

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES. TOUR AURORE - PARIS LA DEFENSE. VIPP DE CHATEAU ROUGE A MARCQ-EN-BARŒUL (59). PONT DE SAINTE-ROSE, LA REUNION. VIADUC DE PONT D'OUICHE SUR L'A6. VIADUC DE BONPAS SUR LA DURANCE. PONT SUSPENDU DE BONNEUIL-MATOURS (86). VIADUC DES ROCHERS NOIRS EN CORREZE. PROTECTION CONTRE LES EBOULEMENTS ROCHEUX DE LA RD 900 (04). RENFORCEMENT DES FONDATIONS DE PYLONES HAUTE TENSION

N° 992 DÉCEMBRE 2023



LE PONT ROMAN
DE QUÉZAC, DANS
LE PARC NATIONAL
DES CÉVENNES
EN LOZÈRE
© ALAIN ZIND





En 2023,
votre assureur unit
toutes ses forces sous
une nouvelle identité



Retrouvez tous nos produits
d'assurance sur smabtp.fr



**VOTRE ASSUREUR
PARTENAIRE**

Directeur de la publication
Alain Grizaud

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

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

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

Service Abonnement et Vente
TBS GROUP

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

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

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

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

Site internet : www.revue-travaux.com

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

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

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

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

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



FAIRE ŒUVRE UTILE



© DR

La bonne maintenance des ouvrages de génie civil des infrastructures de mobilité est une œuvre utile pour de multiples raisons :

- Il en va de la compétitivité de la France pour les infrastructures les plus structurantes à l'échelle nationale et régionale ;
- Pour les infrastructures plus modestes qui irriguent le territoire elle contribue à lutter contre les fractures territoriales ;
- Elle permet de mettre à disposition des usagers des infrastructures sûres et fiables ;
- Elle contribue à contenir la dette grise dans des limites soutenables par les générations futures ;
- Sur le plan environnemental, entretenir les ouvrages c'est lutter contre leur obsolescence et aller résolument dans le sens de la sobriété car entretenir et réparer prolonge la durée de vie et s'avère moins impactant que de reconstruire prématurément un ouvrage ;
- Elle contribue à améliorer la résilience des ouvrages au changement climatique.

L'effondrement, le 14 août 2018, du pont Morandi de Gênes a été le déclencheur de la prise de conscience que les effondrements d'ouvrages affectent aussi les pays développés. Une mission sénatoriale sur la sécurité des ponts a été mise en place, les mots employés sont forts, il s'agit de mettre en place "un véritable plan Marshall pour les ponts". Le Conseil général de l'Environnement et du Développement durable a été sollicité par les ministères concernés pour, notamment, évaluer les compétences et les moyens humains nécessaires. Les rapports successifs de l'Observatoire National de la Route

piloté par l'IDRRIM montrent que cinq ans plus tard il n'y a pas encore de résultat tangible, l'état du parc d'ouvrages ne s'est pas amélioré.

La réparation n'est que la dernière étape du processus de maintenance, c'est probablement une des raisons de ce constat. La première étape, très basique, consiste à recenser les ouvrages, l'objectif étant que chaque ouvrage ait un propriétaire et, le cas échéant, que le rôle de chaque partie prenante soit clairement défini par des conventions. La loi dite "Didier" de 2014 va dans ce sens. Entre ces deux étapes extrêmes se succèdent les actions de surveillance, d'analyses des informations recueillies, puis, le cas échéant, de diagnostics approfondis, puis d'études de réparation.

Gérer un parc d'ouvrages est un véritable métier, complexe, qui nécessite de pouvoir mobiliser des compétences très diverses. Construire un nouvel ouvrage n'est pas toujours facile, cependant l'objectif est clair, alors que bien réparer un ouvrage s'avère souvent plus complexe, tout simplement parce qu'il ne s'agit pas d'agir seulement sur les désordres visibles, il faut en comprendre les causes profondes et les traiter.

Les différents acteurs se structurent et s'organisent, que ce soient les écoles, les organismes de formation, les bureaux d'ingénierie ou les entreprises. Les nouvelles technologies, le numérique et l'intelligence artificielle vont permettre l'émergence de solutions adaptées aux besoins et ressources des différents gestionnaires afin qu'ils puissent établir l'inventaire des ouvrages et assurer leur surveillance. Cela nécessitera probablement des évolutions des référentiels afin de les adapter aux véritables enjeux, d'agir avec pragmatisme pour que chacun des quelques 250 000 ponts français puisse être inventorié, surveillé et, si nécessaire, faire l'objet des travaux adéquats.

Le comité génie civil de l'IDRRIM qui fédère l'ensemble des acteurs publics et privés de la communauté des infrastructures de transport est un lieu d'échange privilégié qui apporte sa contribution pour faire en sorte que chaque ouvrage soit connu, surveillé et maintenu en bon état afin que les ouvrages de génie civil ne soient pas le maillon faible des infrastructures de mobilité.

MICHEL TRAINS
PRÉSIDENT DU COMITÉ GÉNIE CIVIL DE L'IDRRIM



MAINTENANCE DES INFRA- STRUCTURES

PONT DE BAZILLES-SUR-MEUSE, DANS LES VOSGES © CEREMA



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
ÉMILIE JEANNESSON-MANGE**
CEREMA -
CONNAÎTRE ET ENTREtenir
LES PONTS COMMUNAUX

**24 SAERT - GÉNIE CIVIL, OUVRAGES D'ART
ET ÉQUIPEMENTS ROUTIERS :
TRIPLE CERTIFICATION**

32

**TOUR AURORE -
PARIS LA DÉFENSE**
Réhabiliter et surélever
pour mieux réemployer
le bâti existant

40

**RÉPARATION DU VIPP
DE CHÂTEAU ROUGE**
sur le Grand Boulevard
à Marcq-en-Barœul (59)

46

**RESTAURATION DU PONT
DE SAINTE-ROSE,
LA RÉUNION**
À l'est de l'île, du nouveau
pour un ouvrage ancien

52

**LE BFUP À L'ÉPREUVE
SUR LE VIADUC
DE PONT D'OUCHE**
sur l'autoroute A6

60

**RENFORCEMENT
DU VIADUC DE BONPAS**
sur la Durance

66

**RÉHABILITATION
DU PONT SUSPENDU
DE BONNEUIL-MATOURS (86)**

72

**RESTAURATION DU VIADUC
DES ROCHERS NOIRS (19)**

78

**PROTECTION CONTRE
LES ÉBOULEMENTS
ROCHEUX**
de la RD 900 sur le secteur
de la Rochaille (04)

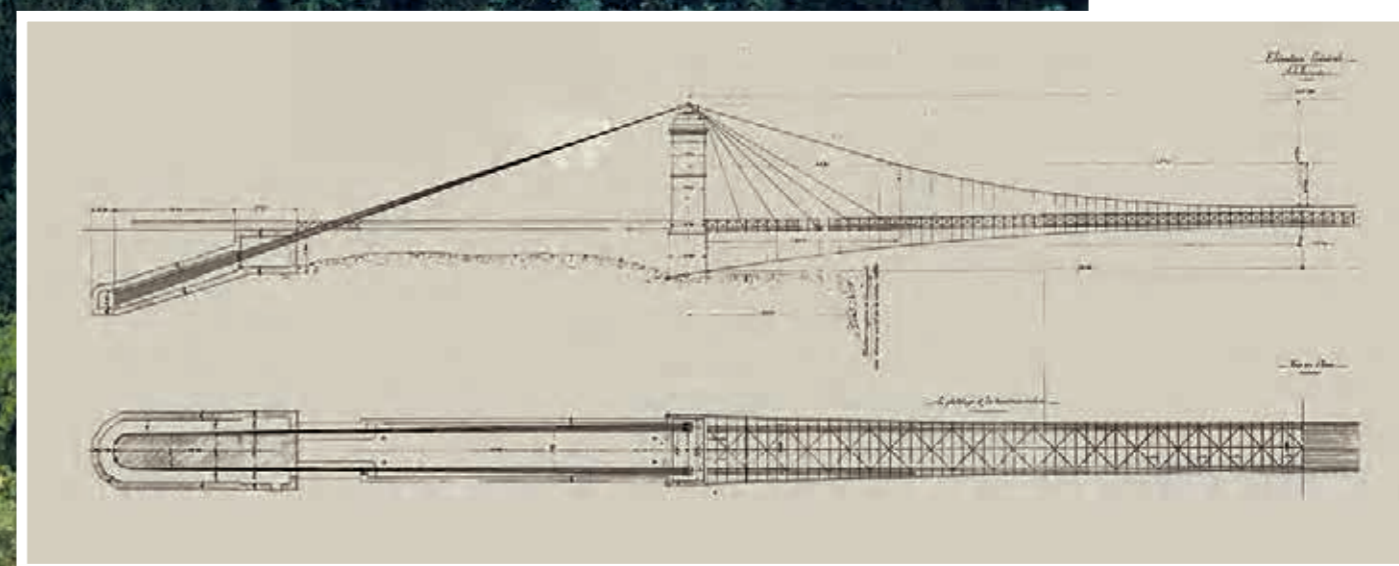
84

**RENFORCEMENT
DES FONDATIONS DE
PYLONES HAUTE TENSION**
au tunnel du Fréjus

RESTAURATION ACROBATIQUE DU PONT ARNODIN DE SAINTE-ROSE FIDÈLE À L'ORIGINAL MALGRÉ UN SIÈCLE D'ÉCART

Freyssinet a réalisé la déconstruction et la reconstruction du tablier et de la suspension du pont de Sainte-Rose à la Réunion, un ouvrage Arnodin de 1894, d'une portée de 150 m, au-dessus d'une brèche interdisant tout accès par dessous. Une cinématique de grande précision nécessitant des équipements de manutention spécifiques, notamment un blondin de forte capacité, ont permis la dépose et la pose des câbles, des suspentes et des tronçons du tablier.

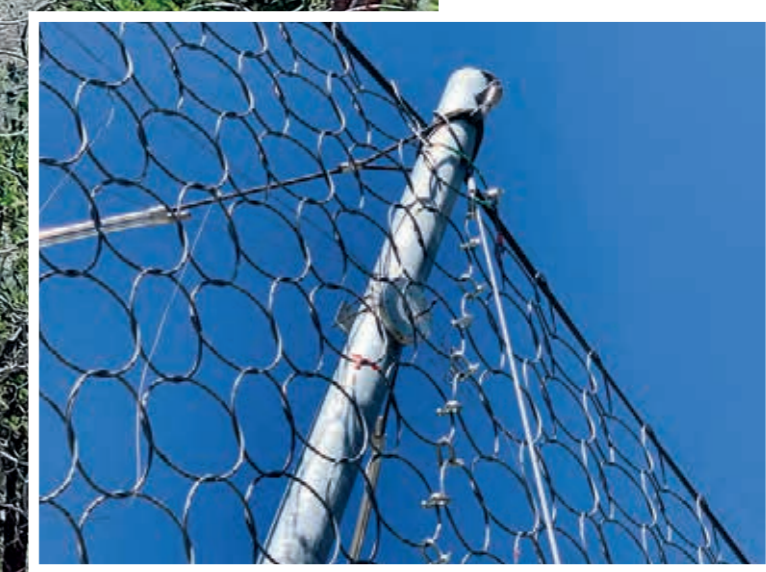
(Voir article page 46).





**SECTEUR DE LA
ROCHAILLE SUR
LA ROUTE DU
COL DE LARCHE
TECHNOLOGIE DE
POINTE CONTRE
LES CHUTES DE
PIERRES**

Epc France et Géolithe ont mis en œuvre une technologie Maccaferri pour protéger des chutes de pierres la route départementale du col de Larche entre la France et l'Italie. Le dispositif fourni par Maccaferri France allie des structures de protection de pointe, des systèmes de détection sophistiqués et une planification méticuleuse. (Voir article page 78).



L'INNOVATION AU SERVICE DES ROUTES ET DES RUES

Pour son édition 2023, l'appel à projets d'innovation "routes et rues" a distingué de nouvelles solutions destinées aux infrastructures de transport. Ces innovations pourront être testées et validées en conditions réelles, à travers des chantiers de démonstration. À noter que trois procédés distingués concernent un enrobé bitumeux bas carbone intégrant un liant végétal.



© COLAS

"Vegeroad" de Colas, ici posé route du Vernay à Combloux (74), est dans la liste des innovations retenues.

L'édition 2023 de l'appel à projets d'innovation "routes et rues", était consacré cette année aux enjeux de transition écologique dans les infrastructures de transport. Décerné par le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, en association avec l'IDRRIM et le Cerema, et co-labelisé par l'Agence pour l'innovation dans les transports, cet appel à projets encourage la validation d'innovations à travers des chantiers de démonstration en conditions réelles. Un suivi de l'application concrète

de ces nouvelles solutions est effectué par un comité scientifique et technique du ministère de la transition écologique (Cerema, Université Gustave Eiffel et le Centre d'étude des tunnels). Un programme test ou de mesures permet d'évaluer de manière objective les apports de ces innovations. Pour la session 2023, moins d'une dizaine d'entreprises lauréates ont été retenues pour des projets à caractère innovant.

→ Liant d'apport végétal

C'est ainsi qu'Eiffage Route a été distin-

guée pour Carbon Light un enrobé bitumeux bas carbone qui intègre un liant végétal, coproduit de la sylviculture et de l'industrie papetière française, dont la fabrication se fait à température tiède. Ce liant d'apport végétal est associé au bitume classique, mais dans des proportions qui permettent de neutraliser l'impact carbone du bitume. En effet, cette solution permet de diminuer l'impact CO₂ de près de 30 % par rapport à un enrobé traditionnel. Colas, avec Vegeroad, fait aussi partie de la liste des entreprises

retenues. Elle propose, le même type d'innovation que Vinci, à savoir une gamme d'enrobés réalisés à base d'un liant bitumineux contenant des composants d'origine végétale. Cette innovation induit une "captation" de dioxyde de carbone et entraîne aussi une réduction des gaz à effet de serre par rapport à une solution traditionnelle d'enrobés à chaud. Un autre projet comparable initié par NGE Route a été distingué. Destinée à la réalisation d'enduits superficiels d'usure, il développe une émulsion mixte, bitume et liant biosourcé dosé à hauteur de 15%.

→ Impact carbone réduit

Le procédé Freyssistents Plus® répond à la problématique de mise en sécurité et de renforcement des buses métalliques endommagées. Il présente l'intérêt de mettre en sécurité la buse à l'avancement. Cette mise en sécurité est ensuite finalisée par une réparation (béton projeté) pérenne sans autre intervention sur l'ouvrage.

Cette intervention depuis l'intérieur de l'ouvrage, sans perturber la circulation au-dessus, est très intéressante pour le maître d'ouvrage. Le système d'étanchéité Cobium pour les ouvrages souterrains fait aussi partie de la liste des projets retenus. Cette coque ultramince (2 cm) assure ainsi une étanchéité totale, appliquée par projection sur la surface intérieure d'une voûte ou d'un arc et adaptable à toutes les géométries d'ouvrages et à tout type de support en béton ou maçonnerie. Et enfin Freyssinet France propose un "coulis d'injection bas carbone" un produit de remplissage sans ciment développé en collaboration avec l'Université Gustave Eiffel. Cette solution est une alternative au coulis de ciment pour faciliter et maîtriser les opérations d'injection des armatures de précontrainte, avec un impact carbone significativement réduit. ■

PRIX DE L'ARCHITECTURE ACIER : LE PONT SEIBERT RÉCOMPENSÉ

Le groupement d'architectes RCR Architectes, prix Pritzker 2017, et l'agence AEI a été récompensé, lors de la huitième édition de la Steel.in, la cérémonie de remise des prix de l'architecture acier, organisée par ConstruireAcier. Cette distinction dans la catégorie

"franchir" concerne la réalisation du pont Seibert à Boulogne-Billancourt, qui a été mis en service début 2023.

Cet ouvrage mixte qui relie l'île Seguin - ancien site historique des usines Renault - au Bas-Meudon est désormais reconstruit.

Ce pont métallique de plus de 2000 tonnes d'acier est constitué de deux travées.

La première travée, en bow-string, enjambe la Seine sur 100 m environ, tandis que la seconde, d'une longueur de 50 m au-dessus de la RD7 s'appuie, côté

Meudon, sur les deux béquilles et une culée construites à cet effet.

Le coût de sa construction s'élève à 41,5 M€ HT, financée par la ville de Boulogne-Billancourt et la SPL Val de Seine Aménagement ainsi que par le département des Hauts-de-Seine. ■

LES RER MÉTROPOLITAINS ENGAGÉS SUR DE BONS RAILS

Députés et sénateurs ont trouvé, le 8 novembre, un compromis en commission mixte paritaire, sur la proposition de loi qui concerne le développement des RER métropolitains, dans une dizaine de villes de France. L'adoption du texte de loi doit intervenir avant la fin 2023 à l'Assemblée nationale. Côté Sénat la date n'est pas encore connue. Le texte donne un cadre juridique à ces Services express régionaux métropolitains (Serm) qui comprennent, à l'initiative des sénateurs, les transports ferroviaires bien sûr mais aussi le covoiturage, les réseaux cyclables ainsi que les cars express. La Société du Grand Paris, rebaptisée Société des grands projets, a vu ses missions élargies pour mettre sur les rails 10 RER métropolitains à l'échéance 2033. Quelles

villes sont concernées ? Le texte ne donne pas de liste nominative, mais Bordeaux, Grenoble, Lille, Lyon, Marseille, Metz, Nantes, Rennes, Rouen et Toulouse sont les métropoles régionales le plus souvent citées. Bordeaux, Lille ou Grenoble ont d'ailleurs déjà des projets en cours.

→ Incertitudes sur le plan de financement

Dans le jargon législatif, les députés et sénateurs sont tombés d'accord pour garantir " l'interopérabilité des services d'information des voyageurs et de la billetterie". Cela signifie la mise en place d'un billet unique dans les transports collectifs publics entrant dans le périmètre d'un service express régional métropolitain.

Lors des déplacements intermodaux, ce dispositif doit améliorer la qualité de service proposée par les Serm.

Une autre mesure adoptée concerne les zones à faible émission, qui ne seront plus conditionnées au lancement d'un RER métropolitain, comme prévu préalablement. Une conférence de financement des Serm est aussi actée et sera organisée avant le 30 juin 2024. En effet, des incertitudes sur le plan de financement de ces infrastructures demeurent.

Emmanuel Macron a confirmé en septembre dernier, un engagement à hauteur de 800 M€ pour lancer " 13 projets" de RER métropolitains, alors que le conseil d'orientation des infrastructures chiffre ces projets à hauteur 15 et 20 Mds€. ■



© TER HAUTS-DE-FRANCE

Avec le futur service express métropolitain Lillois, un train toutes les 10 minutes, relierait la capitale du Nord à Douai.

LES TRAVAUX PUBLICS EN CROISSANCE, AU TROISIÈME TRIMESTRE

Selon le bulletin conjoncturel, la FNTP constate une consolidation du marché au 3^e trimestre 2023, avec une progression de l'activité en volume 7,8% par rapport à la même période que l'année précédente. Le montant des marchés conclus croît aussi de 5,3% à cette période et de 13% de janvier à fin septembre en évolution sur un an. Mais cette croissance des marchés conclus est disparate. En effet, si le génie civil et l'énergie participent à une bonne dynamique, la fédération observe une faible

demande dans l'industrie routière, mais aussi des disparités existent entre les territoires. Le volume des heures travaillées est en légère hausse rapport à la même période de 2022 (+0,4%) mais connaît une baisse par rapport au trimestre précédent (-1,4%). Les heures d'intérimaires chutent de 7,8%. L'enquête trimestrielle d'opinion FNTP/INSEE⁽¹⁾ sur le climat des affaires au 3^e trimestre 2023, montre que l'opinion des entrepreneurs de Travaux publics sur leur activité est plus positive que sur la

période précédente. En effet, l'évolution des prises de commandes est jugée plus favorable et les perspectives à court terme du climat des affaires s'améliorent légèrement même si des inquiétudes demeurent, notamment par rapport aux évolutions à venir de leurs effectifs. ■

⁽¹⁾ Enquête réalisée auprès d'un échantillon représentatif d'environ 2 000 entreprises, interrogées en janvier, avril, juillet et octobre au titre de l'enquête trimestrielle de conjoncture dans les Travaux Publics, réalisée conjointement par la Fédération Nationale des Travaux Publics et l'INSEE.

CONVERSION DU CENTRE OPÉRATIONNEL DE BUS D'AUBERVILLIERS AU BIOGAZ

La conversion des centres opérationnels de bus à l'électrique et au biogaz est en cours de déploiement. Depuis cette rentrée, 40 centres ont été convertis et plus d'une trentaine vont suivre dans les mois à venir. Le plus grand dépôt de bus exploité par la RATP pour Île-de-France Mobilités, situé à Aubervilliers, a récemment été inauguré. Les travaux, démarrés en 2021 et achevés en septembre 2023 ont permis d'installer 97 postes de charge lente, 4 postes de charge rapide, une station de compression et une installation de stockage pour alimenter les charges rapides. La conversion de ce centre opérationnel bus, qui regroupe 12 lignes, représente un coût financier de 19,3 M€, pris en charge par Île-de-France Mobilités. Ce site accueille actuellement 100 bus au bioGNV, qui est une énergie 100% renouvelable produite localement à partir de déchets organiques issus de l'industrie agro-alimentaire, de la restauration collective, de déchets agricoles et ménagers, ou encore de boues de stations d'épuration.

Le déploiement de ces nouveaux véhicules se poursuivra jusqu'à mi-2024. L'objectif est d'avoir, d'ici 2025 à Paris et en petite couronne et d'ici 2029 en grande couronne, 100% du parc d'Île-de-France Mobilités constitué de véhicules plus propres, dont 70% circuleront au BioGNV, soit plus de 7 000 bus et cars.



© ÎLE-DE-FRANCE MOBILITÉS

La conversion au biogaz a fait l'objet d'une campagne d'affichage sur les bus de la ligne 35 "Mairie d'Aubervilliers - Gare du Nord".

ACCÉLÉRER L'ENFOUISSEMENT DES LIGNES ÉLECTRIQUES

Les tempêtes Ciaran, Domingos, les inondations sans fin dans le Pas-de-Calais... rien qu'au mois de novembre 2023, les épisodes météorologiques ont été particulièrement nombreux et dévastateurs. Ces déferlements de pluie et de vent ont mis à mal la distribution publique d'électricité.

La Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), a souhaité rappeler l'importance pour les collectivités locales, propriétaires des réseaux basse et moyenne tension, aux côtés des gestionnaires de réseaux, de financer et accélérer les travaux d'enfouissement des lignes. « Au regard des enjeux de résilience des services publics essentiels, et dans un contexte de dérèglement climatique, les réseaux publics de distribution doivent être de plus en plus robustes afin de garantir l'alimentation des usagers. Le taux actuel de réseaux enfouis doit s'accroître, estimé à environ 50 %, il doit passer rapidement à 70 %, en priorité dans les zones les plus sensibles. » considère les membres de l'organisation professionnelle. Celle-ci plaide pour que les autorités organisatrices de la distribution d'énergie (AODE), bénéficient dans la durée de fonds de soutien aux travaux d'enfouissement et prône une « hausse de la tranche "sécurisation" du Financement des aides aux collectivités pour l'électrification rurale (Facé). »



Réparation d'une ligne électrique Enedis.

© JIM NOSSSENT/ENEDIS

POINT SUR LE PLAN EAU DU GOUVERNEMENT

Le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires a fait plusieurs annonces sur la mise en œuvre du volet sobriété du Plan eau, le 16 novembre dernier.

Ces déclarations concernent le champ réglementaire (eaux non conventionnelles) mais aussi celui des parties prenantes par une mobilisation de nombreux acteurs, agriculteurs, industriels, comités de bassin...

Le Plan eau part d'un objectif chiffré, la réduction de 10 % les prélèvements en eau, d'ici 2030. En effet, selon l'étude Explore 2 - Des futurs de l'eau, réalisée par l'Office français de la biodiversité, les cours d'eau auront un déficit de débit de 10 à 40 %, à l'échéance de 2070. Pour atteindre cette baisse, un coup

d'accélérateur est mis sur le volet réglementaire, en particulier pour débloquer les alternatives à l'eau potable : la réutilisation des eaux usées traitées (REUT), de l'eau de pluie et des eaux grises. 1 000 projets de REUT doivent être déployés d'ici 2027.

→ Nouvelles réglementations en cours

Le décret du 29 août 2023 sur les usages de l'eau de pluie a suscité de nombreuses interrogations et la mobilisation du Syndicat des industriels français de l'eau de pluie (IFEP), jusqu'au Conseil d'État (voir article suivant).

Des textes sont attendus sur l'arrosage des espaces verts et sur l'irrigation agricole, mais aussi l'agroalimentaire. Dans le secteur du BTP, les services de

l'État travaillent sur de nouvelles réglementations pour, par exemple, des logements plus sobres en eau.

Avec les 50 industriels dont la liste n'est pas dévoilée mais très consommateurs d'eau, un travail est aussi en cours avec le ministère de la transition écologique. Des collectivités locales, telles que la communauté urbaine de Dunkerque, qui a mis en place un tarif solidaire différent selon les usages essentiels ou non de l'eau au quotidien, doivent servir d'exemples pour d'autres municipalités. L'agglomération du Bassin de Brive, a fixé ainsi un objectif central de réduction de 21 % de la quantité d'eau prélevée dans le milieu naturel, dans le cadre de la nouvelle délégation de service public, géré par Suez. ■

MOBILISATION AUTOUR DE L'EAU DE PLUIE

Peut-on encore se passer de l'eau de pluie dans la maison ? C'est par cette question que le Syndicat des industriels français de l'eau de pluie (IFEP) a communiqué son incompréhension à la suite du décret du 29 août 2023 réglementant la réutilisation des eaux usées et de l'eau de pluie. « Une chasse d'eau représente 4,5 litres, soit 3 bouteilles d'eau. En période de tension sur l'eau potable, l'utilisation responsable de chaque ressource est primordiale, » rappelle l'organisation professionnelle. Si cela peut paraître une évidence, il n'en reste pas moins que l'IFEP a déposé à la fin du mois d'octobre 2023, un recours contentieux devant le Conseil d'État pour contester ce décret. « Nous avons réservé un accueil positif au Plan eau annoncé en mars 2023. Avec la volonté d'aller très vite, le décret est paru après la consultation publique. Ce texte très ardu donne lieu à beaucoup d'interprétations. Nous avons voulu attirer l'attention des ministères signataires (Première ministre, ministères de la transition écologiques et de la santé) pour enfin lever toute ambiguïté. » explique Thomas Contentin, président de l'IFEP. Mais les interrogations et inquiétudes exprimées sont restées sans réponses précises ni étayées de la part des membres du gouvernement.

Le syndicat ignore encore quand le Conseil d'État se prononcera sur ce recours. En attendant une évolution de



Communication officielle du Syndicat des industriels français de l'eau de pluie, pour dire son incompréhension à la suite du décret du 29 août 2023.

© IFEP

la situation, les membres de l'IFEP se mobilisent et « souhaitent faire valoir leurs inquiétudes légitimes et sensibiliser sur le retour en arrière que représente

cette décision du gouvernement, à contre-courant du Plan eau paru en mars dernier aux ambitions pourtant modestes. » ■

DEUX PROJETS D'ENVERGURE POUR EGIS



Avec l'extension de la ligne B, Egis poursuit sa mission de modernisation du métro lyonnais.

L'actualité de la société Egis se situe à Caen et à Lyon et concerne deux projets importants de lignes de métro et tramway. Dans la capitale des Gaules, dans le cadre du contrat de maîtrise d'œuvre pour le compte de Sytral Mobilités, Egis poursuit sa mission de modernisation des systèmes du réseau de métro lyonnais. Une étape importante a été franchie, le 20 octobre dernier, par la mise en service de l'extension de la ligne B. Le prolongement sur 2,4 km permet que le métro desserve à présent le sud-ouest de l'agglomération lyonnaise et en particulier le secteur en plein développement du Vallon de Saint-Genis-Laval. Deux nouvelles stations (Oullins-Centre et Saint-Genis-Laval-Hôpital-Lyon-Sud), deux nouveaux puits de ventilation et d'accès secours, ainsi que des modifications sur le puits Orsel,

ont été conçus par Egis, qui a mobilisé l'ensemble de ses expertises métro (métiers ensemble ouvrages, systèmes, second-œuvre).

→ "Avenir Métro"

Ce projet complexe a bénéficié du recours à l'outil de modélisation BIM (Building Information Modeling). « C'est la volonté d'Egis de se doter d'un outil BIM, une démarche à la fois collaborative et innovante de la conception jusqu'à la phase travaux. C'est un outil fluide et simple à utiliser. Une nouvelle façon de travailler. » souligne Xavier de Vernon, chef de projet Egis. L'entreprise intervient avec l'opération "Avenir Métro", qui prévoit le renouvellement des équipements et matériels roulants de l'ensemble du réseau. Elle a ainsi réalisé la migration du système de conduite de la ligne B, en la rendant complètement automatique.

Mais la mission n'est pas terminée et de nouvelles améliorations auront lieu sur la ligne B. La ligne D fera, à son tour, l'objet d'études approfondies pour se moderniser.

→ Maîtrise d'œuvre complète du projet de tramway

À Caen, Egis assure la maîtrise d'œuvre complète de l'extension Est-Ouest du tramway (9,1 km de lignes, 17 stations) pour une durée de 6 ans. L'entreprise est mandataire du groupement baptisé Tra-meo associant le cabinet d'architectes parisien LA/BA et le cabinet Merlin, en charge de la maîtrise d'œuvre des déviements de réseaux de la communauté urbaine. Les études seront réalisées entre 2023 et 2024, pour laisser ensuite place aux travaux de 2025 à 2028. En plus de la nouvelle ligne de tram, le projet prévoit la requalification de l'espace public comprenant l'aménagement de la chaussée et des trottoirs. Il comprend aussi la réorganisation complète du réseau et l'effacement de la ligne aérienne sur une partie des infrastructures existantes, comme dans le centre historique de Caen.

Le montant total des travaux placés sous pilotage du groupement de maîtrise d'œuvre, incluant la voie ferrée, les systèmes, les ouvrages d'art et la voirie, est estimé à 164 M€ HT.

Les équipes d'Egis auront la charge de la maîtrise d'œuvre complète du projet : direction de projet, direction d'étude et de travaux, études d'exploitation et dossiers réglementaires, études socio-économiques, voie ferrée, aménagement urbain, ligne aérienne de contact, énergie et courants faibles. ■

COLAS LANCE LA PLATEFORME CARTOGRAPHIQUE 2IN

Colas a développé un jumeau numérique, la plateforme cartographique 2IN (twin1), qui compile toutes les cartes et données des territoires. Destinée aux collectivités, exploitants de parcs immobiliers, aménageurs et promoteurs, cet outil numérique permet de visualiser à plusieurs échelles les bâtiments, les infrastructures routières et enterrées. Il aide à améliorer la capacité d'adaptation aux risques et à augmenter la résilience grâce à des données enrichies et des services intégrés permettant la maintenance préventive des infrastructures. Il donne aussi des solutions pour lutter contre les îlots de chaleur urbains, ou pour dépolluer des sols et des friches industrielles, et aussi en matière d'économie circulaire lors de la réalisation de travaux.

CAMPAGNE DE COMMUNICATION GRAND PUBLIC DE SUEZ

Avec pour slogan " Il y a SUEZ ", le groupe Suez entreprend une nouvelle campagne de communication grand public. L'objectif est de mettre en images l'impact, dans la vie quotidienne des habitants, des deux métiers d'expertise du groupe à savoir, la gestion des ressources en eau et le recyclage et la valorisation des déchets.

La campagne illustre les bienfaits apportés par Suez pour répondre aux défis environnementaux grandissants, comme une eau potable de qualité, le chauffage urbain, une énergie renouvelable locale, de nouvelles matières recyclées pour les usages du quotidien.

13 visuels ont ainsi été diffusés, en novembre et décembre, dans la presse régionale, nationale et spécialisée et affichés dans une trentaine de villes.



Egis assure la maîtrise d'œuvre complète de l'extension Est-Ouest du tramway de Caen, pour une mise en service estimée en 2028.

SI LE BTP RECRUITAIT AVEC UN JEU DE SOCIÉTÉ, NGE LANCE "TTMC" !

"TTMC", pour les non-initiés (nombreux...) signifie "Tu te mets combien". Avec ce jeu de société, une série de cartes dédiées à la découverte du bâtiment et des travaux publics, NGE cible les lycéens, les étudiants, les professeurs et aussi les parents. Dans un premier temps, il sera distribué dans 200 lycées et écoles. Le mécanisme de ce jeu basé sur des quizz ludiques, amène les joueurs à parier de 1 à 10 sur leurs connaissances liées à des thèmes de culture générale et donc maintenant à des sujets spécifiques au BTP.

Et pour atteindre ses futurs talents directement sur leur smartphone, NGE et l'éditeur du jeu annoncent le lancement prochain d'une version digitale. NGE souhaite par cette démarche conforter son attractivité et attirer des jeunes dans l'entreprise. En effet, son niveau d'embauches est à hauteur 4000 recrutements par an.

EIFFAGE FRANCHIT LE SEUIL DE 20% DU CAPITAL DE GETLINK

Eiffage renforce sa participation au capital de Getlink et détiendra 20,55 % du capital et 20,72 % des droits de vote. Getlink précédemment Groupe Eurotunnel, est une société privée européenne, concessionnaire jusqu'en 2086 de l'infrastructure du tunnel sous la Manche. En franchissant à la hausse les seuils de 20 % du capital et des droits de vote, Eiffage conforte ainsi sa position de premier actionnaire de l'entreprise européenne. Cet investissement de 143,5 M€ (14,80 € par action) a été financé par Eiffage sur sa trésorerie disponible et n'est sujet à aucune condition.

UNE CERTIFICATION HQE INÉDITE POUR LA LIGNE C DU MÉTRO DE TOULOUSE



Vue architecturale de la station Diagora à Labège en section aérienne de la ligne C.

C'est un projet majeur pour la ville de Toulouse dont les travaux de génie civil ont commencé au printemps et les cinq tunneliers doivent entrer en action début 2024.

La ligne C du métro engendre la construction de 17 stations souterraines, 4 stations aériennes, d'un viaduc de 5 km. Ce chantier de 5 ans permettra la mise en service de la ligne pour 200 000 voyageurs potentiels, en 2028.

Les équipes de Tisséo Ingénierie peuvent d'ores et déjà se réjouir car elles ont vu leur travail récompensé par la certification HQE infrastructures durables en conception-réalisation. C'est une première pour une ligne de métro. Cette certification a été délivrée par l'organisme indépendant Certivea, filiale du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Dès sa conception, le réseau de transport de la métropole toulousaine a souhaité inscrire le projet de ligne C dans une démarche environnementale forte. « Cette certification est délivrée pour la 1^{re} fois en France à un projet métro, une belle reconnaissance pour l'exigence et l'expertise des équipes de Tisséo Ingénierie, mises au service de la réalisation de la ligne C et de la transition verte de notre territoire, » a souligné Jean-Michel Lattes, Président de Tisséo Collectivités, Tisséo Ingénierie.

→ 61 objectifs définis pour un plan de 200 actions

Le périmètre de la certification est large car il couvre l'infrastructure (tunnel, viaduc, stations), le système de transport, dont le matériel roulant, et le garage atelier. 19 thématiques ont été retenues

et hiérarchisées selon trois niveaux : majeur, prioritaire et complémentaire. Et au total, 61 objectifs ont été définis avec un plan de 200 actions, qui seront suivies pendant les phases de réalisation et de mise en service. Les objectifs prioritaires sont la qualité de vie et le respect de l'environnement. À titre d'exemple, le niveau 3 pour l'engagement lié à la qualité de vie a été atteint. Cela signifie un travail important sur 50 types de handicap permettant d'atteindre 100 % d'accessibilité.

→ Éviter l'équivalent de 250 000 km de trajets polluants

La qualité de l'air intérieur sera équivalente à celui extérieur. En effet, des prises d'air à 3 mètres du sol avec des filtres et une réduction des particules fines grâce à un matériel roulant fer plutôt que pneu et un freinage 100 % électrique, permettront d'atteindre cet objectif.

Concernant le respect de l'environnement qui comprend les aspects énergie et climat, nature et biodiversité, ressources et déchets, on peut noter 80 % de valorisation des 6,5 millions de tonnes de déblais, une réduction du nombre d'arbres abattus, 1 600 au lieu de 2 500 prévus, et la récupération de 15 % de l'énergie pour faire rouler le métro provenant du freinage. Patrick Nossent, président de Certivea a mis en avant « l'ambition dans la mise en place de dispositions allant au-delà des pratiques habituelles sur les différentes thématiques, notamment pour la qualité de vie et le respect de l'environnement. »

Et au-delà de l'ensemble de ces aspects, la ligne C de métro toulousain permettra d'éviter l'équivalent de 250 000 km de trajets polluants et des émissions de gaz à effet de serre d'une commune de 7 400 habitants par jour économisé. ■



Futur matériel roulant de la ligne C dont chaque rame est composée de deux voitures (extensible à 3 voitures).

LANCEMENT D'UNE OFFRE INNOVANTE DE GRANULATS FORMULÉS ISSUS DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE



La production de granulats Ogéo permet de développer une offre locale, commercialisée sur 54 sites de Vinci matériaux.

« Nous sommes le premier producteur de granulats recyclés en France. Mais ce chiffre ne progresse pas. Ainsi nous avons développé Ogéo, une nouvelle offre de granulats formulés, qui va nous permettre d'intensifier notre engagement en faveur de l'économie circulaire. » explique Christophe Jozon, directeur matériaux et industries pour Vinci Construction. Composée à la fois de ressources primaires (granulats issus des carrières) et secondaires (matériaux locaux issus de la déconstruction et valorisés), Ogéo est une offre de matériaux à forte technicité issus de huit filières de collecte. Si ce nouveau matériau n'est pas moins émissif en CO₂ que la production classique de granulats, son intérêt est qu'il est produit localement, avec un impact en matière de transport beaucoup

moindre. 54 sites sont engagés dans la commercialisation de la gamme de produits Ogéo. « Notre objectif est de pouvoir



Le granulats Ogéo reformulé à forte technicité, issu de huit filières de collecte.

élargir le champs d'application possible à de nouveaux marchés locaux. En effet, cette innovation permet une production locale adaptée aux territoires et aux usages des clients, qui favorise les circuits courts. Plusieurs milliers de tonnes de granulats reformulés ont déjà été testés à grande échelle en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, depuis 2021. Aujourd'hui, l'extension de l'innovation va se faire à l'ensemble du territoire national, et d'ici 2 ans, la production tournara à plein régime. » détaille Christophe Jozon. Le granulats reformulé a de multiples usages. Il concerne à la fois le béton, les enrobés, les sous-couches routières, les canalisations, les techno sols ou encore le ferroviaire. Il est produit au même prix, est d'une qualité comparable à celle du granulats classique et nécessite une quantité similaire. ■

L'ENTREPRISE FAMILIALE JUSTEAU S'ENGAGE FORTEMENT DANS UNE DÉMARCHE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'entreprise de travaux publics angevine Justeau, implanté à proximité de Saumur, a aménagé un site de valorisation des terres excavées, qui doit traiter annuellement 30 000 tonnes de déblais inertes issus des différents chantiers de travaux publics et de terrassement et menés localement par ce groupe familial. L'idée est de récupérer les matériaux et de les transformer en gravillons et en sable pour les réutiliser.

Ces matériaux recyclés pourront ensuite servir à faire du béton pour des routes, des trottoirs, des pistes cyclables ou pour du remblaiement. Cette centrale de valorisation, très automatisée, tamise les rebuts de travaux publics, séparant argiles, sables, graviers, morceaux de béton, à la cadence de 200 tonnes à l'heure. Elle y ajoute au besoin des liants hydrauliques, type ciments ou laitiers de fonderie bas carbone, puis les remet

dans le circuit d'alimentation de nouveaux chantiers... Sur ce nouveau site, qui représente un investissement de 1,6 M€, les bétons recyclés proviennent à 80% de l'entreprise elle-même et de 20% d'apports extérieurs. En travaillant sur ce processus innovant, les entrepreneurs se sont rendu compte que de réutiliser du béton permet d'utiliser moins de ciment. Une bonne nouvelle pour la décarbonation de cette activité. ■

"eRoadMontBlanc" UN PROJET DE RECHERCHE POUR LES DÉPLACEMENTS DU FUTUR

Développer une technologie qui change le paradigme du transport électrique en permettant d'alimenter et de recharger les véhicules pendant qu'ils roulent, est le but du projet de recherche "eRoadMontBlanc". Celui-ci est porté par Autoroutes et Tunnel du Mont-Blanc (ATMB), en consortium avec l'Université Gustave Eiffel, Alstom, Pronergy et Greenmot. Ce programme ambitieux, à plus de 20 M€, comprend 2 phases de test, une expérimentation sur piste dans l'Ain en 2024, sur la plateforme Transpolis, puis un test grandeur nature sur 1 km de la Route Blanche (RN205) en Haute-Savoie en 2025. Le projet s'appuie sur le système "Alimentation par le sol" qui a été développé par Alstom pour faire rouler des tramways.

→ Jumeau numérique

Le challenge est d'adapter ce système à la route grâce à une piste d'alimentation électrique insérée dans la chaussée et affleurant au niveau du sol. La captation du courant se fait ensuite sous le véhicule par un bras articulé équipé de patins frotteurs, qui se posent sur les segments conducteurs. Un jumeau numérique conçu par l'Université Gustave Eiffel, permettra de simuler ce système en vue d'optimiser le nombre de kilomètres d'infrastructures à équiper. Différents types de véhicules seront ainsi testés sur ces routes du futur : véhicule utilitaire, tracteur de semi-remorque, autocar, mais aussi des poids lourds.



Tramway alimenté par le sol, développé par Alstom.

PERMEA PARK, UN ENROBÉ DRAINANT INNOVANT POUR LES PARKINGS

L'entreprise Charier a développé Permea Park un enrobé drainant qui peut retenir jusqu'à 10 litres d'eau par m² contribuant ainsi à la lutte contre les îlots de chaleur urbains mais aussi permettant une meilleure gestion de l'eau. Ce nouveau revêtement, comme son nom l'indique, est une solution destinée aux parkings mais uniquement pour les véhicules légers. Car les risques de forts cisaillement sont réels pour les poids lourds. Cet enrobé est à intégrer dans une approche globale de la perméabilisation en complément d'autres solutions techniques, telles que les chaussées réservoirs ou les noues d'infiltration. Sa forte perméabilité permet de doubler le nombre de places de parking par rapport à un enrobé classique. Il est aussi 55% moins cher que des parkings végétalisés et 65% que du béton drainant.

UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE CAMIONS MIS AU POINT PAR DAF TRUCKS

DAF Trucks a lancé à l'occasion du salon Solutrans, qui s'est tenu fin novembre à Lyon, une nouvelle génération de camions DAF XB, une gamme complète de véhicules électriques à batterie électrique, disponibles en versions de 12, 16 et 19 tonnes. Ce poids lourd est conçu pour des travaux exigeants dans des conditions difficiles. Il est équipé d'un moteur PACCAR MX-11 de 10,8 litres et offre une charge utile élevée grâce à son faible poids. Il permet aussi un grand angle d'approche et une garde au sol élevée.

