The storm destroyed 70 km of county roads with more than 200 gaps needing reconstruction, including about fifty road structures. After several weeks of extraordinary mobilisation of more than twenty or so firms established in the region which performed urgent repairs to restore the main links, the project for reconstruction of La Roya Valley began in November 2020. The schedule comprised 18 months' work to restore, consolidate and renovate a maximum of kilometres on the road between the Breil-sur-Roya and Tende districts. □

EL VALLE DEL ROYA SE RECONSTRUYE

BORIS TOULOUSE, RAZEL-BEC

El valle del Roya jamás había conocido un episodio climático tan devastador como el del 2 de octubre de 2020, cuando el temporal Alex asoló esta región natural, situada al este del departamento francés de Alpes Marítimos. Además del triste balance humano, los daños materiales fueron considerables. La tormenta destruyó 70 km de carreteras departamentales, con más de 200 brechas por reconstruir, de las cuales una cincuenta en obras de fábrica. Tras varias semanas de extraordinaria movilización de más de veinte empresas instaladas en la región, que intervinieron con carácter de emergencia para restablecer los principales enlaces, el proyecto de reconstrucción del valle del Roya comenzó en noviembre de 2020. En el programa: 18 meses de obras para restablecer, consolidar y renovar el máximo de kilómetros de carretera entre los municipios de Breil-sur-Roya y Tende. □



1
© DIADES

RENFORCEMENT ET ABAISSEMENT DU SEUIL D'UNE BUSE MÉTALLIQUE HYDRAULIQUE SOUS L'AUTOROUTE A6

AUTEURS : GUILLAUME PUYHAUBERT, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SETEC DIADES - PIERRE SALOMON, CHEF DE PROJETS, RESPONSABLE DU PÔLE "ÉTUDES ET STRUCTURES", SETEC DIADES - RENAUD LECONTE, DIRECTEUR TECHNIQUE ET INNOVATION, SETEC DIADES - ÉMILIE BRUNEL, CONDUCTEUR D'OPÉRATIONS OUVRAGES D'ART, DIPE APPR

LES BUSES MÉTALLIQUES, CONSTRUITES POUR LA PLUPART DANS LES ANNÉES 60-70, ONT UNE DURÉE DE VIE DE L'ORDRE DE 50 ANS SUIVANT LEUR CONCEPTION, LEUR RÉALISATION ET LA MAINTENANCE RÉALISÉE. DE PLUS EN PLUS DE CES OUVRAGES PRÉSENTENT DES PATHOLOGIES TELLES QUE LA CORROSION, DES DÉFORMATIONS ET DES AFFOUILLEMENTS. EN PLUS DE CELA, CERTAINES BUSES SONT CONFRONTÉES À DES PROBLÈMES DE SEUIL POUVANT ÊTRE LA CAUSE DE PERTURBATIONS HYDRAULIQUES ET/OU PISCICOLES. LA BUSE SITUÉE AU PR 420+320 SOUS L'AUTOROUTE A6 DU RÉSEAU APPR PRÉSENTE CES DIFFÉRENTS DÉSORDRES ET A FAIT L'OBJET DE TRAVAUX DE RENFORCEMENT ET D'ABAISSEMENT DU SEUIL.

CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Dans le cadre de la maintenance des ouvrages d'art de son réseau d'autoroutes, Appr est confronté à des pathologies particulières sur deux buses métalliques franchissant l'autoroute A6 dans la région de Villefranche-sur-Saône, France. En effet, ces buses métalliques présentent des dégradations de type corrosion et déformations longitudinales conjuguées à des seuils trop élevés nécessitant la réalisation de travaux de renforcement structurel et d'abaissement de seuil afin de leur redonner la pérennité nécessaire et le rétablissement normal du fil d'eau.

Le présent article traite de la buse métallique 420+320 portant l'A6 sur le territoire de la commune d'Arnas dans le département du Rhône et dont les travaux, réalisés par Nouvetra, se sont achevés fin octobre 2021.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

La buse 420+320 est un ouvrage de type buse-arche métallique de 91 m de longueur (figure 2). Réalisée en 1969, elle est de type Armco de 5 m de large pour une hauteur de 3,20 m. L'épaisseur de la tôle est de 7 mm. Elle permet au bief de la Laye de franchir l'A6.

1- Vue générale de la buse 420+320 après travaux.

1- General view of culvert 420+320 after works.

travaux de réparation sans caractère d'urgence.

Compte-tenu de son état général moyen en raison de la corrosion feuilletante en pied de plaque, généralisée sur les ondes sortantes et une déformation du profil en long à l'axe de l'ouvrage, des travaux étaient donc nécessaires (figure 3).

PATHOLOGIES RECENSÉES

L'inspection détaillée périodique de 2013 a conclu à une notation IQOA de l'état de l'ouvrage à 3 - c'est-à-dire à un ouvrage dont la structure porteuse est altérée et qui nécessite des

ENJEUX ÉCOLOGIQUES

La zone dans laquelle évolue la buse présente d'importants enjeux écologiques. Premièrement, la buse est située dans une zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et flo-

ristique (ZNIEFF) de type 1 et dans une zone humide. Sur les abords, il existe en effet des milieux humides favorables à l'accueil d'espèces protégées telles que le Triton palmé qui utilise les entrées de la buse pour se reproduire, tout comme le brochet. De plus, une zone Natura 2000 englobe la buse. Enfin, la buse se situe dans l'espace naturel sensible (ENS) des prairies et marais de Boitray. De ce fait, des mesures de protection de l'environnement

2- Vue générale de la buse 420+320 à l'état initial.

3- Corrosion feuilletante en pied de plaque d'après l'IDP 2013.

4- Plan de coffrage type des travaux.

2- General view of culvert 420+320 in the initial state.

3- Exfoliation corrosion at the base of the plate as per IDP 2013.

4- Typical formwork drawing for the works.

© DIADES



© DIADES

nement doivent être mises en œuvre, et notamment le balisage des zones humides qui ne doivent pas être impactées durant le chantier. Par ailleurs, la contrainte environnementale la plus forte pour le chantier est l'interdiction d'accéder par l'amont de la buse en raison de la présence du marais de Boitray, zone plus contraignante d'un point de vue environnemental que le côté aval. Seul l'accès côté aval est donc autorisé. De plus, une période de chantier entre mai et octobre doit être respectée pour impacter le moins possible la biodiversité locale. La buse étant dans une zone très rurale et très végétalisée, aucune piste n'est présente permettant l'accès. Une phase de déboisement et d'aménagement d'une piste d'environ 400 m de long a donc été réalisée tout en évitant les zones environnementales les plus sensibles.

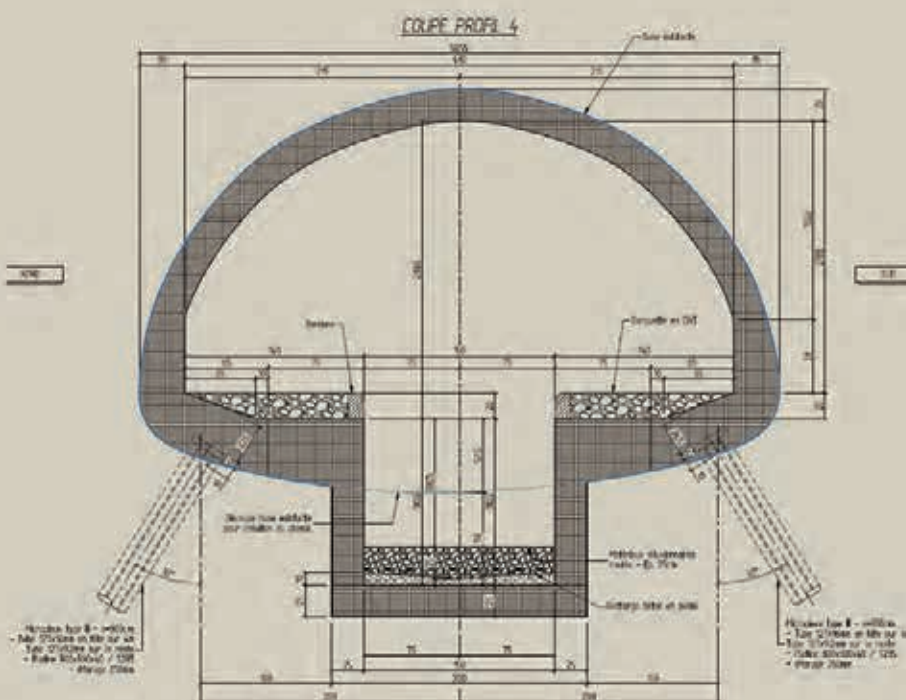
PRINCIPE DE RÉPARATION

L'objectif des travaux concerne le renforcement structurel de l'ouvrage pour remédier aux problèmes de corrosion et de déformations longitudinales, ainsi que l'abaissement de seuil pour améliorer l'écoulement du cours d'eau et permettre aussi le passage de grande faune. Cet abaissement est également nécessaire pour garder à minima la même section hydraulique de la buse qu'à l'état initial, étant donné que le renforcement réduit de fait la section hydraulique.

Le renforcement structurel est réalisé par un chemisage en béton armé. Le béton, de type RIG (Résistance Initiale Garantie), est projeté sur une épaisseur de 25 cm sur la voûte en deux passes. Les études de conception et d'exécution considèrent comme structurelle uniquement la couche de béton, sans prise en compte de la tôle métallique résiduelle de la buse existante.

En ce qui concerne l'abaissement de seuil, les travaux consistent à découper la tôle du radier et à terrasser sur une certaine profondeur pour pouvoir ensuite réaliser un caniveau en béton armé à l'axe de la buse. Pour cela, il est nécessaire de garantir la stabilité de la buse durant les phases de découpe, de terrassement et de réalisation du caniveau, l'autoroute au-dessus ne devant jamais être impactée par ces travaux. En effet, en découplant le radier, la buse, amputée de son radier sur une bonne partie de sa largeur, aura tendance à se refermer sur elle-même et à se tasser. Compte-tenu de l'exiguïté de l'environnement des travaux, la solution retenue est la réalisation de micropieux. ▸

PLAN DE COFFRAGE TYPE DES TRAVAUX



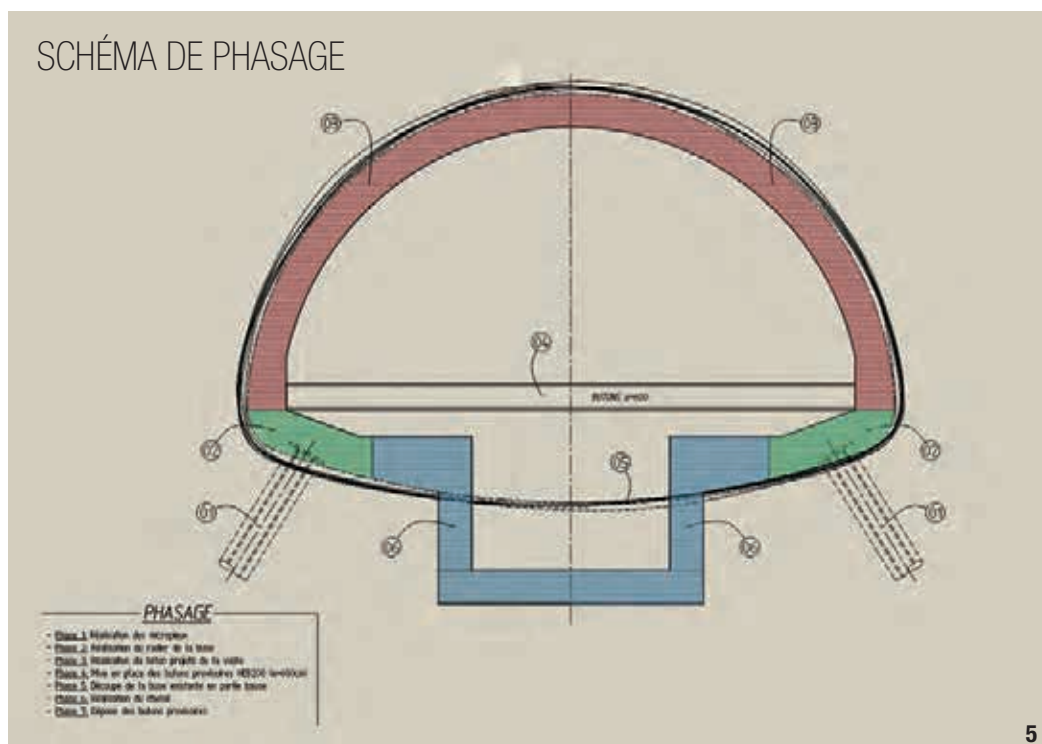
© DIADES

4

Ceux-ci, implantés dans les deux reins de la buse et de manière inclinée, permettent d'assurer le maintien de la buse transversalement (non convergence de la buse) et verticalement (non tassement de la buse).