UNE APPLICATION POUR UNE MEILLEURE GESTION DES ENGINES DE CHANTIER



L'application Youse permet de rationaliser les engins de la marque, présents sur un chantier.

Destinée au secteur du BTP et de l'industrie, l'application Youse proposée par Kiloutou a pour vocation de partager et gérer une flotte de matériels de manière sécurisée et responsable. Réservée aux locations de plus de 6 mois, l'outil numérique vise l'optimisation du parc matériel sur un même chantier. En effet, sur les chantiers, chaque entreprise loue les engins dont elle a besoin à de multiples opérateurs. Ainsi des machines similaires se retrouvent sur un même site. Cette pratique engendre des surcoûts, de l'encombrement et des surplus d'émissions de CO₂ générés par leur transport. Cette situation a un impact direct sur la productivité du chantier : les opérateurs perdent davantage de temps à chercher la machine, à s'assurer

qu'elle est prête à fonctionner... De plus, la possibilité d'une absence de traçabilité des engins, permet difficilement d'établir la responsabilité en cas de casse, de même l'absence d'assurance ne permet pas de couvrir des dommages aux biens ou aux personnes.

→ Disponible sur Android et Apple

L'application Youse, pour les clients de Kiloutou, permet de planifier l'utilisation de la flotte d'engins de terrassement et d'élévation (mini-pelles, chargeuses, nacelles télescopiques...) entre les collaborateurs internes et prestataires. Ces machines de chantier doivent être équipées de boîtiers télématiques. L'application permet d'accéder à l'ensemble du parc loué Kiloutou, d'ajouter des prestataires avec lesquels l'utilisateur souhaite

partager chaque matériel, et de gérer leur accès aux machines. En cas d'accident, chaque client est couvert par une assurance. Youse est disponible sur Android et Apple. Une fonction "Agenda" permet de réserver une plage horaire d'utilisation. Une fois la machine réservée, chaque utilisateur pourra débloquer le matériel réservé pour son utilisation avec une carte magnétique.

Un monitoring du matériel partagé permet un suivi personnalisé de son utilisation et fournit des informations sur l'état de chaque matériel, constaté avant et après chaque mise en service.

Kiloutou peut former les utilisateurs de l'application et les accompagner dans cette démarche de mutualisation du matériel. ■

EXPÉRIMENTATION POUR REMPLACER LES GRANULATS PAR DES PRODUITS ISSUS DE LA MER

Aujourd'hui sur les 270 000 tonnes de Coquilles, écailles et arêtes issus des poissons et autres coquillages, seuls 20% sont aujourd'hui valorisés.

Le projet Libarot engagé pour une période de deux ans, a pour objectif de trouver les moyens de créer une filière pour le recyclage de coproduits coquilliers en matériaux routiers.

Builders école d'ingénieurs en collaboration avec Eiffage Route vont mettre en œuvre ce projet. Celui-ci est financé par la région Île-de-France et l'Ademe dans

le cadre de la Convention interrégionale d'aménagement de la Vallée de la Seine. Son budget s'élève à 809 000 €.

→ Première expérimentation courant 2024

Cette expérimentation doit permettre de transformer des produits à coque dure en différents éléments constitutifs des infrastructures routières : glissières de sécurité béton, bordures et aussi dans la structure même de la route.

L'unité de recherche Builders école d'ingénieurs travaille depuis 2009, sur

la valorisation des coproduits coquilliers et a déjà développée des pavés drainants et rafraîchissants, et possède un brevet national en exploitation dans ce domaine.

À travers sa direction de la recherche et de l'innovation, Eiffage Route développe un savoir-faire en matière de recyclage et de valorisation des matériaux alternatifs en génie routier. L'entreprise va tester ces nouveaux matériaux lors d'une première expérimentation courant de l'année 2024. ■

La CNETP regroupe **9 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations auprès de **288 000 salariés**.

NOS MISSIONS

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



CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics



NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

📞 Entreprises : 01.70.38.07.70

📞 Salariés : 01.70.38.09.00



sur Internet :
www.cnetp.fr



sur l'appli mobile :
CNETP Salarié



AGENDA

ÉVÈNEMENT

• **29 AU 31 JANVIER**
6^e édition de l'InfraBIM Open 2024, un événement dédié aux infrastructures 4.0

Lieu : Lyon,
Palais de la Bourse,
siège de la CCI lyonnaise

• **10 AU 12 AVRIL**
3^e Salon européen de l'entretien et de l'aménagement des milieux aquatiques

Lieu : métropole lilloise,
aux Prés du Hem sur
la commune d'Armentières

FORMATIONS

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

• **15 ET 16 JANVIER**
BIM pour la Maîtrise d'Ouvrage
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **22 AU 24 MAI**
Surveiller les parties immergées des ouvrages : inspections et auscultations subaquatiques
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **10 AU 12 JUIN**
Résistance des matériaux : les fondements des calculs et du dimensionnement
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **12 AU 14 JUIN**
Terrassements de plateformes industrielles et de bâtiments : conception, exécution, contrôle
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **25 AU 27 JUIN**
Suivi et contrôle d'un chantier d'ouvrage d'art
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

SAINT-GOBAIN WEBER FRANCE
Weber, filiale de Saint-Gobain, annonce la nomination de son nouveau directeur général. Arnaud Tractère succède à Marine Charles, depuis le 1^{er} novembre 2023.

CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES DE L'INDUSTRIE DU BÉTON
Stéphane Le Guirriec a été nommé directeur général du Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton (Cerib). Il succède à Gilles Bernardeau, directeur général depuis 2016.

CEREMA CONNAÎTRE ET ENTRETENIR LES PONTS COMMUNAUX

Suite à l'effondrement du pont Morandi à Gênes en 2018, une mission d'information du Sénat a mis l'accent sur la méconnaissance des ponts des communes : 20 % d'entre eux seraient dans une situation préoccupante. L'enjeu est important. C'est ainsi que le gouvernement a décidé de lancer le "Programme National Ponts" en 2021. En fournissant une première appréciation de l'état des ouvrages, le Programme National Ponts permet de franchir une étape essentielle dans la connaissance du patrimoine. Mais les défis restent majeurs pour que l'entretien des ponts communaux se concrétise et se pérennise dans les territoires. **Entretien avec Émilie Jeannesson-Mange, directrice du département gestion intégrée de patrimoine d'infrastructures au Cerema - responsable du Programme national Ponts.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON

1- Émilie Jeannesson-Mange, directrice du département gestion intégrée de patrimoine d'infrastructures au Cerema.



Quelle est la fonction du département dont vous assurez la direction au sein du Cerema ?

Le département est en charge de la gestion intégrée de patrimoine d'infrastructure. Il aborde la gestion de patrimoine d'infrastructure sous tous ces aspects : gestion des ouvrages d'art, gestion des chaussées, mais également les enjeux de résilience et d'adaptation au changement climatique des infrastructures et d'impact sur le bruit et la qualité de l'air. En effet, la croissance en fréquence et en intensité des aléas climatiques tels que les inondations, les sécheresses, les mouvements de terrain va avoir un impact sur la durabilité des infrastructures

et peut accélérer leur vieillissement. Par la gestion intégrée de patrimoine, on vise à concilier les enjeux de long terme, les contraintes de court terme et les logiques opérationnelles du gestionnaire. On cherche également à dépasser l'approche par actif et l'élargir à l'ensemble du patrimoine routier pour une gestion efficace, efficiente et écoresponsable. L'objectif est de répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux, et économiques actuels et futurs, mais aussi de prendre en considération les contraintes techniques, budgétaires et organisationnelles des gestionnaires au quotidien. Le département comprend 35 experts et spécialistes qui travaillent autour de

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 2 © CEREMA



2- Le pont de Bazoilles-sur-Meuse, dans les Vosges.

3- L'effondrement du pont de Mirepoix-sur-Tarn sous le poids d'un camion en surcharge le 18 novembre 2019.

4- & 5- Deux ponts du quotidien à Saint-Omer, comme il en existe des milliers en France, indispensables à la vie de la cité et de ses environs.

ces sujets pour produire de la doctrine, apporter des expertises, du conseil, de l'assistance aux maîtres d'ouvrage et aux gestionnaires. Il est également actif dans les communautés "métier", qu'elles soient nationales comme par exemple l'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) ou internationales avec PIARC (Association mondiale de la Route). Parmi les missions de ce département du Cerema, figure le pilotage du Programme National Ponts.

Quelle est l'origine de ce programme ?

Le programme est issu de plusieurs constats.

Le premier c'est que les ponts sont des éléments essentiels au fonctionnement des territoires et qu'il faut les préserver. De grands ouvrages comme le pont de Normandie ou le viaduc de Millau sont très importants pour l'économie nationale et locale.

ÉMILIE JEANNESSON-MANGE : PARCOURS

Émilie Jeannesson-Mange est ingénieure de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (2004) et ingénieure des Ponts, des Eaux et des Forêts (2018). Elle a construit son parcours autour des politiques publiques de l'aménagement durable des territoires.

À sa sortie de l'ENTPE, elle rejoint en 2004 le SETRA en tant que chargée d'études en évaluation socio-économique des transports.

En 2008, elle intègre la DGITM (Direction Générale des Infrastructures de Transport et de Mobilité) comme chargée de projets au sein du bureau de la programmation des investissements routiers.

En 2011, elle rejoint le CETE Île-de-France en tant que responsable de l'unité qualité de la construction des bâtiments.

Entre 2014 et 2017, elle est adjointe au chef du service "habitat et renouvellement urbain" de la DDT de l'Essonne puis de la DDT de Seine et Marne.

En 2018, elle effectue une mission professionnelle au sein du cabinet du ministre de la Cohésion des Territoires et du Logement.

À l'issue de cette mission, elle rejoint le Cerema au sein duquel elle occupe d'abord le poste de cheffe du centre des systèmes de transport et de la mobilité (2018/2021).

Émilie Jeannesson-Mange est directrice du département gestion intégrée de patrimoine d'infrastructure depuis janvier 2021. À ce titre, elle accompagne l'État, les collectivités et les entreprises dans leurs actions vers une gestion des infrastructures durables et résilientes au changement climatique. Elle est notamment responsable du Programme National Ponts.

Mais un pont de quelques mètres, dans une petite commune, est tout aussi important car, s'il n'est pas accessible, cela va déstabiliser la vie d'un village, d'une communauté de communes, de tout un territoire. Ce pont est indispensable au quotidien : accès aux emplois et aux services, circulation des transports scolaires, des services de secours, fonctionnement des exploitations agricoles... Les murs de soutènement sont tout aussi essentiels pour la préservation des fonctions de desserte. Les ouvrages d'art forment donc un enjeu pour l'attractivité et le développement des territoires. Ils constituent un patrimoine important qu'il faut préserver.

Le second, c'est que les communes ont un rôle essentiel dans la gestion de ce patrimoine. Sur les 200 000 à 250 000 ponts routiers référencés en France, 50% sont gérés par les départements, 40% par les communes et 10% par l'État ou au travers du réseau routier national.

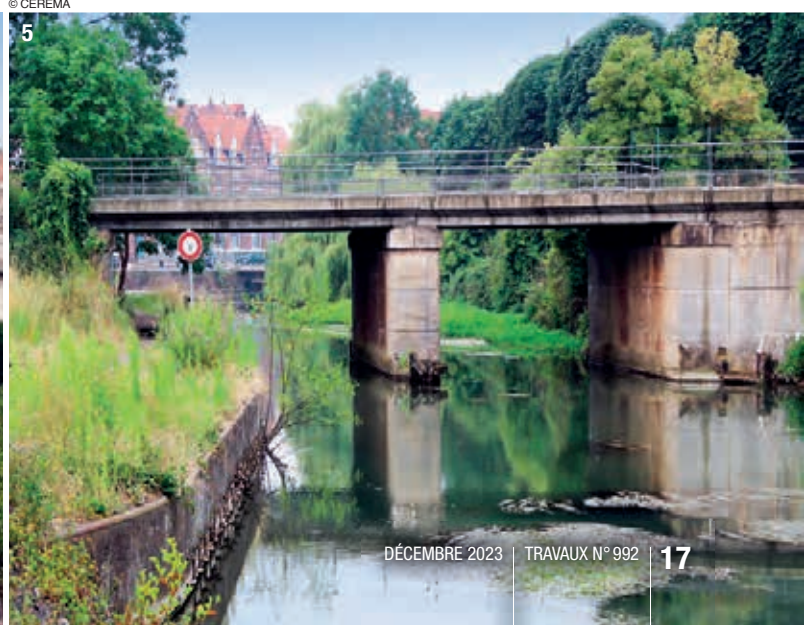
Un autre élément de contexte est qu'aujourd'hui le patrimoine des ouvrages d'art en France est vieillissant. Une large partie a été construite après-guerre et on estime que la durée de vie d'un pont se situe autour de 100 ans. Cela reste une moyenne théorique. Dans la réalité, l'espérance de vie d'un ouvrage va fortement varier en fonction de ses caractéristiques techniques, de son environnement, notamment son environnement climatique (inondations, sécheresses...) de son usage, en particulier le passage de véhicules lourds. Cette espérance de vie varie, enfin et, en fonction des actions de surveillance, d'entretien et de réparation mises en place. Pour rester en bonne santé, un ouvrage d'art a besoin d'un entretien régulier. ▶



© ADRIEN NOWAK



© CEREMA



© CEREMA

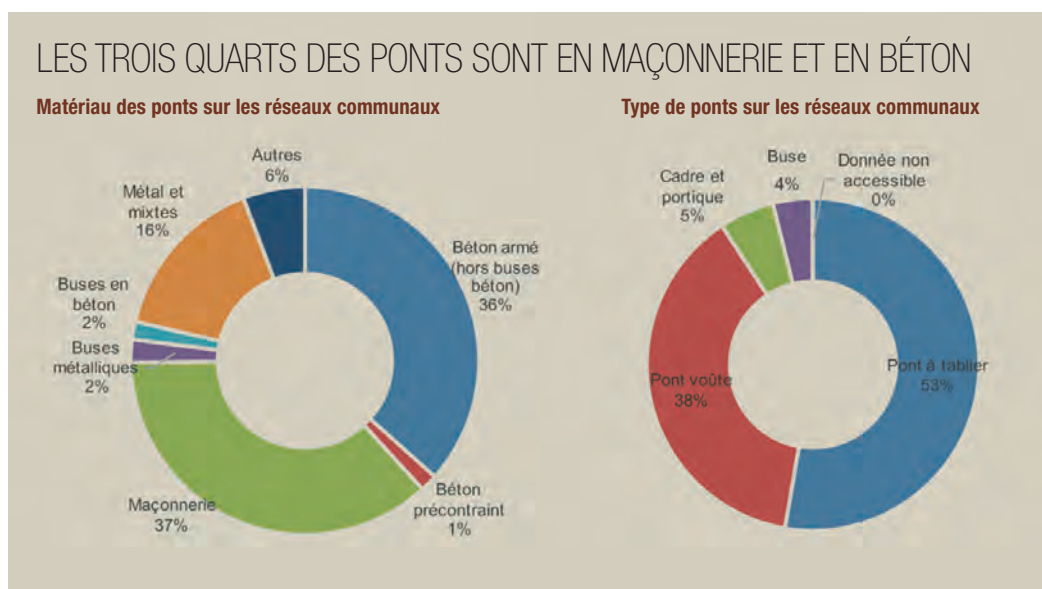
La fragilité de ce patrimoine nous a été dramatiquement rappelée ces dernières années notamment avec l'effondrement du pont Morandi à Gênes. Suite à cet évènement, une mission sénatoriale a été engagée en France, menée par le sénateur Hervé Maurey, pour dresser un constat de la situation. Elle a mis en évidence que les grands gestionnaires ont en général de bons standards de gestion et d'entretien de leur patrimoine. Mais, pour les communes, notamment les plus petites d'entre elles qui n'ont pas de moyens d'ingénierie et peu de moyens financiers, il est compliqué d'assurer une gestion de patrimoine par la mise en place d'une surveillance régulière des ouvrages dont elles ont la gestion.

C'est dans ce contexte que le gouvernement a décidé de lancer le Programme National Ponts. Le Programme vise à doter les petites communes d'outils pour mieux connaître et mieux gérer leur patrimoine d'ouvrages d'art et ainsi mieux le préserver.

Comment le Programme National Ponts se déroule-t-il ?

Le programme a été initié fin 2020 dans le cadre de France Relance. Il propose gratuitement aux communes éligibles qui ont candidaté, une prestation de recensement et de première évaluation de l'état de leurs ouvrages. Pour un panel d'ouvrages parmi les plus sensibles, une inspection détaillée est réalisée. Elle constitue un pas supplémentaire vers les travaux.

Doté de 40 millions d'euros sur la période 2021-2023, il a été proposé à 28 000 communes éligibles, sélectionnées sur des critères de population et de potentiel fiscal. In fine ce sont près de 11 550 communes qui ont candidaté. Plus de 45 000 ouvrages ont été



recensés et près de 1 000 ouvrages ont également bénéficié d'une évaluation approfondie.

Fort du succès du programme, le ministre de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires a décidé de son extension fin 2022. Il s'agissait

d'offrir une nouvelle opportunité aux communes éligibles au premier programme qui n'ont pas candidaté et de l'élargir aux communes de moins de 10 000 habitants disposant de moyens réduits : moins de 3 millions d'euros de potentiel fiscal.

Ce sont ainsi 3 269 nouvelles communes qui se sont inscrites et vont bénéficier d'une prestation de recensement et de reconnaissance de leurs ponts et de leurs murs à partir de l'automne 2023 jusqu'à début 2025.

QUELQUES CHIFFRES QUI PARLENT

120 000 : c'est le nombre de ponts qui se situent sur les réseaux communaux en France.

25 000 : c'est le nombre de ponts en mauvais état structurel sur l'ensemble du réseau français.

250 milliards d'€ : c'est la valeur estimée de tous les ouvrages en France s'il fallait les reconstruire.

200 € : c'est le budget annuel estimé recommandé par l'OCDE pour la surveillance et l'entretien d'un petit pont de 10 m de longueur portant une voie double.

6- Au 25 avril 2024, plus de 45 000 ouvrages ont fait l'objet d'une visite par un prestataire.

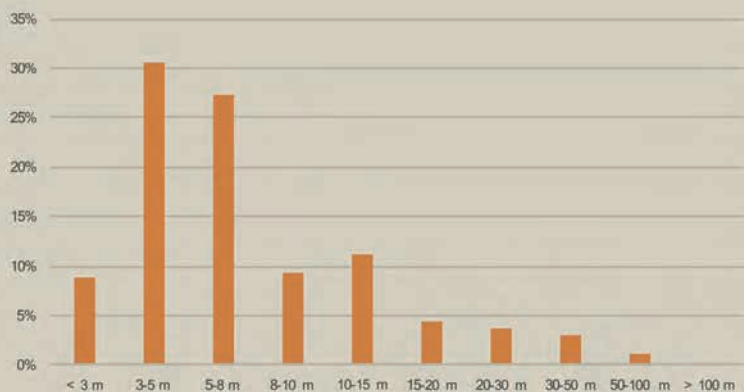
7- 37% des ponts, petits pour la plupart, sont en maçonnerie.

8- Le pont gothique dit d'Estaing dans le département de l'Aveyron en région Occitanie construit fin XV et début XVI.



UNE MAJORITÉ DES OUVRAGES EST DE DIMENSIONS MODESTES

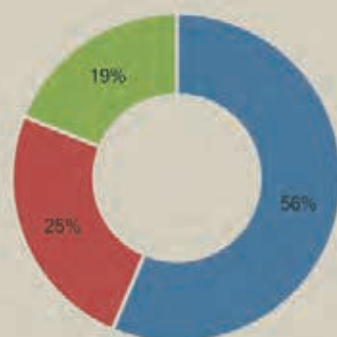
Longueur des ponts



© CEREMA

LES TROIS QUARTS DES OUVRAGES ONT PLUS DE 70 ANS

Période de construction estimée des ouvrages communaux



Avant 1950 • Entre 1950 et 1975 • Après 1975

© CEREMA

Comment le pilotage s'organise-t-il ?

Expert historique et reconnu dans le domaine des ouvrages d'art, le Cerema était l'établissement public naturel pour piloter ce sujet éminemment technique. Garant public, il assure un rôle central dans l'animation de la communauté ouvrages d'art associant chercheurs, universitaires, ingénierie privée et publique. Son maillage territorial lui permet d'être à proximité des territoires et l'établissement porte dans sa gouvernance et dans ses instances de pilotage, un lien fort avec les collectivités.

Dans un premier temps, le Cerema, avec l'ensemble de la communauté technique ouvrages d'art a défini la méthode. Il s'agissait de définir un dispositif déployable à grande échelle qui apporte une vraie plus-value pour les communes. C'est ainsi qu'a été créé le carnet de santé des ouvrages

(voir encadré : Quelques chiffres qui parlent). Il est remis à chaque commune bénéficiaire du Programme national Ponts pour chacun de ses ouvrages. C'est un outil simple et pédagogique, calqué sur le carnet de santé médical que nous possédons tous. Il regroupe ainsi à la fois des informations sur l'état des ouvrages, les traitements (entretien, réparation) qui lui ont été administrés et les actions de surveillance à conduire.

Ensuite, pour réaliser la prestation de recensement des ouvrages sur le terrain, le Cerema a mobilisé l'ingénierie privée à travers des accords-cadres nationaux. 29 prestataires privés nous ont accompagné dans cette phase de recensement et d'évaluation.

Afin de coordonner, suivre et valider le travail de recensement sur le terrain le Cerema a développé avec Esri France un système d'information spécifique qui a d'ailleurs été récompensé à l'interna-

tional (voir encadré : Cerema & Esri : Award 2023). Une base de données géographique publique est ainsi créée. Pour porter le programme au plus près des territoires, le Cerema a mis en place une gouvernance large impliquant les acteurs publics et l'ingénierie privée.

Le préfet, en tant que délégué territorial de l'ANCT (Agence Nationale de la Cohésion des Territoires) ainsi que les directions départementales des territoires sont des interlocuteurs privilégiés des communes. Ils diffusent le programme et assurent le suivi de l'état des ouvrages pour des enjeux de sécurité publique.

Les collectivités, notamment les départements et les intercommunalités sont également des partenaires essentiels. Elles contribuent à appuyer le déploiement auprès des communes et sont des relais indispensables pour pérenniser la dynamique engagée.

Comment cela se passe-t-il concrètement pour les communes ?

Les communes s'inscrivent au programme. Elles sont alors contactées par un bureau d'études pour convenir d'une date de visite sur le terrain, sans que leur participation à cette visite soit obligatoire. Elles sont également invitées à partager la liste de leurs ouvrages si elles en disposent.

Le bureau d'études effectue le recensement des ouvrages concernés du domaine public communal, en l'occurrence les ponts et les murs aval qui soutiennent la route (voir encadré : Les ponts et les murs recensés).

Les murs aval ont été retenus car ce sont les moins bien connus et les moins bien surveillés, en général on ne les voit pas.

Or, leur entretien est essentiel pour prévenir le risque d'effondrement des routes qu'ils soutiennent. ▶

© CEREMA

8





© CEREMA

9



© CEREMA

10



© CEREMA

11



© CEREMA

12

Si, sur le terrain, le bureau d'études repère un défaut qui nécessite la mise en place d'une action immédiate, il le signale aussitôt à la commune. Cela permet à la commune de prendre très rapidement les mesures adéquates et de préserver ainsi la sécurité des usagers.

Quelques semaines après la visite, la commune reçoit le carnet de santé de ces ouvrages.

LES PONTS ET LES MURS RECENSÉS

Les ouvrages concernés par le programme de recensement et d'évaluation sont les ponts et les murs aval de soutènement portant une voirie communale, faisant partie du domaine public des communes.

Les ouvrages de franchissement doivent présenter une ouverture supérieure ou égale à 2 m.

Les murs de soutènement aval doivent disposer d'une hauteur visible supérieure ou égale à 2 m au point le plus haut.

Sans entrer dans le détail de son contenu, pourriez-vous expliquer comment est conçu le carnet de santé ?

Le Cerema a défini avec l'ensemble de la communauté technique ouvrages d'art, un outil pour aider les communes dans la bonne gestion de leurs ponts et de leurs murs : le carnet de santé. Il s'agit d'un outil simple et pédagogique, spécialement



© CEREMA

13

9- 80 000 € est le prix médian estimé de réparation d'un ouvrage présentant des désordres majeurs (études et travaux).

10 & 11- Faute d'entretien, certains ouvrages sont envahis par la nature qui provoque le descellement de la maçonnerie.

12- 5% des ouvrages n'ont pu être évalués car l'accès à leur structure était impossible le plus souvent en raison de la présence d'une végétation qui a pris le dessus.

13- À Bourdeilles, dans le Périgord, le pont gothique sur la Dronne dont la reconstruction aurait été réalisée après la crue du 25 janvier 1735.

14 & 15- Dans un village, un petit ouvrage en structure métallique de desserte locale avant et après son effondrement faute d'entretien.

16- 45% des communes possèdent seulement un ou deux ouvrages.

17- Le vieux pont de pierre à Dinan, sur la Rance, dans les Côtes d'Armor : les parties les plus anciennes du pont actuel remonteraient au XV^e siècle ou XVI^e siècle.



développé pour les gestionnaires de petit patrimoine.

Il regroupe dans un seul document la fiche d'identité de l'ouvrage, la description de son état de référence, la traçabilité des actions de surveillance et la programmation des actions à engager.

Il permet ainsi aux communes d'archiver les informations d'état des lieux de leur patrimoine d'ouvrages d'art et de suivre dans le temps les préconisations de surveillance et les actions à effectuer.

Quels sont les premiers résultats ?

Lors de la période 2021-2023 du programme, 45 000 ouvrages ont été recensés : 29 000 ponts et 16 000 murs. Environ 25% des ponts et 15% des murs présentent des défauts significatifs ou majeurs de structure. Ils nécessitent des études plus approfondies pour déterminer les bonnes actions de réparation à mener. 10% des ouvrages ont nécessité la mise en place d'actions immédiates pour préserver la sécurité des usagers. Dans de nombreux cas, il s'agit de gardes corps

ou de parapets endommagés par des chocs ou par défaut d'entretien. Mais, pour 4% des ouvrages les problèmes sont liés à la structure. Dans ce cas, des restrictions des tonnages circulant sur l'ouvrage ont dû être préconisées, et pour plus de 400 ouvrages une fermeture à la circulation a été nécessaire. 5% des ouvrages n'ont pu être évalués car l'accès à leur structure était impossible. Cela pouvait être lié à l'environnement particulier de l'ouvrage ou à la présence de végétation non retirée avant la visite.

Le programme fournit également une image de la nature du patrimoine communal. On peut ainsi noter que la majorité des ponts sont en béton armé ou en maçonnerie. Sur le territoire national, la répartition des matériaux utilisés est le fruit de l'histoire et des spécificités géographiques. Globalement, les ponts sont de dimension modeste (moins de 30 m²) et ont plus de 70 ans. Les murs sont à 85% en maçonnerie.

Enfin, on note que 45% des communes possèdent seulement 1 ou 2 ouvrages à l'exception notable des communes de montagne. On comprend alors qu'il puisse être complexe de mettre en place une gestion de patrimoine à cette échelle. Une organisation sur un territoire plus vaste comme l'EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) permet de mutualiser les moyens et les compétences.

Quelles sont les autres actions d'accompagnement entreprises par le Cerema ?

Le Cerema a mis en place, en parallèle du Programme National Ponts un corpus méthodologique pour accompagner les maires : <https://www.cerema.fr/centre-ressources/boutique/ponts-murs-communaux>.

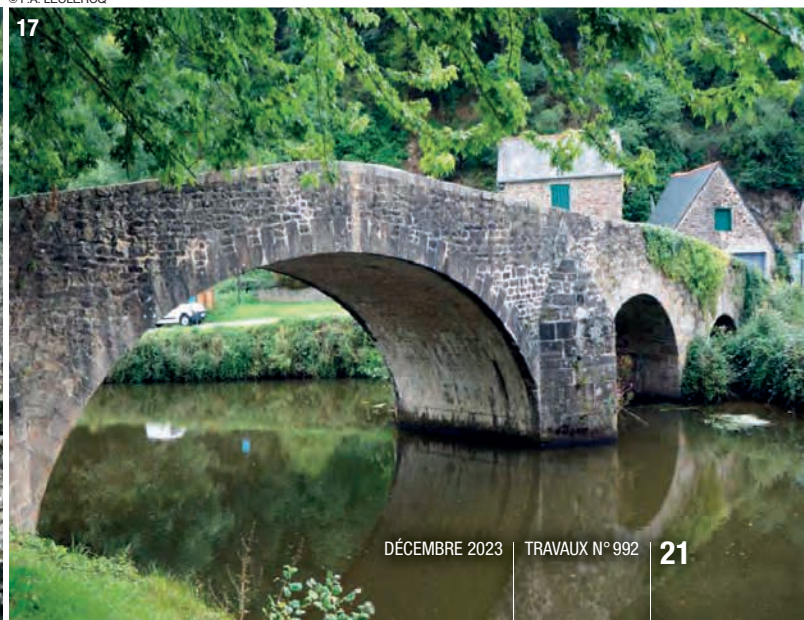
© LAURENT MIGNAUX/TERRA

16



© PA. LECLERCO

17





© CEREMA 18



© CEREMA 19

La méthodologie du carnet de santé ainsi qu'un manuel d'utilisation ont été publiés. Ce manuel constitue un guide explicatif du contenu et de l'utilisation du carnet de santé. Il permet également aux communes qui n'ont pas bénéficié du programme de pouvoir utiliser la méthode sur leurs ouvrages si elles le souhaitent.

En outre, un document très court dit "les essentiels - Ponts et murs communaux" a été conçu pour expliquer à tous et en particulier aux élus des petites communes les enjeux de la gestion de patrimoine. Il est complété par des vidéos de moins de 3 minutes disponibles sur le site internet du Cerema qui rappellent les enjeux de l'entretien et sa nécessité, de façon simple et pédagogique.

Nous sommes aussi en train de finaliser la mise à jour de ce que nous appelons la "bible de la gestion communale", c'est-à-dire le guide technique à l'usage des communes - surveillance et entretien courant des ouvrages d'art

CEREMA & ESRI : AWARD 2023

Le Cerema s'est vu attribuer en 2023 un Award "Special Achievement in SIG" pour la création avec Esri d'un SIG centralisé permettant le recueil et la valorisation des données collectées dans le cadre du Programme National Ponts.

C'est un outil qui permet de collecter, centraliser, capitaliser, et conserver les données des ouvrages du Programme.

Il comprend :

- Une application mobile qui permet le recensement des données et la prise de photos sur le terrain. Utilisable même en zone blanche, elle a grandement facilité le travail des bureaux d'études ;
- Un ensemble de tableaux de bord permettant le suivi et l'avancement du recensement et la validation des informations au sein des bureaux d'études puis par les équipes du Cerema ;
- Un outil d'édition des carnets de santé sur la base des données recensées ;
- Une cartographie permettant la mise à disposition des données publiques.

In fine, sur la période 2021-2023 ce sont plus de 45 000 ouvrages qui ont été saisis dans le SIG avec pour chacun d'entre eux près de 150 données descriptives et une dizaine de photos.

18 & 19- Le fascicule "Les essentiels" sur les ponts et murs communaux et le carnet de santé sur les ponts & murs.

20- Le rapport sénatorial sur les ponts a mis en exergue la difficulté d'entretien par les collectivités d'un patrimoine fragile : exemple à Balan, dans l'Ain, avec le pont de Jons qui se dégrade.

21- Le pont roman de Quézac, magnifiquement rénové, dans le parc national des Cévennes en Lozère, doit sa construction à Urbain V qui souhaitait faciliter l'accès des pèlerins à la collégiale de Quézac.

22- Un ouvrage en pierre très ancien dans le parc national des Cévennes.

23- Quelque part, dans la campagne, entre torrent et nature, l'un de ces ouvrages un peu perdus mais dont il serait dommage de perdre le témoignage de ce qu'ils ont représenté.



© ALAIN ZIND

21

routiers paru en 2018. Ce document très complet est destiné aux services techniques en charge de la gestion des ponts communaux. Il vient d'être modifié et complété suite au lancement du Programme National Ponts.

Le Cerema a également déployé un service d'assistance personnalisée de réponse aux questions des maires "SOS Ponts". En effet, pour les petites communes sans service technique, comprendre les règles de l'art et se repérer parmi les acteurs peut relever du parcours du combattant. "SOS Ponts" propose de les accompagner pas à pas dans les étapes à réaliser. Il offre un point de rencontre entre les communes et les experts. Le maire pose sa question en ligne sur notre site web : <https://sosponts.recoconseil.fr/>

Grâce à un parcours numérique adapté et pédagogique, il accède au fur et à mesure à de premiers éléments de réponse. Puis un échange s'installe avec les experts sur l'espace personnel de la collectivité. Les conseils des spécialistes sont personnalisés. Ils fournissent des informations concrètes et fiables sur la bonne méthode à appliquer, l'études à réaliser, le bon acteur à

contacter. Cela contribue à la sécurité des usagers et la préservation du patrimoine. Pour développer "SOS Ponts", le Cerema a bénéficié du soutien de la Dinum (Direction interministérielle du numérique) à travers l'appel à projets "entrepreneurs d'intérêt général". Il est développé dans une démarche d'amélioration continue : les utilisateurs sont consultés régulièrement et ils contribuent à la construction et l'évolution du service qui répond ainsi au mieux à leur besoin.

Enfin, nous avons mis en place une communauté pour pouvoir échanger

sur le sujet de l'entretien des ponts : la communauté ponts "Expertises Territoires". Cette communauté, d'accès gratuit, s'adresse tout particulièrement à toutes les personnes intéressées ou mobilisées dans l'acte de gérer les ouvrages qu'elles aient ou non bénéficié des actions menées dans le cadre du Programme National Ponts. On y trouve les ressources pour prendre en main ou développer la gestion des ponts et des murs de soutènement. Les ressources déjà disponibles figurent sous forme d'articles dans une "Boîte à outils". D'autres articles sont publiés

au fur et à mesure, notamment lorsque de nouveaux outils d'accompagnement méthodologique sont finalisés. Un "Forum" permet de partager une expérience ou de solliciter des témoignages sur une problématique donnée à tous les membres de la communauté ponts.

Y'a-t-il un appui pour le financement des travaux ?

Dans la suite des opérations de recensement des ouvrages communaux engagées dans le cadre du Programme National Ponts 1 et 2, l'État mobilise 35 M€ pour accompagner les collectivités à réaliser les travaux de réparation de leurs ouvrages les plus dégradés et notamment ceux présentant un enjeu majeur vis-à-vis de la sécurité des usagers et de la continuité des dessertes locales.

Concrètement, les collectivités peuvent faire parvenir depuis le 19 septembre 2023 leurs demandes de financement "au fil de l'eau" pour ces ouvrages depuis le site Démarches Simplifiées. Le Programme National Ponts Travaux subventionnera jusqu'à 60% des travaux de reconstruction, de réparation, de restauration, ainsi que les études techniques et réglementaires nécessaires à leur bonne réalisation.

Près de 32000 communes sont éligibles au Programme National Ponts Travaux. Il s'agit de l'ensemble des communes éligibles au Programme National Ponts 1 (2021-2023) et Programme National Ponts 2 qu'elles aient bénéficié ou non du programme de recensement et d'évaluation des ouvrages communaux avec la remise du carnet de santé. Tous les renseignements sont disponibles sur le site du Cerema :

<https://www.cerema.fr/fr/programmenationalpontstravaux>. □

39 COMMUNES EN OUTRE-MER

Dans le cadre du Programme National Ponts, 39 communes d'outre-mer bénéficient d'un recensement de leurs ouvrages avec un dispositif dédié.

Cela concerne les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM) : Guyane, Guadeloupe, Martinique, La Réunion et Mayotte.

Le déploiement est en cours et les carnets de santé seront remis à ces communes à la fin 2023 / début 2024.

Le programme bénéficie d'un double soutien financier de France Relance et du ministère des outre-mer.

© CEREMA

22



© CEREMA

23





© SAERT
1

SAERT GÉNIE CIVIL, OUVRAGES D'ART ET ÉQUIPEMENTS ROUTIERS : TRIPLE CERTIFICATION

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LA SAERT, LORSQU'ELLE FUT CRÉÉE EN 1984, ÉTAIT SPÉCIALISÉE DANS LA SIGNALISATION ROUTIÈRE ET LA POSE DE POTEAUX TÉLÉPHONIQUES EN BOIS, D'OÙ SON NOM - SOCIÉTÉ ALSACIENNE D'ÉQUIPEMENTS ROUTIERS ET TÉLÉPHONIQUES - MAIS CETTE ACTIVITÉ S'ÉTAIT DÉJÀ ARRÊTÉE LORSQU'ELLE FUT REPRIS, EN JANVIER 2001, PAR ALAIN BALDINGER QUI EN EST ACTUELLEMENT LE GÉRANT. LE NOM DE SAERT A TOUTEFOIS ÉTÉ CONSERVÉ CAR IL BÉNÉFICIAIT D'UNE RÉPUTATION DE SÉRIEUX ET D'EFFICACITÉ DANS LA RÉGION OÙ ELLE EXERÇAIT SON ACTIVITÉ : L'ALSACE ET LES RÉGIONS LIMITOPHES, PLUS GÉNÉRALEMENT CE QUI S'APPELLE Désormais LE GRAND EST. RENCONTRE AVEC ALAIN BALDINGER, GÉRANT DE LA SAERT.

À cette époque, la SAERT employait 26 personnes et réalisait un chiffre d'affaires de 2,5 millions d'euros dont 2,2 millions d'euros dans les équipements de la route (glissières métalliques et balisage BN4) et 300 000 € dans la réparation d'ouvrages d'art.

En 2023, les activités se sont diversifiées et la répartition du chiffre d'affaires est très différente. La SAERT a réalisé en 2022 un chiffre d'affaires de 12 millions d'euros dont 9 millions d'euros dans le Génie Civil et les ouvrages d'art et 3 millions d'euros dans les équipements de la route.

1- Restauration du génie civil du barrage de Mittelmühle à Erstein.

« Nous avons abandonné les réseaux téléphoniques, précise Alain Baldinger, pour nous développer considérablement dans le secteur du béton. La SAERT est devenue un acteur incontournable des marchés alsaciens de Génie Civil et des ouvrages d'art ainsi que de ceux des régions limitrophes. »

2- Alain Baldinger, gérant de la SAERT et de Scicadlam.

3- Le siège de la SAERT à Benfeld (Bas-Rhin).

Les effectifs ont également progressé puisque l'entreprise emploie désormais 62 personnes auxquelles s'ajoutent une vingtaine d'intérimaires permanents.

L'évolution du chiffre d'affaires de la société s'est effectuée en parallèle de son développement pour atteindre aujourd'hui le palier stable de 12 000 000 € évoqué précédemment. Ce chiffre d'affaires est réparti entre le Secteur Béton (70%), le Secteur Équipement (25%) et le Secteur Industrie (5%).

Le siège social, l'atelier et le dépôt de matériel sont à Benfeld, à une trentaine de kilomètres au sud de Strasbourg. L'entreprise dispose par ailleurs depuis 2009 d'une agence à Cernay, à la périphérie de Mulhouse.

En 2013, poursuivant sa diversification dans le traitement du béton, elle a créé Scicadlam (SClage, CArottage, DIAMant), filiale spécialisée dans le sciage et le carottage au diamant, intervenant principalement sur les chantiers de démolition d'ouvrages d'art. Scicadlam est basée à Benfeld et emploie 10 personnes. Elle a réalisé en 2022 un chiffre d'affaires de 1,2 millions d'euros.

« Les opérateurs de Scicadlam, indique Alain Baldinger, sont formés à tous types de découpes et de sciages de matériaux tel que le béton, le marbre, le grès, le granite et les enrobés. En effet, qu'il s'agisse de sciage mural ou au sol, ces découpes sont maîtrisées grâce à des équipements HILTI utilisant les dernières technologies de découpage. »

La SAERT dispose d'un parc matériel adapté à l'ensemble des travaux effectués par ses équipes. Elle possède également son propre parc de signalisation et de balisage qui garantit à ses employés ainsi qu'aux usagers une sécurité optimale aux abords de ses chantiers. Le parc de camions et d'outils de l'entreprise est quant à lui renouvelé régulièrement de manière à être constamment fonctionnel. Les véhicules sont autonomes, parfaitement équipés et adaptés pour effectuer des travaux de jour comme de nuit.

Le site de Benfeld dispose d'un atelier de maintenance et d'entretien interne

© MARC MONTAGNON



ALAIN BALDINGER : PARCOURS

Alain Baldinger est titulaire d'un BTS Travaux Publics obtenu en 1988. Dès sa sortie de l'école, il effectue son service militaire dans le Génie, à Berlin, en tant que conducteur de travaux ce qui lui a permis d'exercer sur le terrain le métier auquel il se destinait. Il s'agissait essentiellement de travaux de bâtiment tels que rénovation de mess des officiers, de salles de cinéma, de réhabilitations diverses dans l'important quartier militaire qui était alors installé dans la ville.

Le 9 novembre 1989 il assiste à la chute du mur et figure même - anecdote qui lui est chère - sur l'une des photos parues dans la presse prise devant la porte de Brandebourg.

En 1990, de retour en France, il entre chez Bouygues, plus précisément dans sa filiale Kesser en Alsace, où il est en charge de la construction d'ouvrages d'art qu'il quitte en 1995 pour rejoindre Pertuy Construction, en Lorraine, autre filiale de Bouygues dans le Grand Est, désormais intégrée au groupe Bouygues tout comme Kesser, au sein de laquelle il poursuit son activité dans le domaine des ouvrages d'art.

En 2001, mis au courant du départ à la retraite du gérant de l'un des sous-traitants de Pertuy - la SAERT - il fait une offre de rachat de l'entreprise et l'opération est menée à bien au 1^{er} janvier 2001.

Alain Baldinger est gérant de la SAERT depuis le 1^{er} janvier 2001 et de Scicadlam depuis le 1^{er} juillet 2013.

Il est également correspondant régional et membre du conseil d'administration du STRRES (Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures) ainsi que membre du conseil d'administration de la Fédération des Entrepreneurs d'Alsace.



© MARC MONTAGNON

ainsi qu'un dépôt avec hall de stockage pour les consommables, ce qui est également le cas de celui de Cernay.

QSE ET RSE : TRIPLE CERTIFICATION

Alain Baldinger attache une grande importance à la qualité des prestations de son entreprise et affirme sa volonté de satisfaire au maximum ses clients tout en renforçant son image de marque dans le respect de l'environnement et en apportant à ses équipes des conditions de travail optimales.

« Je m'engage, précise-t-il, à mettre en œuvre les moyens nécessaires à l'application de cette politique (organisation, personnel, compétences, temps, matériel, ...) qui s'applique aux salariés, aux sous-traitants ainsi qu'au personnel d'appoint.