La médiocre qualité des sols en place, mise en évidence par des sondages géotechniques réalisés depuis la plateforme autoroutière, nécessite la réalisation de micropieux de 15 m de longueur. Préalablement au chantier, des essais de traction sur 3 micropieux sont réalisés en dehors de la buse côté aval dans le cadre des convenances afin de confirmer les hypothèses des études d'exécution et les longueurs à forer car les sondages réalisés en phase "études" ont donné des résultats très hétérogènes. À l'intérieur de la buse, les micropieux sont espacés de 3 m longitudinalement (soit 56 micropieux mis en œuvre) et sont de type III, c'est-à-dire réalisés par injection globale et unitaire (IGU).

En plus de servir en phase provisoire pendant les travaux de réalisation du caniveau, ces micropieux sont également nécessaires en phase définitive pour la reprise des efforts annulaires transisant dans la buse afin d'éviter de trop grosses sections de béton et d'armatures dans les angles supérieurs du caniveau, étant donné la discontinuité du radier en forme de "U" restant favorable à une convergence de la buse. Le seuil de la buse est abaissé d'environ 70 cm avec une largeur de caniveau de 1,50 m. L'épaisseur de béton mis en œuvre pour le caniveau est de 25 cm comme pour la voûte, sauf au niveau des piédroits et des parties de radier autour des micropieux, qui atteint 30 cm et plus (figure 4).



PHASAGE DE RÉALISATION

Le phasage retenu pour réaliser les travaux dans la buse 420+320 est le suivant (figure 5) :

- 1- Réalisation de tous les micropieux ;
- 2- Réalisation des longrines de répartition au niveau des 2 lignes de micropieux ;
- 3- Réalisation du béton projeté sur la voûte sur toute son épaisseur ;
- 4- Découpe et réalisation du caniveau par plot de 6 m de longueur ;
- 5- Aménagements extérieurs et intérieurs de la buse.

L'un des objectifs de ce phasage est de pouvoir renforcer structurellement la buse avant d'entamer les travaux d'abaissement du seuil afin de s'assurer de la stabilité de l'ouvrage. Afin de s'assurer qu'il n'y a aucune convergence de la buse pendant ces travaux d'abaissement de seuil, des étais sont placés transversalement tous les 6 m,

5- Schéma de phasage.

6- Machine de micropieux à l'intérieur de la buse.

7- Vue d'un micropieu injecté.

5- Work sequencing diagram.

6- Micropile machine inside the culvert.

7- View of a grouted micropile.

diaux. Ces levés permettent de suivre les déformations de l'ouvrage lors des phases d'abaissement de seuil et potentiellement prévenir d'un risque de convergence au-delà d'un certain seuil limite à ne pas dépasser, fixé à 10 mm dans le cadre des études d'exécution. Les respirations naturelles de la buse étant mesurées par les levés topographiques, ce seuil ne doit pas être trop faible pour éviter d'avoir une fausse alarme sans toutefois être trop important pour ne pas être prévenu trop tardivement d'un risque. En cas de dépassement de la valeur seuil, un système d'étalement d'urgence est prévu pour renforcer provisoirement la buse. Dans le cas contraire, la longueur des plots terrassés peut être raisonnablement augmentée durant le phasage chantier. En ce qui concerne les aménagements extérieurs et intérieurs, il s'agit de mettre en œuvre des enrochements



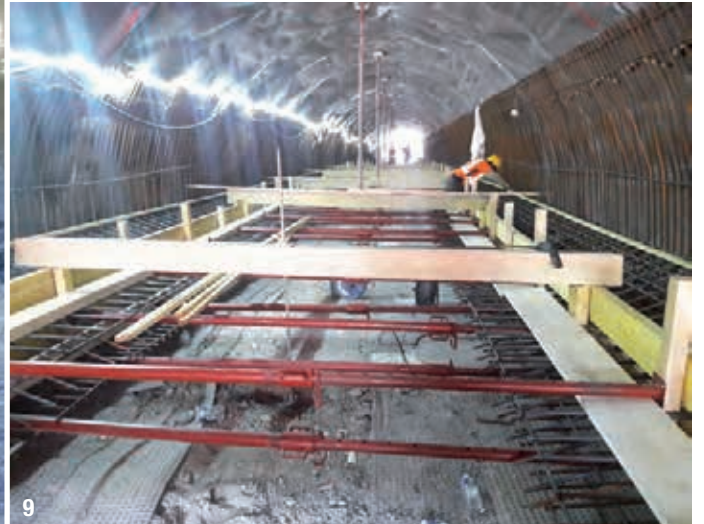
6 © DIADES



7 © DIADES



8
© DIADES



9
© DIADES

en tapis et sur berge en amont et en aval de la buse, en complément de bèches parafouilles pour éviter tout risque d'affouillement à l'avenir. Les aménagements intérieurs intègrent deux banquettes en béton, qui sont en fait les longrines de micropieu, recouvertes d'une couche de GNT délimitée par une bordure en tête de caniveau facilitant la circulation de la faune. Dans le caniveau, une couche d'alluvions est mise en œuvre pour rétablir un milieu naturel continu entre l'amont et l'aval.

RÉALISATION DES TRAVAUX

Les travaux ont été réalisés sur 9 mois cumulés sur deux années entre mai et octobre, afin de respecter les exigences environnementales dans un espace protégé. Après réalisation de la piste d'accès côté aval et la mise en place des batardeaux amont et aval avec conduite de dévoiement des eaux, les travaux commencent par les essais de traction de micropieu à l'extérieur

8- Vue intérieure après micropieux et remplissage des ondes en béton projeté.

9- Coffrage de la longrine de micropieu.

10- Longrine de micropieu réalisée.

11- Ferrailage de la voûte.

8- Interior view after micropiles and filling the corrugations with shotcrete.

9- Micropile longitudinal member formwork.

10- Completed micropile longitudinal member.

11- Roof reinforcement.

de la buse dans le cadre des conventions. Les résultats étant concluants, les micropieux sont effectués en commençant de l'amont pour finir en aval. L'accès amont n'étant pas autorisé, les différents postes du phasage présenté ci-avant évoluent dans ce sens, en marche arrière. Le gabarit limité de la buse exige l'utilisation d'une machine de micropieu parmi les plus petites sur le marché tout en étant dimensionnées pour la tâche à réaliser (15 m de long en type III). Avec cet environnement très restreint et au vu de la qualité médiocre des sols en place, les forages sont contraints d'être réalisés directement au coulis de ciment comme fluide de forage (figures 6 et 7).

Les nombreux rejets de déblais de forage avec leur évacuation régulière à l'intérieur de la buse rendent complexes les travaux à réaliser. Les travaux de micropieux ont ainsi duré 7 semaines (figure 8). Parmi les 56 micropieux, trois doivent faire l'objet d'essais stati-

ques, en plus de ceux réalisés préalablement au chantier, tirés à 90 t sans aller à la rupture pour s'assurer de la bonne tenue du micropieu réalisé dans la buse. Ces trois essais ont été concluants.

En parallèle de ces travaux, lorsque l'atelier de micropieux se trouve en aval, l'atelier de béton projeté se positionne en amont pour remplir, en temps masqué, les ondes de la tôle métallique dans le but de mettre en place un complexe drainant type "Delta PT" sur toute la circonférence de la buse, sauf au droit du futur caniveau, avant réalisation du renforcement de la buse en béton projeté.

Cette tâche réalisée, le ferrailage des longrines des micropieux commence, toujours en partant de l'amont.

Le coffrage de ces longrines suit derrière, causant un certain encombrement de la buse entre les différents postes de travail et les nombreux matériels et coffrages (figure 9). ▸



10
© DIADES



11
© DIADES



12
© DIADES



13
© DIADES

La réalisation des longrines est étudiée de façon à assurer les recouvrements d'aciers non seulement au niveau des piédroits pour la réalisation de la voûte mais aussi au niveau du futur caniveau. Pour éviter de replier les aciers pour le caniveau tout en évitant que les aciers en attente n'interfèrent dans la largeur de passage pour les engins de chantier à l'axe de la buse, l'arrêt de bétonnage des longrines doit se faire assez proche des micropieux tout en assurant un ancrage de ces derniers dans la longrine (figure 10).

Les longrines réalisées, le ferrailage de la voûte peut débuter. Les aciers de la voûte sont cintrés en usine afin de faciliter leur mise en place (figure 11). La complexité de cette phase réside dans l'amenée des cages d'armatures à l'intérieur de la buse.

À la fin du ferrailage et après des épreuves de convenance conformes du béton projeté, la projection de béton RIG par voie sèche commence (figure 12). Une importante longueur

de tuyau est mise en place pour l'approvisionnement du béton car, l'espace autour de la buse côté aval étant aménagé de façon limitée pour respecter les contraintes environnementales, le silo est assez éloigné de la buse. Pour une projection côté amont de la buse, il y a une distance entre le silo et la lance de projection de plus de 200 m. Néanmoins, le matériel utilisé permet de disposer d'une pression suffisante pour projeter le béton dans de bonnes conditions à cette distance.

La phase de projection du béton sur la voûte a duré environ 5 semaines, puis les travaux, d'abaissement de seuil ont démarré. Un état 0 de la géométrie de la buse à l'aide des cibles installées sur le béton projeté est relevé par le topographe avant de commencer la découpe. Chaque jour, ce dernier relève ces cibles et fournit les résultats le jour même afin de prévenir d'éventuels risques de convergence. Préalablement à ce suivi, l'entreprise a effectué, dans le cadre de la période de

12- Béton projeté de la voûte.

13- Abaissement de seuil en cours.

14- Ferrailage du caniveau en cours.

15- Vue du caniveau ferrailé.

12- Roof shotcreting.

13- Threshold lowering in progress.

14- Duct reinforcement in progress.

15- View of the reinforced duct.

était sableux et ne tenait pas, ceci étant accentué par la présence de la nappe à 30 cm sous la buse. Les sondages géotechniques n'ayant pas détecté de nappe au moins 6 m en dessous de la buse, l'entreprise a dû adapter ses méthodes à l'issue de ce sondage.

De ce fait, après découpe de la tôle sur un plot de 6 m, rendue déjà difficile par la présence des aciers en attente, l'entreprise met en place un système de blindage par palfeuille d'une longueur de 1,5 m pour pouvoir les ancrer dans le sol en place. Ces palfeuilles sont fichées par vibrofonçage. Après terrassement à la cote voulue du plot en question, une fine couche de béton projeté est appliquée sur ces palfeuilles pour assurer leur étanchéité afin de ne pas avoir d'eau dans le caniveau. Un rabattement de nappe est également mis en œuvre à l'aide de puisards en aval et en amont pour remédier à ces niveaux hauts de la nappe sous la buse. Pour faciliter l'approvisionnement dans la buse, il est mis en place un système

de préparation, un sondage dans la buse sur une fenêtre de 50 cm par 50 cm pour évaluer la tenue des terrains et anticiper les méthodes de terrassement du caniveau. Il s'est avéré que le terrain



14
© DIADES



15
© DIADES

de rail en clé de voûte pour l'acheminement des matériels et matériaux tels que les palfeuilles et les cages de ferrailage.

Les premiers plots sont assez difficiles à réaliser mais l'entreprise a trouvé le bon rythme au bout de quelques plots pour avancer au mieux et permettre le bon enchaînement des autres tâches. Après chaque plot terrassé, un buton de type HEB est mis en place entre les piédroits renforcés de la voûte (figure 13). De manière à optimiser le temps du chantier, le ferrailage du caniveau débute, toujours de l'amont vers l'aval, dès une moitié de buse terrassée (figures 14 et 15).

Un premier bétonnage du caniveau coulé en place a lieu sur la première moitié de la buse pour le radier du caniveau uniquement. Le camion toupie étant situé côté aval, une pression suffisante dans le tuyau est maintenue pour permettre un coulage à l'autre extrémité de la buse. Le coffrage est ensuite posé sur ce radier pour permettre le coulage des parois du caniveau. En parallèle, l'abaissement de seuil continue sur la seconde moitié de la buse, selon la même méthodologie. En définitive, les travaux d'abaissement de seuil ont duré environ 6 semaines (figure 16). Après 3 semaines de durcissement du béton, les butons sont enlevés par pianotage, toujours sous la surveillance des levés topographiques. Au final, aucune alerte n'a été donnée sur les possibles convergences de la buse, les déformées relatives tournant autour de plus ou moins 2,5 mm au maximum.