À ce titre, je me suis engagé depuis 2012 dans une démarche de management intégrant les exigences de notre métier, la qualité, la sécurité et l'environnement.

L'obtention des certifications n'a été que le début d'un processus d'amélioration continue de notre système de management intégré Qualité, Santé, Sécurité et Environnement que nous avons renouvelées avec succès fin 2020 selon la dernière version à jour des référentiels, à savoir les normes ISO 9001 version 2015, ISO 14001 version 2015 et ISO 45001 version 2018.

En complément de cette triple certification, j'ai souhaité intégrer dès 2021 la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) dans la stratégie de l'entreprise, démarche volontaire visant à intégrer les enjeux du développement durable, à moyen et long terme, dans la vision et la stratégie de notre organisation.

Intégration concrétisée fin 2022 par l'obtention du niveau "Engagé" du Label parcours RSE TP, référentiel adapté et dédié à la profession des Travaux Publics développé par la FNTP. »

Il ajoute que, conformément aux exigences des normes, il réexamine sa politique QSE & RSE au minimum une fois par an.

Sa stratégie d'entreprise repose sur des valeurs concrètes : d'un point de vue commercial, développer de nouveaux marchés industriels et cibler les appels d'offres afin de sécuriser le niveau d'activité autour de 12 M€ de chiffre d'affaires, pour assurer le développement et la pérennité de l'entreprise.



4
© EDF



5
© EDF

En ce qui concerne la gestion du système de management intégré QSSE, l'objectif est d'améliorer en permanence les méthodes et outils de travail tout en maintenant la performance technique de ses matériels, voire en la mettant en permanence au niveau des exigences des normes avec un suivi rigoureux des indicateurs de performance par les pilotes de ces processus.

« Nous veillons également, précise-t-il, à mettre en corrélation les besoins en formation exprimés par les employés au cours des entretiens individuels avec les besoins réels de l'entreprise afin de maintenir notre personnel à un niveau de compétence adéquat et améliorer sa sensibilisation permanente aux aspects Qualité, Santé, Sécurité et Environnement et renforcer son adhésion à la politique de l'entreprise à l'aide de formations et des divers points d'information réalisés. Nous renforçons par ailleurs au quotidien la numérisation des données

grâce au développement de la mobilité des outils et des supports informatiques. »

Si les objectifs qualité et santé sécurité sont au centre des préoccupations de la SAERT, celui de l'environnement fait partie lui aussi de la démarche de l'entreprise vis-à-vis de ses partenaires et de ses clients : développer et analyser pour chaque poste de travail les niveaux d'exposition pour chaque séquence et chaque acteur au travers des Aspects Environnementaux Significatifs (AES), améliorer et veiller en permanence à l'environnement des chantiers par la gestion de ses déchets et par la mise en place de consignes en vue d'éviter les impacts sur la pollution visuelle et sonore, tout en se conformant aux nouvelles dispositions réglementaires (Déchets Dangereux, Déchets Non Dangereux), développer une démarche de substitution des Agents Chimiques Dangereux (ACD) afin de protéger la santé du personnel et diminuer l'impact sur l'environnement.

4 - Usine hydro-électrique EDF de Marckolsheim : bétonnage du nouveau manteau.

5 - Le nouveau manteau du générateur de l'usine de Marckolsheim est en place.

6 & 7 - À Menchhoffen, rénovation d'un ouvrage sous voie SNCF, avant et après les travaux.

UN ANCRAGE LOCAL AFFIRMÉ

Une volonté de communiquer ces démarches au niveau des chantiers et des riverains et de collaborer avec les autorités administratives chargées des questions environnementales et de sécurité lui permet parallèlement d'affirmer son ancrage local tant en ce qui concerne les équipements routiers de balisage et de signalisation que les travaux liés à l'entretien ou à la construction d'ouvrages d'art et de structures en béton armé.

Ses interlocuteurs privilégiés sont d'abord les grands maîtres d'ouvrage régionaux : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Grand Est, Direction Interdépartementale des Routes Est, l'Eurométropole de Strasbourg, la ville de Mulhouse, la région Grand Est (Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine), la SNCF, Réseau Ferré de France, EDF, Sanef, mais aussi ce qui s'appelle la Collectivité Européenne d'Alsace (CEA).

L'ensemble de ces dispositions permet à la SAERT et à ses responsables à tous les niveaux (études de prix, chefs de secteur) d'intégrer la RSE dans le système de management intégré Qualité, Santé, Sécurité et Environnement et de communiquer sur elle à tous les niveaux de l'entreprise.



6
© SAERT



7
© SAERT

La CEA est une collectivité territoriale française créée le 1^{er} janvier 2021. Elle résulte de la fusion des collectivités départementales du Bas-Rhin et du Haut-Rhin. Les deux départements continuent cependant à exister en tant que circonscriptions administratives de l'État.

Le secteur équipement est concerné par l'ensemble des matériels mis en œuvre sur les routes et les autoroutes : glissières de sécurité, balisage/exploitation, signalisation verticale, mobilier urbain, dispositifs de retenue, barrières, clôtures autoroutières.

Le secteur béton recouvre plusieurs types d'aménagements :

- Génie civil : travaux neufs, réparations et renforcements ;
- Ouvrages d'art : travaux neufs et réparation ;
- Passerelles ;
- Béton projeté, maçonnerie, garde-corps ;
- Génie Civil industriel ;
- Murs anti-bruit.

AU FIL DE QUELQUES CHANTIERS
EDF est l'un des clients de référence de l'entreprise. Il faut savoir que,

8- Le canal de la Bruche à Achenheim après les travaux de restauration.

9- Réparation de deux bassins dans la station d'épuration de Strasbourg.

10- Le barrage de Mittelmühle remis en eaux à l'issue des travaux réalisés par la SAERT.



© SAERT

8

CANAL DE LA BRUCHE : UNE SECONDE JEUNESSE

À Achenheim, dans le Bas-Rhin, la SAERT a assuré pour le compte de la Collectivité Européenne d'Alsace les travaux de restauration des ouvrages hydrauliques du Canal de la Bruche, lot 2 : restauration des écluses 7 et 8 et déversoir, reprise complète du sas de l'écluse 8.

Mandataire de l'opération en groupement avec Rauscher (tailleurs de pierre et maçons), elle était associée sur ce chantier à Artelia (MOE), Barthel, Sade, Speyser et Eurovia.

Les travaux préparatoires concernaient le défrichage et le décapage de la terre végétale ainsi que la création des pistes de chantier, la signalisation routière et le déplacement des sédiments présents dans le canal au droit des ouvrages (batardeaux, têtes amont et aval et sas).

Le contrôle des eaux était assuré par la création de deux batardeaux tandis que les travaux proprement dits sur ouvrage étaient variables en fonction des ouvrages : démontage partiel ou total, démolition complète avec création de nouveaux murs en béton armé et mise en œuvre de plaquettes de parement, interventions curatives de nettoyage, sablage et injections, chape en béton sur radier, équipements des ouvrages (vannes de batardeau).

Pour les déversoirs, des travaux similaires ont été exécutés par les entreprises comprenant notamment le retrait des batardeaux, la remise en place des sédiments, l'effacement puis la réfection des pistes cyclables, le revêtement en terre végétale.

construites de 1932 à 1977, les usines hydroélectriques d'EDF et ses filiales sur le Rhin produisent environ 20% de l'énergie hydraulique d'EDF en France, soit plus de la moitié de la consommation électrique de l'Alsace.

Il est procédé actuellement à leur maintenance progressive et la SAERT a réalisé les travaux de génie civil et de reconstruction de certains groupes de production des centrales de Marckolsheim, Kembs et Rhinau.

« Il s'agit de marchés qui requièrent des qualifications bien spécifiques, précise Alain Baldinger. »

Dans le cadre du Contournement Ouest de Strasbourg, l'entreprise a mis en place, pendant les travaux qui ont duré trois ans, 6 kilomètres de balisage lourd en béton de type BT4.

Sur la M 351 (ex RN4) à l'entrée de Strasbourg, la SAERT a réalisé l'ouvrage dit OA 67 permettant le franchissement de la nationale en direction de Saverne.

Rue du Tramway à Eschau, l'entreprise est intervenue sur un ouvrage qu'elle a démolé puis reconstruit avec des poutrelles métalliques enrobées et cintrées en y adjoignant une piste cyclable. L'ouvrage assure le franchissement du canal du Rhône au Rhin.

À Menchhoffen, la rénovation d'un ouvrage sous voie SNCF assurant le passage d'un ruisseau a été réalisée par remplacement complet de la maçonnerie et la mise en œuvre du nouveau revêtement en béton projeté.

Pour la station d'épuration de Strasbourg, le chantier de réparation de deux bassins a nécessité le vidage total des bassins et le traitement des aciers.

Le chantier s'est déroulé en 2022 sur site occupé et dans un délai très court.



© SAERT

9



© SAERT

10



PONT-CANAL DE RECH/SARRALBE : DE 1886 À 2023

La restauration du pont-canal de Rech/Sarralbe sur le canal des Houillères de la Sarre est l'une des opérations en cours les plus emblématiques du savoir-faire de la SAERT.

C'est en 1861 que la France et la Prusse se sont engagées à réaliser le canal international des Houillères de la Sarre.

Le canal de la Sarre, anciennement appelé le Canal des Houillères de la Sarre, évoque l'ère industrielle. Construit en 1861, il est ouvert à la navigation en 1866 et devait contribuer au transport de la houille de Sarrebruck à Mulhouse et plus largement au développement des exploitations lorraines et sarroises.

À Sarralbe, le canal a été surélevé dans la zone inondable et un imposant pont-canal a été construit pour enjamber l'Albe.

Il se compose de deux parties distinctes : les supports en maçonneries et la superstructure métallique qui a 47,60 m de longueur et 11 m de largeur. Celle-ci se compose d'une voie d'eau de 6,80 m de largeur pour une hauteur de 1,80 m ; la voie de passage est donc à peine plus large que les péniches.

Le pont canal de Rech a été inauguré en 1866. Il est le premier ouvrage métallique de ce type en France.

Les travaux de rénovation ont démarré courant mai 2023. Ils comprennent la réfection des appuis, de l'ossature métallique, de l'extrados et une opération de cuvelage. Il s'agit de travaux de réparation d'un ouvrage métallique, sur appuis en maçonnerie, datant de 1867. Les travaux dureront 19 mois.

Les travaux engagés par Voies Navigables de France, maître d'ouvrage, avec la collaboration d'Ingerop (MOE) sont exécutés par le groupement SAERT (mandataire) / Etandex avec la collaboration de S.Applications (réfection de l'ossature métallique) / Hussor Erecta (échafaudage), Inginko (études d'exécution) et SNEM (renforcement).



Le pont-canal de Sarralbe, sur la Sarre, en Moselle, a fait l'objet de travaux complets de rénovation (voir encadré).

« Il est à noter, précise Alain Baldinger à propos de ces chantiers du quotidien, que nos équipes sont qualifiées pour réaliser du béton projeté, pour mettre en œuvre des étanchéités, pour assurer éventuellement des démolitions partielles ou totale ainsi que du sciage/carottage, pour déposer et remettre en place des garde-corps. Nous n'avons pas besoin de faire appel à un sous-traitant pour ces travaux spécialisés qui dépassent le seul cadre de la maçonnerie proprement dite. »

L'entreprise dispose également de ponts flottants pour permettre l'accès et le travail en toute sécurité de ses équipes pour les travaux fluviaux.

Ce fut récemment le cas sur le chantier du barrage de Mittelmühle à Erstein, pour le compte de la région Grand Est avec la collaboration d'Artelia (MOE). Compte-tenu de l'état de dégradation de l'ouvrage, l'objectif principal du projet était de le sécuriser. Il visait également à améliorer la continuité écologique et restaurer la randonnée nautique :

- Travaux de restauration du génie civil de l'ouvrage ;
- Remplacement de la vantellerie, motorisation et automatisation ;

- 11 - Le chantier de restauration du pont-canal de Rech / Sarralbe datant de 1866.**
- 12 - Intervention sur le tablier du pont-canal de Rech / Sarralbe.**

→ Adaptation du seuil du bras annexe pour augmenter sa capacité hydraulique.

La vanne motorisée doit permettre de caler le niveau d'eau amont à la cote 150,80 m NGF. Une sonde de niveau d'eau amont est donc nécessaire. De plus, afin de permettre l'exploitation du système de régulation de l'III dont fait partie l'ouvrage, le coffret de commande doit fournir des informations sur le niveau d'eau aval et le débit transitant via l'ouvrage vanné. Pour répondre à cette demande, une sonde de niveau d'eau aval et un capteur d'ouverture de la vanne sont aussi nécessaires. L'ouvrage nécessitait la rénovation des

- Démolition de la passerelle actuelle, adaptation des appuis, et remplacement par une passerelle plus large ;
- Création d'une rampe pour le franchissement piscicole et des canoës kayak ;



© SAERT 13

parements de l'écluse ainsi que celle d'une passe à poissons. Il a permis de mettre en évidence toutes les compétences de l'entreprise : béton préfabriqué pour les éléments du tablier, réparation des piles en béton projeté, pose d'enrochements, réparation de maçonnerie, renouvellement de l'étanchéité.

OPÉRATION "COUP DE POING" POUR LA SNCF

À Besançon, le remplacement d'un ouvrage SNCF près de la gare a mobilisé lui aussi l'ensemble des compétences des équipes de la SAERT. Le projet consistait à déposer et remplacer le tablier existant à poutrelles jumelles métalliques par un nouveau tablier de type poutrelles enrobées au niveau de la ligne ferroviaire Dole -

13- Opération "coup de poing" rue Chasnot à Besançon pour le remplacement d'un ouvrage SNCF : l'aire de préfabrication des éléments du tablier.

14- Chantier de la rue du tramway à Eschau : réalisation d'un ouvrage neuf à poutrelles métalliques enrobées.

15- Le nouvel ouvrage de la rue du tramway à Eschau.

Belfort franchissant la rue Chasnot : ouvrage à une travée de 8 m de portée et de 5,45 m de largeur avec création de sommiers préfabriqués scellés dans les culées existantes de l'ancien pont. Le tablier a été réalisé dans une zone de préfabrication puis mis en place à l'aide d'une grue de 500 t à sa place définitive lors d'une opération "coup de poing" du 22 au 23 avril 2023 : 24 heures non-stop pour l'enlèvement de l'ancien tablier métallique et son remplacement par une structure à poutrelles enrobées préfabriquée par les équipes de la SAERT.

Les phases de travaux se sont enchaînées en continu : préfabrication préalable sur place du nouveau tablier avec intégration simultanée des garde-corps ainsi que des nouveaux appuis, démo-

lition en une nuit de l'ouvrage existant, pose en une nuit de l'ouvrage neuf déjà doté de ses équipements de sécurité. Le chantier s'est déroulé pendant un week-end afin que la circulation des trains puisse être rétablie dès le lundi matin.

Le chantier a été réalisé pour le compte de SNCF Réseau Infrapole Bourgogne-Franche-Comté en collaboration avec Visualing (études), DSD Firoc (sciage, carottage), DVF (travaux de voie), Mediaco (levage).

Le chantier de restauration du pont-barrière B38 de Huttenheim, sur l'Ille, a fait appel lui aussi aux multi-compétences de l'entreprise : sciage et carottage de certains éléments, réparation des piles et des culées, aire de préfabrication pour le bétonnage des chevêtres et du tablier avec repose des garde-corps. L'accès à l'ouvrage était facilité par la présence d'un ponton flottant.

L'ensemble des travaux de préparation de chantier, de terrassement, démolition et évacuation du tablier existant, réalisation du pont-dalle, mise en place d'une étanchéité et de l'enrobé sur la partie circulaire ont été réalisés en collaboration avec Favier (études), Scicadim (carottage/sciage), Sirco (micropieux), Engelmann (équipement). SNCF Réseau a également confié à la SAERT les travaux de régénération de l'aqueduc de la ligne Mommenheim-Sarreguemines à Menchhoffen (67). Travaux caractéristiques de l'ensemble des opérations à effectuer pour obtenir une rénovation de qualité d'un ouvrage : défrichage de la zone de travaux, création de batardeaux, réparation des longrines, réparation des zones de sous-cavage en béton projeté, réalisation de béton projeté sur les murs retours et en intrados. ▷



© SAERT 14



© SAERT 15

À Menchhoffen également, la Communauté de Communes de Hanau-La-Petite-Pierre a confié à la SAERT en groupement avec GCM les travaux de démolition et reconstruction complète d'un ouvrage d'art rue du Moulin entrant dans le programme de voirie 2022 de la COMCOM.

DES CHANTIERS ANCRÉS DANS LA VIE DE TOUS LES JOURS

D'autres ouvrages témoignent de l'ancrage de l'entreprise dans la vie locale en intervenant sur des ouvrages indispensables à la vie quotidienne des riverains.

À Molsheim où se situe le siège de Bugatti, afin de faciliter l'accès à la gare, la SAERT a construit pour la municipalité, en collaboration avec Gallois/OTE (MOE), les entreprises Barthel (passerelle) et Sirco (micropieux), une passerelle en structure métallique fondée sur micropieux. L'originalité de l'ouvrage dit "Passerelle de la Commanderie" est qu'il illustre, sur ses garde-corps, quelques-unes des images typiques de l'architecture alsacienne. La passerelle a une longueur de 20 m et une largeur de 5 m. Le plateau est en béton préfabriqué désactivé. Tel est aussi le cas du chantier d'élargissement de la rue du Tramway à Eschau (Bas-Rhin) pour le compte de l'Eurométropole de Strasbourg qui comprenait notamment la démolition et la

UN SYSTÈME DE MANAGEMENT INTÉGRÉ RÉCOMPENSÉ

Le Système de Management Intégré Qualité, Sécurité et Environnement mis en place par la société SAERT (SMIQSE) a été récompensé dès le 19 décembre 2014 par l'obtention de la triple certification QSE attribuée par l'AFNOR :

- ISO 9001 : 2015 - management de la qualité afaq qualité ;**
- ISO 14001 : 2015 - management de l'environnement afaq environnement ;**
- ISO 45001 : 2018 - management de la sécurité au travail.**

reconstruction du pont franchissant le canal du Rhône au Rhin.

Les travaux faisant l'objet du présent marché concernent la démolition et la reconstruction de l'ouvrage d'art portant la rue du Tramway à Eschau et franchissant le canal du Rhône au Rhin. L'opération intègre également :

- Les travaux de voirie de la rue du Tramway, depuis la rue de l'Artisanat à l'est (hors carrefour) jusqu'au raccordement du nouveau tracé sur l'existant à l'ouest, en intégrant la chicane à proximité de la rue Albert-Schweitzer ;
- Les travaux de modification de la piste cyclable supérieure ainsi que son raccordement de la piste inférieure, côté Nord ;
- Les travaux sur la voie d'accès à la maison éclusière de VNF.

Les culées rive droite et gauche sont constituées de chevêtres reposant sur des fondations profondes constituées de pieux de 800 mm de diamètre, descendus à la cote 137,40.

Le tablier est un tablier en poutrelles enrobées constitué de 18 poutrelles métalliques HEB 600 entretoisées et continues sur toute la longueur de l'ouvrage.

La piste cyclable inférieure, destinée à terme à être raccordée en aval et en amont à l'itinéraire "Velostras", est soutenue par un rideau de palplanches de type AZ. Mandataire de cette opération, la SAERT l'a réalisée en collaboration avec Lingenheld TP, Durmeyer et Speyser.

UNE PASSERELLE QUI SE REMARQUE

Un autre chantier de "proximité" contribuant à l'amélioration de la vie locale est celui, à Sarrebourg, en Moselle, de la démolition et reconstruction de la passerelle Bracksteg sur la Sarre, réalisé avec Favier (études), Visualing (études d'exécution), Barthel (passerelle, garde-corps), Lingenheld TP (démolition), Mediaco (levage).

« *Voilà plus de deux ans*, précise Alain Baldinger, *depuis mai 2021, que pour des raisons de sécurité les piétons et cyclistes ne pouvaient plus l'utiliser à Sarrebourg. Mais le jeudi 6 juillet 2023, la passerelle Bracksteg, enjambant la*



© SAERT



© SAERT



© SAERT



© SAERT



© SAERT

20

Sarre, a été officiellement inaugurée. »

Les travaux ont débuté en décembre 2022, par la démolition de la passerelle. Après la construction des sommiers en béton armé, la pose des trois nouvelles travées de 6 tonnes chacune de la nouvelle passerelle réalisée par Barthel a eu lieu le 24 mai dernier à l'aide d'une grue mobile.

Les Sarrebourgeois peuvent à nouveau emprunter la passerelle du Bracksteg qui surplombe la Sarre au centre-ville, à hauteur de la salle du Casino. Une opération spectaculaire suivie par de nombreux passants.

L'entreprise de Benfeld est décidément très active dans le domaine des passerelles puisqu'elle a aussi réalisé, pour la Collectivité Européenne d'Alsace (MOE) et la DRIM - Pôle Territoire (MOE), celle sur le canal de Huningue à Niffer (Haut-Rhin).

« La passerelle piétons & cyclistes sur le canal de Huningue à Niffer a été reposée sur ses appuis le jeudi 26 janvier 2023, indique Alain Baldinger, à l'aide de grues de notre sous-traitant Mediaco Est après avoir fait un petit tour sur les barges de notre sous-traitant Nautilia Travaux Subaquatiques. La structure de la passerelle a entiè-

20- À Ittenheim, l'OA67 réalisé pour la DREAL Strasbourg.

21- Le petit pont de la RD224 sur la Mossig à Wangenbourg-Engenthal, pour le Conseil départemental du Bas-Rhin, magnifiquement restauré.

22- Le stock de barrières de sécurité BT4.

rement été remise en état par hydro-décapage réalisé par notre sous-traitant Hypojet avant d'être sablée puis remise en peinture par notre cotraitant Rak Protect.

Il faudra encore un peu de patience aux piétons & cyclistes avant d'être à nouveau praticable, le temps pour nous de remettre un nouveau platelage et de nouveaux garde-corps... »

Pour conclure avec les chantiers que l'on peut considérer comme de proximité avec les riverains sur des ouvrages participant à leur vie quotidienne, et bien qu'il y en ait évidemment beaucoup d'autres, il convient de

mentionner la réhabilitation de l'ouvrage d'art "Pont Louis Pasteur" sur l'III, à Strasbourg dans le cadre de l'extension de la ligne G du "Bus à Haut Niveau de Service" (BHNS).

Sous maîtrise d'ouvrage de la Compagnie des Transports Strasbourgeois avec Serue Ingénierie comme MOE, la SAERT intervient en tant que mandataire d'un groupement en partenariat avec Lingenheld TP et Ævia et trois partenaires : DSD Firoc (sciage), RCA (joint de dilatation) et Visualing (études). Les travaux ont débuté en juillet 2023 pour une durée de trois mois.

Le projet consiste en la réhabilitation de l'ouvrage afin de créer une chaussée de 12 m de largeur à la place des 11,22 m existants, afin de pouvoir y insérer 2 voies pour le BHNS et 2 voies pour la circulation routière. Cela a nécessité de réduire les trottoirs et, compte-tenu des caractéristiques des tabliers, les relevés d'étanchéité existants ont dû être démolis et reconstruits avec un décalage. L'étanchéité a ensuite été reprise en intégralité sur l'ouvrage ainsi que les revêtements. Le maître d'ouvrage a également profité des travaux pour remplacer les appuis néoprène et les garde-corps compte-

tenu des nombreux désordres qui avaient été relevés.

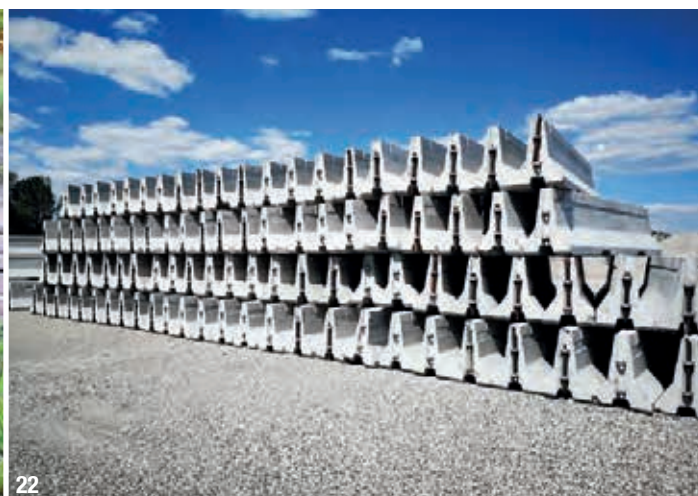
« Les travaux d'élargissement devaient être réalisés sous route barrée pendant les 8 semaines de congés scolaires, précise Alain Baldinger, avec pour objectif une réouverture des voies principales avant la rentrée des classes le 4 septembre. Défi relevé haut la main par nos équipes et nos différents partenaires, malgré le maintien du flux incessant des piétons et des cyclistes. »

En plus de son activité dans la signalisation routière, la SAERT s'est fait une spécialité de l'entretien et de la réparation d'ouvrages d'art ou d'ouvrages en béton ainsi qu'en témoignent les chantiers qui viennent d'être cités et auxquels on pourrait ajouter, pour être sinon exhaustif du moins plus complet : les ouvrages d'art de Koenigshoffen et de la rocade Sud pour l'Eurométropole de Strasbourg, l'OA67 à Ittenheim pour la DREAL Strasbourg, la réparation du génie civil de trois ponts dessableurs dans la station d'épuration de Glasswoerth à Strasbourg pour Suez-Valeaurhin, le petit pont de la RD224 sur la Mossig à Wangenbourg-Engenthal, pour le Conseil départemental du Bas-Rhin, magnifiquement restauré. □



21

© SAERT



22

© SAERT



TOUR AURORE - PARIS LA DÉFENSE - RÉHABILITER ET SURÉLEVER POUR MIEUX RÉEMPLOYER LE BÂTI EXISTANT

AUTEURS : FARES MOKHTARI, INGÉNIEUR STRUCTURE/CHEF DE PROJETS, SETEC TPI - FRANÇOIS LEBRUN, DIRECTEUR D'ACTIVITÉ, SETEC TPI

DESTINÉE À ÊTRE DÉMOLIE AU DÉBUT DE LA DÉCENNIE PRÉCÉDENTE PUIS LAISSÉE À L'ABANDON, LA TOUR AURORE S'APPRÊTE À ENTAMER UNE NOUVELLE VIE EN CETTE FIN D'ANNÉE 2023, ET CE À TRAVERS L'ACHÈVEMENT D'UN AMBITIEUX PROJET DE RÉHABILITATION ET DE SURÉLÉVATION. L'OPÉRATION S'ACCOMPAGNE DE LA CRÉATION D'UN IMMEUBLE MITOYEN DIT " PAVILLON " FONDÉ SUR UN PARKING PUBLIC. LA LIGNE ARCHITECTURALE INITIALE DE LA TOUR EST SUBTILEMENT MODERNISÉE ET RECONDUITE, S'INSCRIVANT AINSI DANS LA CONTINUITÉ DU PATRIMOINE URBAIN DU QUARTIER DE LA DÉFENSE.

PRÉSENTATION DU PROJET

L'opération tour Aurore (figure 1a) se compose de trois parties principales :

- Surélévation de la tour : curage intégral du bâtiment, démolition de la toiture terrasse et surélévation de 6 niveaux supplémentaires aux 27 niveaux existants, faisant passer la surface de plancher de la tour de 29 000 m² à 33 000 m², et d'une hauteur de 85 m à près de 120 m (figure 2). La façade existante est entièrement déposée et remplacée par une façade neuve ;
- Construction du bâtiment pavillon : démolition d'un bâtiment R+2 pour faire place au pavillon, constitué de 9 niveaux (pour 4 100 m² de plancher) et classé IGH (Immeuble de Grande Hauteur) au même titre que la tour. Il est fondé sur les voiles du parking Reflets 2 existant à l'aplomb ;

1a- Tour Aurore et pavillon - Vue de face.

1b- Perspective projet - Vue de face.

1a- Aurore Tower and pavilion - Front view.

1b- Perspective view of the project - Front view.



© SNC AER 2 / L'AUTRE IMAGE / JEAN-PAUL VIGUIER ET ASSOCIÉS / SISTO STUDIOS

→ Réaménagement des abords : démolition de la dalle de la place des Reflets face au pavillon pour créer un patio et végétalisation de la place des Reflets face à la tour.

La tour conserve en projet son usage exclusif de bureaux. Le pavillon pour sa part regroupe une multitude de services (coworking, business center, auditorium, drugstore, restauration) et offre une toiture terrasse accessible de type rooftop.

Les infrastructures de la tour (5 niveaux y compris le hall) sont profondément remaniées afin de moderniser l'accueil et de s'accorder au projet d'aménagement de la place des Reflets.

GENÈSE, DONNÉES D'ENTRÉE ET HYPOTHÈSES DE CONCEPTION

GENÈSE DU PROJET

Érigée en 1970 dans un quartier de la Défense alors naissant (figure 3), Aurore fait partie de la première génération de tours du futur quartier d'affaire, elle se singularise par ses bandeaux horizontaux et la teinte orangée de ses vitrages (figure 4).

La tour est promise à la démolition au début des années 2010, et ce pour faire place à un projet de tour neuve. La crise économique de 2012 ainsi que les recours des riverains marqueront l'abandon définitif du projet de nouvelle tour. Le rachat d'Aurore par le fond Aermont en 2017 marque ainsi l'acte de renaissance de la tour.

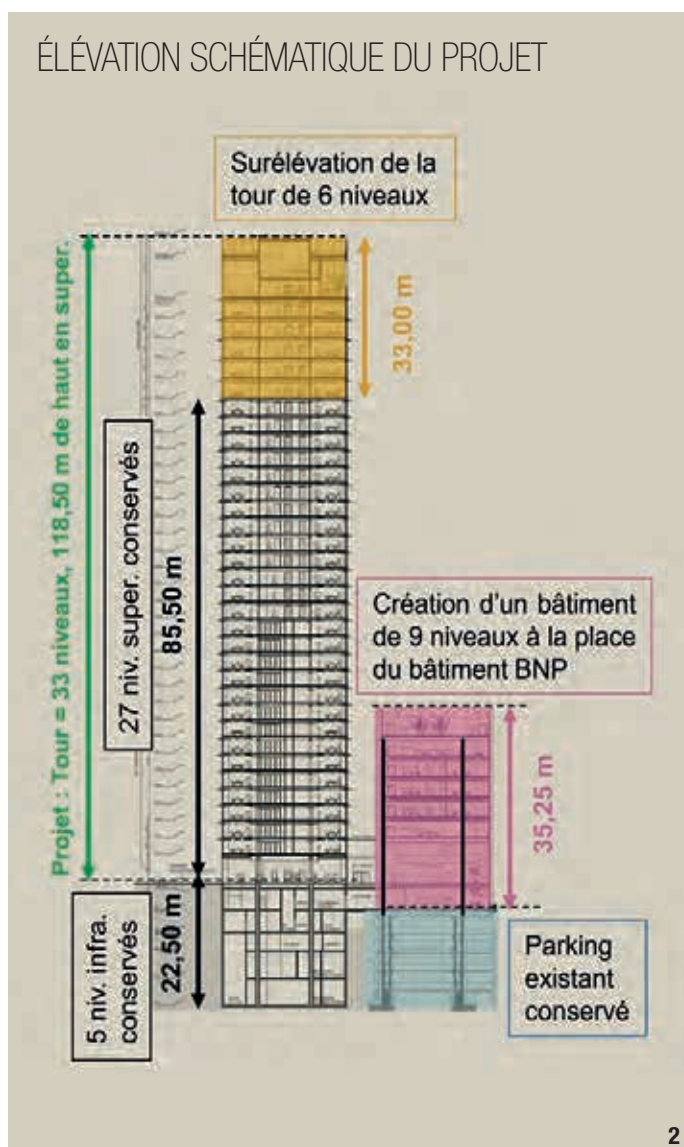
Des études préliminaires sont enclenchées dans la foulée pour aboutir à un dossier de permis de construire déposé en 2018.

Dès la phase esquisse, des calculs structurels préliminaires sont menés par Setec tpi pour anticiper le nombre d'étages de surélévation possible sans devoir procéder à des renforcements importants de la structure existante. Ce paramètre sera la donnée d'entrée de l'équipe de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage pour aboutir à un projet viable d'un point de vue économique et architectural et vertueux d'un point de vue carbone.

RECUEIL DES DONNÉES D'ENTRÉE : PLANS, RECONNAISSANCES ET DIAGNOSTICS

Un dossier des ouvrages exécutés (DOE) complet a pu être récupéré auprès des services d'archives de la Défense (plans de coffrage et ferrillages intégraux). Les plans ont été exploités dès la phase esquisse pour modéliser une maquette structure de l'ensemble des existants qui servira de base à la modélisation du projet (figure 6) tant en dessin qu'en extraction de modèle de calcul.

Bien que des qualités et nuances de matériaux soient indiquées sur les plans DOE, il est indispensable de sonder les structures et de vérifier la concordance avec les plans. Des campagnes de reconnaissance ont été réalisées à cet effet tout au long de la conception d'avant-projet (6 campagnes entre 2018 et 2019) :



→ Ferrailage : ferroskan et essais à la traction ont confirmé les ferrillages présents sur les plans ainsi que la limite élastique affichée ;

→ Béton : les essais sur éprouvettes ont affiché des qualités de béton variables sur la hauteur de la tour, avec notamment des nuances moins bonnes que sur les plans pour une partie des étages hauts (C20 à C25 contre C30 affiché sur les plans). Les bétons des parties basses de la tour ainsi que des voiles du parking Reflets se sont avérés conformes aux indications des plans, voire meilleurs.

L'immeuble étant entièrement curé au démarrage des études, une visite détaillée a été effectuée afin de constater l'état des structures existantes. Ces dernières présentaient un très bon état de conservation, et ce malgré une longue période sans occupant.

2- Élévation schématique du projet.

3- Photo aérienne - Quartier de la Défense - 1970.

4- Façade Aurore 1970.

2- Schematic elevation view of the project.

3- Aerial photo - La Défense district - 1970.

4- Facade of the Aurore Tower, 1970.



5- Dépose de la façade existante.

6- Maquette structure du projet.

7- Plancher existant - État post curage.

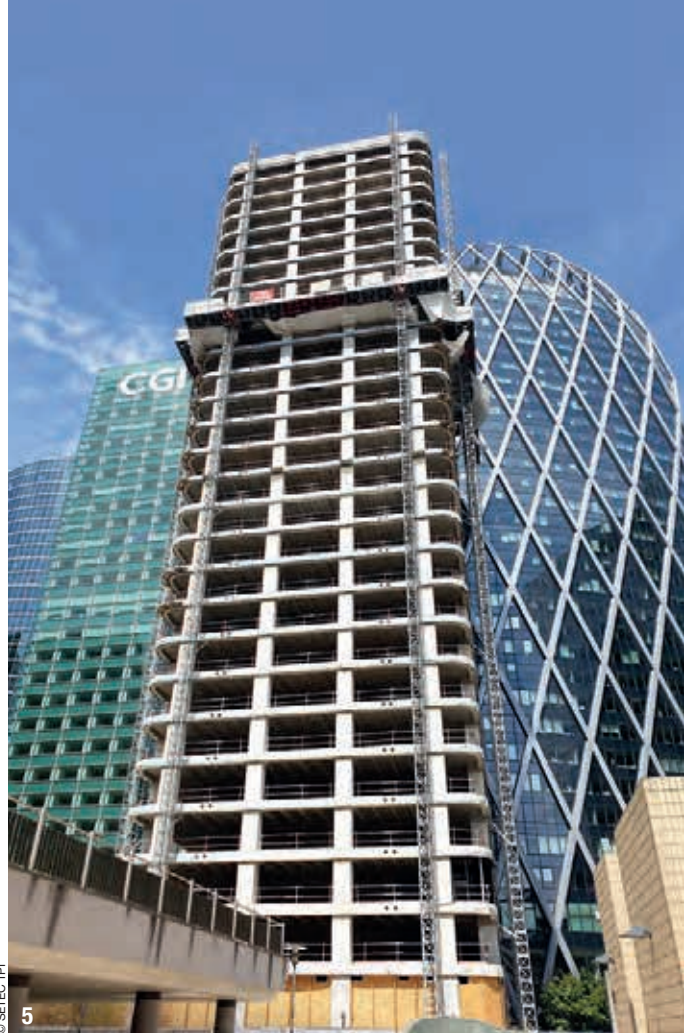
8- Maquette de site avec capteurs pour essais au vent.

5- Removal of the existing facade.

6- Model of the project structure.

7- Existing floor - Post-cleaning condition.

8- Model of the site with sensors for wind tests.



© SECTEC TPI

Seuls certains aciers de plancher apparents (figure 7) ont été constatés au titre de désordre mineur.

HYPOTHÈSES : NORMES DE CALCUL ET CHARGEMENTS

Les structures existantes ont été dimensionnées au CCBA 68 (règlement de calcul de béton armé applicable en 1970). Le cadre normatif convenu avec le contrôleur technique pour le projet est le suivant :

- Structures existantes non rechargées : justification suivant les règles de l'époque (CCBA 68) ;
- Structures existantes modifiées/renforcées et structures neuves : vérification avec les normes en vigueur (Eurocode).

La surélévation de la tour augmentant sa prise au vent, la re-vérification du comportement global de la tour (déplacements, accélérations, efforts) est alors nécessaire.



MAQUETTE STRUCTURE DU PROJET

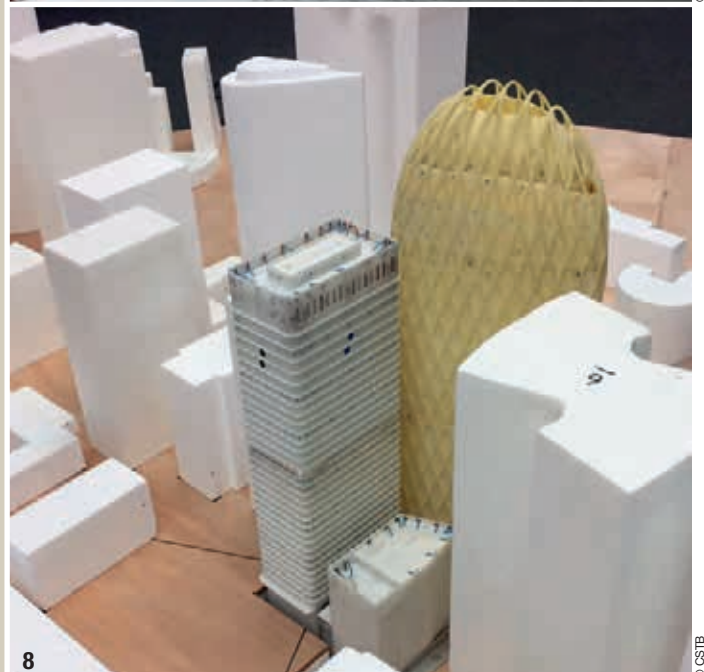


6



7

© PETIT CONSTRUCTION



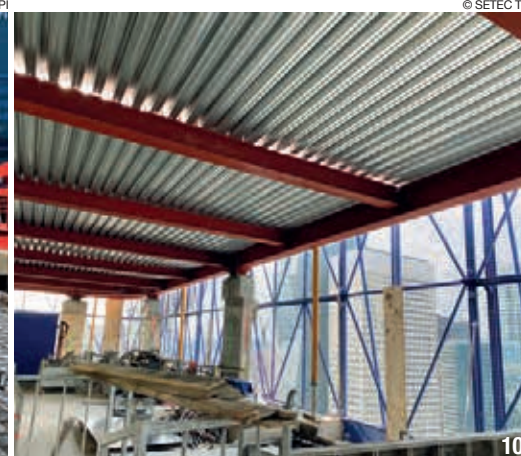
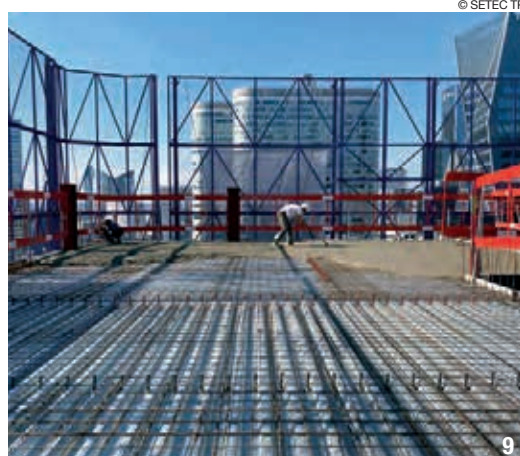
8

© CSTB

Une campagne d'essais au vent a été réalisée par le Cstb à Nantes afin d'estimer les pressions de vent à appliquer à la tour et au pavillon, et ce en tenant compte de l'environnement de la tour (qui a évolué depuis sa construction en 1970) via une maquette de site (figure 8). Les effets de la surélévation ont également été évalués sur l'environnement proche du projet. Aucun impact significatif n'a été recensé.

Le programme de charges de planchers a été établi avec le maître d'ouvrage de manière à ne pas dépasser les charges de conception des planchers conservés, afin de ne pas renforcer ces derniers. Les charges considérées pour les planchers de la tour sont :

- Q part bureaux : 2,50 kN/m² : charge réglementaire Eurocode, correspond à la charge de 1970 ;
- Q part cloisons : 0,80 kN/m² : charge de 1970 : le projet de cloisons se limite à cette valeur ;
- G' part CEA-CET : 0,70 kN/m² : charge de 1970 : le projet de CEA-CET doit aboutir à une charge compatible ;
- G' part Façade : la façade existante (déposée, voir figure 5) étant constituée d'un vitrage associé à un - lourd - bandeau de façade en béton (figure 4), sa substitution par un complexe de façade neuf constitué d'un vitrage (plus lourd que l'existant) et d'un bandeau en aluminium (figure 1) nettement plus léger que le bandeau béton permet un gain en poids global de façade par compensation.



RÉHABILITATION ET SURÉLEVATION DE LA TOUR CONCEPTION DES PLANCHERS

Une solution légère de plancher mixte acier-béton (figure 9) permettant un gain de poids de 30 % par rapport à un plancher béton a été retenue afin de

minimiser l'impact sur les existants, et a servi de base pour le calcul du nombre d'étages admissible.

Le nombre d'étages a été déterminé de manière à rester dans l'épure :

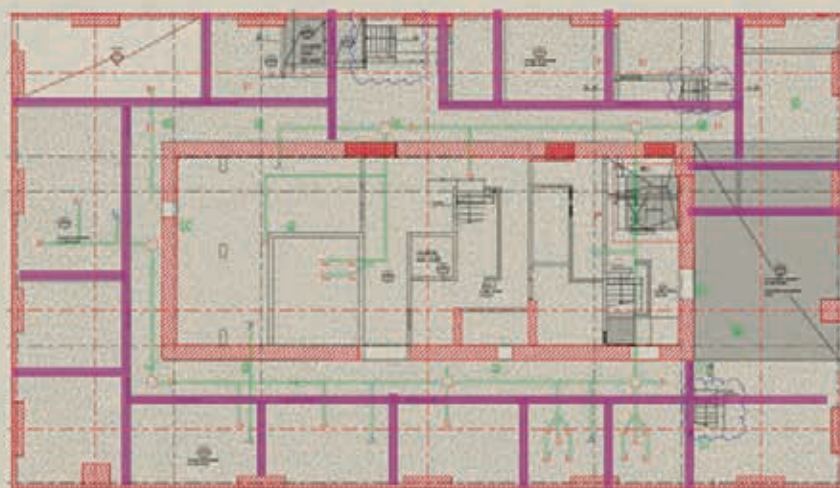
- De la résistance des structures impactées (tour et parking) ;

→ De la portance du sol, tant pour la tour que pour le parking qui reçoit le pavillon.