Les travaux finaux concernant les aménagements de la buse sont ensuite réalisés. Des enrochements sont notamment disposés en tapis sur 5 m de part et d'autre de la buse et ensuite



16
© DIADES

16- Vue du caniveau bétonné.

16- View of the concreted duct.

sur les berges. À l'intérieur de la buse, deux pistes en GNT de part et d'autre du caniveau sont aménagées sur les longrines béton des micropieux sur une épaisseur de 20 cm avec mise en place de bordures en rive de caniveau. Ces pistes sont ensuite raccordées

avec l'existant pour permettre l'accès à la buse. Par ailleurs, une couche de matériaux sédimentaires de 20 cm également est disposée sur le radier du caniveau pour avoir une continuité naturelle du bief. Enfin, un garde-corps fabriqué sur-mesure est monté en tête de buse de façon à suivre la courbure de la voûte.

CONCLUSIONS

Ce projet de renforcement a regroupé des problématiques techniques et structurelles dans un contexte environnemental sensible et difficile, conduisant à la réalisation d'un abaissement du seuil d'une buse métallique. Cette opération complexe et peu usuelle a nécessité la réalisation de micropieux à l'intérieur de la buse dans un environnement exigü et en présence de sols de qualité médiocre conduisant à forer à plus de 15 m de profondeur. La présence de la nappe affleurante à la buse et le risque d'instabilité de la buse lors des différentes phases de travaux ont nécessité un phasage précis.

Ces travaux, bien qu'étant une première pour l'ensemble des acteurs du projet (MOA, MOE, entreprises), se sont parfaitement déroulés, dans le respect de la zone naturelle protégée et sans compromettre la stabilité de l'ouvrage assurant ainsi l'exploitation continue et en sécurité de l'autoroute supportée.

Ces travaux ont nécessité une réflexion et des études approfondies par une maîtrise d'œuvre complète pour assurer la bonne conception et réalisation de ce renforcement particulier, ainsi que la faisabilité de ces opérations lourdes à mettre en œuvre, tout en garantissant un parfait respect des contraintes environnementales fortes. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

QUANTITÉ DE MICROPIEU : 56 u Ø 250 mm type III de 15,5 m de long

VOLUME DE BÉTON PROJETÉ : 190 m³

VOLUME DE BÉTON COULÉ : 250 m³

FERRAILAGE MIS EN PLACE : 45 t

VOLUME TERRASSÉ DANS LA BUSE : 180 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Aprr - Direction Infrastructure Patrimoine et Environnement

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Maîtrise d'œuvre études + travaux : Setec Diadès + Setec Terrasol

ENTREPRISE : Nouvetra

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :

- Réalisation des micropieux : lfr
- Réalisation du ferrailage : Npa
- Piste d'accès et enrochements : Socafi
- Bureau d'études Génie Civil : Eti
- Bureau d'études Géotechnique : Géotechnique Est

ABSTRACT

STRENGTHENING AND LOWERING THE THRESHOLD OF A STEEL WATER CULVERT UNDER THE A6 MOTORWAY

GUILLAUME PUYHAUBERT, SETEC DIADÈS - PIERRE SALOMON, SETEC DIADÈS - RENAUD LÉCONTE, SETEC DIADÈS - ÉMILIE BRUNEL, DIPE APRR

As part of the supervision of its road structures, Aprr undertook complex strengthening of a steel culvert under the A6 motorway showing damage such as corrosion and deformation, together with threshold problems. This last aspect made it necessary to cut the foundation raft, so as to lower it to restore hydraulic continuity. The solution adopted to ensure the culvert's stability was to first execute inclined micropiles in the culvert and then strengthen it with shotcrete. Once the strengthening works were performed, the culvert was able to be cut up into several sections with transverse staying to be able to then perform earthworks and construct the new lowered foundation raft in concrete. □

REFUERZO Y REBAJA DEL NIVEL DE UN TUBO METÁLICO HIDRÁULICO BAJO LA AUTOPISTA A6

GUILLAUME PUYHAUBERT, SETEC DIADÈS - PIERRE SALOMON, SETEC DIADÈS - RENAUD LÉCONTE, SETEC DIADÈS - ÉMILIE BRUNEL, DIPE APRR

En el marco del seguimiento de sus obras, Aprr ha realizado un complejo refuerzo de un tubo metálico bajo la autopista A6, que presenta alteraciones en forma de corrosión y deformaciones, unidas a problemas de nivel. Este último punto requiere cortar la losa de cimentación para rebajarla y restablecer una continuidad hidráulica. La solución elegida para garantizar la estabilidad del tubo consistió en primer lugar en realizar micropilotes inclinados en el tubo, y seguidamente reforzarlo con hormigón proyectado. Una vez terminadas las obras de refuerzo, el tubo se cortó en varios plots con escuadras transversales para, seguidamente, poder nivelar y realizar la nueva losa de cimentación de hormigón rebajada. □



1
© ARCADIS

TRAVAUX DE RÉPARATION DU PONT SUSPENDU DU MAS D'AGENAIS (47)

AUTEURS : BENJAMIN TRITSCHLER, CHARGÉ D'ÉTUDES, ARCADIS ESG -
LAURENT BONNESTEVE, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, SAS FABRE FORTINE TRAVAUX (FFT)

LE PONT SUSPENDU DU MAS D'AGENAIS (47) CONSTRUIT EN 1930 A FAIT L'OBJET D'UNE RÉVISION COMPLÈTE POUR GARANTIR LA SÉCURITÉ DES USAGERS EN FIABILISANT LA RÉSISTANCE DU SYSTÈME PORTEUR PRINCIPAL. LE TABLIER DE L'OUVRAGE, CONSTITUÉ DE 3 TRAVÉES SUSPENDUES AVEC CÂBLES DE TÊTE, A FAIT L'OBJET D'UN RECALCUL COMPLET ET SES SUSPENTES, ÉLÉMENTS LES PLUS CRITIQUES VIS-À-VIS DE LA SÉCURITÉ, ONT ÉTÉ REMPLACÉES.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont du Mas d'Agenais est situé entre les communes du Mas-d'Agenais et de Fauquierolles et il assure le franchissement de la Garonne par la route départementale RD6.

La longueur totale cumulée des ouvrages existants (franchissement de la Garonne et du canal latéral à la Garonne) est proche de 260 m.