L'analyse en première approche a rapidement montré que les fondations de la tour et du parking devaient être renforcées.

RENFORCEMENT DU RADIER

Vue en plan



13

© SETEC TPI

9- Plancher mixte acier-béton.

10- Premier plancher de surélévation.

11- Surélévation complétée.

12- Plancher existant - Flocage.

13- Renforcement du radier - Vue en plan.

9- Composite steel-concrete floor.

10- First floor of vertical addition.

11- Completed vertical addition.

12- Existing floor - Flocking.

13- Strengthening of the foundation raft - Plan view.

17- Renforcement des voiles du parking.

18- Travaux du parvis et sondage des poutres.

17- Strengthening the car park shear walls.

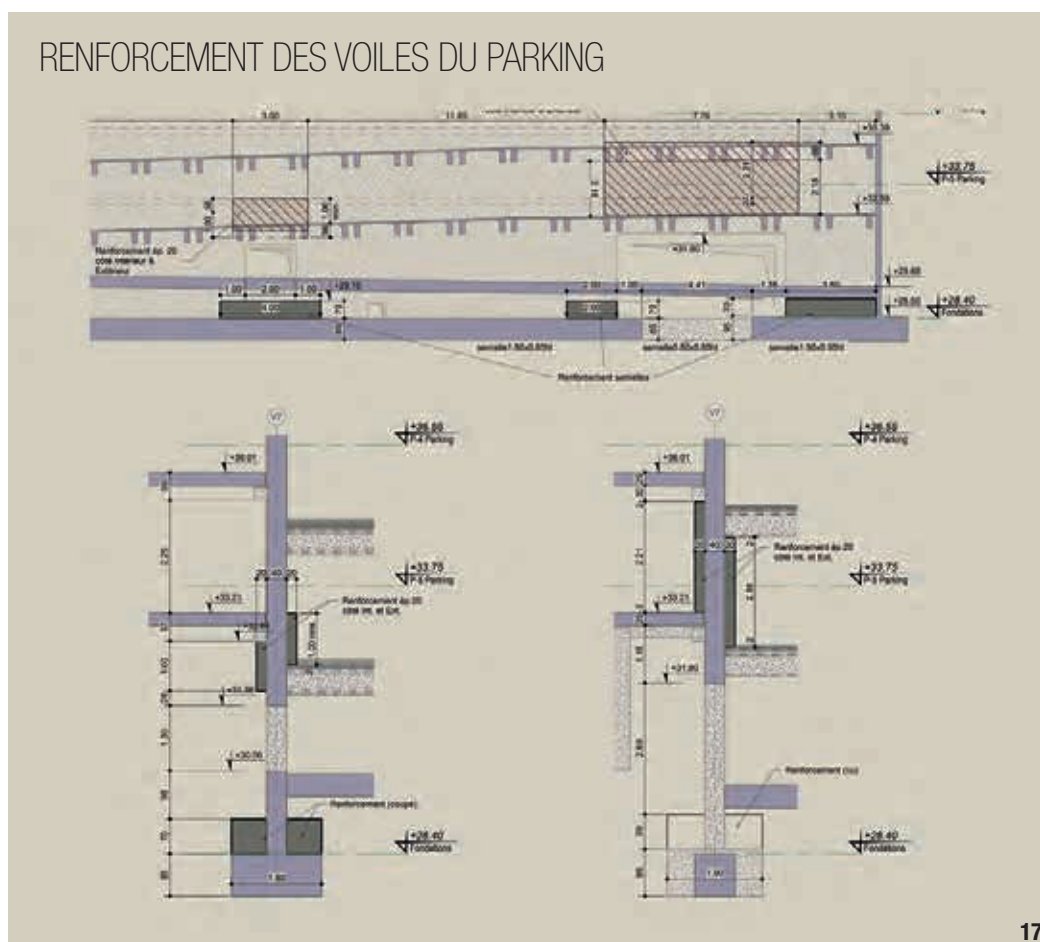
18- Works on the square and beam test boring.

Les voiles conservés du noyau ainsi que les poteaux se sont avérés suffisamment résistants vis-à-vis des charges additionnelles (combinaison épaisseur + classe de béton constatée satisfaisante).

Le contreventement de la tour reprend le principe de la structure existante, à savoir que l'ensemble des efforts horizontaux est repris par le noyau central. Le bon élancement du noyau de la tour existante - égal à 1/11^e - permet d'absorber la prise au vent supplémentaire induite par la surélévation (l'élancement projet est proche de 1/15^e).

Les épaisseurs sont également suffisantes pour conférer au noyau projeté la raideur suffisante pour vérifier les critères de conception, à savoir :

- Un *drift* (déplacement horizontal inter étage) dans l'épure de ce qu'admet la façade projetée ;
- Une accélération en tête de tour inférieure au critère de confort usuel pour un usage de bureaux (à savoir 18 milli.g maximum, l'accélération maximale calculée étant égale à 12 milli.g).



17 © SETEC TPI

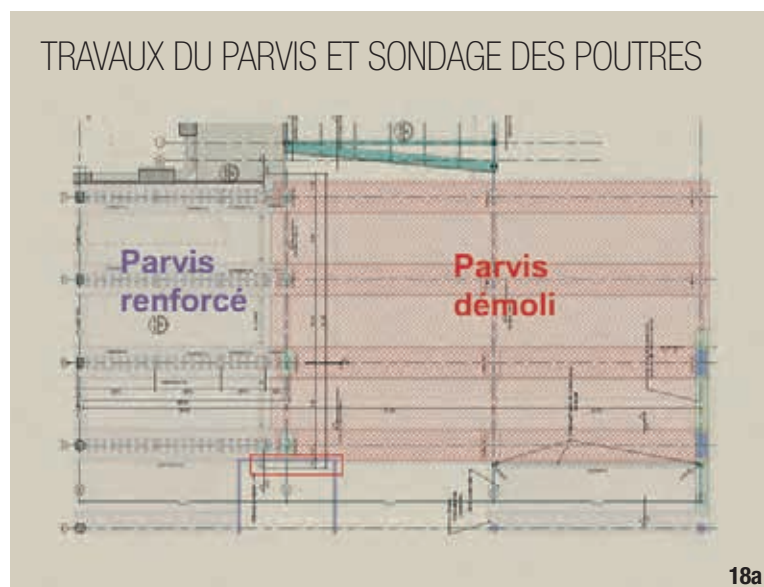
FONDATEMENTS ET TASSEMENTS

La capacité du radier de la tour (2 m d'épaisseur) à supporter l'incrément de charges est évaluée via un modèle de calcul aux éléments finis général du projet. Les cartes de ferrailage résultantes pour le radier font apparaître des sections nécessaires supérieures aux sections en place. Il apparaît

donc nécessaire de renforcer le radier. Le renforcement mis en œuvre consiste à implanter des voiles structurales (en mauve sur la figure 13) au niveau du dernier sous-sol (à l'emplacement de cloisons de locaux techniques), permettant ainsi de raidir le radier et de redistribuer les efforts pour justifier le ferrailage existant. Certaines parties non

justifiées sont cependant renforcées par épaissement en fibre supérieure (en gris sur la figure 13) pour augmenter le bras de levier des aciers existants. Les tassements et pentes induites par le projet sont évalués via un modèle aux éléments finis intégrant les caractéristiques du sol. La cartographie des tassements (figure 14) fait apparaître

TRAVAUX DU PARVIS ET SONDRAGE DES POUTRES



18a



18b

des valeurs induisant des pentes compatibles avec le critère limite fixé avec le bureau de contrôle. Le projet n'induit ainsi pas de désordres sur les avoisinants.

BÂTIMENT PAVILLON

Le pavillon se trouve à l'aplomb du parking Reflets 2. Ce dernier est constitué de voiles en béton armé de 40 cm d'épaisseur espacés de 15,75 m supportant des planchers en sous-sol. Apparaissent alors au moment de la conception du bâtiment les impératifs suivants :

- Minimiser les charges verticales : afin de minimiser les travaux dans le parking public ;
- Fonder les verticaux sur la trame des voiles et concevoir le contreventement en tenant compte de cette contrainte.

SYSTÈME DE PLANCHER

Des planchers mixtes acier-béton sont également retenus pour le pavillon, ils sont supportés par une ossature en acier (figure 15) permettant de ponter la grande portée entre les voiles du parking. L'intégralité des structures est floquée de manière à obtenir une stabilité au feu de 2 heures. Les planchers séparant le pavillon du parking sont quant à eux floqués de manière à obtenir un degré de stabilité de 4 heures tel que requis par la réglementation IGH.

CONTREVENTEMENT

Fonder un noyau en béton armé à travers le parking n'étant pas envisageable, le bâtiment est conçu autostable avec sa superstructure composée de portiques en acier à nœuds rigides dans les deux sens. La reprise des efforts horizontaux des portiques est assurée :
→ Dans le sens nord-sud : par les voiles V7 et V8 à l'aplomb du bâti-

ment ; ces voiles étant alignés nord-sud, leur inertie d'axe fort (0,40 m d'épaisseur, 20 m de haut, 45 m de long) permet une reprise des efforts sans générer d'efforts de flexion nécessitant un renforcement ;

- Dans le sens Est-Ouest : par butonnage à la tour (qui a suffisamment de réserve pour reprendre des efforts horizontaux supplémentaires) via 3 dalles de liaison créées dans les niveaux bas (figure 16). Les portiques sont articulés en pied afin de ne pas générer de moments en tête de voiles.

FONDACTIONS

Les voiles du parking affichent une résistance en compression suffisante pour reprendre les charges du pavillon.

Des insuffisances en ferrailage sont cependant détectées autour de grandes baies au dernier sous-sol ainsi qu'au niveau de certains tronçons de semelles filantes. Un moilage en béton armé (hachuré et gris sur la figure 17) a été réalisé autour des baies et au niveau des semelles pour permettre de restituer la résistance nécessaire.

AMÉNAGEMENT DES ABORDS

Le réaménagement du parvis et des abords du projet induit :

- La démolition la dalle des Reflets face au pavillon pour créer un patio ;
- L'augmentation de la charge permanente de la dalle des Reflets face à la tour.

Le parvis étant constitué de poutres précontraintes continues, la démolition des deux travées des Reflets (figure 18) implique une perte de continuité, et donc une modification du schéma statique existant et des efforts associés.

La charge permanente est de surcroît augmentée pour végétalisation sur la travée conservée.

La nécessité de conserver cette portion de parvis durant les travaux a conduit à un renforcement de la travée précontrainte résiduelle, et ce par le biais d'un moilage en béton armé. Un recalcul complet de cette travée a été réalisé en tenant compte de la tension réelle des câbles qui a été vérifiée via des essais à l'arbalète (figure 18).

CONCLUSION

Dès son origine, le projet de rénovation a été imaginé par tous ses concepteurs pour être le plus vertueux possible d'un point de vue environnemental : structures neuves légères, nombre d'étages ajoutés ajusté à la capacité des structures existantes, en limitant les renforcements au strict minimum.

Il a été estimé par le bureau d'études environnemental du projet que le réemploi de la structure existante a permis, par rapport à une démolition/reconstruction, d'économiser l'équivalent de près de 50 années de la consommation énergétique de l'ensemble immobilier projeté. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 7800 m³
ACIERS PASSIFS HA : 700 t
ACIER DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 1300 t
BAC ACIER COLLABORANT : 11500 m²
PLANCHERS DÉMOLIS : 15800 m²
PLANCHERS NEUFS : 20200 m²
PLANCHERS DE LA TOUR CONSERVÉS : 64%

PRINCIPAUX INTERVENANTS

AMÉNAGEUR : ParisLaDéfense
MAÎTRE D'OUVRAGE : Aermont
ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : Orfeo développement
CONTRÔLEUR TECHNIQUE : Socotec
ENTREPRISE GÉNÉRALE DE RÉALISATION : Petit (Vinci construction)
ARCHITECTES : Viguier, Sisto studios
BET STRUCTURE : Setec tpi
BET GÉOTECHNIQUE : Setec terrasol
BET DÉMOLITIONS : Setec bâtiment
BET LOTS TECHNIQUES : Atys engineering
BET HQE : G-on
BET FAÇADES : Bollinger + grohmann
ÉCONOMISTE : Ae75
MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : Artelia

ABSTRACT

AURORE TOWER - PARIS LA DEFENSE - RENOVATION AND VERTICAL ADDITION FOR BETTER RE-USE OF THE EXISTING BUILDING STOCK

FARES MOKHTARI, SETEC TPI - FRANÇOIS LEBRUN, SETEC TPI

In 2017, the Aermont investment fund advised by Orfeo Développement undertook a project for renovation of the Aurore tower in Paris La Défense. The project comprised the vertical addition of 6 levels to the tower (resulting in a total of 33 levels for 33,000 m² of floor space), the erection of an adjoining 9-storey building called "the pavillon" (for around 4,100 m² of floor space), and redeveloping the surrounds of the tower. This project is a direct response to current concerns for reducing greenhouse gas emissions in the building sector, and aims to become a showcase of technical and architectural design which maximises re-use of the existing building stock while minimising its reinforcement. □

TORRE AURORE - PARÍS LA DÉFENSE - REHABILITAR Y SOBREELEVAR PARA REUTILIZAR MEJOR LA CONSTRUCCIÓN EXISTENTE

FARES MOKHTARI, SETEC TPI - FRANÇOIS LEBRUN, SETEC TPI

En 2017, el fondo de inversión Aermont, asesorado por Orfeo Développement, participó en una operación de rehabilitación de la torre Aurore, en París La Défense. El proyecto consiste en sobreelevar la torre 6 niveles (hasta un total de 33, con 33.000 m² de suelo), la edificación de un inmueble contiguo, llamado «le pavillon», de 9 niveles (con casi 4.100 m² de suelo) y la reordenación de las inmediaciones de la torre. El proyecto se inscribe plenamente en las problemáticas actuales de reducción de las emisiones de gases invernadero en el sector de la construcción y pretende convertirse en un aparcador del diseño técnico y arquitectónico que maximiza la reutilización de construcciones existentes, minimizando a la vez su refuerzo. □



1
© MEL

RÉPARATION DU VIPP DE CHÂTEAU ROUGE SUR LE GRAND BOULEVARD À MARCQ-EN-BARŒUL (59)

AUTEURS : DIDIER ORMAN, CHEF DE SERVICE OA/GC, INGEROP - FRÉDÉRIC ELISABETH, CHARGÉ D'OPÉRATIONS, MEL - ÉLOÏSE LECONTE, CHARGÉE D'ÉTUDES, INGEROP

L'OUVRAGE DE CHÂTEAU ROUGE, DE TYPE VIPP, CONSTRUIT AU MILIEU DU 20^E SIÈCLE, PERMET LE FRANCHISSEMENT DU CANAL DE LA MARQUE PAR LE GRAND BOULEVARD À MARCQ-EN-BARŒUL. IL INAUGURAIT LE DÉVELOPPEMENT SUR LE TERRITOIRE NATIONAL D'UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'OUVRAGES METTANT EN ŒUVRE LA PRÉCONTRAÎNTE PAR POST-TENSION. PRÉSENTANT DES DÉSORDRES CARACTÉRISTIQUES DE CETTE GÉNÉRATION D'OUVRAGES, DES TRAVAUX DE RÉPARATION ET DE CONFORTEMENT ONT ÉTÉ ENTREPRIS AFIN DE LUI RESTITUER UN NIVEAU DE SERVICE SATISFAISANT.

RAPPEL HISTORIQUE

Au cours du XIX^e siècle, le développement des cités industrielles autour des usines et manufactures du Nord de la France et l'augmentation du trafic routier (326 véhicules/j en 1910, 1474 en 1921, 90 000 en 1975 avant la construction de voies autoroutières) a nécessité l'aménagement du Grand Boulevard et la construction de multiples ouvrages de franchissement, dont notamment le pont dit de Château Rouge

au-dessus du canal de la Marque canalisée.

Construit en 1958, le tablier de type VIPP avec dalles sur semelle inférieure formant caisson permettant le cheminement des réseaux, a été classé 3U lors de la dernière inspection d'Ouvrage de 2015. Il a tout d'abord été propriété de l'État, puis du département du Nord de 2006 à 2016, avant d'être incorporé dans le patrimoine de la MEL en 2017 (figure 1).

1- Vue aval de l'ouvrage.

1- Down-stream view of the viaduct.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE CONSTRUIT EN 1958

3 tabliers indépendants, de biais 91,44 gr, à travée isostatique de portée 42,56 m pour une largeur totale avoisinant 50 m reposent sur des

culées remblayées à murs de front et remplissage en maçonnerie de briques via des appareils d'appui métalliques mobiles à balancier en rive gauche et fixes en rive droite.

Ils sont constitués d'un total de 21 poutres de hauteur 1,82 m intégrant un hourdis en béton d'épaisseur 17 cm (précontraint transversalement et exempt d'étanchéité), de dalles d'épaisseur 10 cm sur talon inférieur (précontraintes transversalement également), d'entretoises de section

2- Câble de précontrainte corrodé.

3- Armatures passives et gaines de précontrainte sous semelle apparentes.

4- Entretoise intermédiaire existante et précontrainte transversale.

2- Corroded prestressing cable.

3- Passive rebars and prestressing ducts apparent under footing.

4- Existing intermediate cross tie and transverse prestressing.

25x35 cm espacées de 8,52 m. Individuellement, les principales données géométriques des tabliers sont :

- Tablier 1 amont avec limitation de tonnage à 12 t avec 8 poutres espacées de 2,37 m, largeur totale 18,40 m (trottoir amont de 2,20 m, chaussée à 1 voie de 7,00 m (RD5), ligne de tramway à 2 voies de largeur 9,20 m) ;
- Tablier 2 intermédiaire avec limitation de tonnage à 3,5 t avec 7 poutres espacées de 2,64 m, largeur totale 17,62 m (trottoir amont de 1,12 m, chaussée à 2x2 voies de 14,00 m (RD670), piste cyclable de 2,50 m) ;
- Tablier 3 aval avec limitation de tonnage à 19 t avec 6 poutres espacées de 2,43 m, largeur totale 13,94 m (piste cyclable de 4,80 m, chaussée à 1 voie de 7,00 m, trottoir de 2,14 m).

Le règlement de calcul adopté lors de la construction est la Circulaire n°141 du 26 octobre 1953 et les principales données relatives à la précontrainte qui a été mise en œuvre sont les suivantes :

- Béton du tablier est de classe C40/50 et armatures passives FeE240 ;
- Procédé de précontrainte Freyssinet STUP 1207 ;
- Précontrainte longitudinale par câble de section 462 mm² de résistance à la rupture 1700 MPa et de limite conventionnelle d'élasticité 1250 MPa :



- 22 câbles dont 8 câbles relevés dans les poutres intermédiaires n°2 à 7 - 10 à 14 - 17 à 20 ;
- 19 câbles dont 5 câbles relevés dans les poutres de rive n°1 - 8 - 16 - 21 ;
- 21 câbles dont 7 câbles relevés dans les poutres de rive n°9 et 15 ;
- Précontrainte transversale du hourdis supérieur par câbles espacés de 1,70 m ;
- Précontrainte transversale des dalles par câbles rectilignes espacés de 2,84 m dont la protection était assurée uniquement par mortier au droit des dalles (absence de gaine et de coulis).

INVESTIGATIONS RÉALISÉES ET BASES DU PROJET DE RÉPARATION

Indépendamment des plans d'archives, les investigations et diagnostics menés depuis 2015 ayant servi de données d'entrée pour mener ce projet de réparation sont :

- Inspections détaillées périodiques d'ouvrages d'art (2002 - 2007 et janvier 2015) ;
- Rapport d'investigations et propositions de réparations et de suivi (février 2016) ;
- Diagnostic de précontrainte du tablier n°1 (décembre 2018) et tablier n°3 (juillet 2020) ;
- Notes d'épreuves de chargement de la DDE du Nord (mai 2002 et mars 2016) ;
- Note de calcul de vérification de la capacité portante du tablier n°2 (février 2016) et des tabliers n°1 et 3 (décembre 2018) ;
- Diagnostic amiante et HAP des tabliers n°1, 2 et 3 (janvier et juillet 2020).

INVENTAIRE DES DÉSORDRES IDENTIFIÉS EN PHASE DE DIAGNOSTIC

Mis sous surveillance par le gestionnaire suite à la classification IQOA 3U de 2015, les ouvrages présentaient une multitude de pathologies symptomatiques de cette génération d'ouvrages témoignant d'un vieillissement prématuré de certains éléments structuraux dont les plus représentatifs étaient :

- Les tabliers : fissures biaises épousant le tracé des câbles de la précontrainte longitudinale, fissures longitudinales d'ouverture importante sur les faces biaises des talons inférieurs et des goussets supérieurs, armatures passives, ▷

gaines et câbles de précontrainte longitudinale fortement corrodés, absence localisée de coulis de protection (figure 2), rupture de certains câbles de précontrainte longitudinale et transversale, défaut d'enrobage et d'adhérence du béton sur les armatures passives et les gaines de précontrainte sur les âmes et talons (figure 3), ségrégation du béton des entre-toises (figure 4), joints de chaussée défailants, trottoirs et chaussées détériorées, venues et stagnations d'eau dans les caissons ;

- Les culées : présence d'eau via le joint de chaussée défailant, garde-grève fracturé horizontalement et mise en butée de certains abouts de poutres ;
- Les appareils d'appui avec corrosion foisonnante des balanciers inférieurs, inclinaison des grands balanciers (pendules).

ÉTUDES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION

L'analyse des conclusions des multiples investigations, modélisations et diagnostics menés depuis 2015 a permis d'identifier une insuffisance de capacité portante des tabliers sous moment fléchissant mais également sous efforts tranchants (dans le cadre de l'application de la nouvelle réglementation Eurocode relative aux charges d'exploitation mais également des matériaux plus contraignantes), en cohérence avec les limitations de tonnage imposées individuellement par le gestionnaire sur chacun des 3 tabliers. Étant situé sur un itinéraire routier stratégique, véritable poumon de développement économique et permettant d'irriguer le cœur de la métropole,



5

© INGERPOP



6

© INGERPOP

l'hypothèse du remplacement des ouvrages s'est avérée inenvisageable et a rapidement été abandonnée au profit d'un programme ambitieux de réparation, les désordres identifiés couvrant de vastes domaines d'intervention faisant appel à des compétences multiples et peu répandues. En accord avec le gestionnaire, la solution finalement retenue a donc consisté

à étudier un programme de réparation ayant pour objectif de sécuriser et pérenniser l'exploitation de l'ouvrage en ciblant les travaux indispensables à mener dans des délais raisonnables permettant ainsi de stopper la spirale des dégradations engagées depuis de nombreuses années. Les orientations techniques se sont donc concentrées essentiellement sur

5- Renforcement par matériau composite Phase 1.

6- Étanchéité sous les voies du tramway.

7a- Dalle formant caisson entre talons.

7b- Dépose dalle.

5- Strengthening by composite material Phase 1.

6- Waterproofing under the tramway tracks.

7a- Small slab forming a caisson between soaker panels.

7b- Removing a small slab.

les éléments les plus sensibles et problématiques, à savoir le renforcement de la capacité portante des tabliers permettant de satisfaire, moyennant quelques adaptations marginales mais de bon sens, les exigences des Eurocodes (renforcement par précontrainte extérieure longitudinale et matériaux composites des poutres, réparation des bétons, injection des fissures, etc.), mais également de remettre en conformité les superstructures, et notamment l'étanchéité, afin d'assurer une protection efficace et pérenne des réparations structurelles précédemment citées. Afin d'optimiser et satisfaire les exigences précédentes, les études se sont orientées vers :

- Une diminution significative de l'intensité des charges permanentes par la mise en œuvre de matériaux allégés dans le trottoir, la diminution



7a

© MEL



7b

© MEL



8

© MEL



9

© INGEROP

8- Injection de fissures sur talons et âme de poutre.

9- Renforcement d'entretoise par augmentation de section.

10- Renforcement par matériau composite Phase 2.

8- Crack grouting on soaker panels and girder web.

9- Cross tie strengthening by increasing the cross section.

10- Strengthening by composite material Phase 2.



10

© INGEROP

- de l'épaisseur de chaussée, la suppression des dalles inférieures ;
- La suppression de la limitation de tonnage actuelle nécessitant le renforcement des entretoises, une précontrainte extérieure longitudinale, la pose de matériaux composites et ainsi permettre la circulation des convois Eurocodes plus agressifs mais également des futures rames de tramway plus impactantes, indispensable au développement économique de la métropole ;
 - Une mise en conformité des superstructures afin de garantir l'intégrité structurelle : étanchéité, trottoir, aménagements mode doux, renforts, caniveaux, joint de chaussée, gargouilles, remise en état des appareils d'appui et mise en sécurité de ces derniers par bossages additionnels, etc.

Pour des raisons de temporalité liées au trafic des rames de tramways Llevia sur le tablier 1, les travaux ont été planifiés en 2 phases distinctes totalement indépendantes, à savoir :

→ **Phase 1** : au droit des voies tramways (tablier 1, poutres 5 à 8), la réalisation des travaux de remplacement des superstructures lors de la période d'arrêt d'exploitation d'été 2019, le renforcement des entretoises, des poutres principales précédentes à l'effort tranchant par matériau composite, les réparations du béton du hourdis et des poutres, l'étanchéité, le joint de dilatation entre les tabliers 1 et 2, le joint de chaussée localisé avec dispositions d'attente pour les reprises en phase 2 ;

→ **Phase 2** : elle couvre l'intégralité des travaux non effectués lors de la phase 1 sur les 3 ouvrages et notamment la précontrainte additionnelle longitudinale (blochets d'ancrage et clouage, déviateurs métalliques, gaines et remplissage à la cire, câbles et mise en tension).

Les entretoises ont été renforcées par une augmentation conséquente de leur section initiale passant de 0,25x0,30 m à 0,60x1,10 m pour les entretoises d'about et 0,60x0,75 m pour les entretoises intermédiaires afin notamment de compenser l'effet de la suppression des dalles inférieures dont la précontrainte était en tout état de cause inactive de par la rupture d'un grand nombre de câbles et améliorer sensiblement le comportement d'ensemble de chaque tablier par une meilleure distribution transversale des sollicitations, ce qui permet de soulager les poutres qui étaient initialement les plus sollicitées.

La mise en œuvre des armatures filantes a été rendue délicate par la géométrie de l'épanouissement des câbles de précontrainte dont il était indispensable de conserver l'intégrité lors des forages. Une reconnaissance systématique anticipée du tracé des câbles de chaque poutre a donc été effectuée par l'entreprise et des adaptations du ferrailage effectuées au cas par cas, ce qui nécessitait une certaine souplesse dans le déroulement des travaux.

Afin de pallier leur insuffisance sous effort tranchant, les poutres VIPP ont été renforcées par la mise en place de matériau composite en C-Sheet 240-400 (procédé S&P) de largeur 300 mm et d'épaisseur 0,222 mm avec localement la superposition de 3 bandes (contrainte de dimensionnement ELU selon l'avis technique ffud = 960 MPa, adhérence du support ATEC 3.3.19-989_V1 §2.312 - ftk 1,50 MPa, cisaillement limite interface composite-béton $u = 1,67$ MPa).

Pour le moment fléchissant, le renforcement par précontrainte extérieure a été effectué selon le procédé Vsl conformément à l'ETE-06/006 du 20/06/2019 à gaines en PEHD injectées avec un produit souple à l'aide de 2 câbles de section 7×150 mm² (limite de rupture garantie fpk = 1860 MPa, tension initiale 1476 MPa, recul d'ancrage de 6 mm, pertes : $\mu = 0,12$ rad-1 et $k = 0,00$ rad/m, module $E_p = 195000$ MPa et relaxation à 1000 h de 2,5%), la mise en tension étant réalisée concomitamment sur les 2 faces d'une même poutre et selon un ordre prédéfini lors des études d'exécution.

Le dimensionnement des barres de clouage des blochets d'ancrage de la précontrainte additionnelle a été mené en adoptant un coefficient de frottement âme poutre/béton de blochet de 0,9 (préparation de surface rugueuse présentant des indentations de 6 mm - EN 1992-1-1 §6.2.5).

Le clouage a été assuré par 4 barres Freyssibar $\varnothing 40$ mm disposant de l'ETE-07/0046 du 30/06/2018 (Contrainte de rupture fpk = 1030 MPa, limite élastique conventionnelle fp 0,1 k = 835 MPa, module $E_p = 170000$ MPa). Comme pour le renforcement des entretoises, la reconnaissance anticipée du tracé des câbles de précontraintes existants a permis d'intervenir en toute sécurité en conservant l'intégrité de ces derniers.

Les déviateurs métalliques galvanisés à chaud de 406 kg de nuance S355



11a



11b



11c

11a- Préparation de surface pour blochet d'ancrage.

11b- Ferrailage d'un blochet d'ancrage.

11c- Mise en tension des clous des blochets d'ancrage.

11a- Surface preparation for anchor block.

11b- Reinforcement of an anchor block.

11c- Tensioning of anchor block studs.

ont été dimensionnés en adoptant une éventuelle distorsion de sollicitations de précontrainte dans les câbles de 15 %. ont été dimensionnés en adoptant une éventuelle distorsion de sollicitations de précontrainte dans les câbles de 15 %, juin à fin septembre 2019, afin de bénéficier de la planification estivale d'interruption totale du trafic tramway llevia pour mener les opérations de maintenance, la circulation routière étant toutefois maintenue (figures 5 et 6). Pour sa part, le groupement Bouygues/Vsl/Colas a assuré les tra-

vaux de la phase 2 sur une période de 15 mois, du 8 novembre 2021 à février 2023, en 4 sous-phases (SF1 en extrados sur le tablier central 2, SF2 en extrados sur le tablier 3, SF3 en extrados sur le tablier 1, SF4 en intrados sur l'ensemble des 3 tabliers) permettant de mener les interventions en extrados sur les superstructures, ouvrage par ouvrage, et ainsi minimiser l'impact sur le trafic routier en maintenant 7j/7, par le biais d'itinéraires de déviation et d'une signalisation adaptée et évolutive, la circulation routière et tramway.

Les travaux de remplacement des superstructures effectués en 3 sous-phases se sont déroulés de façon semblable, avec réorganisation du balisage et des itinéraires de déviation. Les travaux de réparation effectués en intrados se sont déroulés de jour sur toute la durée du chantier et sous maintien de la circulation routière et tramway à l'exception de la mise en précontrainte longitudinale extérieure qui s'est déroulée de nuit sous interruption totale de trafic de toute nature, à savoir :

- Mise en place des échafaudages suspendus et d'un platelage jointif, soit environ 2200 m² de surface pour l'intégralité des 3 tabliers, pendant toute la durée du chantier ;
- Découpe de la précontrainte transversale inférieure et démontage des dalles (figures 7) ;
- Réparation des angles des talons de poutres après dépose des dalles ;
- Réparation des poutres par ragréage des éclats, purges des bétons non adhérents, nettoyage et pro-

ont été dimensionnés en adoptant une éventuelle distorsion de sollicitations de précontrainte dans les câbles de 15 %.

RÉALISATION DES TRAVAUX

L'entreprise Freyssinet a assuré les travaux de la phase 1 sur le tablier 1 lors d'une période de 4 mois, de début

juin à fin septembre 2019, afin de bénéficier de la planification estivale d'interruption totale du trafic tramway llevia pour mener les opérations de maintenance, la circulation routière étant toutefois maintenue (figures 5 et 6).

Pour sa part, le groupement Bouygues/Vsl/Colas a assuré les tra-



12

© INGEROP

12- Déviateur métallique pour précontrainte extérieure.

13- Blochets d'ancrage, déviateur et précontrainte extérieure.

12- Steel deviator for external prestressing.

13- Anchor blocks, deviator and external prestressing.



13

© INGEROP

PRINCIPALES QUANTITÉS PHASES 1 ET 2

LONGUEUR DE CÂBLE : 1 260 m

LONGUEUR DE MATÉRIAUX COMPOSITES : 7,4 km

BÉTON DE DÉCONSTRUCTION DE DALLETTES : 360 t

BÉTON AUTOPLAÇANT POUR BLOCHET D'ANCRAGE : 110 m³

CHARPENTE POUR DÉVIATEURS : 17 t

DURÉE DES TRAVAUX PHASE 1 : 4 mois

DURÉE DES TRAVAUX PHASE 2 : 15 mois

MONTANT DES TRAVAUX PHASE 1 ET 2 : 6,2 M€ TTC

MONTANT DES ÉTUDES ET VISA PHASE 1 ET 2 : 0,20 M€ TTC

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX : Métropole Européenne de Lille (MEL)

MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION PHASE 1 : Sixense

ENTREPRISE TRAVAUX PHASE 1 : Freyssinet

MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION PHASE 2 : Ingerop - Sixense

ENTREPRISE TRAVAUX PHASE 2 : Bouygues/Vsl/Colas

BUREAU D'ÉTUDES D'EXECUTION PHASE 2 : Cogeci

tection des armatures corrodées, injection de fissures (figure 8) ;
 → Reconnaissance du tracé de la précontrainte existante (pour le perçage nécessaire à la mise en place des armatures de renfort) et renforcement des entretoises (figure 9) ;
 → Essai d'adhérence, préparation des angles et renforcement des poutres

à l'effort tranchant par matériau composite (figure 10) ;
 → Reconnaissance du tracé de la précontrainte existante, préparation de surface, mise en place de clous d'ancrage, coffrage, ferrailage et bétonnage des blochets d'ancrage (figures 11) ;
 → Installation des déviateurs métalliques (figure 12) ;
 → Mise en œuvre d'un revêtement de protection sur les talons et abouts des poutres et faces latérales extérieures des poutres de rive ;
 → Installation de la précontrainte longitudinale additionnelle sur chaque poutre (passage des câbles, mise en tension et injection de la cire de protection) (figure 13).
 Les travaux ont été menés à terme selon le planning global défini initialement avec quelques adaptations mineures pour un chantier de cette complexité, notamment pour la réalisation des travaux de mise en tension des câbles de précontrainte extérieure de nuit hors circulation. □

ABSTRACT

REPAIR OF THE CHÂTEAU ROUGE VIADUCT WITH INDEPENDENT PRESTRESSED BEAM SPANS ON THE GRAND BOULEVARD IN MARCQ-EN-BARŒUL (59)

DIDIER ORMAN, INGEROP - FRÉDÉRIC ELISABETH, MEL - ÉLOÏSE LECONTE, INGEROP

The Château Rouge viaduct in Marcq-en-Barœul, built in 1958, comprises 3 juxtaposed isostatic decks of the VIPP type (viaduct with independent prestressed beam spans) with small slabs on the bottom footing forming a caisson. Its span is 42.56 m and its total width around 50 m. The structure was classified 3U (according to the IQOA classification) during the 2015 inspection, i.e. a building whose structure is severely damaged. Deck strengthening/repair works were therefore performed to offset the structure's inadequate bearing capacity. The appurtenances were upgraded (waterproofing after resurfacing of the extrados, pavement, joints, utilities, kerbs, drain laying, etc.) to prevent the damage becoming worse. □

REPARACIÓN DEL VIADUCTO VIPP DE CHÂTEAU ROUGE EN EL GRAN BULEVAR, EN MARCQ-EN-BARŒUL (DPTO. 59)

DIDIER ORMAN, INGEROP - FRÉDÉRIC ELISABETH, MEL - ÉLOÏSE LECONTE, INGEROP

Construido en 1958, el viaducto de Château Rouge en Marcq-en-Barœul (departamento francés 59) consta de 3 tableros isostáticos yuxtapuestos de tipo VIPP (viaducto de tramos independientes y vigas pretensadas), con losetas sobre solera inferior formando un cajón. Su luz es de 42,56 m y su anchura total ronda los 50 m. La obra recibió la clasificación 3U (según IQOA) durante la visita de inspección de 2015, lo que implica que su estructura está gravemente alterada. En consecuencia, se llevaron a cabo obras de refuerzo/reparación de los tableros para compensar la insuficiente capacidad de carga de la construcción. Se procedió a una actualización de los equipamientos (estanqueidad tras nivelado del extradós, calzada, juntas, redes, bordillos, instalación de sumideros, etc.) para evitar el agravamiento de las patologías. □



1
© FREYSSINET

RESTAURATION DU PONT DE SAINTE-ROSE, LA RÉUNION - À L'EST DE L'ÎLE, DU NOUVEAU POUR UN OUVRAGE ANCIEN

AUTEURS : NICOLAS FABRY, EXPERT OPÉRATIONNEL, DÉPARTEMENT TECHNIQUE DE FREYSSINET - FRÉDÉRIC PASTOR, INGÉNIEUR EN CHEF, DÉPARTEMENT TECHNIQUE DE FREYSSINET - QUENTIN RANDUINEAU, INGÉNIEUR MÉTHODES/STRUCTURE, DÉPARTEMENT TECHNIQUE DE FREYSSINET

DÉCONSTRUIRE MÉTICULEUSEMENT, AVEC AUTANT DE SOIN QU'IL EN FAUT POUR CONSERVER AU MIEUX CE QUI PEUT ÊTRE RÉUTILISÉ. ET PUIS RECONSTRUIRE, DONNER À NOUVEAU LA VIE À CETTE LIGNE QUI, EN PLUS DE LA RIVIÈRE DE L'EST, CONTINUERA DE TRAVERSER LES ÂGES. POUR RESTAURER CET OUVRAGE CLASSÉ MONUMENT HISTORIQUE, L'INGÉNIOSITÉ A ÉTÉ MISE AU SERVICE DE L'HISTOIRE. RECONCEPTION FIDÈLE À L'ORIGINE, MÉTHODES SUR-MESURE, ATTENTION QUOTIDIENNE DES ÉQUIPES TRAVAUX : TOUT A ÉTÉ MIS EN ŒUVRE POUR RESPECTER LA STRUCTURE ET ASSURER SA LONGÉVITÉ.

INTRODUCTION

Il serait aujourd'hui difficile d'envisager la brèche au-dessus de la rivière de l'Est sans la double épure parabolique qui surplombe ses flancs, le pont reliant Sainte-Rose à Saint-Benoît. C'est une curiosité du tournant du 20^e siècle en fin de vie, il aura fallu reconstruire l'ancien avec des méthodes et des cadences modernes et s'accommo-

der de quelques anachronismes afin de redonner vie et passage à ce pont emblématique de l'île de la Réunion.

CONTEXTE PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

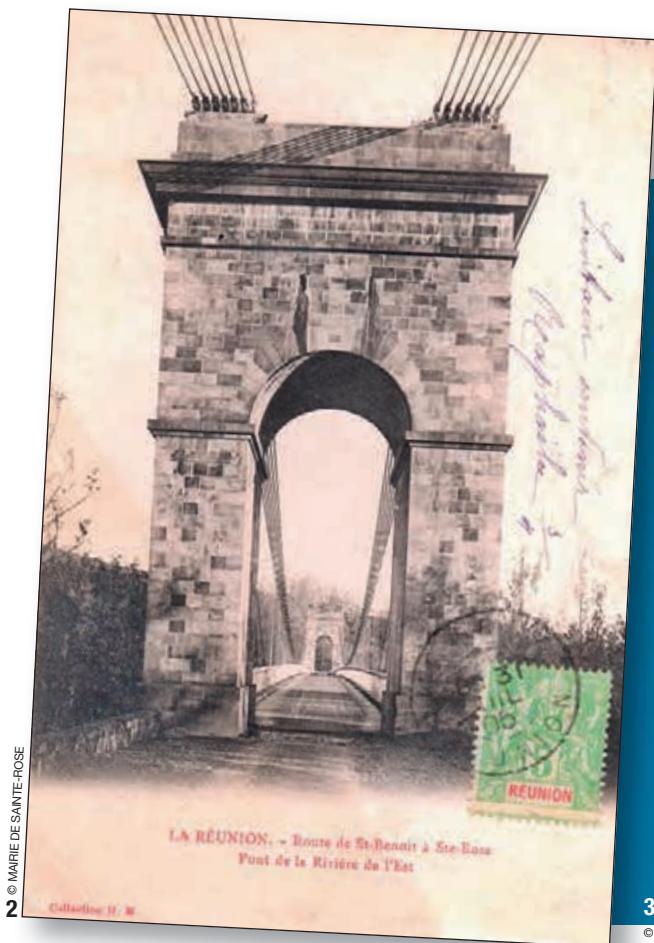
Le pont de la rivière de l'Est a été construit en 1893 et mis en service en 1894 près de la ville de Sainte-Rose, sur l'île de la Réunion (figure 3).

1- Prise en charge d'un tronçon avant découpe.

1- Handling a section before cutting up.

Il compte une travée suspendue unique de 150 m de portée environ, raidie par cinq paires de haubans à ses deux extrémités, conçue par Ferdinand Arnodin.

La structure primaire du tablier s'organise en deux poutres maîtresses métalliques en treillis, faisant office de garde-corps, entretoisées au droit des ancrages des suspentes. L'ensemble



2 © MAIRIE DE SAINTE-ROSE



3 © L'ATELIER ARCHITECTES

est contreventé par le dessous et porte une ossature secondaire et un platelage en bois.

La particularité de l'ouvrage réside dans la présence de câbles de revers, agissant à contrepoids des câbles porteurs pour prévenir un soulèvement du tablier, ou un mouvement latéral (figure 4). Il s'agit sans conteste d'une acclimatation nécessaire aux nombreux cyclones que subit l'île.

ÉTAT GÉNÉRAL DE L'OUVRAGE AVANT TRAVAUX

Ces cyclones ont néanmoins tôt fait d'accélérer la marche naturelle de la

2- Photo d'époque, carte postale de 1905.

3- Plan de situation.

4- Élévation sur demi-ouvrage - Plan d'origine Arnodin.

2- Period photo, 1905 postcard.

3- Location drawing.

4- Elevation view of half-structure - Arnodin's original drawing.

dégradation du pont. Il est ainsi fermé au trafic routier en 1979, puis aux piétons en 2016.

L'ouvrage est fraîchement classé monument historique depuis 2018. L'état de corrosion avancé des poutres maîtresses (figure 5) et de la suspension mène à leur dépose complète avant reconstruction aussi fidèle que possible au modèle d'origine.

À cet effet, les pièces d'origine les moins endommagées, comme les poteaux des garde-corps à la silhouette si travaillée, ou leur lisse supérieure bombée par un profilé en fer Zorès, sont conservées.

MÉTHODES DE POSE ET DE DÉPOSE DU TABLIER ET DE LA SUSPENSION

DES ADAPTATIONS NÉCESSAIRES

Initialement, la restauration du tablier devait être réalisée en remplaçant pièce par pièce sa charpente métallique, sans déconstruction totale de la structure.