La longueur totale de l'ouvrage de franchissement de la Garonne est de 240 m environ. Il s'agit d'un pont suspendu métallique construit en 1930

comprenant 3 travées identiques de 80 m (environ) de portée chacune.

Le tablier supporte une chaussée limitée à une seule voie de 4,50 m, bordée par deux modestes trottoirs de 0,50 m.

Les deux piles intermédiaires sont situées dans le lit mineur de la Garonne. La culée (ou pile culée) en rive gauche est implantée sur la berge en dehors du lit mineur alors que la culée située sur la berge en rive droite est implantée dans le lit mineur. Tous ces appuis sont en maçonneries.

1- Vue générale du pont réhabilité.

1- General view of the renovated bridge.

L'intrados du tablier est situé sensiblement 14 m au-dessus du couronnement des massifs de fondation, valeur qui correspond approximativement au tirant d'air au-dessus de la Garonne en période d'étiage.

Les pylônes de l'ouvrage sont en maçonnerie et sont rigides et encastrés en pied. Ils sont surmontés de chariots mobiles : selles métalliques sur rouleaux métalliques assurant la fonction d'appuis simples des câbles de suspension et limitant les efforts horizontaux en tête de pylônes. Les câbles porteurs principaux sont ancrés de chariots à chariots par le biais d'étriers métalliques. Ces chariots ont été connectés par des câbles de têtes qui augmentent la capacité de la suspension, augmentant la raideur du système de suspension vue par la poutre

2- Principe de fonctionnement en tête de pylône.

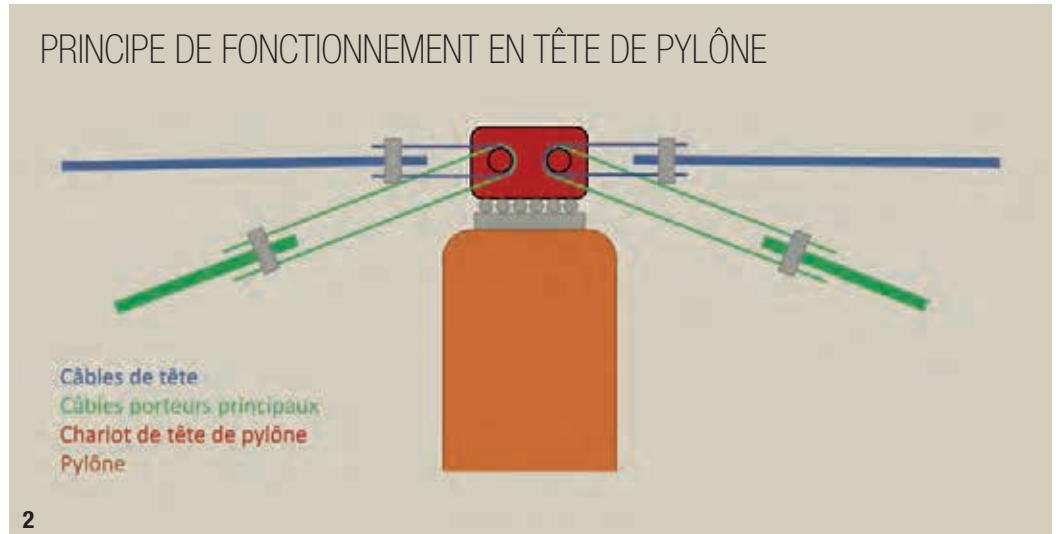
3- Ancienne attache haute de suspente.

4- Nouvelle attache haute de suspente.

2- Operating principle at the tower head.

3- Old top fastener of a hanger.

4- New top fastener of a hanger.



de rigidité. Les câbles de têtes sont rectilignes et connectent les chariots entre eux créant une ligne brisée assez rigide reliant les massifs d'ancrage à la tête de chaque pylône (figure 2).

HISTORIQUE

Le pont suspendu existant a été construit entre 1928 et 1930, en remplacement d'un ouvrage également suspendu datant de 1834-1837. Les piles et pylônes de l'ouvrage d'origine ont été

conservés. Seuls les piliers des piles-culées ont été reconstruits en béton. Le tablier a fait l'objet jusqu'en 1970 de quelques travaux secondaires tels que le remplacement des appareils d'appui ou de culots d'ancrage par exemple. On s'intéresse pour la suite de l'histoire uniquement aux éléments concernant le remplacement des câbles. En 1974, un certain nombre de câbles ont été remplacés par suite de contrôles par auscultation.

En 1976, la rupture d'un câble parabolique porteur (aval, travée rive droite) a conduit au remplacement de tous les câbles assurant la suspension qui ne l'avaient pas été en 1974 (hors les câbles de tête).

L'étude réalisée en 1987 sur la fragilité au froid des suspentes conduit à une interdiction totale de circulation pour des températures inférieures à -15°C (PL interdits à partir de -10°C).

En 1991, le pont suspendu a fait l'objet d'une remise en peinture.

En 1997-98, remplacement des câbles de tête (par câbles 6T15 galvanisés, gainés graissés). Des épreuves de l'ouvrage ont alors été réalisées.

On notera donc que les câbles porteurs, ainsi que les câbles de tête ont tous été remplacés : ils sont a priori tous galvanisés.

L'ouvrage a été limité en charge à 15 t à partir de 1972. ▷



VUE 2D DU MODÈLE DE CALCULS AUX GRANDS DÉPLACEMENTS



5

ABSENCE DU MOMENT DE FLEXION DANS LA POUTRE DE RIGIDITÉ APRÈS RÉGLAGE



6

FIGURES 4 & 5 © ARCADIS

Par recalculs d'expertise, l'ouvrage, limité par la résistance des poutres de rigidité, a tout d'abord été jugé limité à 12 t puis, par l'augmentation de la tension dans les câbles de tête, a été reclassé par le calcul à une limitation à 19 t.

Ce sont les désordres et la mauvaise évolution du système d'attache des suspentes qui conduisent à une limitation à 3,5 t en 2013.

CONSISTANCE DES TRAVAUX

Les travaux prévus ont pour objectif de fiabiliser l'ouvrage en redonnant de la sécurité au système de suspension dont le maillon faible était alors les suspentes et principalement leur système d'attache aux câbles porteurs.

Les suspentes de rives des travées de rives sont supprimées : elles étaient ancrées directement sur les étriers d'ancrage des câbles porteurs en tête de pylônes.

Le système de fixation est épuré de manière à limiter les pièges à eau et à fiabiliser les risques de glissements. Le projet consiste notamment à remplacer le système de fixation haute de la suspente, faisant initialement intervenir des étriers et un chevêtre inférieur (figure 3), par un chevêtre supérieur s'appuyant directement sur la nappe de câbles (figure 4). Cette solution plus robuste permet notamment d'augmenter la surface d'appui et de réduire les pressions locales sur le câble. Cette disposition doit améliorer la durabilité du câble et de son système anticorrosion. Enfin, en complément du remplacement des 150 suspentes de l'ouvrage, des travaux sur les superstructures sont également prévus comprenant la réalisation d'une étanchéité, la réfection des

enrobés et des joints de chaussée, la création d'avaloirs pour eaux pluviales supplémentaires ainsi que la réparation des trottoirs en béton et la mise en œuvre d'un système d'étanchéité liquide.

ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution sont menées par Arcadis dans un cadre réglementaire compatible avec les dernières publica-

tions du Cerema : vérification des éléments suivant les Eurocodes et charges appliquées conformes au règlement français. Cependant, les charges retenues sont adaptées en recourant à un document provisoire des années 1980 sur les ouvrages à portance limitée, qui demeure à l'heure actuelle le seul texte de référence pour vérifier les ouvrages affectés d'une limitation de tonnage. La suspension de l'ouvrage ayant été

5- Vue 2D du modèle de calculs aux grands déplacements.

6- Absence du moment de flexion dans la poutre de rigidité après réglage.

7- Système de détension des anciennes suspentes.

5- 2D view of the large displacement calculation model.

6- Absence of bending moment in the stiffener beam after adjustment.

7- Stress relief system of the old hangers.



7
© FFT

modifiée (avec notamment la suppression des suspentes de rive), celui-ci a fait l'objet d'un recalcul complet.

Le recalcul concerne les poutres de rigidité, l'intégralité du système de suspension ainsi que le hourdis qui voit son fonctionnement modifié là où les suspentes sont supprimées.

La flexion générale de l'ouvrage a été étudiée sur un modèle 2D intégrant des éléments de type barres et câbles, en considérant les instabilités géométriques et les grands déplacements avec le logiciel Robot Structural Analysis (figure 5). Le recours à un modèle 3D ici n'est pas nécessaire, les besoins de calculs complémentaires sont traités à part par des logiciels dédiés.

Le réglage du modèle consiste à retrouver l'état réglé existant sous charges permanentes. La géométrie modélisée, déformée sous poids propre, doit alors correspondre à la géométrie de réglage. Dans ce cas, le modèle correctement réglé présente la bonne déformée (déformée réelle issue d'un relevé géométrique précis), une isotension dans les suspentes, la tension de réglage des câbles de tête, une absence de moment de flexion global dans la poutre de rigidité (figure 6). La connaissance de la température au moment du levé géométrique et au moment du réglage (ou pesage) des câbles de tête est indispensable au bon réglage du modèle. La phase de réglage est la phase la plus délicate pour l'élaboration du modèle de calcul.

De manière à ne pas perdre de précision quant aux combinaisons, il a été retenu de ne pas faire de combinaisons linéaires sur un système quoique faiblement non linéaire une fois réglé. Ainsi, chaque cas de charge modélisé est un cas intégrant les effets du réglage et les effets des charges combinées. Cette méthode augmente considérablement le nombre de cas de charges à étudier, mais les temps de calculs restent acceptables, notamment grâce au choix retenu du modèle 2D et non 3D.

La vérification finale des éléments et notamment de la poutre de rigidité a été réalisée en post-traitement notamment à l'aide de la bibliothèque d'outils du CTICM (LTBeamN notamment pour la vérification au déversement).



8
© FFT

8 & 9- Système de mise en tension des nouvelles suspentes.

8 & 9- Tensioning system of the new hangers.

PHASAGE ET CALENDRIER DES TRAVAUX

Les travaux ont été réalisés par les équipes de l'entreprise Fabre Fourtine Travaux (Fft) sise à Beaucens (65). Le calendrier des travaux prévoyait deux phases distinctes de travaux et

des périodes de réouverture à la circulation routière entre les travaux.

La première phase était consacrée au remplacement des suspentes (mi-mai à mi-novembre 2019) avec une interruption des travaux pour la période estivale (août 2019).

La deuxième phase (mars à juin 2020) permettait les travaux de superstructures. Le passage des ateliers et engins lourds pour la réfection des couches de roulement ne pouvait se faire que si les suspentes avaient été au préalable remplacées.

La remise en circulation sur la période estivale était très attendue par l'ensemble des riverains et l'entreprise Fft a proposé au maître d'ouvrage (Conseil

Départemental du Lot et Garonne) une remise en circulation pour les mois de juillet et d'août. Ce changement de planning a permis une meilleure optimisation du calendrier des travaux. Les mois de mai et juin 2019 ont pu permettre à l'entreprise Fft de réaliser les travaux d'entretien des selles mobiles sur pylônes, des appareils d'appuis, ainsi que tous les travaux préparatoires au remplacement des organes de suspension tels que le décapage des attaches basses solidaires du tablier, le diagnostic et le pesage des suspentes ou encore l'installation de câbles de travail qui serviront ultérieurement à la manutention de pièces lourdes. Par ailleurs les délais de fabrication des nouvelles pièces de la suspension ne permettaient pas d'envisager un remplacement partiel des suspentes avant une réouverture estivale. En effet, la règle évidente était connue de tous les intervenants : l'ouvrage ne peut être ouvert à la circulation que si chacune des anciennes suspentes ayant été démontées avait été remplacée.

Ainsi la période estivale a permis aux différents fournisseurs de l'entreprise de réaliser les nouveaux chevêtres, rotules, suspentes et étriers et c'est ainsi qu'au lendemain de la rentrée scolaire l'entreprise Fft débutait les travaux de dépose des anciennes suspentes dans la limite maximale d'une suspente sur deux.

DES MOYENS D'ACCÈS PERFORMANTS

L'entreprise Fft a adapté les moyens d'accès et de levage à la géométrie de l'ouvrage et aux tâches à réaliser. Rompu aux travaux en site difficile d'accès, l'entreprise a eu recours à la fois à des nacelles automotrices, à des échafaudages roulants et aux travaux sur cordes.