Les différentes poutrelles devaient être manipulées au moyen d'un petit blondin - système à câbles sur lesquels se déplace un chariot de levage, agissant comme une sorte de pont roulant au-dessus de toute la longueur du tablier. ▷

ÉLÉVATION SUR DEMI-OUVRAGE - PLAN D'ORIGINE ARNODIN



4 © DAC RÉUNION

On comptait alors sur la résistance résiduelle des poutres de rigidité pour garantir l'équilibre du tablier dans ses phases temporaires - phases pendant lesquelles la continuité structurelle de la charpente était altérée par les démontages et remontages successifs des remplacements.

Cependant, une inspection exhaustive des poutres de rigidité mit au jour qu'en l'état la structure ne pouvait supporter de telles opérations. Certaines poutres UPN constituant le treillis affichaient de sérieuses pertes de section, alors que les calculs y prédisaient des taux d'utilisation nominaux proches des pleines capacités. La mise en danger des équipes sur chantier et le risque d'endommager les pièces historiques n'étaient pas acceptables : les méthodes devaient être revues.

LE BLONDIN

Au profit d'une sécurité accrue et sur proposition du département technique de Freyssinet, le choix a été fait d'opérer une dépose-repose complète du tablier et de la suspension. Il fallait alors donner une dimension toute autre au blondin prévu initialement : il n'était plus question de simples poutres de quelques centaines de kilos, l'engin devait désormais manipuler des tronçons d'ouvrage entiers, allant jusqu'à près de 8 t et mesurant cinq par six mètres.

Entièrement repensé, assemblé et opéré par Freyssinet, le blondin est alors conçu de façon analogue au fonctionnement de la suspension de l'ouvrage. Installé au-dessus de l'ouvrage, un chariot se déplace sur deux faisceaux de câbles temporaires. Prêtendus à 28 t, ils profitent de la structure déjà en place : les 7 torons font le tour des chambres d'ancrage à la manière des câbles existants (figure 6), avant d'aller prendre appui au sommet des immortelles arches de maçonnerie. Ces têtes de piles sont équipées de portiques temporaires (bleus sur les images) asseyant solidement un chevêtre sur deux mètres de feuille plastique PTFE (figure 7). Derrière cet acronyme se cache une capacité clé au bon vivre des piles : glisser. En effet, le chevêtre (poutre rouge sur les images), qui permet la déviation vers l'ouvrage des câbles du blondin, est libre de se translater selon l'axe du pont. Ainsi, lors du chargement du blondin en travée, pouvant atteindre 640 t de tension par faisceau, le chevêtre se déplace vers la partie retenue des torons côté rive.



5
© FREYSSINET

Cet appui glissant n'exploite donc la pile qu'en compression, prévenant tout renversement.

RÉCIT DE CHANTIER

Décembre 2021, le chantier débute. La conception et la fabrication locale des diverses pièces du blondin sont lancées. Quelques semaines de préparation, d'essais et de réglages fins font de cette toile d'acier bien ficelée l'outil dont le chantier a besoin, et dont le nom fera bientôt l'unanimité : BEITORE (pour Blondin d'Évacuation et d'Installation des Tronçons de l'Ouvrage sur la Rivière de l'Est) (figure 8).

Les garde-corps historiques sont numérotés pièce par pièce, puis déposés avec soin avant leur évacuation. C'est là un autre des intérêts de la nouvelle méthode, proposée par le département technique de Freyssinet,

5- Garde-corps avant travaux.

6- Chambre d'ancrage - Torons BEITORE et anciens câbles de retenue.

5- Guard rail before works.

6- Anchoring chamber - Cable-crane tendons and old restraining cables.

qui permet leur restauration en atelier contre un traitement initialement prévu en place, qui, par nature, aurait été moins exhaustif.

Une fois le tablier dénudé de ses poutres d'origine, le chantier voit arri-

ver son premier grand chapitre : l'évacuation du premier tronçon de tablier. Au son régulier des communications radio entre les différents postes, on prépare les équipements pour l'évènement, chacun dispose d'un rôle bien défini. Les dispositifs de sécurité sont mis en place sur le tronçon, des pesons permettront de contrôler le chargement du blondin. Sur la rive droite, on s'affaire aux derniers préparatifs nécessaires à la réception du tronçon sur la plateforme de ripage et d'évacuation. Le chariot du BEITORE est mis en place à l'aplomb du tronçon, on l'y connecte via des palans que l'on précharge à une valeur bien définie (figure 1). Cette pré-tension permettra de limiter l'à-coup lors de la libération du poids une fois le tronçon complètement déconnecté.

L'opération commence. Les IPE600, longerons additionnels datant des dernières décennies et dernier lien du tronçon au restant du tablier, sont pris par l'incandescence des chalumeaux. La séquence de découpe des âmes et semelles des profilés est bien connue des opérateurs. Ils manient le chalumeau avec toute l'attention et la dextérité qu'il faut pour convaincre l'acier de fondre et s'échapper sous la pression des gaz enflammés. Prudemment, la découpe avance jusqu'au délicat détachement du morceau de tablier, signifiant sa pleine prise en charge par le BEITORE : les huit tonnes de bois et d'acier sont désormais suspendues au chariot. Depuis le haut des piles, véritable centre névralgique des opérations, on observe aux différentes phases de chargement du blondin les



6
© FREYSSINET



© FREYSSINET
7

chevêtres se déplacer lentement sur leur course de glissement, signe que les piles n'ont rien à craindre. Une fois le tronçon complètement déconnecté, on y actionne les treuils qui permettent au chariot de rouler sur les câbles (figure 9). Quelques grincements et un doux balancier du tronçon libéré indiquent que le chariot est en marche, direction la rive. Ces quelques mètres parcourus sans encombre, on l'y dépose, on l'évacue. Le système fonctionne parfaitement. Quelques heures ont suffi à raccourcir le tablier des 5 m d'un tronçon.

Les tronçons suivants s'enchaînent au rythme d'une mécanique bien huilée. À l'avancement, on met en place des suspentes temporaires reliant les câbles de revers aux câbles porteurs. Leur rôle est essentiel : puisqu'il est impossible de déposer le tablier de façon symétrique pour des raisons d'encombrement, il faut s'assurer que les câbles porteurs conservent suffisamment de tension au fur et à mesure de la dépose du tablier, sous peine de voir le restant du tablier encore en place pencher dangereusement vers le lit de la rivière. Il en va de même pour les câbles de revers qui sont essentiels en cas de vent fort. L'installation des suspentes temporaires permet de conserver ces tensions, agissant comme une sorte de tablier fantôme, en conservant les faisceaux de câbles porteurs et revers proches les uns des autres.

Rapidement, la brèche reprend ses droits, le tablier s'efface complètement. Vient alors le moment d'évacuer les câbles usés, porteurs, revers et retenue. Mais avant de pouvoir penser à leur évacuation à proprement parler, il faut les détendre. Et ce n'est pas

7- Installation des portiques et chevêtres en tête de pile.

8- Chariot du BEITORE.

7- Installation of portal frames and crossbeams on the pier cap.

8- Cable-crane carriage.

chose simple compte tenu du contexte. L'accès est impossible en partie courante des câbles. Les chariots d'arrimage des câbles en tête de pile, assurant normalement l'équilibre entre les câbles porteurs et retenues, sont complètement grippés, pris par la rouille. Les équilibres doivent donc être assurés à plus d'une vingtaine de points d'ancrage des différents câbles pour assurer la stabilité des masses en présence.

On sonde d'abord les tensions au moyen de pesages hydrauliques.

Un passage de dé-tension est défini. L'ensemble des ancrages de câble est équipé de vérins, chacun relié à une pompe via le matériel nécessaire au contrôle indépendant de chacune des pistes hydrauliques. Mais tout cela ne suffit pas à s'affranchir du poids des câbles lors de leur évacuation (près de 45 t). Même détendus, les faisceaux lourds et encombrants sont difficiles à manipuler. Un moyen de levage s'impose. Et ici encore, le BEITORE se révèle être un atout majeur : ses câbles temporaires vont servir à soulager les anciens câbles de leur poids propre. À nouveau, l'opération est préparée par les équipes avec le plus grand soin. Le chariot du blondin est mis de côté et la tension des câbles temporaires est ajustée de sorte à surplomber d'un juste mètre les faisceaux de câbles porteurs encore tendus. Comme si le ballet des câbles entre blondin existants et suspentes temporaires ne suffisait pas, des travaux sur corde viennent compléter la toile. Sur les câbles temporaires, on installe alors des rouleurs de prise en charge des câbles existants. Régulièrement espacés, ils sont reliés à la fois entre eux et aux câbles existants par des élingues, pour lors encore lâches.

L'exercice de transfert des charges peut alors commencer. Par un jeu d'équilibre entre la dé-tension des câbles existants et la re-tension des câbles temporaires, la tension des anciens faisceaux est peu à peu relâchée. Tantôt abaissés par leur dé-tension, puis relevés par le soutien grandissant des câbles du BEITORE, les milliers de mètres de fils usagés entrent dans leur dernière danse. ▽



8
© FREYSSINET

9- BEITORE portant un tronçon d'ouvrage et suspentes temporaires.

10- Câbles détendus et soutenus par les torons temporaires.

11- Nouveaux chariots d'arrimage des câbles.

9- Cable crane carrying a section of the bridge and temporary hangers.

10- Cables relaxed and supported by the temporary tendons.

11- New cable fastening carriages.

Une ultime passe de prise en charge par les câbles temporaires est effectuée (figure 10), quelques découpes et les voilà libérés de leurs ancrages, auxquels ils étaient restés attachés près de 80 ans depuis leur dernier remplacement.

L'intérêt des rouleurs réside maintenant dans leur capacité à être ramenés vers la rive avec leur chargement. Des vérins à câbles sont fixés sur les chevêtres du BEITORE, profitant ainsi d'un ancrage sûr sans risque d'endommager les piles. Chacun d'eux est connecté à sa file de rouleurs. L'opération de dépose des câbles est lancée depuis la rive gauche. L'important poids des câbles se fait sentir. Quelques adaptations sont nécessaires au système de rouleurs supportant l'ancien faisceau qui serpente désormais en vagues régulières au rythme de ses points de soutien réguliers. Mais, progressivement, mètre après mètre, la prudence est récompensée. Pour le spectacle de dépose du monument, l'inépuisable support que constituent les câbles du BEITORE prennent alors le rôle de tringles ; et le retrait des câbles comme pour en tirer le rideau.

À ce stade, le vide est presque plus impressionnant que l'ancienne structure. Le lien entre les deux rives ne tient plus qu'aux quelques fils du blondin. Seuls au milieu de la brèche béante, libérés de tout poids, au vent, ils se balancent légèrement comme las de ne plus servir. À tous vient alors la même envie : reconstruire.



9

© FREYSSINET



10

© FREYSSINET

À cet effet, les maçonneries d'époque sont préparées. En tête de pile, on dépose les chariots de l'ancien pont, ainsi même que les chariots datant du 19^e siècle. Ces derniers sont conservés dans leur sarcophage de béton depuis les travaux de remplacement de la suspension des années soixante, mais leur état ne permet malheureusement pas de les réutiliser. L'un d'entre eux est remis au jour par hydrodémolition dans un intérêt historique (il sera exposé sur place pour les futurs visiteurs, l'ouverture d'un musée dédié à

l'histoire du pont étant prévue prochainement). Leurs jumeaux, plus récents, et identiques jusque dans leur mode de fabrication par fonderie, sont installés en lieu et place (figure 11). Sous le niveau des terres, dans les chambres d'ancrage, le parcours des câbles de retenue est préparé, les déviateurs et mordaches d'ancrage sont placés sur l'inébranlable massif poids.

La cinématique à l'exacte inverse de la dépose peut alors commencer. Les nouveaux câbles sont lancés, mis en tension et réglés par des contrôles

d'effort et de géométrie. La parabole reprend forme. En parallèle de la mise en place de la future suspension, les travaux de pré-assemblage de la nouvelle charpente sont en cours. Les tronçons sont équipés des garde-corps historiques restaurés. On les entrepose, fin prêts, devant la plateforme de ripage en vue de leur lancement. Le chariot du BEITORE est réinstallé, la reconstruction du tablier commence. Le jeu d'assemblage prend son cours au-dessus de la rivière. L'équipe parvient, à force d'auscultations et de rigueur, à obtenir la géométrie souhaitée, malgré le caractère très itératif et donc complexe du réglage de ce type d'ouvrage. Les tronçons s'ajoutent, les uns derrière les autres, pour former à nouveau ce que beaucoup avant nous ont connu comme une constante dans le paysage de l'Est réunionnais. On procède à quelques ajustements géométriques, un réglage final avant les chargements d'épreuves, qui, sous l'œil appareillé d'un géomètre, confirment l'adéquation des calculs théoriques à l'impartiale réalité. Bientôt, les travaux de finition viendront parfaire le travail qui comble désormais le vide entre passé et futur (figure 12).



11

© FREYSSINET



12a

© FREYSSINET



12b

© FREYSSINET

PRINCIPALES QUANTITÉS

L'OUVRAGE

PORTÉE : 150 m

LONGUEUR TOTALE DONT CÂBLES DE RETENUE : 290 m

LARGEUR UTILE : 5 m

HAUTEUR DES PILES AU-DESSUS DU TABLIER : 15 m

POIDS TOTAL DE LA CHARPENTE DU TABLIER (hors câbles) : 112 t

NOMBRE DE CÂBLES : 52

LONGUEUR TOTALE DE CÂBLE : 5 km

LONGUEUR TOTALE DE FIL CONSTITUANT LES CÂBLES : 569 km
(soit près de 3 fois le tour de l'île)

POIDS TOTAL DE CÂBLE : 80 t

TENSION MOYENNE DANS LES CÂBLES PRINCIPAUX : 26 t

LE BLONDIN

LONGUEUR TOTALE DE CÂBLE : 2 km

TENSION MOYENNE DANS LES CÂBLES : 39 t

CAPACITÉ DE LEVAGE (tronçon de tablier) : 8 t

CAPACITÉ DE SOUTIEN (câbles d'ouvrage) : 50 t

12- Ouvrage restauré, avant/après.

12- Restored bridge, before/after.

CONCLUSION

Le travail conjoint des équipes travaux, méthodes et calcul de structure de Freyssinet a permis de mettre au point une cinématique de travaux performante et sécurisante. Souhaitons que le même défi se présente encore dans un siècle ou plus lorsqu'il écherra à nos successeurs de passer le relais de la conception originelle d'Arnodin. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Réunion

MAÎTRE D'ŒUVRE : L'Atelier Architecte, Artelia

BUREAU DE CONTRÔLE : Quadric (groupe Artelia)

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Freyssinet (lot structure), Smb (lot maçonneries), Asselin (lot platelage bois)

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION DE STRUCTURE : département technique de Freyssinet International & Cie

ABSTRACT

RESTORATION OF SAINTE-ROSE BRIDGE ON REUNION ISLAND - IN THE EASTERN PART OF THE ISLAND, RENOVATION OF AN OLD STRUCTURE

NICOLAS FABRY, FREYSSINET - FRÉDÉRIC PASTOR, FREYSSINET - QUENTIN RANDUINEAU, FREYSSINET

Freyssinet performed deconstruction and reconstruction of the deck and suspension system of the Sainte-Rose Bridge, a structure of 150-metre span built by Arnodin on Reunion Island, above a gap preventing any access from below. The contractor designed the kinematic drawing of the works. It designed and produced the specific equipment for handling, installation and removal of the cables, hangers and deck sections. It also performed tensioning of the suspension system and final geometric adjustment of the structure. The appearance of the new bridge is faithful to the original one, even though it is more than a century since the date of original construction. □

RESTAURACIÓN DEL PUENTE DE SAINTE-ROSE, LA REUNIÓN - RENOVACIÓN DE UNA OBRA ANTIGUA EN EL ESTE DE LA ISLA

NICOLAS FABRY, FREYSSINET - FRÉDÉRIC PASTOR, FREYSSINET - QUENTIN RANDUINEAU, FREYSSINET

Freyssinet ha realizado la deconstrucción y la reconstrucción del tablero y la suspensión del puente de Sainte-Rose, en la Reunión, una obra de Ferdinand Arnodin de 150 m de luz que franquea una brecha de terreno intransitable por la parte inferior. La empresa, que ha realizado un estudio cinemático de las obras, ha diseñado y producido equipos específicos para la manipulación, el tendido y la instalación de los cables, los tirantes y los tramos del tablero. Asimismo, ha tensado la suspensión y ha realizado el ajuste geométrico final del puente. El aspecto del nuevo puente es fiel al original, pese a que ha transcurrido más de un siglo desde su fecha de construcción. □



1
© INGEROP

LE BFUP À L'ÉPREUVE SUR LE VIADUC DE PONT D'OUCHE SUR L'AUTOROUTE A6

AUTEURS : ROMAIN PITTET, RESPONSABLE PATRIMOINE OUVRAGES D'ART-TUNNELS, APRR - BENJAMIN SIMIAN, RESPONSABLE DU SERVICE PATHOLOGIE ET RÉPARATION DES OUVRAGES D'ART, INGEROP - DAVID GERY, CHEF DE SERVICE ADJOINT TRAVAUX, BOUYGUES TPRF / VSL FRANCE

LE PROJET BFUP A6 APRR S'INSCRIT DANS UN PROGRAMME DE RÉHABILITATION GLOBALE DE DEUX TABLIERS DE 500 M DE LONG TRAVERSANT LA COMMUNE DE PONT D'OUCHE À PRÈS DE 25 M DE HAUT. L'AMÉLIORATION DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DE L'OUVRAGE ET LE RENFORCEMENT DES SYSTÈMES DE RETENUE PAR DES DISPOSITIFS ANTI-DÉVERSEMENT ONT CONDUIT APRR (AUTOROUTES PARIS-RHIN-RHÔNE) - AREA (SOCIÉTÉ DES AUTOROUTES RHÔNE-ALPES) À UTILISER UNE TECHNIQUE DE RENFORCEMENT LARGEMENT EMPLOYÉE EN SUISSE MAIS INÉDITE EN FRANCE SUR OUVRAGES AUTOROUTIERS : LE RENFORCEMENT PAR BFUP ARMÉ ADHÉRENT.

PRÉSENTATION DU PROJET LE CONTEXTE DE L'OPÉRATION

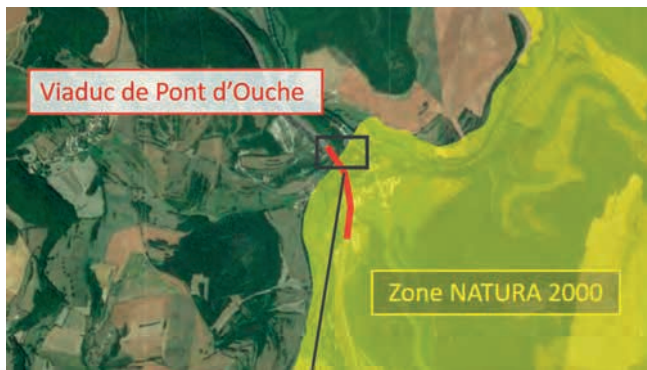
Le viaduc de Pont d'Ouche sur l'autoroute A6 est situé dans une zone naturelle classée ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) et NATURA 2000 (figure 2),

traversant la rivière l'Ouche. Dans cette configuration et dans le cadre d'une amélioration environnementale de la section portée par Aprr, les travaux de réhabilitation globale de l'ouvrage devaient intégrer deux enjeux principaux :

**1- Coulage BFUP
hourdis en phase
travaux.**

**1- Pouring UHPFRC
for the deck section
in the works phase.**

→ Une amélioration de l'assainissement des tabliers de l'autoroute ;
→ Une augmentation du niveau de performance des dispositifs de retenue.
Pour répondre au premier enjeu sur un ouvrage bénéficiant à sa construction d'un assainissement diffus (figure 2),



© APRR 2

2- Assainissement viaduc de Pont d'Ouche.

3- Comparaison des deux solutions de l'étude de valeurs.

2- Pont d'Ouche viaduct drainage.
3- Comparison of two solutions.

l'opération consiste à intégrer à l'ouvrage une conduite en fonte en rive extérieure sur le tablier sens 1 et en rive TPC (Terre-Plein Central) sur le tablier sens 2.

Pour répondre au deuxième enjeu, l'opération consiste à remplacer les anciens dispositifs de retenue par un dispositif de niveau H2 en TPC et de niveau H3 anti-déversement en rive extérieure (niveaux définis par la norme EN 1317). Vis-à-vis du risque de déversement de matière polluante ou dangereuse sur le site, une obturation du TPC a été intégrée par la mise en œuvre d'une couverture métallique entre les deux tabliers.

Une fois le contexte du programme cadré, la problématique émergente était la nécessité de renforcement transversal du hourdis des tabliers, suite aux charges additionnelles apportées par ces modifications. Aprr-Area s'est pour cela appuyé sur une étude de valeurs réalisée par Quadric (ingénierie filiale du groupe Artelia).

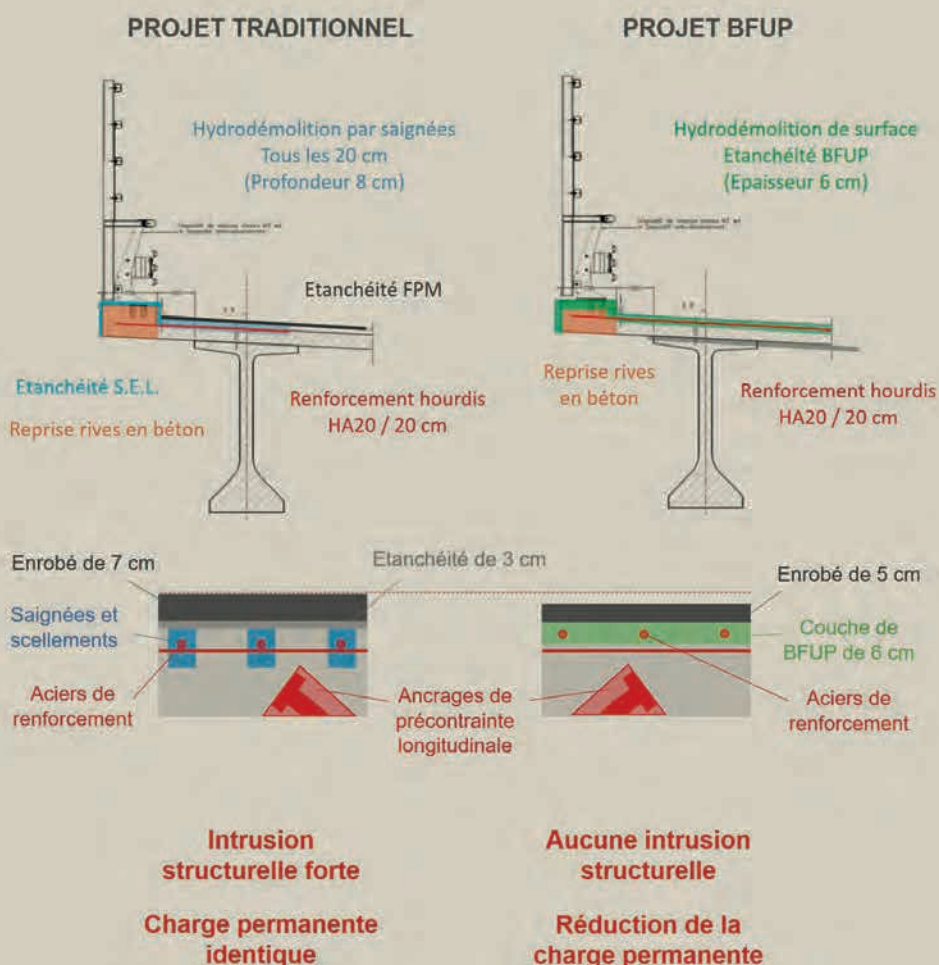
LE CHOIX DE LA SOLUTION

L'étude de valeurs consistait à analyser deux solutions de renforcement transversal (figure 3) :

- Une solution classique de renforcement consistant à réaliser des saignées dans le hourdis d'environ 8 cm de profondeur pour sceller des barres d'acier de renforcement tous les 20 cm sur les encorbellements des tabliers ;
- Une solution BFUP de renforcement consistant à réaliser une couche de BFUP armée de 6 cm d'épaisseur adhérente au support béton sans connecteur.

Au cours de cette étude, l'objectif était d'optimiser le dimensionnement de la solution BFUP pour réduire l'impact environnemental mais également réduire le coût du projet tout en intégrant une fonction d'étanchéité globale. ▷

COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS DE L'ÉTUDE DE VALEURS



© APRR 3

Suite à la comparaison de ces deux solutions, la solution BFUP est ressortie comme la solution la plus pertinente en termes de préservation du patrimoine, de délai, d'enjeux structurels et de phasage vis-à-vis des contraintes d'exploitation forte sur le secteur.

Néanmoins, pour mener à bien cette application inédite en France, nous devons sélectionner dans un premier temps un BFUP particulier : le BFUP écrouissant voire très écrouissant. Ainsi le cahier des charges du projet a intégré des prescriptions spécifiques telles qu'une forte résistance élastique en traction, une forte limite post fissuration et un comportement à la traction T2 a minima au sens de la norme française NF P18-470. Un BFUP écrouissant en traction est un matériau très fortement dosé en fibres métalliques (3,75 % dans le cas présent) lui conférant une ductilité permettant d'atteindre un palier de plastification dépassant 2 à 3‰.

En Suisse, l'ensemble des dispositions techniques permettant l'application d'un BFUP en tant qu'étanchéité et couche de renforcement est consigné dans le cahier technique SIA 2052 décrivant également les joints de reprises, la préparation des surfaces, les aciers de couture et le type de BFUP. En France, ce sont les normes NF P 18-451, NF P18-470 et NF P 18-710 qui permettent de réglementer l'utilisation du BFUP. Pour cette application particulière, Aprr a décidé de s'appuyer sur des experts du sujet.

UN COMITÉ TECHNIQUE D'EXPERTS ET DES PROTOCOLES

Grâce à l'expérience suisse sur le domaine, Aprr avec le soutien de Fca (représentant l'État - Ministère de la Transition Écologique) élabore un



4 © APRR

Comité Technique BFUP pour cette opération avec la participation de Epfl (École polytechnique fédérale de Lausanne), du Cerema, de l'Uge (Université Gustave Eiffel), d'Ingerop, d'Ixo (société d'ingénierie et expertise des ouvrages) et de Fca.

Les enjeux de ce projet sont multiples : Comment réaliser un renforcement BFUP sans connecteur ? Comment assurer l'étanchéité globale du hourdis ? Comment s'assurer de la capacité et de la régularité de production BFUP sur une surface de plus de 10 000 m² ? Comment suivre ce système BFUP à court et moyen termes ?

4- Dalle d'essai de mise en œuvre.

5- Poutres d'essai de renforcement.

6- Dalle témoin de vieillissement.

4- Execution test slab.

5- Strengthening test beams.

6- Ageing control slab.

Pour répondre à ces questions, Aprr et le comité technique ont élaboré un protocole expérimental et un protocole de suivi s'appuyant sur trois prototypes :

→ La dalle d'essai de mise en œuvre (figure 4) a permis de calibrer les critères de réception des supports, d'appréhender les critères de régularité de production, d'améliorer les procédures en testant la mise en œuvre du BFUP des longrines et du hourdis. Grâce à la mise en eau de cette dalle d'essai sur deux semaines et à son positionnement sur plots provisoires, l'efficacité de



5 © APRR



6 © APRR



Renforcement vis-à-vis du choc de PL sur DR H3 antidéversement

© INGEROP 7

la réduction extrêmement forte de la perméabilité apportée par le BFUP a été constatée ;

→ Les poutres d'essai de renforcement (figure 5) ont permis de tester l'ancrage des barres d'acier de renforcement dans le BFUP mais également l'adhérence forte du BFUP sur le béton. Ces poutres ont été testées à l'aide de vérins creux positionnés sur les 9 armatures.

7- Renforcement pour DR H3 antidéversement.

8- Épaisseurs de BFUP sur le tablier.

7- Strengthening for anti-overflow system.

8- UHPFRC thicknesses on the deck.

C'est à l'issue d'une force de 12 à 13 t par barre que le renforcement a cédé en arrachant non pas l'interface BFUP/béton mais l'enrobage de béton. Ce test a permis de démontrer le non-fendage du BFUP au droit des barres de renforcement mais également la très bonne adhérence de l'interface BFUP/béton ;

→ La dalle témoin de vieillissement (figure 6), positionnée à proximité

immédiate du viaduc, est composée d'un bloc de béton et d'une couche de BFUP de 3 cm préparés dans les mêmes conditions que le chantier. Ce positionnement et son exposition à l'air libre lui permettent de subir des conditions d'ambiance identiques au viaduc (sel de déverglaçage, cycles d'humidité et de gel, agents agressifs...). Les visites périodiques et les prélèvements sur cette dalle permettront de suivre de manière régulière les caractéristiques du BFUP pour cette application d'étanchéité et renforcement.

PRÉSENTATION DE LA SOLUTION BFUP PRINCIPE DE CONCEPTION DE LA COUCHE BFUP EN EXTRADOS

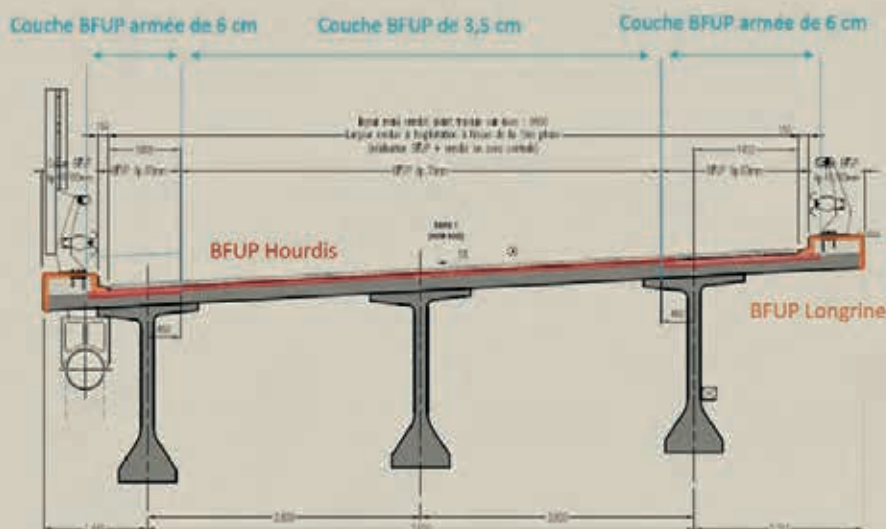
L'objectif des travaux sur l'extrados des viaducs de Pont d'Ouche est la remise à niveau complète des superstructures avec, en complément, l'amélioration des dispositifs de retenue avec la mise en œuvre d'écrans anti-déversement en rive extérieure (figure 7). Pour cela, il est nécessaire de prévoir un renforcement structurel important en flexion transversale du hourdis tout en limitant l'ajout de charges permanentes (voire un allègement des superstructures) pour garantir la capacité portante longitudinale de l'ouvrage. La solution d'application d'une couche structurelle BFUP en extrados permet de répondre simultanément à plusieurs besoins : renforcement structurel transversal du hourdis, minimisation des charges permanentes de superstructures, réalisation d'une imperméabilisation globale pérenne du hourdis et des longrines.

L'application de la couche de BFUP est réalisée suivant plusieurs épaisseurs (figure 8) selon les besoins :

- Partie centrale du hourdis : rôle imperméabilisation épaisseur de 35 mm de BFUP ;
- Partie extérieure du hourdis : rôle de renfort structurel et imperméabilisation épaisseur de 60 mm de BFUP armé ;
- Partie longrine : rôle imperméabilisation épaisseur de 40 mm de BFUP.

Du point de vue du dimensionnement de la solution BFUP, la condition principale pour garantir la très faible perméabilité du BFUP est de limiter aux ELS la déformation de la fibre extrados du BFUP à 1‰ maximum (limitation de la microfissuration) et de conserver le BFUP dans le domaine élastique.

ÉPAISSEURS DE BFUP SUR LE TABLIER



© INGEROP 8



© BOUYGUES-TPRF/ VSL FRANCE



© BOUYGUES-TPRF/ VSL FRANCE

La transmission des efforts de la couche de BFUP en flexion transversale dans le hourdis béton s'effectue par simple adhérence BFUP/béton sans aucune connexion sur une surface dont la rugosité est obtenue par hydrodémolition.

La réussite d'un projet BFUP en étanchéité réside également dans l'exécution des joints de reprise BFUP/BFUP puisqu'il s'agit des zones de fragilité de la couche de BFUP. Les viaducs de Pont d'Ouche comportant une surface d'application très importante, le projet présente de nombreux joints de reprise, aussi bien longitudinaux que transversaux. Le choix de la position des joints fait partie intégrante de la conception du projet puisqu'il va impacter sensiblement le phasage et le planning ainsi que la bonne tenue du BFUP à long terme. L'objectif étant de minimiser le nombre de joints et de les positionner dans des zones moins sensibles mécaniquement : éviter les zones de traction maximale en fibre supérieure du hourdis et dans les zones de cheminement des roues de poids lourds.

CONVENANCE ET CONTRÔLES CHANTIER

Le BFUP est un matériau sensible qui demande une maîtrise dans chaque phase de réalisation : conception, production (centrale chantier), mise en œuvre. La réussite d'un projet BFUP demeure en partie dans la qualité de la convenance et des contrôles à réaliser en phase chantier afin d'ajuster les détails de réalisation et éviter les aléas chantier. Dans cet objectif, lors de la phase de préparation de chantier de ce projet, une dalle de convenance à l'échelle 1 (figure 4) est réalisée (11 m

de large x 6 m de long) en respectant la géométrie réelle du tablier avec notamment une pente transversale de 5% pour simuler le coulage du BFUP en pente. L'ensemble des phases de la réparation de l'extrados en BFUP est reproduit, en partant de la préparation de surface par hydrodémolition jusqu'à l'application des enrobés, en passant par le coulage des longrines en BFUP. Cette convenance est également réalisée avec les mêmes matériels que ceux utilisés en phase chantier avec notamment la centrale de production du BFUP. Des essais de contrôle sur BFUP frais et BFUP durcis conformes à la norme NF P 18-470 sont effectués pour contrôler l'atteinte des caractéristiques du matériau BFUP exigées au marché. De plus, des contrôles de rugosité des supports béton et BFUP

9- Installation de canalisation en fonte sous neutralisation de voie lente.

10- Centrale BFUP basse cadence pour les longrines.

11- Centrale BFUP haute cadence pour le hourdis.

9- Installation of cast iron piping during closure of the slow lane.

10- Low-speed UHPFRC plant for longitudinal girders.

11- High-speed UHPFRC plant for the deck section.

ainsi que l'adhérence des couches BFUP et enrobés sont effectués pour qualifier le niveau de performance à reproduire sur l'ouvrage.

Lors de la phase travaux (figure 1), en complément des essais normés, de nombreux points d'attention et de contrôle chantier sont nécessaires afin de vérifier la bonne exécution conformément au niveau d'exigence calé en convenance. Cela se traduit en partie par des adaptations et des modifications de points de détails pour parfaire la bonne exécution du BFUP.

Les phases critiques sont : la réception des supports béton et BFUP, la qualité des joints de reprise, la qualité du ferrailage et la qualité de la cure.

Par retour d'expérience sur ce projet de grande ampleur, il est important de souligner l'importance du travail d'équipe



11



© BOUYGUES-TPRF / VSL FRANCE

12

entre le MOA, MOE, les entreprises et le contrôle extérieur afin d'améliorer de manière continue la qualité de mise en œuvre et ainsi maîtriser sereinement l'ensemble du process BFUP.

MÉTHODOLOGIE ET REX TRAVAUX

Les travaux des viaducs de Pont d'Ouche se décomposent en de nombreuses activités concomitantes, entraînant un phasage complexe des travaux. Les travaux de remise à niveau des superstructures, d'hydrodémolition et de mise en place du BFUP sur hourdis, sont complétés par la démolition de l'intégralité des dispositifs de retenue et longrines existants pour être recréés, et étanchés par une coque BFUP. En parallèle, les travaux suivants sont effectués :

- Les joints de chaussée existants sont remplacés par des joints monoblocs, nécessitant la démolition et la reconstruction des structures porteuses ;
- L'ensemble des 168 appareils d'appui et bossages sont changés lors d'opérations de vérinage ;
- 1 km de canalisations en fonte pour la récupération des eaux pluviales

12- Finisseuse à BFUP Walo.

12- Walo UHPFRC paver.

- sont installées en point bas de chacun des 2 tabliers ;
- Les perrés sont substitués ;
- Les culées sont étanchées par BFUP sur les faces horizontales et verticales ;
- Le TPC est étanché par 500 m de tôles pleine largeur ;
- Les travées de courte portée sont renforcées en flexion par le collage de lamelles carbone ;
- Les bétons dégradés de l'intrados sont intégralement ragrésés.

La réalisation de ces travaux (figure 9) aura nécessité une parfaite coordination entre l'exploitant, le MOA, le MOE et le groupement afin de mettre en œuvre des travaux sur une voie pour la démolition et reconstruction des longrines, ainsi que des travaux sous basculement (7 semaines par sens) pour le vérinage, le traitement du hourdis et les joints de chaussée.

ÉTUDES D'EXÉCUTION BFUP

La préparation des travaux BFUP demande beaucoup de précision dans la définition des études d'exécution afin d'y intégrer les retours d'expérience des épreuves de convenance ainsi que l'état réel du tablier support.

Les deux viaducs ont été traités avec un phasage différent (démolition des longrines, traitement du hourdis, puis reconstruction des longrines pour le premier tablier, démolition/reconstruction des longrines, puis traitement du hourdis pour le second tablier), permettant de répondre à des contraintes d'exploitation fortes, ainsi qu'à une amélioration des conditions de sécurité et d'environnement pour les intervenants.

Les études d'exécution BFUP nécessitent une parfaite coordination entre le Bureau d'Études et l'encadrement chantier. Notamment, sur les zones de recouvrement du ferrailage de manière à éviter les points de faiblesse d'une étanchéité, sur les modes de fixation des nappes de ferrailage afin d'éviter leur soulèvement et le non-respect de l'enrobage, sur les différentes préparations de surface (simple indentation de 8 à 10 mm en zone courante, contre

une hydrodémolition de 3 cm en zones renforcées, ou de 3,5 cm sur les joints de reprise), ainsi que sur les détails des différentes configurations de joints.

RÉALISATION DU BFUP

La réalisation de BFUP à grande échelle se décompose en deux étapes : un moyen de production adéquat, ainsi qu'un moyen de mise en œuvre.

Le groupement a prévu deux outils de production séparés dans le cadre du projet.

Une première centrale BFUP (figure 10) permet la réalisation du BFUP des longrines, à une cadence de 2 m³/h, à partir de big bags de prémix de 1 t et d'une adjonction de fibres séparée en fin de gâchée. Cette centrale, avec pesée automatique, permet la fabrication du BFUP autoplaçant nécessaire pour la réalisation de la coque étanche sur les longrines. Une seconde centrale BFUP (figure 11) permet la réalisation du BFUP thixotrope du hourdis, capable de tenir une pente transversale de 5%. Cette centrale fonctionne à l'aide de big bags de prémix pré-fibrés, augmentant la cadence à 5 m³/h grâce à la suppression de la phase d'introduction et de malaxage des fibres.

La mise en place de ces deux centrales permet la réalisation de l'intégralité des BFUP requis pour le projet, en adéquation avec les cadences et rhéologies nécessaires pour leur mise en œuvre. Elles ont, par ailleurs, fait l'objet de validation lors d'épreuves de convenance spécifiques, permettant de qualifier les BFUP produits ainsi que leur adéquation avec l'application.

Afin de pouvoir réaliser les nouvelles longrines, des coffrages métalliques suspendus sont fixés en rive de tablier afin de réaliser le nouveau noyau béton.

Un matricage des parois béton permet d'assurer l'adhérence avec la future couche BFUP, coulée dans le même coffrage, évidé de masques de 4 à 6 cm d'épaisseur. La mise en œuvre du BFUP se fait à l'aide de bennes à béton et d'un chariot manuscopique, terminée par un lissage à la main sur la face supérieure.

La mise en œuvre du BFUP du hourdis est réalisée avec une finisseuse (figure 12) capable d'étaler et de lisser un BFUP thixotrope mécaniquement sur une largeur d'environ 5,5 m.

Le BFUP est ainsi transporté depuis la centrale par dumper, puis vidé dans une benne à béton, qui est à son tour vidée par une pelle 14 t devant la finisseuse. Une attention particulière est portée au cadencement de la production et au remariage des couches successives afin d'éviter la formation d'une croûte de dessiccation à l'interface des gâchées, qui serait préjudiciable au caractère étanche de la couche BFUP.

Dans les deux configurations, une attention très particulière est portée à la cure du BFUP. Immédiatement après surfacage du matériau, un produit de cure est vaporisé sur la surface en continu pendant le coulage, et une



13

© BOUYGUES-TPRF/VSL FRANCE

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE DES 2 TABLIERS : 11 388 m²
QUANTITÉ DE BFUP HOURDIS : 470 m³
QUANTITÉ DE BFUP LONGRINES : 243 m³
QUANTITÉ DE BFUP CULÉES : 12 m³
DOSAGE EN FIBRE DU BFUP : 3,75 %
DURÉE DES TRAVAUX : 2 ans

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Aprr
MAÎTRE D'ŒUVRE RÉALISATION : Ingerop Agence Alpes Centre Est
VISA ET INSTRUMENTATION : Ixo
ENTREPRISE DE TRAVAUX : Bouygues-Vsl / Walo / Colas
FOURNISSEUR BFUP : Vicat
FOURNISSEUR DISPOSITIFS DE RETENUE : Comely
CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Cerema et Uge (Université Gustave Eiffel)

13- Revêtement BFUP hourdis terminé.

13- Completed deck section UHPFRC surfacing.

bâche polyane est déposée et lestée dès que quelques mètres linéaires sont terminés et disponibles. La faible teneur en eau du BFUP rend l'étape de cure cruciale afin d'éviter la dessiccation de surface amenant à de la fissuration préjudiciable au rôle d'étanchéité.

Une fois le revêtement en BFUP terminé (figure 13), la dernière étape consiste en l'application de la couche d'enrobé. □

ABSTRACT

UHPFRC ON TRIAL ON THE PONT D'OUCHE VIADUCT OVER THE A6 MOTORWAY

ROMAIN PITTET, APRR - BENJAMIN SIMIAN, INGEROP - DAVID GERY, BOUYGUES TPRF/VSL FRANCE

As part of a project for renovation and improvement of environmental performance on the A6 motorway, major works were performed in 2022 and 2023 on the Pont d'Ouche viaduct located at reference point PR 279+500. From improvement of the retention systems to replacement of the waterproofing system and expansion joints, including the installation of drainage pipes, these works extend over more than one kilometre of the structure. In order to ensure minor structural intrusion and durability, the solution adopted by Aprr is strengthening by adhesive UHPFRC with very high tensile hardening and very weakly permeable properties, applied partly with the help of an UHPFRC paver. □

EL HORMIGÓN BFUP A PRUEBA EN EL VIADUCTO DE PONT D'OUCHE SOBRE LA AUTOPISTA A6

ROMAIN PITTET, APRR - BENJAMIN SIMIAN, INGEROP - DAVID GERY, BOUYGUES TPRF/VSL FRANCE

En el marco de un proyecto de rehabilitación y mejora de la eficiencia medioambiental sobre la autopista A6, en 2022 y 2023 se realizaron importantes obras en el viaducto de Pont d'Ouche, situado en el PR 279+500. De la mejora de los dispositivos de retención a la sustitución de la estanqueidad y las juntas de calzada, pasando por la instalación de conductos de saneamiento, estas obras se extienden sobre más de un kilómetro de construcción. Para garantizar una baja intrusión estructural y ofrecer durabilidad, la solución elegida por la empresa APRR ha sido un refuerzo con hormigón fibrado de ultra alto rendimiento (BFUP, por sus siglas en francés), que se ajusta a las características de fuerte endurecimiento en tracción y muy baja permeabilidad, aplicado en parte mediante una terminadora de BFUP. □

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

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



CONTACTEZ-NOUS AU

 **04 72 42 17 90**

OU RETROUVEZ-NOUS
SUR NOTRE SITE
www.probtp.com





1
© EVIA

RENFORCEMENT DU VIADUC DE BONPAS SUR LA DURANCE

AUTEURS : GUILLAUME PONCET, RESPONSABLE CELLULE OUVRAGES D'ART, VINCI AUTOROUTES - DAMIEN CAPRA, CHEF DE PROJET TRAVAUX, INGEROP - CHARLOTTE HUMEZ, CONDUCTRICE DE TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA - SYLVAIN BOIREAU, RESPONSABLE DE MISSIONS, SECOA / GROUPE ARTELIA - ALAIN SIMON, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA

LES DEUX TABLIERS BI-CAISSONS DE 548 M DE LONG DU VIADUC DE BONPAS ONT ÉTÉ RENFORCÉS AU MOYEN D'UNE PRÉCONTRAINTE LONGITUDINALE ADDITIONNELLE CONSTITUÉE DE 4 X 2 CABLES 22T15S DANS CHAQUE TABLIER. CETTE OPÉRATION A PERMIS DE RECOMPRIMER L'ENSEMBLE DES VOUSOIRS. TOUS LES TRAVAUX ONT ÉTÉ RÉALISÉS SANS INTERRUPTION DE LA CIRCULATION SUR L'AUTOROUTE A7 QUE PORTE LE VIADUC ET DANS LE RESPECT DES PÉRIODES DE NIDIFICATION DES CHAUVES-SOURIS.

L'OUVRAGE

Le viaduc de Bonpas (figure 1) permet à l'autoroute A7 de franchir la Durance, le canal du Crillon et la RD900, à la frontière des départements des Bouches-du-Rhône (13) et du Vaucluse (84). Construit entre 1967 et 1968 par l'entreprise Ballot et mis en service en 1969, l'ouvrage est composé de 2 tabliers en béton précontraint, un dans chaque sens de circulation de l'autoroute. Ils ont été réalisés par encorbellements successifs à partir de voussoirs provisoirement encastrés sur piles et par avancement symétrique des fléaux. Les voussoirs ont été préfabriqués et tous les câbles de précontrainte, de type 12Ø8, sont logés dans des gaines à l'intérieur du béton.

Les voussoirs sont conjugués collés. Chaque tablier est composé de 2 caissons reliés par le hourdis supérieur. Leur hauteur varie sur la longueur de l'ouvrage, entre 4,40 m sur pile et 1,80 m à la clé. L'ouvrage est consti-

tué de 6 travées principales de 72 m et de deux travées de rive de 72 m (côté Nord) et 44 m (côté Sud), pour une longueur totale de 548 m.

LE CONTEXTE

Dans le cadre de ses missions de surveillance et d'entretien des infrastructures autoroutières, le maître d'ouvrage Vinci Autoroutes procède périodiquement à des visites d'inspection des ouvrages. À l'occasion de l'une d'elles, un problème de décompression au niveau de joints de certains voussoirs a été identifié, alors même qu'aucune traction n'avait été envisagée lors de la conception de l'ouvrage. Les calculs entrepris dès lors ont révélé que les variations de température étaient principalement responsables de cette situation, alors que les règles de calcul de l'époque de la construction du viaduc ne prenaient pas en compte les effets de gradients thermiques, ni de redistribution des efforts par fluage.

1- Vue d'ensemble du viaduc.

1- General view of the viaduct.

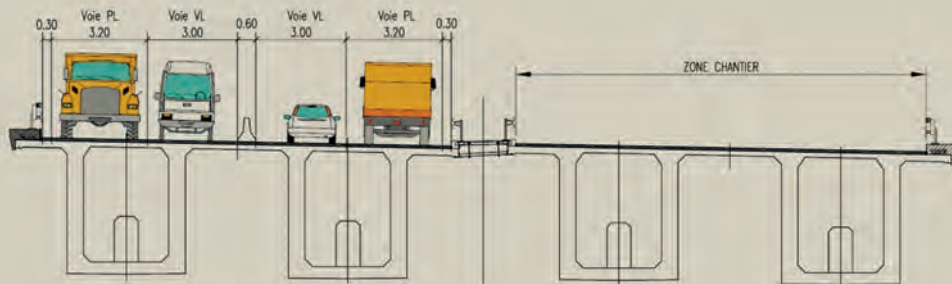
Pour rétablir une compression totale au niveau des joints de voussoirs et garantir la durabilité de l'ouvrage, le maître d'ouvrage a donc lancé un projet de renforcement avec deux impératifs majeurs : maintenir la circulation sur l'autoroute et préserver l'environnement de l'ouvrage.

Maintenir la circulation sur l'autoroute était un enjeu crucial. Cette section de l'autoroute A7 accueille en moyenne 75 000 véhicules par jour dans les deux sens de circulation, un chiffre qui peut atteindre jusqu'à 180 000 véhicules pendant les périodes de vacances. Certaines étapes du chantier ont nécessité le basculement de la circulation sur

un seul tablier (figure 2) pour garantir la meilleure sécurité possible. Malgré la complexité des travaux, la circulation a été maintenue pendant toute la durée du chantier, avec seulement 4 mois de circulation modifiée (basculée) sur une période totale de travaux de 30 mois entre 2020 et 2023.

La préservation de l'environnement était également une priorité. Le viaduc de Bonpas est situé dans un cadre exceptionnel, tant sur le plan architectural qu'environnemental (zone Natura 2000). Il est entouré par la route départementale 900, un barrage d'EDF, un captage d'eau potable, la Chartreuse de Bonpas (classée Monument historique) et la rivière Durance. De plus, une colonie de chauves-souris a élu domicile dans les caissons de l'ouvrage, les utilisant comme nurserie pendant plusieurs mois. Cette espèce étant protégée, la planification des travaux a été fortement influencée pour respecter le cycle de vie des chauves-souris.

BASCULEMENT DE L'AUTOROUTE POUR CERTAINS TRAVAUX



2

PRINCIPE DE CÂBLAGE ADDITIONNEL PAR CAISSON



3

LE PROJET DE RENFORCEMENT

Des investigations ont été réalisées sur l'ouvrage en vue d'appréhender son comportement réel. Des jauges de déformation, des capteurs de déplacement ainsi que des sondes de température ont été positionnés en différents points de la structure et le suivi des mesures a été fait avec et sans trafic routier. L'analyse des résultats a permis d'identifier les sections transver-

sales sujettes à des décompressions, d'en expliquer l'origine et de préciser les valeurs des gradients thermiques correspondants. Ce travail a également servi à calibrer un modèle de calcul complet de la structure, réalisé sur le logiciel ST1 par Ingerop, retenu par Vinci Autoroutes pour proposer un projet de renforcement. Le recalcul de l'ouvrage, mené suivant le référentiel BAEL/BPEL, a ainsi mon-

tré que des contraintes normales de traction allant jusqu'à -6.5 MPA étaient atteintes aux États Limites de Service (ELS) rares, dans certaines sections de voussoirs, en phase avec les investigations. Concernant la capacité de l'ouvrage vis-à-vis de l'effort tranchant, les résultats du recalcul ont confirmé le respect des critères des règles BAEL/BPEL. Aucune fissure d'effort tranchant n'a d'ailleurs été obser-

vée lors des inspections successives. Afin de recomprimer les joints de voussoirs aux ELS suivant le critère de la classe I du BPEL, le projet a conclu à la nécessité d'une précontrainte longitudinale additionnelle placée à l'intérieur des 4 caissons. Compte-tenu des efforts à appliquer aux différentes sections des tabliers, cette précontrainte devait être constituée de 2x2 câbles 22T15s par caisson (figure 3).

La grande longueur de l'ouvrage ne permettant pas de mettre en œuvre des câbles d'un seul tenant, des ancrages intermédiaires ont été positionnés au niveau de la pile P4 pour permettre une continuité du renforcement par croisement de câbles (figure 4).

Selon les prescriptions du fascicule 65 du CCTG, cette précontrainte additionnelle étant extérieure au béton, doit être démontable et remplaçable. Le projet a ainsi opté pour des câbles en torons gainés protégés, logés dans une gaine en PEHD injectée au coulis de ciment. Pour accrocher cette précontrainte additionnelle à l'ouvrage, il était nécessaire de créer des massifs d'ancrage cloués contre les âmes des caissons aux deux extrémités de l'ouvrage, c'est-à-dire à proximité des culées C0 et C8, ainsi qu'au droit de la pile P4 pour réaliser le croisement des câbles. Mais compte-tenu de l'incapacité du tablier au voisinage de C8 à supporter les effets locaux de l'ancrage d'une telle précontrainte, le massif a dû être décalé au droit de la pile P7. Une précontrainte additionnelle plus modeste, constituée de 2x1 12T15S seulement, serait prolongée jusqu'en C8.

Certaines phases de travaux du projet nécessitaient l'interruption du trafic sur un tablier. Il s'agit en particulier du bétonnage des massifs d'ancrage de la précontrainte, des opérations de vérinage et de changement des appareils d'appui, de la mise en tension des câbles de précontrainte ou encore du changement des joints de chaussée. Compte-tenu de la largeur roulable de chacun des deux tabliers, il était possible de faire circuler tous les véhicules sur un seul tablier, sur 2x2 voies (figure 2). Cette configuration de la circulation a permis de réaliser toutes ces phases de travaux en maintenant la circulation sur l'ouvrage.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Au terme d'un appel d'offres, le marché des travaux de renforcement a été attribué à l'entreprise Ævia qui a confié les études d'exécution au bureau d'études Secoa du groupe Artelia.

2- Basculement de l'autoroute pour certains travaux.

3- Principe de câblage additionnel par caisson.

4- Massifs d'ancrage et de croisement des câbles.

2- Carriageway crossover for certain works.

3- Schematic of additional cabling for each caisson.

4- Anchoring and cable junction blocks.



4

5- Vues en plan déformée et en élévation du modèle de calcul avec le câblage additionnel.

6a- Élévation du massif d'ancrage M2 (Pile P4) avec repérage de la précontrainte existante.

6b- Vue en plan du massif d'ancrage M2 (Pile P4).

5- Deformation plan and elevation views of the calculation model with the additional cabling.

6a- Elevation view of anchor block M2 (pier P4) with location of existing prestressing.

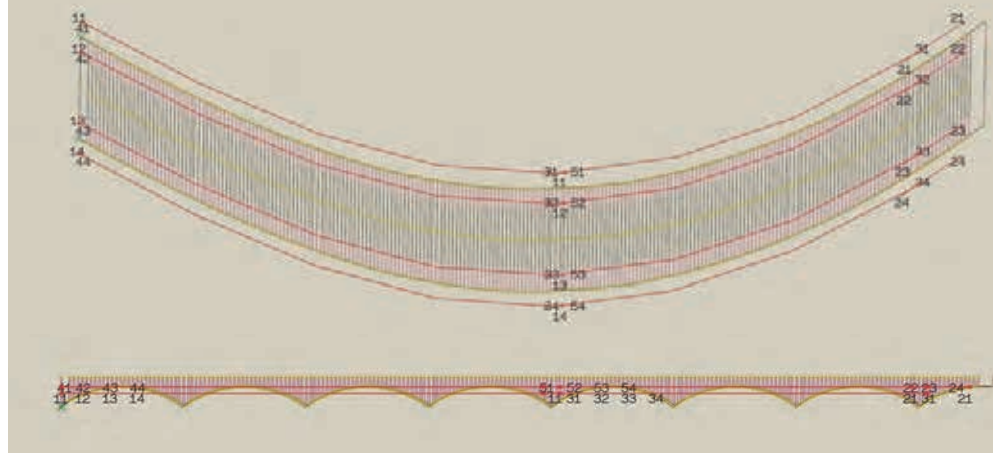
6b- Plan view of anchor block M2 (pier P4).

Elles concernent le renforcement des deux tabliers, le remplacement des appareils d'appui et du joint de chaussée au niveau de la culée C8 (C0 étant un point fixe).

Le renforcement en flexion longitudinale a été étudié avec un modèle en éléments barres intégrant notamment les deux caissons du tablier (figure 5), la courbure en plan, le biais variable des appuis, les effets de la précontrainte additionnelle, les effets du retrait et du fluage suivant la loi de comportement et d'évolution du béton du BPEL, les surcharges d'exploitation réglementaires du fascicule 61 titre II (A(I), B et Mc120), le passage de porte-engins blindés Leclerc (PEB) avec son trafic concomitant et un gradient thermique de 12°C.

L'état existant de l'ouvrage à vide avant renforcement (état 0) a été fourni par la maîtrise d'œuvre sous la forme de tableaux d'efforts et de contraintes : le phasage de construction de l'ouvrage et la précontrainte existante n'ont donc pas fait l'objet d'une modélisation lors des études d'exécution. Les cumuls des contraintes normales et de cisaillement de l'état 0 avec celles obtenues du modèle d'exécution ont permis de valider la précontrainte additionnelle prévue au marché moyennant une adaptation dans la travée de rive P7-C8 :

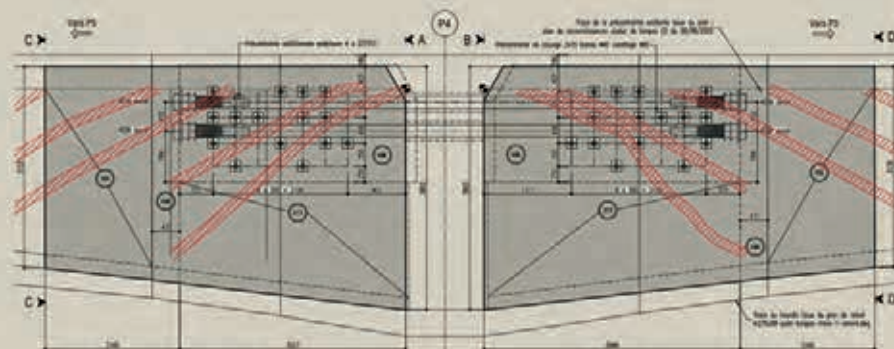
VUES EN PLAN DÉFORMÉE ET EN ÉLÉVATION DU MODÈLE DE CALCUL AVEC LE CÂBLAGE ADDITIONNEL



5

© AÉVIA

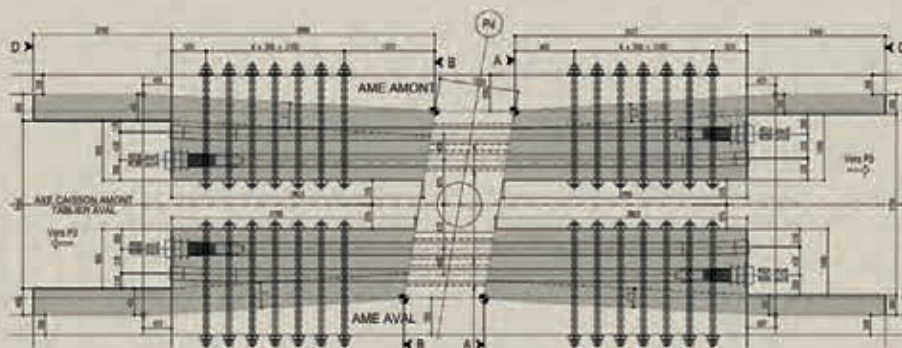
ÉLÉVATION DU MASSIF D'ANCRAGE M2 (PILE P4) AVEC REPÉRAGE DE LA PRÉCONTRAINTE EXISTANTE



6a

© AÉVIA

VUE EN PLAN DU MASSIF D'ANCRAGE M2 (PILE P4)



6b

© AÉVIA

suppression des câbles 12T15S et de ses ancrages par un prolongement des câbles supérieurs 22T15S. On a retenu le procédé de précontrainte BBR-CME, qui dispose d'un agrément technique européen.

Les massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle ont été cloués sur les âmes des voussoirs avec des barres de précontrainte Macalloy Ø40,

selon la norme NF P95-104 de juillet 2020. Une préparation des parements en béton par hydro-découpage à UHP a été réalisée pour obtenir une rugosité de 6 mm et un coefficient de frottement $\mu = 0,90$ à l'interface des massifs suivant la norme. Ainsi, selon les excentricités des câbles extérieurs par rapport aux massifs d'ancrages (excentricité plus importante sur le massif M1 de

la culée C0), ont été mises en place :
 → 34 barres Ø40 par âme de massif M1 (culée C0) pour clouer une dissymétrie de 2 câbles 22T15S ;
 → 15 barres Ø40 par âme de massif M2 (pile P4) pour clouer une dissymétrie de 1 câble 22T15S ;
 → 12 barres Ø40 par âme de massif M3 (pile P7) pour clouer une dissymétrie de 1 câble 22T15S ;

7- Ferrailage des massifs avec tromplages et tubes coffrants.

8- Bétonnage des massifs depuis le tablier.

7- Block reinforcement with trumplates and lining tubes.

8- Concreting of blocks from the deck.

→ 15 barres Ø40 par âme de massif M4 (vers culée C8) pour clouer une dissymétrie de 1 câble 22T15S.

L'implantation des barres de clouage et des scellements d'armatures passives des massifs d'ancrage a été définie après relevé au radar de la position réelle des câbles de précontrainte existante dans les âmes des voussoirs (figure 6).

En complément des calculs de diffusion de la précontrainte additionnelle et des aciers d'entraînement à l'arrière des ancrages menés suivant l'annexe IV du BPEL, des modèles complémentaires en éléments plaques ont été réalisés pour chaque massif M1 à M4 afin d'étudier les effets de la précontrainte additionnelle, du poids complémentaire des massifs et des charges de construction sur la résistance des âmes, du hourdis supérieur et du hourdis inférieur (faiblement armé) des voussoirs existants.

Les épaisissements d'âme prévus à l'arrière des ancrages des câbles extérieurs ont permis de disposer des armatures de renfort vis-à-vis des effets d'entraînement.

Les épaisissements d'âme prévues sous les massifs ont permis de disposer des armatures de renfort vis-à-vis de la diffusion de la précontrainte additionnelle. Ces épaisissements d'âme ont également permis de renforcer les âmes existantes vis-à-vis de la flexion locale induite par l'excentricité transversale des câbles extérieurs sur les massifs d'ancrage concentrés en partie supérieure des âmes de grande hauteur.

Des renforcements des hourdis inférieurs des caissons se sont avérés nécessaires soit :

→ Par épaisissements intérieurs en béton armé pour la réalisation de trémie d'accès aux caissons à proximité des appuis C0, P4 et P7 ;



7 © AÉVIA / C. BRUNNER



8 © AÉVIA / C. BRUNNER

→ Par matériaux composites (tissus SikaWrap 600C) en intrados au niveau des massifs M2 et M3 afin de reprendre la traction induite par la mise en tension des câbles extérieurs mais également la flexion induite par le poids propre des massifs et les charges de construction ;

→ Par épaisissement intérieur en béton armé et par matériaux composites (lamelles SikaCarbodur S1512) en intrados des voussoirs de faible hauteur au niveau du massif M4 toute hauteur (vers culée C8) pour les mêmes raisons.

En fin d'opération, les épreuves de l'ouvrage ont montré des déformations comparables à celles calculées. Notamment les sections instrumentées avec des jauges ont confirmé les allongements calculés au niveau des hourdis supérieur et inférieur (diagrammes de Navier) lors de la mise en tension des câbles additionnels et lors des épreuves de l'ouvrage.

LES TRAVAUX DE RENFORCEMENT

L'ouverture des trémies d'accès à l'intérieur des caissons et la conception des accès de façon plus générale, étaient les premières tâches clés de l'opération. En plus de tout le personnel, l'objectif était de faire entrer dans le pont l'ensemble des matériels et matériaux nécessaires à son renforcement à savoir :

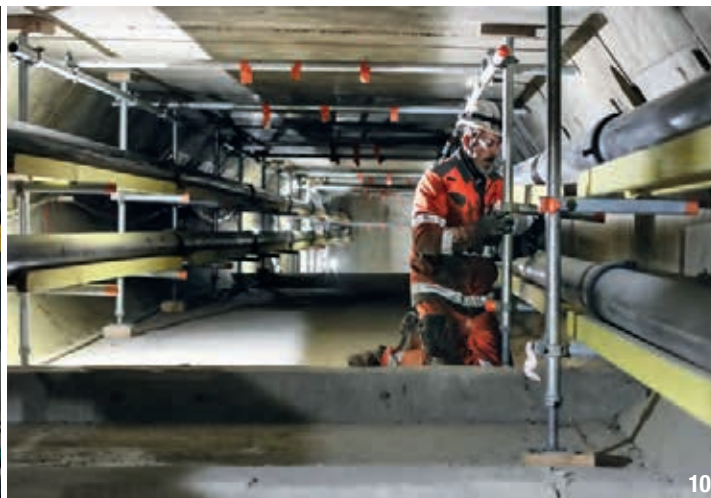
- 110 t de ferrailage ;
- 1 200 m² de coffrage ;
- 400 m³ de béton ;
- 9 000 m de gaine PEHD et toutes les pièces de supportage provisoire ;
- 235 t de torons, les tubes coffrants, tromplages, disques d'ancrages, capots ;
- Les barres de précontrainte, leurs plaques, écrous, capots ;
- Les vérins de mise en tension...

Étant donné la répartition des massifs, il a paru pertinent de positionner des trémies au droit de ceux-ci c'est à dire en C0, P4 et P7, en sous-face des caissons. Mais compte-tenu du faible taux de ferrailage du hourdis inférieur, ce dernier a dû être renforcé localement par ajout de béton armé et les dimensions des ouvertures ont dû être limitées à 2,0 m x 0,8 m.

En parallèle des opérations de création des accès, le repérage du positionnement de la précontrainte existante dans les âmes des 4 caissons a été engagé dès que possible, au moyen d'un géoradar.



© /EVIA / C. BRUNNER



© /EVIA / C. BRUNNER

Toutes les surfaces concernées par les massifs ont ainsi été traitées afin d'éviter tout endommagement de cette précontrainte, que ce soit par forage (pour le scellement des aciers passifs) ou par carottage (pour le passage des barres de clouage). Les relevés ont été transmis au bureau d'études d'exécution pour la définition de l'implantation des aciers des massifs et des barres (figure 6). Des repérages effectués au niveau du hourdis supérieur ont également permis d'implanter les futures cheminées de bétonnage. En effet, pour permettre la mise en œuvre du béton depuis le tablier via des carottages traversants, des forages ont été effectués depuis l'intérieur du pont et repérés sur la chaussée, de façon à pouvoir réaliser ultérieurement ces cheminées, juste avant le bétonnage.

Le ferrailage des massifs était dense, atteignant jusqu'à 385 kg/m³ en certains endroits, ce qui a conduit à monter de concert le ferrailage, les barres de clouage, les tromplaques et les tubes coffrants type Bartec (figure 7). Cette phase de travaux a donc demandé une étroite coopération entre l'équipe de coffrage, l'équipe de ferrailage et l'équipe de précontrainte, et a nécessité un contrôle qualité régulier et très précis de la part du maître d'œuvre et de la direction projet. D'autres contraintes s'ajoutaient encore, en particulier l'implantation des gaines de précontrainte et leur alignement, qui ne laissaient que peu de marge pour la conception du façonnage et pour la mise en œuvre des aciers. Ou encore la géométrie réelle de l'ouvrage qui était régulièrement en décalage avec les plans de récolement, ce qui a demandé des adaptations en concertation avec le bureau d'études. Le coffrage des massifs a été réalisé en bois de façon traditionnelle. En effet

le pont étant courbe, biais et à inertie variable, le recours à des panneaux de coffrage était fortement limité et peu économique. Un coffrage constitué de pièces de bois et d'une peau en contreplaqué, raidi par des filières et maintenu par des butons métalliques, a été dimensionné de manière à supporter la poussée du béton C50/60 auto-plaçant retenu. À noter que le poids du béton frais exercé sur le hourdis inférieur étant trop important par rapport à sa capacité, un renforcement par Polymères Renforcés de Fibres de Carbone (PRFC) de types SikaWrap 600C et SikaCarbodur S1512, a été réalisée en sous-face, en parallèle de l'opération de coffrage.

Une fois les coffrages fermés, le béton a été mis en œuvre depuis le tablier (figure 8) à travers les carottages réalisés dans le hourdis supérieur et au moyen d'entonnoirs disposés sur la chaussée pour guider le béton. Comptenu de la consistance de celui-ci, deux cheminées ont été réalisées par massif. Chaque ensemble de massifs au droit

9- Mise en tension des barres de clouage.

10- Supportage provisoire des câbles avant leur mise en tension.

11- Mise en tension des câbles.

9- Tensioning of stitching bars.

10- Temporary supporting structure for cables before their tensioning.

11- Cable tensioning.

d'un appui a été coulé en même temps, afin de ne pas déstabiliser l'ouvrage. Dès que la résistance en compression du béton des massifs a atteint une valeur de 28 MPa mesurée sur éprouvettes cylindriques, la mise en tension des barres Macalloy a pu être effec-

tuée au moyen de vérins hydrauliques (figure 9), avec $\sigma_{\text{max}} = \text{Min}\{0.8f_{\text{pk}} ; 0.9f_{\text{p0.1k}}\} = 751,5 \text{ MPa}$ (ce qui correspond à une force de 944 kN par barre). Du fait d'un planning de travaux fortement contraint, en raison notamment de la nidification des chauves-souris mais aussi de la nécessité de réaliser certaines tâches sous basculement de circulation, une des plus grandes difficultés du chantier a été de réaliser simultanément plusieurs tâches à l'intérieur des caissons, alors qu'elles auraient pu s'enchaîner les unes après les autres avec une moindre coactivité. Parallèlement à la réalisation des massifs de clouage, s'effectuaient ainsi les opérations de mise en place des gaines PEHD : montage des supports provisoires, approvisionnement et soudage des tronçons. En raison du poids important de la précontrainte additionnelle (unités 22T15S injectées au coulis de ciment avant mise en tension) et afin d'éviter tout phénomène de festonnage irréversible des gaines, il a été décidé d'utiliser des poutrelles de coffrage posées en continu, supportées par des pieds d'échafaudage à intervalles réguliers (figure 10).

Un essai de convenance effectué en amont du chantier avait permis de valider cette conception. Les tronçons de gaines ont été posés sur ce dispositif et assemblés à l'avancement au moyen de manchons électro soudables, à l'exception des trompettes et du dernier raccord à l'intérieur du massif M2 qui ont été assemblés par soudure miroir. Une fois les assemblages de gaines réalisés, les massifs de clouage bétonnés et décoffrés, l'enfilage des torons s'est fait par tractage à l'aide d'un treuil. La longueur des câbles, l'étroitesse du caisson ainsi que la faiblesse du hourdis inférieur dissuadèrent de recourir à



© /EVIA



© ÆVIA / C. BRUNNER

12

une méthode plus traditionnelle avec une enfileuse. La grande longueur des câbles, 298 m, 274 m et 246 m, rendait également l'opération délicate par l'importance des frottements générés au cours de l'enfilage. En raison de la durée de cette tâche, il a été choisi de la réaliser en postes afin de respecter le planning global de l'opération. Pour l'injection des gaines PEHD au coulis de ciment, les volumes conséquents à mettre en œuvre (environ 3 000 litres de coulis par câble) ont conduit le chantier à utiliser un malaxeur de capacité 1 000 litres ainsi qu'une cuve d'attente de 2 000 litres, afin de s'assurer d'une réserve suffisante en cas de panne de matériel pour injecter l'ensemble d'un câble. Des presse-étoupe spécifiques ont été fabriqués pour l'opération, pour assurer une meilleure étanchéité lors de l'opération d'injection.

La mise en tension des câbles BBR-CME a été réalisée très progressivement, au moyen de vérins monotoron (figure 11). Cela permettait de conserver la circulation sur le viaduc pendant cette opération et donc d'éviter des basculements supplémentaires de l'autoroute. Lors de cette phase

12- Mise en place des joints de chaussée en C8.

12- Placing C8 expansion joints.

les coefficients de transmission ont été mesurés en coopération avec le Cerema de manière à contrôler la tension effective dans les câbles. Ces essais, ainsi que les épreuves de chargement de l'ouvrage ont été concluants et ont donc permis de confirmer l'efficacité du renforcement.

LE REMPLACEMENT DES ÉQUIPEMENTS

Pour permettre le remplacement des appareils d'appui, l'ouvrage a été vériné après basculement de la circulation (figure 2).

112 vérins de 200 t et 8 vérins de 100 t ont été nécessaires pour lever l'ensemble d'un tablier. L'opération a été réalisée au moyen d'une centrale hydraulique pilotée par ordinateur afin de contrôler simultanément le déplacement et la pression au niveau de chaque appui.

Après dépose et évacuation des appuis à pot existants, les bossages ont été démolis par hydro démolition puis reconstruits. Les nouveaux appareils ont ensuite été calés et réglés sur les piles et culée en fonction de la température ambiante suivant les consignes du bureau d'études. À noter que le fluage subi par l'ouvrage depuis sa construction, a conduit à désaxer les nouveaux appareils d'appui.

Les joints de chaussée en place étaient des joints à plats glissants. Le génie civil associé à ces joints est très différent de celui associé aux joints à peigne qui avaient été retenus pour les remplacer. Côté mur garde-grève une poutre a été assise sur les consoles qui supportaient précédemment le système de glissement des joints. Côté tablier, une poutre a été encastree dans le hourdis supérieur. Après positionnement des nouveaux joints (figure 12) et bétonnage des poutres, les tiges d'ancrage ont été mise en tension au moyen d'une clé dynamométrique. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

FERRAILLAGE : 110 t
COFFRAGE : 1 200 m²
BÉTON AUTOPLAÇANT C50/60 : 400 m³
GAINE PEHD : 9 000 m
TORONS T15S : 235 t
BARRES DE PRÉCONTRAINTE Ø40 mm : 364 u
VÉRINS DE 100 t ET 200 t : 120 u

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes
CONCEPTION APROA : Ingerop
MAÎTRE D'ŒUVRE : Ingerop
ENTREPRISE : Ævia
BUREAU D'ÉTUDES : Secoa

ABSTRACT

STRENGTHENING OF THE BONPAS VIADUCT OVER THE DURANCE

GUILLAUME PONCET, VINCI AUTOROUTES - DAMIEN CAPRA, INGEROP - CHARLOTTE HUMEZ, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA - SYLVAIN BOIREAU, SECOA / GROUPE ARTELIA - ALAIN SIMON, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA

The existence of decompression at the level of certain segments, chiefly due to thermal gradient effects, gave rise to the project for strengthening of the Bonpas viaduct by which the A7 motorway crosses the Durance. The required strengthening took the form of additional longitudinal prestressing. Two pairs of 22T15S cables were needed to recompress each of the two caissons in each of the two decks. This prestressing was anchored to the structure by means of reinforced concrete blocks, executed in self-placing C50/60 concrete and stitched to the girders of the structure's caissons by prestressing bars of dia. 40 mm. During the works, the two decks were jacked and all the bearings were replaced, together with the expansion joints. Apart from the task sequencing needed for viaduct strengthening, the schedule for the project depended heavily on bat nesting constraints and management of carriageway crossover between the two decks. □

REFUERZO DEL VIADUCTO DE BONPAS SOBRE EL DURANCE

GUILLAUME PONCET, VINCI AUTOROUTES - DAMIEN CAPRA, INGEROP - CHARLOTTE HUMEZ, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA - SYLVAIN BOIREAU, SECOA / GROUPE ARTELIA - ALAIN SIMON, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA

La existencia de una descompresión a nivel de algunas dovelas, debida principalmente a los efectos de los gradientes térmicos, ha dado origen al proyecto de refuerzo del viaducto de Bonpas, que permite a la A7 franquear el río Durance. Se ha determinado la necesidad de un refuerzo en forma de un pretensado longitudinal adicional. Se han precisado 2x2 cables 22T15S para recomprimir los dos cajones de cada uno de los dos tableros. El pretensado se ha anclado a la construcción mediante bloques macizos de hormigón armado, realizados en hormigón C50/60 autocompactante y clavados a las almas de los cajones del viaducto mediante barras de pretensado Ø40 mm. Durante las obras, los dos tableros se apuntalaron con cilindros hidráulicos y se sustituyeron todos los dispositivos de apoyo, así como las juntas de calzada. Además del encadenamiento de las tareas necesarias para reforzar el viaducto, la planificación de la operación estuvo fuertemente condicionada por la nidificación de los murciélagos y por la gestión de los trasvases del tráfico entre los dos tableros. □



1
© ARTCAD

RÉHABILITATION DU PONT SUSPENDU DE BONNEUIL-MATOURS (86)

AUTEUR : STÉPHANE LÉGER, CHEF DE PROJET, ARCADIS

LE VIEILLISSEMENT DES ÉLÉMENTS STRUCTURELS DU TABLIER DU PONT SUSPENDU DE BONNEUIL-MATOURS A CONDUIT LE DÉPARTEMENT DE LA VIENNE À METTRE EN PLACE DES RESTRICTIONS DE CIRCULATION SUR L'OUVRAGE ET À LANCER UN MARCHÉ DE TRAVAUX VISANT À RÉHABILITER LE TABLIER ET RENFORCER LES APPUIS ET MASSIFS D'ANCRAGE. LA VOLONTÉ DE SÉCURISER LES CIRCULATIONS ET LES DÉGRADATIONS DU SYSTÈME DE SUSPENSION ET DE LA CHARPENTE ONT AMENÉ LES ACTEURS À REMPLACER L'ENSEMBLE DU TABLIER EN AYANT RECOURS À DES MÉTHODES INNOVANTES.

HISTOIRE DE L'OUVRAGE

Le pont de Bonneuil-Matours est un pont suspendu permettant le franchissement de la Vienne par la RD3. L'ouvrage est composé d'une travée centrale suspendue d'environ 82 m de longueur et de deux travées de rive indépendantes de 13 m de longueur. Un premier pont suspendu composé d'un tablier en bois et de piles en maçonnerie est construit en 1846. Propriété de la commune en 1897, il passe, en 1915, sous la maîtrise d'ouvrage du Département qui décide de réaliser des travaux conséquents à la suite de divers incidents causés par

le passage de véhicules trop lourds sur l'ouvrage.

En 1932, le tablier est reconstruit afin d'élargir la chaussée et de l'adapter aux besoins de l'époque : le nouveau tablier, constitué de poutres métalliques recouvertes d'un hourdis en béton armé, repose sur la base des pylônes en maçonnerie de l'ouvrage d'origine.

La partie supérieure des pylônes est, quant à elle, reconstruite en structure de type treillis métallique. L'ensemble des appuis, maçonnerie et structure métallique, est recouvert d'un enduit de ciment.

1 - Vue aérienne de l'ouvrage avant travaux.

1 - Aerial view of the structure before the works.

En 2011, l'ouvrage est inscrit à l'inventaire des monuments historiques du fait d'une méthode très rare de suspension à l'époque de sa construction (câbles de type toronnés ou "câbles à torsion alternative" selon la terminologie de l'époque). Divers diagnostics et inspections réalisés dans les années 2010 font état de désordres tant au niveau de la suspension que de la structure métallique (corrosion notamment) et du tablier. Une limitation de tonnage à 12 t est par conséquent décidée en 2011 et des portiques limitant le gabarit sont mis en place en 2019. Plusieurs campagnes de travaux de renforcements structurels sont réalisées entre 1972 et 2011. Une poutre de renforcement dans l'axe du tablier est notamment mise en œuvre en 1972 afin de soulager les poutres de rigidité.

Dans ce contexte, le Département de la Vienne a lancé un marché de travaux visant à réhabiliter l'ouvrage. Les principaux travaux à réaliser concernent :

- Le remplacement complet du système de suspension (câbles porteurs, suspentes et selles d'inflexion) ;
- La démolition et la reconstruction du hourdis en béton armé ;
- Le renforcement de la charpente métallique de la travée suspendue : remplacement des poutres de rigidité et suppression de la sous-poutre de renforcement, conservation après renforcement éventuel des éléments secondaires de l'ossature métallique (longerons et pièces de pont) ;
- Le remplacement des poutres latérales des travées de rive ;
- La reprise du système anti-corrosion des éléments métalliques conservés ;
- Le renforcement et la modification des massifs d'ancrage : mise en œuvre de clous d'ancrage, de nouvelles selles d'épanouissement et agrandissement des chambres d'ancrage ;
- Le renforcement des fondations du pylône en rive droite par ajout de micropieux traversant la maçonnerie ;
- La réfection des superstructures : étanchéité, chaussée, mise en



2
© ARCADIS

2- Portique provisoire en tête de pylône.
3- Plateforme d'assemblage du tablier.

2- Temporary portal frame at the top of the pylon.
3- Deck assembly platform.

œuvre de joints de chaussée, remise en peinture des garde-corps existants.

Cette campagne de travaux est également l'occasion d'améliorer les conditions de franchissement pour les piétons et les cycles à pied.

Il est à noter que compte tenu de l'incertitude liée à la possibilité de conserver les éléments secondaires de l'ossature du tablier, le marché de travaux prévoyait une variante consis-

tant au remplacement complet de la charpente métallique. Après accord du Conservateur des Monuments Historiques, c'est finalement cette solution qui est retenue.

CONTRAINTES ET ENJEUX

L'histoire et l'environnement de l'ouvrage imposent diverses contraintes pour les travaux de remplacement du tablier et de renforcement des appuis et des massifs d'ancrage.

CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES

Le profil en travers sur ouvrage est modifié afin prendre en compte à la fois la volonté du Département d'améliorer les conditions de croisements des véhicules légers, le cheminement des piétons sur les trottoirs et la nécessité de conserver, autant que possible, l'esthétique de l'ouvrage du fait de son inscription à l'inventaire des Monuments Historiques. Les trottoirs sont ainsi déportés à l'extérieur des câbles de suspension, élargis à 1,00 m en section courante (avec rétrécissement à 0,85 m au droit des pylônes) contre 0,71 m de largeur avant travaux et élargissement de la chaussée à 5,50 m contre 5,20 m avant travaux.

CONTRAINTES D'URBANISME ET PATRIMONIALE

L'inscription de l'ouvrage à l'inventaire des Monuments Historiques oblige à préserver le plus possible l'image originelle de l'ouvrage. Cette contrainte conduit à conserver l'aspect des tabliers métalliques, du système de suspension (nombre et diamètre des câbles porteurs, nombre de suspentes, selles d'inflexion en tête de pylônes, attaches des suspentes...), des équipements ainsi que des maçonneries des appuis. Les couleurs des peintures doivent être le plus proche possible de celles de l'ouvrage de 1932.

CONTRAINTES TECHNIQUES

Compte tenu de la nécessité de conserver, autant que possible, l'aspect du pont du fait de son inscription à l'inventaire des Monuments Historiques, il a été entériné de ne pas appliquer les Eurocodes pour la réhabilitation de l'ouvrage (en particulier de ne pas prendre en compte l'effet de foule), d'appliquer les surcharges routières définies au fascicule 61 titre II, et de considérer l'ouvrage classé en zone de sismicité "très faible" conformément aux anciennes règles relatives à l'aléa sismique. Les justifications sont cependant conduites aux Eurocodes. ▹



3
© ARCADIS



4
© ARTCAD



5
© ARCADIS

CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT ET RÉGLEMENTAIRES

Le projet doit prendre en compte la présence de la Vienne pour sa qualité de biotope et de milieu écologique. Il doit s'inscrire dans une démarche respectueuse de l'environnement et de l'écosystème impacté. Des mesures particulières sont à prendre en compte concernant les installations de chantier et zones de stockage (calage altimétrique au-dessus de la crue décennale), l'encombrement de la rivière par les palées provisoires, la protection des zones humides, des eaux souterraines et de la faune aquatique.

La présence de plomb dans les peintures de la charpente métallique et d'amiante dans les peintures et mastics de la suspension imposent des méthodologies et mesures adaptées pour la dépose des éléments structurels du tablier existant.

En outre, les méthodologies de réalisation des travaux doivent être étudiées de manière à minimiser la gêne des usagers du pont et des riverains, en particulier du fait de la proximité d'une école.

LES TRAVAUX REMPACEMENT DU TABLIER

La solution de base du marché de travaux consiste à poser l'ouvrage sur appuis provisoires pour la réhabilitation du tablier. Le choix de cette méthode est principalement dicté par le fait que cela permet de s'affranchir de phases délicates de transferts de charges de la suspension existante vers une suspension provisoire puis de la suspension provisoire vers la suspension définitive. Cette solution permet en outre, moyennant une étude précise de la position des palées provisoires, de limiter l'impact des travaux sur la circulation sur le tablier pendant le remplacement du système de suspension (positionnement des palées défini de manière à avoir des portées de poutre compatibles avec leur capacité résistante). Enfin, la traversée de la Vienne par les piétons peut se faire, dans cette configuration, via des passerelles provisoires posées sur les palées.

La méthode de remplacement du tablier et de sa suspension finalement employée est celle d'une variante pro-

4- Rails de roulement sur poutres de rigidité.

5- Suspente provisoire équipée de chariot à galets.

6- Treuil de traction de la charpente en phase de remplacement du tablier.

7- Détail de l'éclissage entre 1^{er} élément de tablier neuf et dernier élément du tablier existant.

4- Runway rails on stiffener beams.

5- Temporary hanger fitted with roller trolley.

6- Frame traction winch in the deck replacement phase.