REPLACEMENT DE LA SUSPENSION

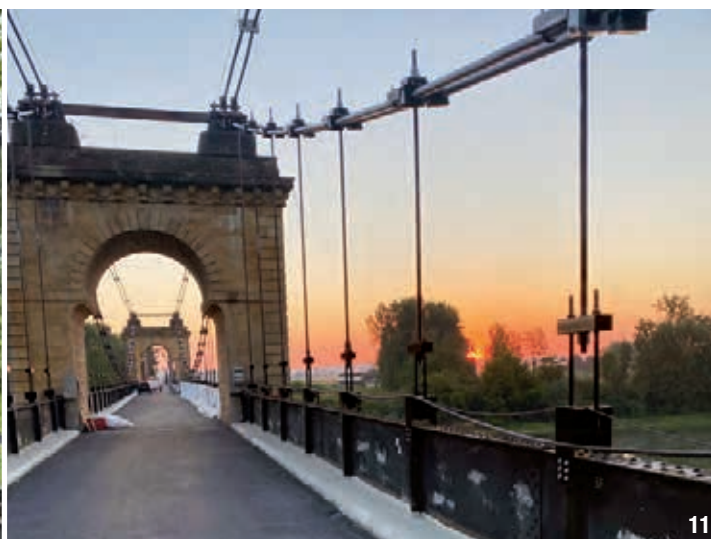
La dépose des anciennes suspentes n'a pu débuter qu'après une phase de diagnostic sur l'état de la suspension afin de repérer les anciennes suspentes qui présentaient un état de dégradation avancée (corrosion excessive) et pour lequel le report de charges induit par le démontage des suspentes adjacentes aurait pu entraîner un effet de rupture en chaîne. Des mordaches provisoires à usage de butée anti-glissement ont également été mises en œuvre pour sécuriser l'ouvrage pendant cette phase (figure 3).



9
© FFT



10
© FFT



11
© FFT

Le démontage des anciennes suspentes est réalisé par un système de vérin hydraulique permettant une détension progressive et complète de la suspenste avant d'entreprendre la découpe des étriers pour un retrait rapide de l'ensemble des composants (figure 7). Malgré une apparente ressemblance d'une travée à l'autre, la géométrie des nappes de câbles porteurs présentait des différences notables conduisant l'entreprise Fft et le bureau d'études Arcadis à proposer finalement 4 types de suspentes :

- Suspentes renforcées aux extrémités de l'ouvrage compte tenu de la suppression des anciennes suspentes de rive prises sur les étriers des câbles porteurs ;
- Suspentes courantes ;
- Suspentes dites "courtes" avec la suppression du chevêtre inférieur et de la barre ;
- Suspentes dites "resserrées" avec une géométrie plus compacte que les suspentes courantes.

L'installation des nouvelles suspentes s'est faite avec des outils comparables à ceux utilisés pour le démontage.

Le nombre et la capacité des vérins ont été adaptés à la géométrie de la suspenste.

RÉGLAGE DE LA SUSPENSION

Le réglage final de la suspension a été réalisé à l'issue des travaux de réfection des enrobées puisque ces derniers étaient de nature à modifier sensible-

**10 & 11-
Vue générale.**

**10 & 11-
General view.**

ment les charges permanentes de l'ouvrage.

Un pré-réglage de l'ouvrage avait néanmoins été réalisé pour permettre la réouverture de l'ouvrage entre les deux grandes phases de travaux.

Compte tenu qu'il s'agit d'un ouvrage ancien dont la géométrie du tablier au moment de sa construction ne peut être déterminée avec précision, le choix a été fait de réaliser un réglage de la suspension par équi-pression.

Chacune des suspentes ne devait pas présenter des écarts de tension supérieurs à +/- 5% par rapport à une tension théorique préalablement déterminée par pesage de chacune des fermes. Des critères relatifs au nivellement du tablier ont également été introduits avec la définition de courbes enveloppes hautes et basses afin de respecter la géométrie des tabliers avant travaux. La tension d'une suspenste, sous charges permanentes, était légèrement inférieure à 10 t. Les systèmes de vérinage ont été choisis et conçus pour travailler avec des pressions hydrauliques mesurables avec la précision exigée par ce type de travaux (figures 8 et 9). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DES TRAVAUX : 1 027 k€ HT

- Remplacement de la suspension : 560 k€ HT
- Travaux de superstructures : 240 k€ HT
- Protection anti-corrosion : 102 k€ HT

DURÉE DES TRAVAUX : 9 mois

SUSPENTES : 150 suspentes remplacées

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE :
Conseil Départemental du Lot et Garonne (CD47)
ENTREPRISE : Fabre Fourtine Travaux (Fft)
INGÉNIERIE : Arcadis Esg

ABSTRACT

REPAIR WORK ON THE MAS D'AGENAI'S SUSPENSION BRIDGE

BENJAMIN TRITSCHLER, ARCADIS ESG -
LAURENT BONNESTEVE, SAS FABRE FOURTINE TRAVAUX (FFT)

The Mas d'Agenais suspension bridge crossing the Garonne River consists of three 80-metre spans with end cables. The design and state of conservation of this structure were judged risky with regard to the hangers. Traffic was restricted on the bridge (tonnage limits) pending the work campaign to improve the reliability of its structure. The work campaign, based on a complete redesign of the deck, consisted mainly of replacing all the 150 hangers and completely adjusting the bridge suspension system. □

OBRAS DE REPARACIÓN DEL PUENTE COLGANTE DE MAS D'AGENAI'S (47)

BENJAMIN TRITSCHLER, ARCADIS ESG -
LAURENT BONNESTEVE, SAS FABRE FOURTINE TRAVAUX (FFT)

El puente colgante de Mas d'Agenais (47) es un puente colgante que cruza el Garona, formado por tres luces de 80 m con cables de conexión. El diseño y el estado de conservación de esta construcción presentaban riesgos en el suspentaje. Se restringió la circulación (limitación del tonelaje) a la espera de una campaña de obras de fiabilización de su estructura. El proyecto, basado en un recálculo completo del tablero, consiste principalmente en la sustitución de las 150 líneas de suspentaje y un ajuste completo de la suspensión del puente. □

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 - 75739 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



Podcast : Immersion chantier



En haut : travaux de
confortement et de sécurisation
des voies d'accès à la Vésuble
suite à la tempête Alex
d'octobre 2020

Matelas Reno Plus X-Ties, Gabions double torsion,
Remblai renforcé Terramesh® Vert
Géonilles ParaGrid®