7- Detail of jointing between the first part of the new deck and the last part of the existing deck.

posée par l'entreprise : cette variante consiste à "délancer" le tablier existant et à lancer le nouveau à l'aide d'un dispositif de roulement supporté par une suspension provisoire. Concrètement, le phasage travaux comprend :

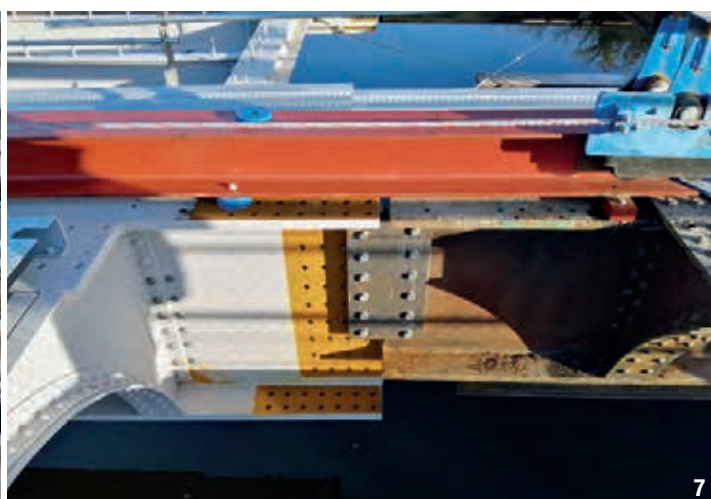
→ La mise en place de portiques provisoires posés sur le chevêtre du pylône à l'intérieur des 2 fûts (figure 2) ;

→ La mise en place d'une nacelle provisoire sur les rails de la nacelle de visite existante. Cette nacelle de travail permettant la déconstruction du hourdis béton armé est rendue étanche afin de récupérer les eaux de sciage de la dalle et les gravats. Le hourdis est déposé par tronçons de 4 m en partant du centre du tablier et en se déplaçant symétriquement vers les extrémités de la travée ;

→ Le montage d'une plateforme d'assemblage des éléments de tablier neuf sous l'ouvrage en rive gauche de la Vienne (figure 3). La plateforme est suspendue aux câbles porteurs provisoires ;



6
© ARTCAD



7
© ARCADIS

- Une plateforme similaire est installée en rive droite pour permettre le démontage de la structure ;
- Le système de ripage du tablier peut alors être mis en place : installation de rails de roulement sur le tablier au droit des poutres de rigidité (figure 4), mise en place de la suspension provisoire (réalisation

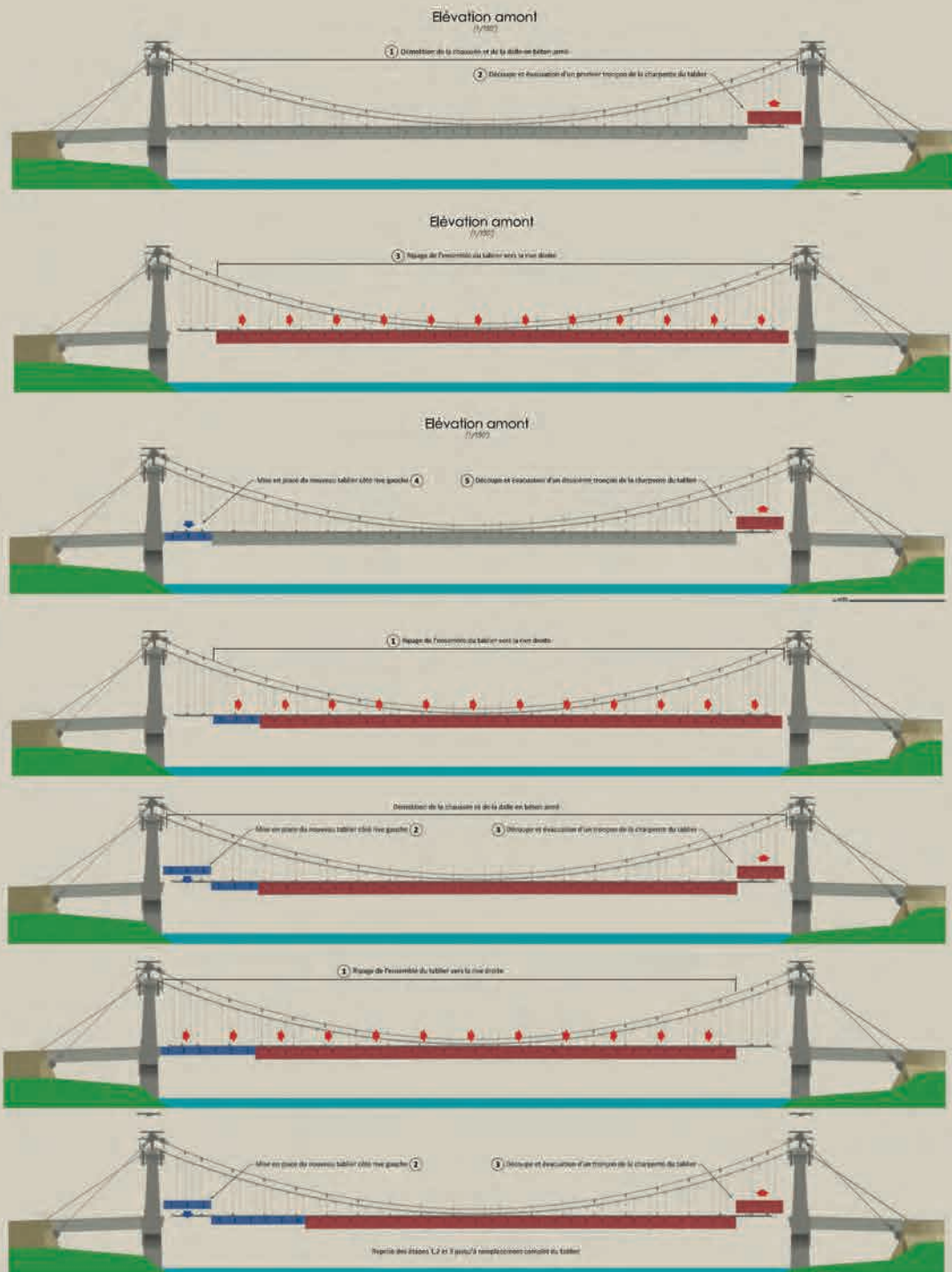
8- Cinématique de principe de remplacement du tablier par tronçons de 6 m.

8- Schematic kinematic drawing of deck replacement with 6-metre sections.

des ancrages par mise en œuvre de clous, pose des câbles porteurs et des suspentes provisoires). En partie supérieure, les suspentes provisoires sont liaisonnées aux câbles porteurs à l'aide de mordaches. En partie basse, les suspentes sont munies de chariots à galets qui rouleront dans les rails prévus à

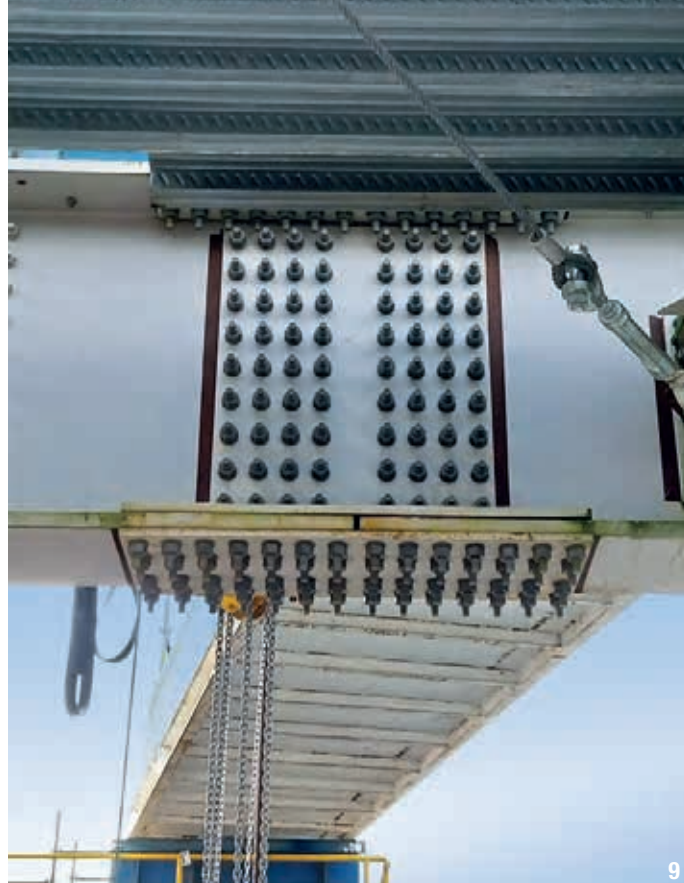
- cet effet (figure 5). Les suspentes provisoires sont ensuite mises en tension ;
- Le transfert de charge de la suspension existante vers la suspension provisoire ;
- Le remplacement de la charpente du tablier : cette opération est réalisée par tronçons de 6 m de longueur. ▷

CINÉMATIQUE DE PRINCIPE DE REMPLACEMENT DU TABLIER PAR TRONÇONS DE 6 M



Les éléments du tablier neuf sont entreposés, par modules de 6 m de longueur, en rive gauche de la Vienne. Le démontage du tablier existant est réalisé par déboulonnage d'éléments de 6 m de longueur en rive droite. Le déboulonnage et le retrait du premier tronçon de 6 m en rive droite libère un espace de 6 m de longueur. Le tablier existant est alors translaté de 6 m de la rive gauche vers la rive droite à l'aide de treuils positionnés en rive droite et ancrés à l'arrière des massifs d'ancrage du tablier (figure 6). La translation libère un espace de 6 m en rive gauche dans lequel un tronçon de tablier neuf est inséré. L'élément du tablier neuf est liaisonné par éclissage à l'extrémité du tablier existant (figure 7). Les éléments du tablier neuf sont mis en place équipés des rails de roulement. La mise en place des suspentes provisoires est alors réalisée sur le tronçon neuf. L'opération peut alors se répéter par tronçons de 6 m jusqu'au remplacement de l'intégralité du tablier (déboulonnage et enlèvement de 6 m de tablier existant en rive droite, translation du tablier de 6 m de la rive gauche vers la rive droite, mise en place de 6 m de tablier neuf en rive gauche dans l'espace libéré) (figure 8). Chaque nouvel élément du tablier neuf est liaisonné au précédent à l'aide de boulons HR (figure 9) ;

→ La dépose du système de suspension existant. Chaque suspente est équipée d'une mordache en partie haute sous le culot. Un palan, accroché au câble porteur à l'aide d'une élingue est attaché à la mordache afin de maintenir la suspente après découpe au chalumeau. La suspente est déposée après découpe sur le tablier à évacuer. Les câbles porteurs existants ne



9
© ARCADIS

portent plus que leur poids propre et peuvent être déposés. La dépose des câbles porteurs se fait sous section 3 du fait de la probable présence d'amiante dans la peinture et le mastic ;

→ La dépose des selles d'inflexion existante et la mise en place des nouvelles selles (figure 10) ;

→ La mise en place de la suspension neuve (dévidage complet des câbles sur le tablier, levage sur le pylône et mise en place sur la selle). Les câbles sont tractés à leur extrémité pour être placés à leur position d'ancrage définitif. Après mise en place du septième et dernier câble porteur, les colliers et les suspentes sont mis en place ;

→ Le transfert de charge de la suspension provisoire vers la suspension neuve ;

→ La dépose du système de suspension provisoire ;

→ La réalisation du hourdis béton armé, coulé en place sur un coffrage traditionnel appuyé sur les semelles inférieures des longerons ;

9- Détail éléments de liaison entre 2 tronçons de tablier neuf par boulons HR.
10- Selle d'inflexion.
11- Chambres d'ancrage et selles d'épanouissement.

9- Detail of linking parts between 2 new deck sections with high-strength bolts.
10- Pylon saddle.
11- Anchor chambers and splay saddles.

→ La réalisation des superstructures. Il est à noter que pour le nouveau système de suspension, 6 câbles porteurs sont suffisants. Cependant, l'esthétique de l'ouvrage final devant être le plus proche possible de l'existant (nombre et diamètre des câbles), un septième câble est bien mis en place dans le

faisceau des câbles porteurs mais il n'est pas mis en tension. En parallèle, l'agrandissement des chambres d'ancrage est rendu nécessaire pour la mise en œuvre de nouvelles selles d'épanouissement (figure 11).

RENFORCEMENT DU PYLÔNE EN RIVE DROITE

Le pylône en rive droite est fondé superficiellement sur une semelle en béton d'environ 2,50 m d'épaisseur. Cette semelle repose sur une couche de sable graveleux de 3,00 m d'épaisseur qui surplombe le substratum calcaire. Des documents d'archive laissent à penser que des mouvements de cette pile ont eu lieu dans la vie de l'ouvrage, ce qui n'est pas le cas du pylône rive gauche dont la semelle repose directement sur le calcaire. Le marché de travaux prévoit donc le renforcement des fondations du pylône en rive droite par forage de 11 micropieux au travers de la maçonnerie et du sable afin de s'ancrer dans le calcaire. Après retrait du hourdis béton, une surveillance topographique de l'ouvrage met en évidence un mouvement vertical uniforme du pylône. Ce mouvement, conforme à la théorie, s'explique par l'allègement de la descente de charges sur la pile du fait du retrait de la dalle, ce qui a conduit à une décompression de la couche de sable et une légère remontée du pylône (5 mm). Le suivi topographique de la pile ne montre aucun mouvement dans les mois qui suivent. Les 11 micropieux de renforcement sont réalisés en février 2021. Lors de l'implantation des gabarits de forage sur les culées en août 2021, le géomètre de l'entreprise détecte un mouvement du pylône : un tassement différentiel, plus important côté amont est constaté et montre un mouvement de rotation d'ensemble de l'appui.



10
© BAUDIN-CHATEAUNEUF



11
© BAUDIN-CHATEAUNEUF



12a

© ARTCAD



12b

© ARTCAD

Ce tassement est d'autant plus inattendu que la charge sur l'appui n'a jamais été aussi faible.

Dès lors, une surveillance renforcée de la pile est mise en place (suivi topographique avec mesures en X, Y et Z de 8 points du pylône toutes les 7 minutes). Des géotechniciens experts sont sollicités afin d'identifier l'origine du phénomène et une étude de renforcement du pylône est lancée en parallèle dans la mesure où il n'est pas possible de démontrer que les

12a- Pylône rive droite avant renforcement.

12b- Pylône rive droite après renforcement.

12a- Right-bank pylon before strengthening.

12b- Right-bank pylon after strengthening.

11 micropieux peuvent encore remplir leur rôle de renforts de la pile.

Plus aucun mouvement n'est détecté depuis l'été 2021. Le mouvement, consécutif à un tassement différentiel de la couche de sable graveleux n'a pas d'origine clairement identifiée.

Plusieurs solutions de renforcement sont envisagées, parmi lesquelles une démolition reconstruction de l'appui à l'identique. Une analyse multi critères est réalisée afin de prendre en compte les critères délai, coût, patrimoine, environnement et technique. Les études de renforcement mobilisent tous les acteurs du projet et le Conservateur des Monuments Historiques valide la

solution retenue en août 2022, les autorités environnementales autorisent les travaux en septembre 2022. Le projet de renforcement conserve la partie supérieure du pylône existant. 2 tubes métalliques de 2,30 m de diamètre sont battus dans la Vienne de part et d'autre de la pile afin de fonder le nouvel appui. Un chevêtre en béton armé est réalisé en tête des tubes et liaisonné à la pile existante par barres de précontrainte (2x8 barres). La partie inférieure du pylône existant est enfin "sciée" sous le nouveau chevêtre de manière à ne plus transmettre aucun effort aux anciennes fondations (figures 12a et 12b). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

SUSPENSION PROVISOIRE DU TABLIER : 8 clous d'ancrage diamètre 63 mm, longueur 10 m, 32 vérins de 50 t pour la mise en tension, 233 m de câbles porteurs de diamètre 73 mm, 42 suspentes provisoires

SUSPENSION DE LA PASSERELLE PROVISOIRES : 4 clous d'ancrage diamètre 63 mm, longueur 10 m, 16 vérins de 5 t pour la mise en tension, 220 m de câbles porteurs de diamètre 73 mm

SUSPENSION DÉFINITIVE : 24 clous d'ancrage diamètre 63 mm, longueur variable entre 20 m et 36 m, 2 faisceaux de 7 câbles (123 m/câble), 52 suspentes, 48 vérins de 50 t pour la mise en tension

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Département de la Vienne, Direction des Routes

ASSISTANT AU MAÎTRE D'OUVRAGE : Arcadis

MAÎTRE D'ŒUVRE : Artcad

ENTREPRISE : Baudin Chateaufeur

(Départements Réparation Ouvrages d'Art et Génie Civil)

ABSTRACT

RENOVATION OF BONNEUIL-MATOURS SUSPENSION BRIDGE (86)

STÉPHANE LÉGER, ARCADIS

The Bonneuil-Matours bridge is a suspension type cable bridge about 110 metres long. This bridge, listed as an historical monument because of a type of cable that was very rare at the time of its construction, requires the performance of major works for replacement of the deck and strengthening of the supports and anchor blocks due to the obsolescence of the suspension system and structural disorders. The complete replacement of the deck, performed using innovative methods, also improves the safety of traffic on the bridge, especially for pedestrians, through footpath widening and displacement. □

REHABILITACIÓN DEL PUENTE SUSPENDIDO DE BONNEUIL-MATOURS (DPTO. 86)

STÉPHANE LÉGER, ARCADIS

El puente de Bonneuil-Matours es un puente de cables suspendido de unos 110 m de longitud. Esta construcción, catalogada como Monumento Histórico por una tipología de cables muy poco habitual en la época de su construcción, precisa la realización de obras pesadas de sustitución del tablero y de refuerzo de los apoyos y los bloques macizos de anclaje debido a la obsolescencia del sistema de suspensión y de patologías en la estructura. Además, la completa sustitución del tablero, realizada utilizando métodos innovadores, protege la circulación sobre la obra, en particular para los peatones, ensanchando y desplazando las aceras. □



© BAUDIN CHATEAUNEUF

RESTAURATION DU VIADUC DES ROCHERS NOIRS (19)

AUTEURS : SIXTE DOUSSAU, ARCHITECTE DU PATRIMOINE ET INGÉNIEUR, RL&A - NATHAN AUBREE, CHEF DE PROJET, SETEC DIADES - ETIENNE COMBESCURE, INGÉNIEUR EN CHEF, SETEC TPI - CYRIL LACIPIERE, INGÉNIEUR D'AFFAIRES, BAUDIN CHATEAUNEUF

INAUGURÉ EN 1913, LE VIADUC DES ROCHERS NOIRS, SITUÉ EN CORRÈZE, FRANCHIT LA LUZÈGE AVEC UNE PORTÉE PRINCIPALE DE 140 M. IL EST UN DES RARES TÉMOINS SURVIVANTS DES PONTS À SUSPENSION HYBRIDE DITS "PONTS GISCLARD", DU NOM DE LEUR INVENTEUR. LA SUSPENSION, FORMÉE DE DEUX FERMES DE CÂBLES TRIANGULÉS, PERMETTAIT LE PASSAGE DU TRANSCORRÉZIEN TOUT EN LIMITANT LES DÉFORMATIONS DU TABLIER SOUS SURCHARGES. L'OUVRAGE FAIT ACTUELLEMENT L'OBJET D'IMPORTANTS TRAVAUX DE RESTAURATION DEVANT PERMETTRE UNE RÉOUVERTURE AUX MODES DOUX POUR LES JOURNÉES DU PATRIMOINE 2024.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le viaduc des Rochers Noirs (figure 1), a été construit entre 1911 et 1913, entre les communes de Soursac et Lapleau en Corrèze. Son originalité réside dans une suspension hybride (figure 2) composée de deux nappes, chacune formée de haubans reliés à deux demi-câbles paraboliques, le tout formant une ferme triangulée. Chaque ferme triangulée est complétée par un câble Ordish caténaire relié aux haubans par des câblettes. Ce type de suspension rigide fut développé pour permettre le franchissement par la ligne de tramways départementaux de Corrèze.

Les pièces de pont connectées à la suspension par des suspentes verticales, sont espacées de 11,80 m tandis que la travée principale est de 140 m.

Le tablier mesure 5 m de large, et se compose de 2 longerons sous rails à l'espacement métrique et de deux poutres de rive reconstituées rivetées. Le tablier se trouve à 90 m au-dessus de la Luzège.

Les deux pylônes maçonnés culminent à respectivement 55 m coté Soursac et 43 m coté Lapleau.

La ligne de tramway a fermé en 1959 et le viaduc a été transformé en pont route en 1963. Le viaduc est fermé à la circulation depuis 2006 suite à la

1- Viaduc des Rochers noirs avec suspension existante et suspension provisoire.

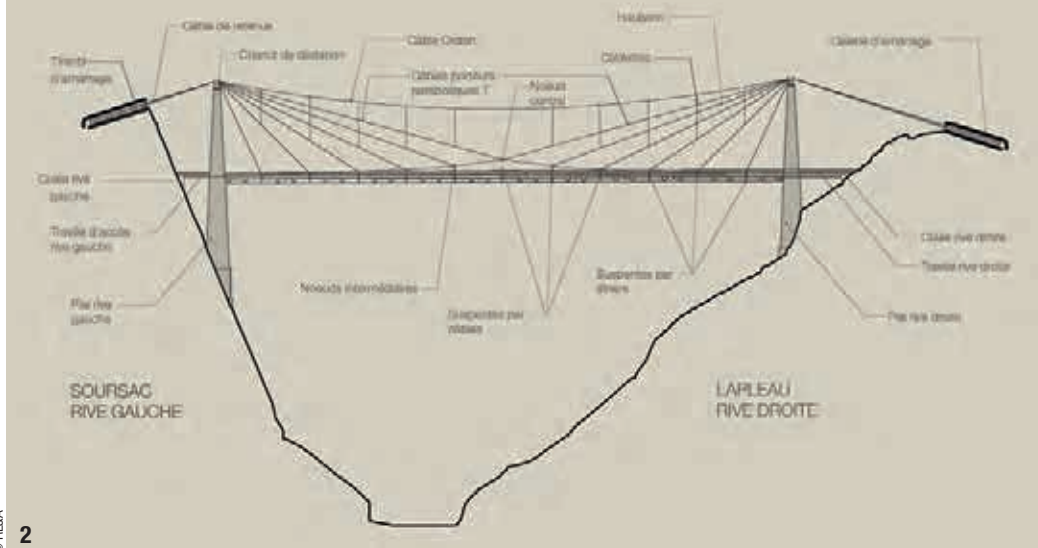
1- Rochers Noirs viaduct with existing suspension system and temporary suspension.

découverte de désordres sur la suspension. Le pont est aujourd'hui restauré pour permettre une réouverture aux modes doux fin 2024.

CONTEXTE PATRIMONIAL RÉSEAU LOCAL AU SEIN DU RÉSEAU NATIONAL

Au moment de la révolution industrielle du milieu du XIX^e siècle, des lignes de voyageurs s'adjoignent aux premières voies ferrées destinées au transport du charbon et le réseau national se développe rapidement, mais les grandes compagnies ne s'intéressent pas aux chemins de fer régionaux peu rentables. Afin d'innover le reste du territoire, l'État réglemente le développement du réseau et veut doter la Corrèze d'un réseau secondaire d'intérêt général, le Paris-Orléans-Corrèze. Puisque d'importantes zones de peuplement ne sont pas desservies par cette ligne,

NOMENCLATURE DE L'OUVRAGE



© RLAA

2

le Conseil Général opte alors pour la création d'un réseau complémentaire de tramways en Corrèze. Le viaduc des Rochers Noirs constitue le point fort de la ligne Tulle-Ussel.

INVENTION DU SYSTÈME GISCLARD

Albert Gisclard est né en 1844. Polytechnicien à 20 ans, il s'engage dans le Génie militaire où il conçoit de nombreux types de ponts, pour remplacer de manière rapide et efficace ceux détruits lors des conflits. En 1900, il dépose un brevet de pont suspendu permettant le passage de charges beaucoup plus lourdes que sur les ponts suspendus traditionnels inventés et construits par Marc Seguin, puis améliorés par Fer-

dinand Arnodin. "Les câbles y sont disposés d'une façon bien particulière et plus complexe ; des pièces de fonderie sont placées à leurs extrémités et à leurs intersections, pour former un système indéformable de triangles et de polygones qui peuvent être calculés

2- Nomenclature de l'ouvrage.

3- Passage du train d'épreuve.

2- Viaduc parts list.

3- Passage of the test train.

à partir des règles de la statique et qui confèrent à l'ensemble la grande rigidité qui faisait défaut aux ponts suspendus de moyenne et de grande portée". Pour tester la faisabilité et l'efficacité du système, il donne la licence de construction à l'entreprise Arnodin.

ADOPTION DU SYSTÈME GISCLARD POUR LE VIADUC DES ROCHERS NOIRS

La configuration du terrain, les courbes à respecter côté Lapleau, le tunnel côté Soursac et la profondeur du ravin incitent la Compagnie des Tramways de la Corrèze à écarter les ponts métalliques ordinaires en raison du coût financier. La solution d'un pont suspendu est retenue et une étude

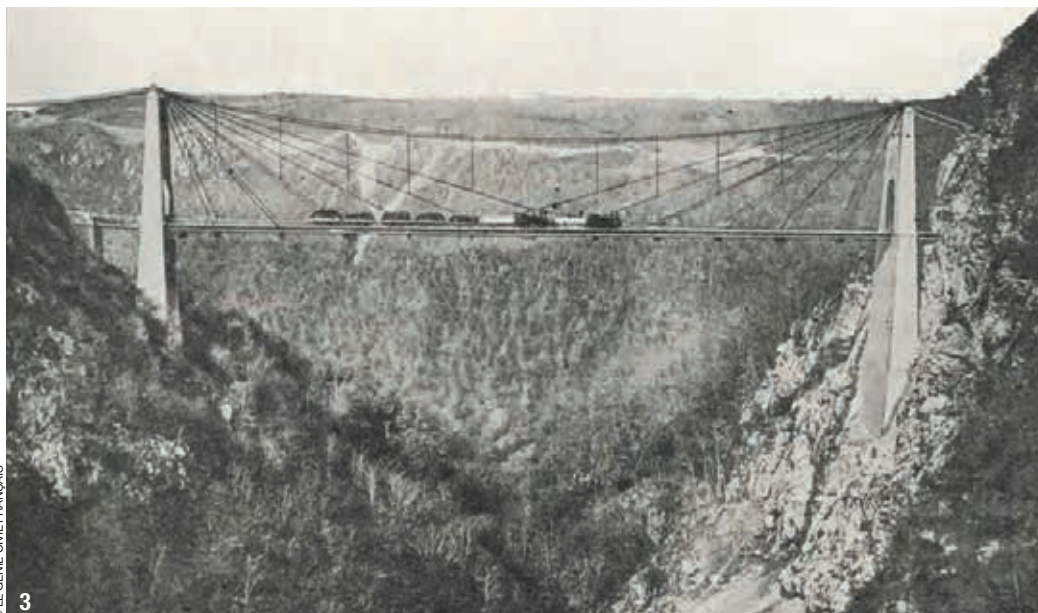
comparative entre plusieurs systèmes est réalisée. Ces études préliminaires furent faites en 1909, au moment où le pont suspendu Gisclard à la Casagne venait d'être terminé et donnait des résultats intéressants lors des épreuves. Les avantages techniques et économiques de ce nouveau type de ponts ainsi reconnus, on adopta le système Gisclard pour la traversée de la Luzège. Le pont est inauguré en 1913 (figure 3).

CONTENU DE L'AUTORISATION DE TRAVAUX SUR MONUMENT HISTORIQUE

Le pont est classé Monument Historique en 2000 en raison de son caractère d'ouvrage d'art exceptionnel, témoignage d'une technologie d'avant-garde et emblématique de la recherche d'innovations théoriques et constructives des années 1900. Il demeure l'un des uniques exemples de pont Gisclard encore conservé aujourd'hui. Le projet de restauration, présenté dans le cadre de l'Autorisation de Travaux sur Monument Historique, était nécessaire pour retrouver l'usage du viaduc des Rochers Noirs, condition essentielle à la transmission de ce patrimoine. Sa nouvelle fonction, en tant que voie pour les modes doux, sera garante de son entretien et donc de sa conservation à long terme. L'enjeu principal est de trouver le compromis permettant à la fois de préserver et mettre en valeur le monument historique en respectant l'authenticité de la forme et de la matière et en assurant la sécurité des utilisateurs.

INSPECTION DÉTAILLÉE ET DIAGNOSTIC

L'objet du diagnostic réalisé en 2020 au démarrage du projet est la mise à jour de l'état sanitaire du viaduc. Sur la base des constatations réalisées par les inspecteurs de Setec Diadès, les désordres constatés lors de la dernière inspection détaillée en 2005 sont jugés faiblement évolutifs. Toutefois, le viaduc est toujours soumis au vieillissement et aux aléas climatiques. Les composants de la suspension présentent une oxydation extérieure généralisée, du fait de l'altération du revêtement anticorrosion au brai de houille. Des défauts de masticage sont systématiquement constatés aux entrées de câbles sur les culots. Ces constats sur l'état visuel des câbles sont complétés par les données issues du dossier d'ouvrage concernant leur état interne.



© LE GÉNIE CIVIL FRANÇAIS

3



4
© SETEC DIADES



5
© SETEC DIADES

En effet, trois campagnes d'auscultation électromagnétique des câbles ont été menées précédemment, en 1979, 1982 et 2004. Au vu des nombreuses ruptures de fils internes, l'état des câbles a été jugé préoccupant. L'auscultation de 1982 est la raison principale de l'arrêt de l'usage routier du viaduc. Enfin, les essais de résilience réalisés en 2004 ont conclu à la fragilité à froid de tous les étriers et à la fermeture complète de l'ouvrage en 2005. Les selles mobiles en tête de pylône sont d'abord considérées comme étant dans un état visuel correct. Cependant, l'endoscopie réalisée dans un second temps a permis de constater l'état d'enrouillement généralisé entre les rouleaux et les plaques d'appui (figure 4). Ainsi la situation de blocage de quatre selles est avérée. Celles-ci

ne peuvent plus assurer les mouvements longitudinaux pour lesquels elles ont été conçues et qui sont nécessaires au bon fonctionnement de l'ouvrage. La charpente métallique du tablier présente un revêtement anticorrosion altéré. Toutefois, l'état structurel général de la poutraison est jugé tout à fait satisfaisant.

Quelques réparations ponctuelles sont à prévoir pour les défauts les plus importants, notamment dus aux mauvaises dispositions d'assainissement du tablier avec l'installation en 1960 de descentes de drainage directement au droit des entretoises. Le platelage présente des déformations importantes, et même quelques déchirures localisées. Son assainissement est quasi-inexistant et son enrouillement est généralisé (figure 6). Les garde-corps

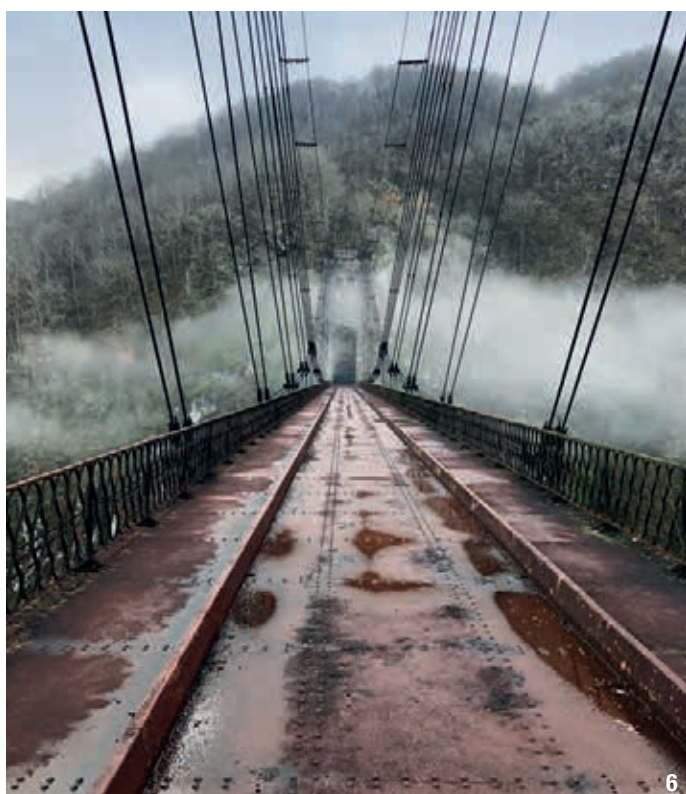
ne respectent pas la norme actuelle mais possèdent une valeur patrimoniale notable. Ils pourront être restaurés et renforcés (figure 5).

Les chambres d'amarrage, grande particularité également de cet ouvrage, subissent une humidité ambiante constante et une stagnation d'eau significative en leur point bas, du fait de l'absence de drainage. L'état résultant des tirants, datant pourtant de 1985, est très mauvais, avec une corrosion avancée et des pertes de sections significatives. L'état de conservation des maçonneries des pylônes est très bon. L'inspection a été réalisée par drone en établissant

des orthophotographies (figure 7). Des zones sont cependant masquées, soit par de fortes couvertures de végétation, soit, en tête de pylône, par les coulures de brai de houille provenant des câbles.

ÉTUDES DE CONCEPTION RECALCUL DE L'OUVRAGE

L'ouvrage a été recalculé dans la situation projetée à l'aide d'un modèle aux éléments finis en grands déplacements avec le logiciel Pythagore[®] développé par Setec tpi. Il a également été entièrement modélisé en 3D sur Tekla (figure 8).



6
© SETEC DIADES

4- État des rouleaux des selles mobiles.

5- Élément témoin de garde-corps restauré.

6- État du platelage avant restauration.

7- Orthophotographie des pylônes maçonnés.

4- Condition of movable tie-plate rollers.

5- Sample feature of restored parapet.

6- Condition of decking before restoration.

7- Orthophoto of the masonry pylons.



7
© SETEC DIADES



8- Modèle Tekla du viaduc des Rochers Noirs.

9- Modèle de calcul principal du pont.

10- Tête de pylônes avec dispositifs provisoires.

8- Tekla model of the Rochers Noirs viaduct.

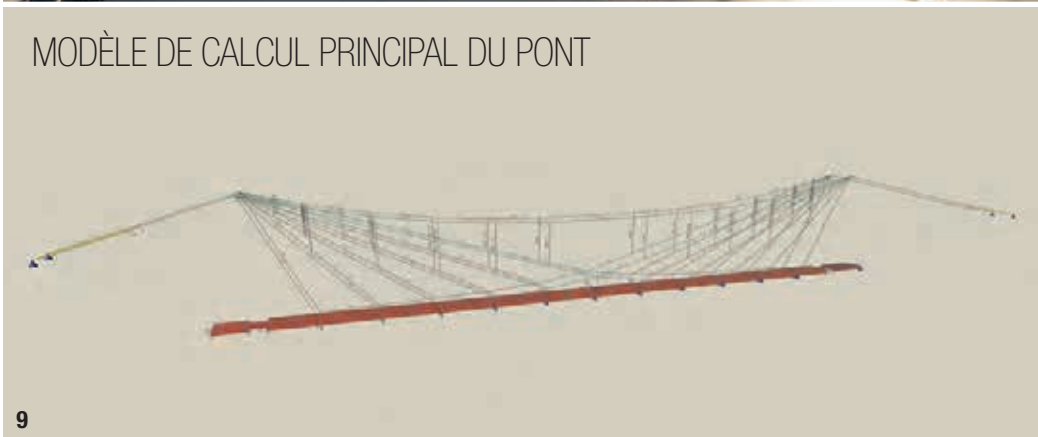
9- Main design model of the viaduct.

10- Pylon head with temporary systems.

© SETEC TPI

8

MODÈLE DE CALCUL PRINCIPAL DU PONT



© BAUDIN CHATEAUNEUF

9



© JEAN-DOMINIQUE LAMY

10

Le train d'épreuve d'époque pesait 137,5 t alors que la charge piétonne de l'Eurocode représente 190 t réparties sur la totalité de la travée principale. En outre, le platelage doit pouvoir supporter en tout point les charges de roues isolées issues du véhicule accidentel de 12 t prescrit par l'Eurocode pour les passerelles piétonnes, alors que les roues du train ne pouvaient circuler qu'au droit des longerons sous rails. Le platelage existant, composé d'une tôle de 6 mm non raidie dimensionnée uniquement pour le personnel d'entretien de la voie ferrée, est donc impropre à l'usage à l'état projeté et doit être remplacé en intégralité.

Le platelage neuf sera composé d'une tôle de 10 mm munie de raidisseurs transversaux de 10 mm x 100 mm espacés tous les 250 mm. Les vérifications dans la situation projetée incluent également les critères de confort pour les passerelles modes doux, les phases provisoires rencontrées en phase travaux lors du changement de la suspension, ainsi que la vérification aux éléments finis des éléments conservés de la suspension, à savoir les selles mobiles, les axes et le nœud central.

REPLACEMENT DE LA SUSPENSION

Les câbles existants sont remplacés par des câbles de technologie identique, à savoir des monotorons à torsion alternative avec des fils de classe de résistance 1770 MPa. Malgré l'augmentation de la classe de résistance des fils par rapport à l'existant, le diamètre des câbles neufs est fixé à 85 % des diamètres existants par l'Autorisation de Travaux sur Monument Historique dans un souci d'économie. ▷

Les étriers qui connectent les câbles entre eux sont remplacés par des étriers en acier à haute résilience. Les platines et rouleaux existants, fortement corrodés sont remplacés par des éléments identiques en inox. Les axes au droit des nœuds de la ferme triangulée, le nœud central et la selle mobile à rouleaux sont conservés en vertu de leur valeur patrimoniale et de leur état sanitaire satisfaisant, après contrôle par ultrasons.

RÉGÉNÉRATION DES MAÇONNERIES

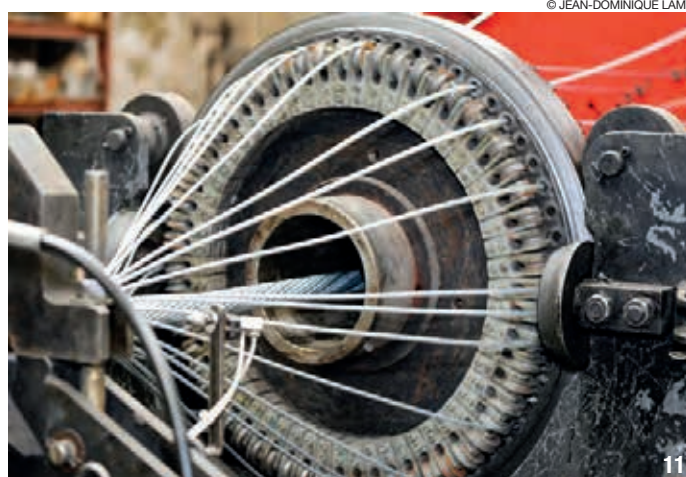
Le projet prévoit également une régénération des maçonneries qui comprend un nettoyage des parements, une dévégétalisation des piles et culées, une excavation des éboulements accumulés derrière les piles, un démontage puis remontage des maçonneries désorganisées, un rejointoiement général sur les parements extérieurs, et enfin l'application d'une eau forte sur les parements. Des essais de convenance sur la teinte du matériau de regarnissage des joints ont été réalisés en présence de la DRAC Région Nouvelle Aquitaine et de l'Architecte.

PROTECTION ANTICORROSION

Le platelage sera peint avec un complexe ACQPA C4H ANV, recouvert d'un complexe d'étanchéité antidérapant et muni de drains suffisamment longs pour évacuer l'eau de pluie sans éclaboussure sur la poutraison. L'intégralité de la poutraison métallique sera repeinte sous confinement avec un complexe ACQPA C4H AMV de couleur noire conformément à la teinte d'origine. Les câbles sont pourvus d'une double protection par galvanisation et peinture selon les recommandations de l'ITSEOA. Les tirants d'amarrage dans les galeries d'ancrages sont également revêtus d'une double protection par galvanisation et peinture, en raison de l'environnement humide régnant dans les galeries d'ancrage. Des drains sont forés aux points bas des galeries d'ancrage pour évacuer les eaux d'infiltration dans les galeries en continu, réduire l'humidité ambiante et donc le développement de la corrosion des pièces d'ancrage.

TRAVAUX DE RESTAURATION MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Le remplacement de la suspension est la première tâche effectuée pour des raisons de sécurisation. Le remplacement du platelage peut alors avoir lieu en toute sécurité après le changement



11- Câbleuse en fonctionnement.
12- Transfert de charge - Vérinage des câbles de retenue existants.

11- Cabling machine in operation.
12- Load transfer - Jacking of the existing retaining cables.

- Un modèle de calcul de l'existant avant travaux permettant de déterminer les charges admissibles en chantier ;
- Un modèle de calcul du pont en phase provisoire permettant le dimensionnement de la suspension provisoire ;
- Un modèle de calcul du pont en service permettant sa justification conformément au cahier des charges.

Ces modèles de calcul ont été réalisés aux éléments finis en 3D (figure 9). Les calculs ont été menés en non linéaire et grands déplacements. Ces modèles servent aussi aux calculs de transfert de charge et aux nombreux matériels provisoires de chantier. En dessin, un modèle CAO 3D complet du pont dans les différentes phases de travaux et dans son environnement a permis la conception des éléments neufs et des nombreux matériels provisoires de chantier. Au total, 97 plans et 41 notes de calculs auront été réalisés.

PRINCIPES DE LA SUSPENSION PROVISOIRE

La suspension provisoire est une suspension parabolique classique placée au-dessus de la suspension existante. Pour faciliter l'attache des suspentes au tablier, l'entraxe des câbles est réduit en partie courante au moyen d'un ensemble de tirants et de butons (figure 10). En tête de chaque fût des pylônes, la suspension provisoire repose sur un portique métallique (figure 10) appuyé sur deux bossages en béton armé placés de part et d'autre du fût. Les charges sont transmises à la maçonnerie par frottement grâce à six tirants précontraints horizontaux traversants. La géométrie de ces ensembles a été étudiée pour faciliter le démontage-montage des câbles, de la selle de déviation et de son appui à rouleaux. Les câbles provisoires sont ancrés dans

de la suspension. Les travaux de réfection des pylônes, la remise aux normes des gardes corps et l'anticorrosion sont menés après la mise en place de la suspension provisoire et en parallèle des autres tâches de suspension et de changement du platelage.

ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution sont basées sur un relevé topographique complet de l'ouvrage par scanner, complété par des prises de cotes manuelles tout au long du chantier. Trois modèles de calculs généraux ont été utilisés :



© JEAN-DOMINIQUE LAMY

les chambres d'ancrage existantes en fer à cheval suivant le même principe que les câbles existants. La position de ces câbles a été soigneusement étudiée pour permettre la cohabitation de deux suspensions et la manutention de tous les éléments d'ancrages (platines, tirants, déviateurs).

Du fait d'une accessibilité restreinte au chantier, les études ont intégré des contraintes de montage fortes. En effet, la conception des portiques de suspension a permis un montage et démontage en colis de moins de 1 t, ce qui a rendu possible l'hélicoptage de ces structures (2 fois 10 t après assemblage). L'état de la structure existante a aussi limité les accès et les matériels sur l'ouvrage. Aussi, la suspension a été conçue pour réaliser le montage en quasi-totalité au sol avant son lancement. Le lancement a quant à lui été réalisé avec des moyens de traction manuportables.

FABRICATIONS ET RESPECT PATRIMONIAL

Les câbles définitifs de l'ouvrage ont été fabriqués dans l'atelier de Châteauneuf-sur-Loire avec une câbleuse permettant la fabrication de câbles

13- État de l'ouvrage sur suspension provisoire.

13- Condition of the structure on temporary suspension system.

monotorons d'aspect et de technologie identiques aux câbles existants (figure 11). Les culots des câbles ont été fabriqués en respectant la forme des culots existants. La diversité des diamètres de câbles, formes et types de culots a entraîné la création de 27 pièces dif-

férentes. Le culot le plus lourd est une pièce d'acier massive pesant 93 kg. Le platelage neuf respecte le calepinage des tôles existantes. Les trous de fixation sont réutilisés et la mise en œuvre de boulons à tête bombée permet de conserver l'esthétique des ouvrages rivetés.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Conseil départemental de Corrèze
ASSISTANT MAÎTRISE D'OUVRAGE : COA - Gérard Viossanges
ARCHITECTE MANDATAIRE : RL&A
MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec tpi, Setec Diades
ENTREPRISE TITULAIRE : Baudin Chateauneuf
ENTREPRISES SOUS-TRAITANTES : Nge, Spiil, Socoba, Aof

PRINCIPALES QUANTITÉS

CÂBLE NEUFS : 25 t
ÉTRIERS ET DE TIRANTS D'AMARRAGE : 19 t
CHARPENTE À REPEINDRE : 5 000 m²
CÂBLES NEUFS À PEINDRE : 4 800 m
MAÇONNERIE REJOINTOYER : 2 700 m²
PLATELAGE NEUF EN ACIER : 90 t
ÉTANCHÉITÉ SUR LE PLATELAGE NEUF EN ACIER : 900 m²

TRANSFERT DE CHARGES

Après le montage de la suspension provisoire, la dernière étape de mise en sécurité de l'ouvrage a été réalisée, à savoir le transfert de charge n°1. 101 vérins d'une capacité de 10 t à 100 t sont utilisés par transfert de charge (figure 12). Les vérins sont positionnés sur les suspentes provisoires et les câbles de retenue des deux suspensions. Ces opérations sont menées par phases dont l'ordre et les courses de vérinage ont été étudiés pour limiter les déplacements des selles. À la fin de chacune d'elle, une analyse de la géométrie et des mesures de pression sont réalisées pour valider la conformité de la phase et continuer l'opération. En octobre 2023, l'ouvrage est porté par la suspension provisoire et la suspension Gisclard existante a été déposée (figure 13). □

ABSTRACT

RESTORATION OF THE ROCHERS NOIRS VIADUCT (19)

SIXTE DOUSSAU, RL&A - NATHAN AUBREE, SETEC DIADES - ETIENNE COMBESCURE, SETEC TPI - CYRIL LACIPIERE, BAUDIN CHATEAUNEUF

Diagnosis of the Rochers Noirs viaduct, listed as an historical monument in 2000 and closed to the public since 2006, confirmed significant disorders on the suspension system. The system has to be replaced entirely. Moreover, the existing decking, designed solely for the maintenance personnel for the original railway track, is unfit for use and has to be replaced in full by new steel decking to allow reopening to the public. The masonries and metal work also need improvements. In October 2023, the structure was carried by a temporary suspension system, while work continued on installation of the new suspension system and reworking of the corrosion prevention system. □

RESTAURACIÓN DEL VIADUCTO DE LOS ROCHERS NOIRS (DPTO. 19)

SIXTE DOUSSAU, RL&A - NATHAN AUBREE, SETEC DIADES - ETIENNE COMBESCURE, SETEC TPI - CYRIL LACIPIERE, BAUDIN CHATEAUNEUF

El diagnóstico del viaducto de los Rochers Noirs, obra catalogada como Monumento Histórico en 2000 y cerrada al público desde 2006, ha confirmado que sufre graves patologías en la suspensión, que deberá sustituirse en su totalidad. Además, el forjado existente, destinado únicamente al personal de mantenimiento de la vía férrea original, no está adaptado al uso y deberá ser reemplazado íntegramente por un forjado metálico nuevo para permitir la reapertura al público. La mampostería y la metalistería también serán objeto de obras restauración. Desde octubre de 2023, una suspensión provisional soporta el viaducto, al tiempo que se lleva a cabo la instalación de la nueva suspensión y se restablece el sistema anticorrosión. □



© MACCAFERRI

PROTECTION CONTRE LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX DE LA RD 900 SUR LE SECTEUR DE LA ROCHAILLE (04)

AUTEURS : ÉLÉNA METZ, INGÉNIEUR GÉOLOGUE RISQUES NATURELS, GÉOLITHE -
ALBERTO GRIMOD, DIRECTEUR GÉNÉRAL ET RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT RISQUES NATURELS, FRANCE MACCAFERRI

SITUÉE DANS LE DÉPARTEMENT DES ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE, LA ROUTE DÉPARTEMENTALE RD900 RELIE LA VALLÉE DE LA DURANCE À L'ITALIE PAR LE COL DE LARCHE. LE SECTEUR DIT DE LA ROCHAILLE, SITUÉ ENTRE LES PR103+160 ET PR 106+090, EST SOUMIS À DE FRÉQUENTES CHUTES DE PIERRES ET DE BLOCS AINSI QU'À DES COULÉES DE BOUE ET DES AVALANCHES. L'ITINÉRAIRE JOUE UN RÔLE IMPORTANT DANS LE TRANSPORT ROUTIER INTERNATIONAL ENTRE LA FRANCE ET L'ITALIE AINSI QUE POUR LE TOURISME ET CONTRIBUE AU DÉVELOPPEMENT DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE LOCALE. ET LORSQUE CE TRONÇON DE ROUTE EST BARRÉ, LES HABITANTS DE VAL D'ORONAYE SE RETROUVENT ISOLÉS DU RESTE DE LA VALLÉE.

HISTORIQUE ET LOCALISATION

De nombreux événements sont recensés sur le secteur de la Rochaille, dont plusieurs éboulements de volume supérieur à 500 m³. On déplore deux accidents mortels dus à des chutes de pierres en 1959 et 1987. Dès 1994, la récurrence des événements

a conduit le département des Alpes de Haute-Provence à mettre en place 300 m d'écrans de filets pare-blocs sur une partie du linéaire. La fréquence des éboulements reste néanmoins importante sur l'itinéraire avec une trentaine d'événements significatifs recensés depuis 2010 et des chutes

1- Ligne
d'écrans
EPFM 5000.

1- Line of
EPFM 5000
screens.

régulières de pierres et petits blocs. Au niveau de la Rochaille, la route se situe à une altitude de 1400 m, en pied d'un versant raide de 1000 m de dénivelé, dominé par le sommet de la Tête de l'Homme. Les formations géologiques correspondent au flysch à Helminthoïdes composant la nappe du



© GÉOLITHE
2

Parpaillon. La morphologie de la zone est marquée par des escarpements rocheux fortement plissés et fracturés, recoupés par de grands couloirs orientés nord-sud. En partie centrale de la Rochaille se trouve un vaste éboulis actif de plus de 400 m de dénivelé, s'étendant sur un linéaire de 300 m au niveau de la route. En 2001, suite à un événement important ayant détruit les

2- Vue générale du secteur de La Rochaille.

3- Sectorisation du linéaire étudié.

2- General view of La Rochaille sector.

3- Sectoring of the length in question.

écrans de filets existants, un dispositif de détection des éboulements a été installé sur cette zone (figure 3).

En 2018, le département des Alpes-de-Haute-Provence a décidé d'engager des travaux de sécurisation de la RD 900. Le principe de sécurisation retenu consiste en la réalisation de galeries génie civil pare-blocs au droit des couloirs principaux et la mise en

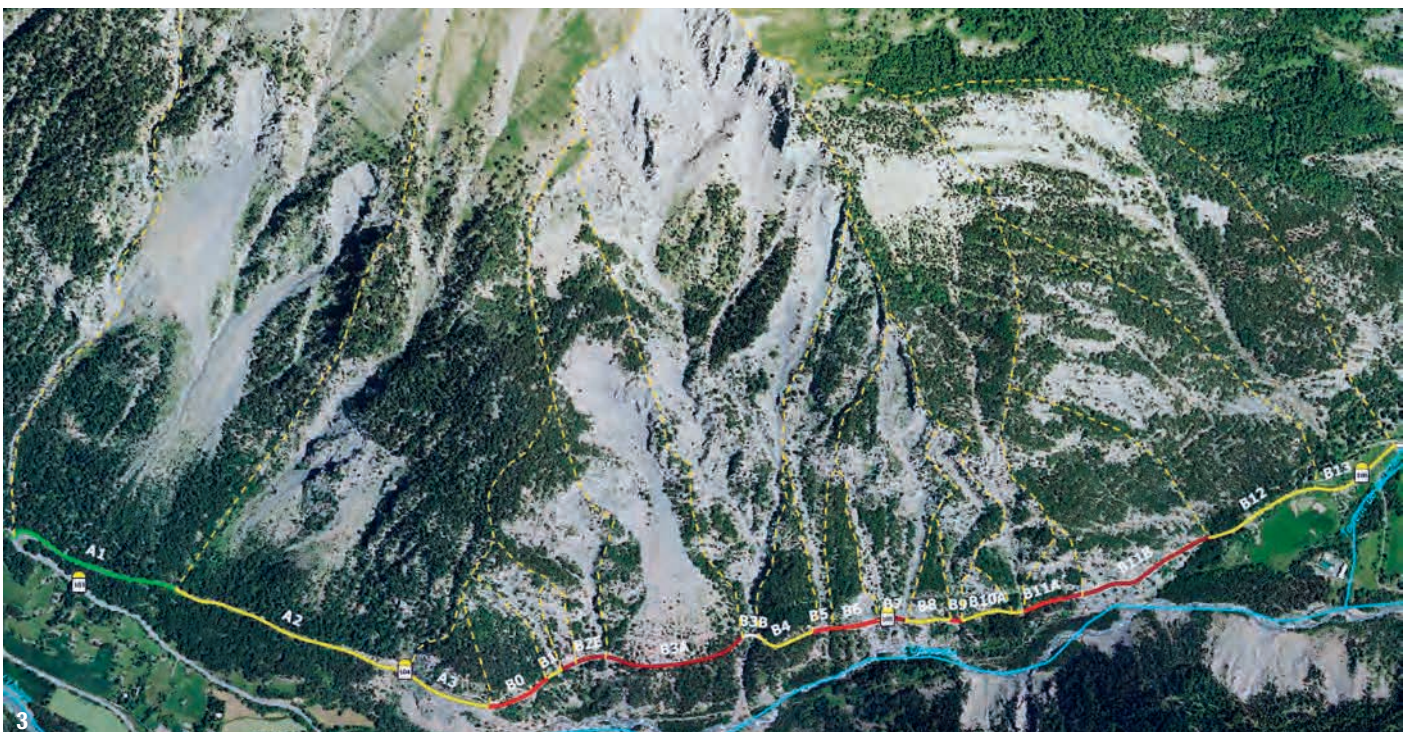
place de parades de type écrans de filets pare-blocs, écrans déflecteurs ou parades actives (confortement ou déroctage) dans les versants situés entre les couloirs. Le bureau d'études Géolithe a été missionné pour réaliser les études de conception des parades de protection contre les éboulements rocheux.

La première phase de travaux a débuté en mars 2021 et concerne la sécurisation des zones de versant.

Les travaux sont réalisés par l'entreprise Epc France. Sept secteurs ont déjà été sécurisés, représentant un linéaire total de route de 830 m environ. En parallèle, les études de conception des galeries pare-blocs réalisées par Géolithe permettent de préparer la deuxième phase de travaux dont le démarrage est prévu en 2024. Le montant global de l'opération (sécurisation des versants et galeries pare-blocs) est estimé à 40 M€ TTC. Il est financé à hauteur de 52 % par le département, 24 % par la Région et 24 % par l'État.

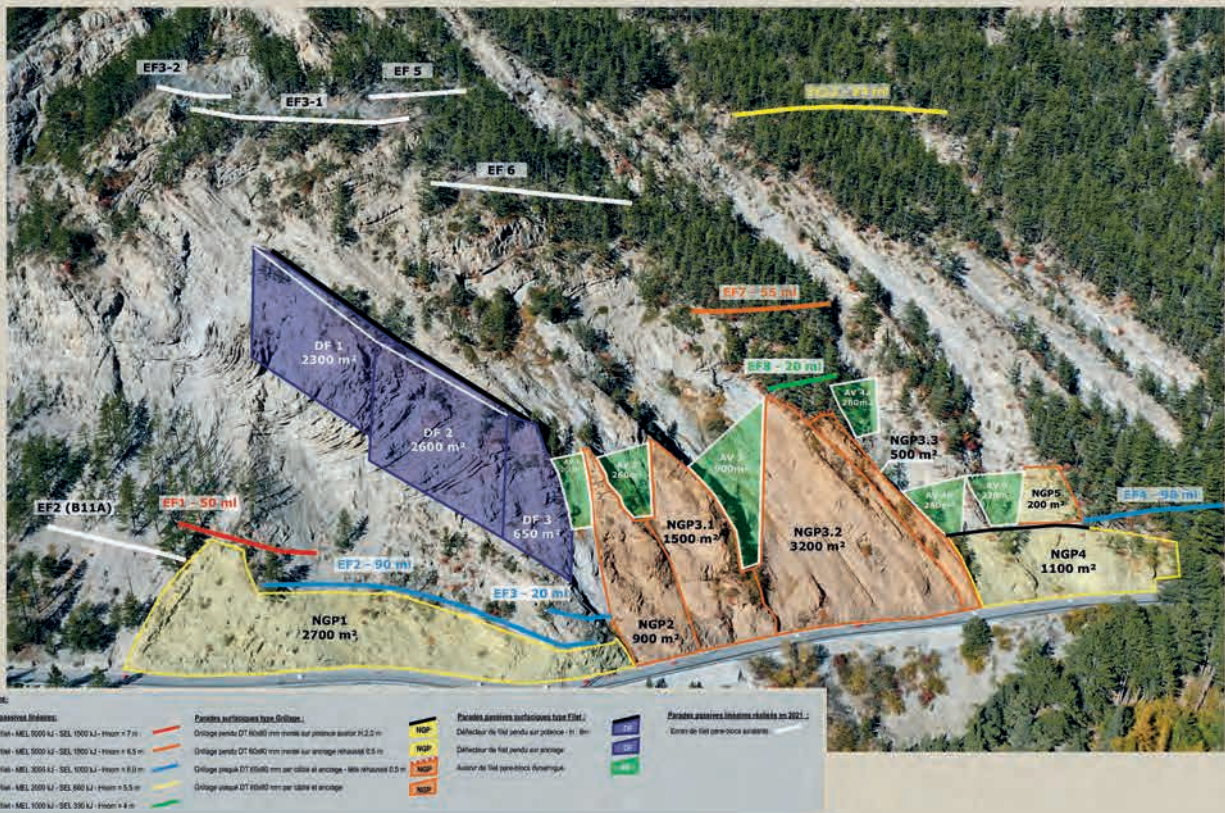
CONCEPTION DES STRUCTURES DE PROTECTION

En 2019 et 2020, le bureau d'étude Géolithe a réalisé les études de conception des parades de protection contre les éboulements rocheux. L'étendue importante de la zone d'étude et les difficultés d'accès a conduit à combiner des reconnaissances hélicoptérées, pédestres, sur corde et au moyen de drones. ▶



© GÉOLITHE
3

EXTRAIT DE L'ÉTUDE DE PROJET DE GÉOLITHE : IMPLANTATION DES PARADES



4

© GÉOLITHE

Le diagnostic s'est également appuyé sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) dérivé d'un levé photogrammétrique géoréférencé de l'ensemble du versant. Les parades de protection ont été conçues pour chaque secteur en prenant en compte les phénomènes en présence, la morphologie du versant et les contraintes propres à la zone d'étude, avec pour objectif d'aboutir à un aléa résultant faible au niveau de la route. Plusieurs secteurs présentent une morphologie relativement simple caractérisée par une barre rocheuse en amont d'un versant boisé encadré par deux couloirs, avec un talus raide en pied. Sur ces secteurs, le principe de parade retenu consiste en la mise en place d'écrans de filets pare-blocs en partie inférieure du versant associée au traitement individuel par confortement ou déroctage des compartiments rocheux dépassant les capacités des écrans. L'objectif a été de limiter au maximum les traitements individuels de compartiments sur les barres rocheuses, celles-ci étant difficiles d'accès et très actives. Sur certains secteurs, le dimensionnement réalisé à l'aide de simulations trajectographiques a donc conduit à recommander des écrans de filet à haute capacité d'énergie (5 000 kJ).



5



6

© MACCAFERRI

4- Extrait de l'étude de projet de Géolithe : implantation des parades.

5- Avaloirs composés de dissipateurs d'énergie et filets à anneaux MacRing.

4- Excerpt from the Géolithe design study: layout of safety systems.

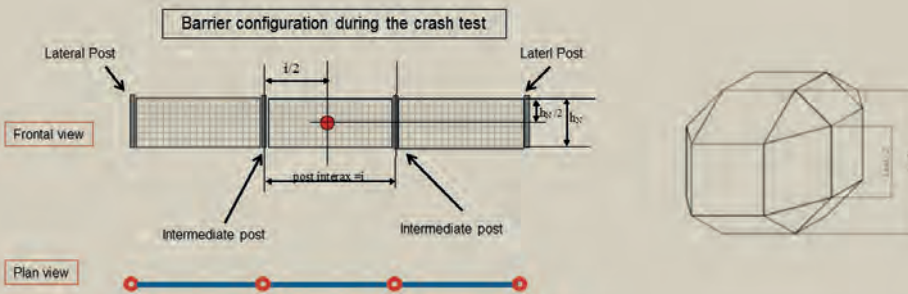
5- Road gullies consisting of energy dissipators and MacRing ring nets.

6- EPFM 5000 rock fall protection barriers on the slope.

Sur les cinq secteurs concernés, les écrans de filets pare-blocs mis en place présentent des capacités énergétiques entre 750 et 5 000 kJ et des hauteurs entre 3 et 7 m (figure 1). Les talus ont été traités par purge puis mise en place de parades surfaciques

© GÉOLITHE

CONFIGURATION DE LA BARRIÈRE LORS DES ESSAIS



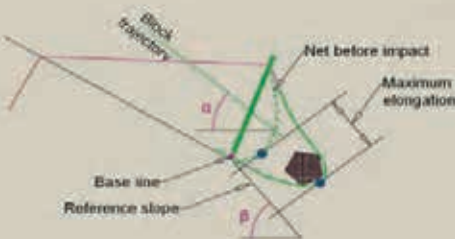
7- Configuration de la barrière lors des essais.

8- Allongement maximal dynamique de la structure d'interception.

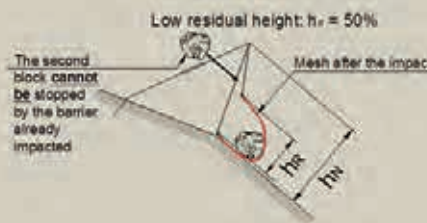
9- Hauteur résiduelle.

10- Ouverture latérale maximale de la structure d'interception.

ALLONGEMENT MAXIMAL DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE D'INTERCEPTION



HAUTEUR RÉSIDUELLE



OUVERTURE LATÉRALE MAXIMALE DE LA STRUCTURE D'INTERCEPTION

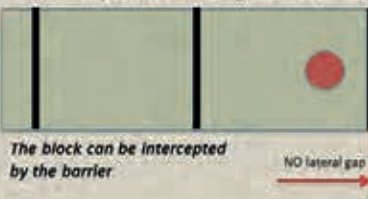
BARRIER N.1:

Length of the protected area = Length of the barrier



BARRIER N.2:

Length of the protected area = Length of the barrier



© MACCAFERRI

7

© MACCAFERRI

8

© MACCAFERRI

9

© MACCAFERRI

10

de type grillages plaqués ou pendus. Pour les secteurs de morphologie plus complexe, une stratégie alternative de sécurisation a été adoptée. En particulier, le secteur situé entre les PR105+360 et 105+650 présente une pente de plus en plus raide de l'amont vers l'aval. En partie amont, ce secteur est caractérisé par un versant boisé raide avec plusieurs grandes zones rocheuses. En aval, le versant est subvertical sur 40 à 60 m de dénivelé, il est entièrement rocheux et entaillé par 5 profonds couloirs débouchant sur la route. Cette zone très active domine directement la RD900.

Sur ce secteur, des écrans de filets pare-blocs ont été mis en place en partie haute du versant, avec pour but de stopper la propagation des phénomènes potentiels avant la zone raide en aval. En partie basse du versant, chaque grand couloir a ensuite

été fermé à l'aide de déflecteurs avaloirs freinés de capacité d'absorption d'énergie variant entre 1 000 et 3 000 kJ. Les éperons rocheux situés entre les couloirs ont quant à eux été sécurisés à l'aide de grillages plaqués. Les compartiments rocheux dépassant les capacités des parades passives ont été confortés à l'aide de boulons d'ancrage, de câblages ou de filets de câbles plaqués (figures 4, 5 et 6).

ÉCRANS PARE-BLOCS DYNAMIQUES

Les écrans pare-blocs dynamiques se distinguent par leur capacité à absorber l'énergie cinétique, principalement par la déformation, développée par des blocs rocheux en chute. Ces systèmes sont catégorisés comme des mesures passives de protection, car ils sont généralement installés à une distance considérable de la source potentielle

de chute de blocs. Leur utilisation est justifiée lorsque les zones de départ des blocs sont dispersées et que des contraintes topographiques ou économiques limitent le recours à d'autres types de dispositifs de protection. L'objectif principal des écrans pare-blocs dynamiques est de ralentir et d'arrêter la propagation de blocs rocheux susceptibles de posséder une énergie cinétique significative, variant de 100 kJ à plus de 11 MJ.

La faible empreinte au sol de ces écrans permet leur installation sur des pentes abruptes, telles que des falaises verticales, des éboulis ou des couloirs sujets aux chutes de blocs rocheux. Un écran pare-blocs dynamique se compose des éléments suivants :

→ La structure de soutien, généralement constituée de poteaux métalliques, a pour rôle de maintenir la structure d'interception en place ;

→ La structure d'interception, qui peut prendre la forme d'une nappe de filet (de câble ou à anneaux) ou d'un grillage métallique, est chargée de supporter directement l'impact de la masse en se déformant élastiquement et/ou plastiquement, tout en transmettant les forces à la structure de soutien et aux composants de liaison ;

→ Divers composants de liaison, tels que des câbles et des freins, sont responsables de la transmission des forces vers les fondations (ancrages). Il convient de noter que les fondations ne sont pas incluses dans le kit, car leur dimensionnement relève de la responsabilité du concepteur, qui doit se conformer aux normes nationales et aux caractéristiques du sol.

ESSAIS EN GRANDEUR RÉELLE (EAD 340059-00-0106)

Afin d'évaluer les performances et de comparer le comportement des écrans pare-blocs dynamiques, l'Organisation Européenne pour les Évaluations Techniques (EOTA) a publié en 2008 le Guide ETAG 027, lequel a été remplacé en juillet 2018 par le Document d'Évaluation Européenne EAD 340059-00-0106. Ce dernier constitue aujourd'hui la référence mondiale en matière d'écrans pare-blocs, exigeant des tests en grandeur réelle pour garantir une comparaison objective.

De plus, il assure la qualité des produits testés, car les fabricants obtiennent le marquage CE pour leurs kits de protection en se conformant aux spécifications édictées par l'ETAG.

L'ETAG 027 a standardisé le processus de réalisation des essais en conditions réelles sur les écrans pare-blocs (kits). Cette standardisation inclut les éléments suivants (figure 7) :

- La forme, les dimensions et la densité du bloc utilisé lors des tests ;
- La géométrie de l'écran à évaluer ;
- Les caractéristiques de l'impact ;
- Une vitesse minimale d'impact d'environ 90 km/h (25 m/s) ;
- Le site de test, qui doit avoir la capacité de propulser le bloc d'essai à la vitesse d'essai contre le kit. Le site peut être vertical ou incliné, à condition qu'il soit garanti qu'aucune interférence ne se produira entre le bloc et le terrain pendant l'impact ;
- La réalisation de trois essais sur deux écrans distincts : le premier kit doit être en mesure d'arrêter l'énergie maximale absorbable par le kit (Niveau d'Énergie Maximum : MEL, par exemple 3 000 kJ), tandis que le deuxième kit (équivalent au premier) doit stopper deux impacts consécutifs à l'énergie de service (Niveau d'Énergie de Service : SEL, par exemple 1 000 kJ).

Lors de ces essais (MEL et SEL), les performances à enregistrer incluent :

- L'énergie d'impact (à la fois pour le MEL et le SEL) ;
- L'allongement maximal dynamique de la structure d'interception (figure 8) ;
- La hauteur résiduelle, représentant la distance minimale entre le câble de rive inférieur et le câble de rive supérieur (figure 9) ;
- L'ouverture latérale maximale de la structure d'interception, mesurant la distance maximale entre le poteau latéral et la structure d'interception (figure 10) ;
- Les forces agissant sur les fondations ;
- La documentation photographique et les descriptions des dommages subis par le kit de protection pendant le test.

LES ÉCRANS PARE-BLOCS INSTALLÉS À LA ROCHAILLE

L'entreprise Epc France, pour ce chantier de protection de la RD900, a choisi des écrans pare-blocs certifiés CE. Cette décision a été prise dans le but de simplifier l'installation, réduisant ainsi



11 © MACCAFERRI

le risque d'exposition des ouvriers aux éventuelles chutes de blocs rocheux. Parmi les avantages de pose, on souligne l'absence d'ancrages en pied de poteaux (pour les écrans RB 3000 WGC et EPFM 5000), la présence de marches sur les poteaux (RB 2000 et RB 3000 WGC), l'ouverture en rideaux des filets de la structure principale (RB 1000, RB 1500, RB 2000, RB 3000 WGC et EPFM 5000).

De plus, ces écrans se distinguent par d'excellentes performances en termes de hauteurs résiduelles, d'élongations

11- Ligne d'écrans RB 3000.

12- Avaloirs.

11- Line of RB 3000 screens.

12- Road gullies.

dynamiques et d'espacement latéral entre les poteaux et les filets. On souligne aussi que les écrans RB 2000 et RB 3000 WGC ont été testés, avec succès, avec un troisième test SEL sur

la structure déjà impactée et déformée par les 2 essais SEL prévus par le EAD 340059-00-0106.

Dans le tableau A, nous présentons en détail les caractéristiques de performance des écrans installés sur le site en question (performances basées sur les essais MEL) (figure 11).

LES ÉCRANS DÉFLECTEURS

À la demande du maître d'ouvrage, l'entreprise Epc France a fait appel à l'entreprise France Maccaferri pour la conception de dispositifs de protection de type "déflecteur".

Un déflecteur est un système passif de protection contre les chutes de blocs rocheux, composé d'un filet à anneaux (ou de câbles) suspendu à un câble de support horizontal, maintenu au-dessus de la surface d'une pente par des poteaux ou suspendu par des ancrages à travers un couloir et directement fixés au rocher.

L'objectif principal des déflecteurs est de contrôler la descente des rochers en atténuant leur énergie et leur vitesse grâce à la structure d'interception.

De plus, leur installation peut se faire plus en amont sans engendrer de coûts d'entretien supplémentaires, tout en étant capable de capturer des blocs de plus grande énergie avec une infrastructure de clôture moins robuste (Badger et al. 2008, Smerekanicz et al. 2008, Badger 2007).

La bonne efficacité de ces ouvrages et leur facilité de mise en œuvre sont indéniables. Cependant, il convient de noter qu'à la différence des écrans pare-blocs, ces structures ne font pas l'objet de tests selon un protocole standardisé.

Sur ce point, Maccaferri a su concevoir avec succès les déflecteurs qui ont été installés dans plusieurs couloirs identifiés par le bureau d'étude Géolithe. Cette réussite découle de l'expérience solide de Maccaferri dans les

TABLEAU A : CARACTÉRISTIQUES DE PERFORMANCE DES ÉCRANS INSTALLÉS SUR LE SITE (PERFORMANCES BASÉES SUR LES ESSAIS MEL)

Écran	Énergie	Déformation	Hauteur résiduelle	Ouverture latérale
RB 750	774 kJ	4,21 m	58 %	aucune
RB 1000	1 092 kJ	4,63 m	70 %	aucune
RB 1500	1 637 kJ	5,80 m	62 %	aucune
RB 2000	2 060 kJ	6,42 m	71 %	aucune
RB 3000 WGC	3 024 kJ	7,06 m	69 %	aucune
EPFM 5000	5 500 kJ	8,25 m	51 %	aucune



12 © GÉOLITHE



13

© MACCAFERRI



14

© MACCAFERRI

essais relatifs aux écrans pare-blocs, des essais de caractérisation de ces grillages et filets selon les normes EN 10223-3, ISO 17745, ISO 17746, UNI 11437, ainsi que des essais menés par le Colorado Department of Transportation (Arndt et al., 2009) (figure 12).

LA TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ POUR LES USAGERS DE LA ROUTE

Au-delà de l'utilisation de structures de protection rigoureusement testées et certifiées (écran pare-blocs EAD 340059-00-0106) ou calculés selon des procédés avancés (déflex-

teurs), le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre ont également embrassé les dernières innovations technologiques pour renforcer la sécurité.

Parmi ces avancées significatives, se distingue le système HelloMac, une solution d'alerte intelligente conçue pour détecter des incidents graves

tels que les impacts, les chutes de blocs et les déformations des talus le long des écrans pare-blocs. HelloMac offre la possibilité de réagir instantanément face à des menaces potentielles (figure 13).

Le chantier de La Rochaille marque un tournant décisif en devenant le premier en France à intégrer le système HelloMac. Cette technologie innovante a été déployée aussi bien sur les écrans fournis par France Maccaferri que sur ceux déjà en place depuis 2019. En cas d'impact, une série de niveaux d'alerte est activée, ce qui permet une réaction rapide et adaptée aux menaces. Cette technologie avancée réduit de manière significative les délais d'intervention et renforce la sécurité sur la route de La Rochaille.

Le système a été minutieusement calibré par les techniciens de Maccaferri pour détecter, en fonction de l'emplacement de la ligne d'écran sur le versant, tout impact potentiel au niveau de l'énergie maximale absorbable (MEL) et/ou de l'énergie de service (SEL).

Les HelloMac, directement intégrés aux structures de protection passives, sont connectés via une liaison radio à deux centrales d'acquisition (Hubir). En cas d'incident, ces centrales déclenchent des signaux d'alerte directement situés sur la route (feux, panneaux de signalisation et sirènes) et envoient un message instantané aux équipes en charge de la gestion, de l'entretien et de la sécurité de la route, via une application sur smartphone. Étant donné la localisation géographique du site et les défis liés au réseau téléphonique, les centrales Hubir communiquent avec un serveur central par satellite (figure 14). □

13- Système d'alerte HelloMac sur une barrière dynamique EPFM 5000.

14- Les centrales d'acquisition Hubir actionnent les signaux d'alerte lors d'impacts.

13- HelloMac warning system on an EPFM 5000 dynamic barrier.

14- The Hubir data acquisition units activate warning signals in the event of impacts.

PRINCIPALES QUANTITÉS

ÉCRANS PARE-BLOCS : 1 500 m

FILETS À ANNEAUX : 1 900 m²

HELLOMAC : 18 u

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE :

Département des Alpes-de-Haute-Provence

ÉTUDE DE CONCEPTION ET SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION : Géolithe

ENTREPRISE MANDATAIRE : Epc France

FABRICANT ET FOURNISSEUR : France Maccaferri

ABSTRACT

PROTECTION AGAINST ROCK FALLS ON COUNTY ROAD RD900 IN THE LA ROCHAILLE SECTOR (04)

ÉLÉNA METZ, GÉOLITHE - ALBERTO GRIMOD, FRANCE MACCAFERRI

Ensuring the safety of the La Rochaille passage represents a major challenge, essential for the whole region. *This project, focusing on the protection of travellers and local residents and on maintaining economic and tourist activities, represents the apogee of contemporary engineering and technological innovation. The combination of cutting-edge protection structures, sophisticated detection systems and meticulous planning marks a significant milestone in ensuring safety along this strategic highway linking France and Italy. Even while works are continuing, La Rochaille stands out as an example in the use of new technologies to increase the level of protection from natural risks in sensitive areas that are hard to access.* □

PROTECCIÓN DE LA RD900 CONTRA LOS DESPRENDIMIENTOS DE ROCAS EN EL SECTOR DE LA ROCHAILLE (DPTO. 04)

ÉLÉNA METZ, GÉOLITHE - ALBERTO GRIMOD, FRANCE MACCAFERRI

La protección del paso de la Rochaille supone un reto considerable, esencial para el conjunto de la región. *Este proyecto, centrado en la protección de los viajeros y los residentes locales y en la preservación de las actividades económicas y turísticas, encarna el apogeo de la ingeniería contemporánea y la innovación tecnológica. La alianza de estructuras de protección punteras, sofisticados sistemas de detección y una meticulosa planificación marca un hito importante en términos de garantía de seguridad a lo largo de esta carretera estratégica que une Francia e Italia. Con la obra actualmente en curso, la Rochaille se impone como un ejemplo de utilización de nuevas tecnologías para mejorar el nivel de protección contra los riesgos naturales en zonas sensibles y de difícil acceso.* □



1
© SBF

RENFORCEMENT DES FONDATIONS DE PYLÔNES HAUTE TENSION

AUTEUR : ANTOINE CAROULLE, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL LIGNES HT, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

AUJOURD'HUI, LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ (RTE) COMPTE ENVIRON 106 000 KM DE CIRCUITS ÉLECTRIQUES TOUTS NIVEAUX DE TENSION CONFONDUS ET COMPTE 254 000 SUPPORTS. SON DÉVELOPPEMENT A ÉTÉ EFFECTUÉ PAR VAGUES SUCCESSIVES DEPUIS LES ANNÉES 1950 : RÉSEAU 225 KV (225 000 VOLTS) APRÈS LA SECONDE GUERRE MONDIALE, RÉSEAU 400 KV AVEC L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTION THERMIQUE ET NUCLÉAIRE. LE VIEILLISSEMENT ÉMERGEANT PAR PALIERS NÉCESSITE DES BESOINS SIMULTANÉS D'ENTRETIEN ACCRU VOIRE DE RÉNOVATION COMPLÈTE.

En France, le réseau de transport d'électricité est, en moyenne, âgé d'environ 50 ans. Jusqu'à la fin des années 1970, les supports treillis en acier noir ont beaucoup été utilisés (progressivement remplacés par des supports en acier galvanisé afin de mieux résister à la corrosion). Statistiquement, le nombre de supports à renouveler va croître dans les 10 prochaines années, avec près de 45 000 supports concernés (tableau A).

La nature du conducteur (câbles électriques) dépend fortement de sa période d'installation. Les conducteurs historiques en aluminium-acier sont pro-

gressivement remplacés par d'autres technologies depuis les années 1970 et notamment par des conducteurs en Almélec, afin d'améliorer la résistance des câbles à la corrosion. Aujourd'hui, près de 65 % des câbles conducteurs utilisent cette technologie contre 29 % en aluminium-acier (figure 2).

Les fondations des pylônes constituant les lignes aériennes HT ont également besoin d'être renforcés : augmentation de leur durée de vie, évolution des sollicitations (modification du tracé de l'ouvrage aérien ou changement de conducteur par exemple) ou encore afin de répondre aux modifications des règles

1- Renforcement des fondations par micropieux autoforés.

1- Strengthening foundations with self-drilling micropiles.

de calcul (passage aux Eurocodes). Le type de fondations choisi pour un pylône répond à différentes contraintes :

- Le type de pylône (alignement ou angle) et donc des efforts transmis en pied ;

- Le terrain (sous-sol) dont les reconnaissances géotechniques préalables permettent la caractérisation ;
- Le site des travaux et les contraintes environnementales et réglementaires (riverains, nappe phréatique...).

Une campagne de reconnaissance géotechnique est exécutée de manière à caractériser le sous-sol. Les sondages exécutés sont de différents types :

- Essais pressiométriques ;
- Sondages carottés ;
- Essais au pénétromètre statique ;
- Essais au pénétromètre dynamique lourd.

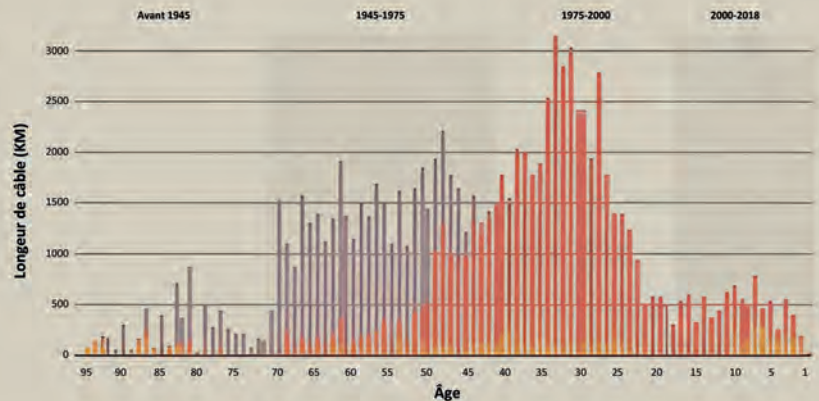
PYRAMIDE DES ÂGES DES CONDUCTEURS AÉRIENS

Avant 1945 : Premier développement des réseaux électriques afin d'évacuer les productions hydrauliques et desservir les régions. La technologie de câbles utilisée est composée d'aluminium et d'acier.

1945-1975 : Développement d'un premier niveau de réseau de grand transport en (225 kV) Pour interconnecter les régions avec une utilisation massive des câbles en Aluminium - Acier.

1945-1975 : Développement d'un réseau de tension 400 kV en lien avec l'émergence du parc électronucléaire et apparition d'une nouvelle technologie de câble en almélec offrant un meilleur compromis technico-économique.

2000-2018 : Développement plus modéré du réseau électrique en aérien via le recours plus fréquent au souterrain en apparition de nouvelles technologies de câble dit « à faible dilatation » offrant des meilleures capacités de transit.



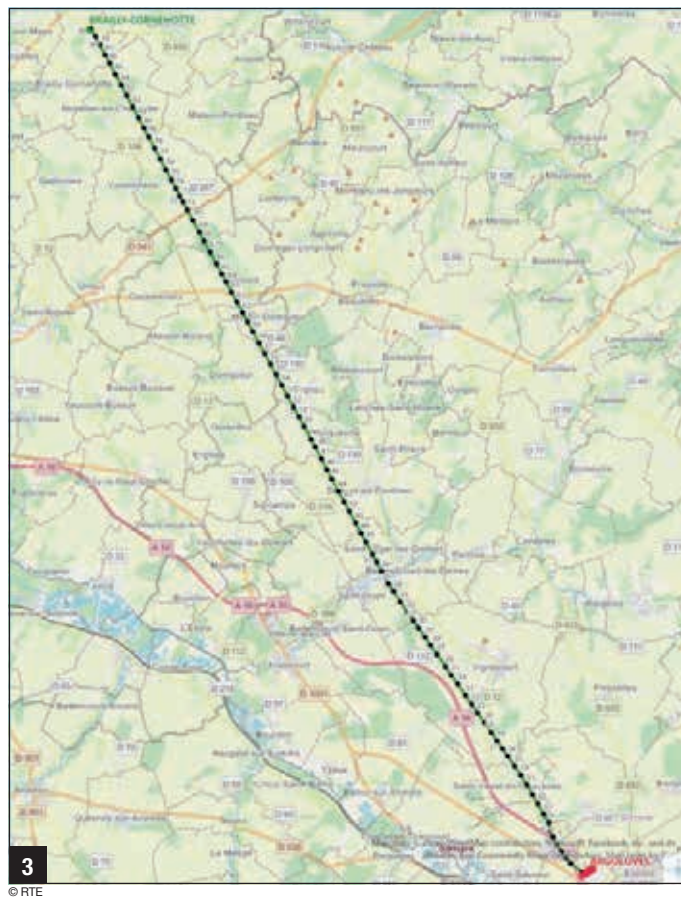
© RTE
2

2- Pyramide des âges des conducteurs aériens.

3- Situation de l'ouvrage aérien 225 kV Argœuves-Brailly-Cornehotte.

2- Age pyramid of overhead conductors.

3- Location of Argœuves-Brailly-Cornehotte 225 kV overhead structure.



Gestionnaire du réseau français, RTE n'est pas le seul à devoir mener des travaux de renforcement de fondations de pylônes aériens. Des travaux similaires sont en cours en Belgique par le gestionnaire Elia mais également en Allemagne, pays pour lequel quatre gestionnaires principaux : TenneT, 50Hertz Transmission, Amprion et EnBW Transportnetze se partagent l'exploitation du réseau.

RÉHABILITATION LIGNE 225 KV ARGŒUVES - BRAILLY - CORNEHOTTE (RTE FRANCE)

L'ouvrage construit en 1956, s'étend sur 38,8 km. Il est situé dans le département de la Somme (80) (figure 3). Le projet a pour but le remplacement de supports en acier noir (structures + embases) et le renouvellement des conducteurs. Les embases, qui assurent la liaison entre la superstructure et la fondation sont la base des pylônes, ancrées principalement dans des fondations superficielles.

Dans cette configuration, le renforcement des fondations est imposé.

L'intégralité de la ligne est traitée, soit 90 pylônes au total. Les travaux sont répartis en deux phases :

→ La première phase de travaux a démarré en septembre 2023 et s'étale jusque fin janvier 2024. Elle concerne 40 supports (support 41 au poste de Brailly - Cornehotte) ;

→ La seconde phase de travaux sera à réaliser au 2^e semestre 2024 et concerne le tronçon du poste d'Argœuves au support 40 (50 supports).

Sur le linéaire de l'ouvrage, 3 grandes formations géologiques sont rencontrées :

→ Des alluvions récentes représentées par des cailloutis alternant sables, limons et tourbe ;

→ Des colluvions et limons de pente constitués par des limons à fragments ou gravelles crayeuses et silex ;

→ De la craie constituée par de la craie blanche, localement à silex.

Compte tenu de la faible résistance des couches supérieures, de la présence de terrains présentant une mauvaise tenue au forage, voire baignés par une nappe phréatique, le choix s'est porté sur des micropieux de type autoforés afin de renforcer les fondations (figure 1).

TABLEAU A : ESPÉRANCES DE VIE DES SUPPORTS DE LIAISONS AÉRIENNES

Nature de support	Zone de corrosivité	Espérance de vie	Nombre de supports
Supports acier noir	Forte	60 ans	28 000
	Normale	80 ans	77 500
Supports acier galvanisé	Forte	90 ans	48 800
	Normale	110 ans	71 600
Béton	Forte	60 ans	13 200
	Normale	70 ans	21 000
Bois créosoté	Normale	40 ans	2 760
Bois non créosoté	Normale	15 ans	100

© RTE

Le remplacement des pylônes de cette ligne se fait principalement en lieu et place avec des structures identiques en acier galvanisé. Sur ce projet, la plupart des structures de pylônes sont changées avant le renforcement des fondations (à ce stade, lors de l'intervention, les embases scellées dans les massifs existants ne sont pas encore remplacées). Dans ce cas de figure, la règle du Cner (Centre National d'Expertise Réseau) est stricte : la mécanosoudure sur un pylône neuf galvanisé est prosaïte. Ceci afin de garantir la pérennité de la structure des supports dans le temps. L'ouvrage étant maintenu sous tension, se pose alors le problème de la tenue provisoire du pylône pendant le changement des embases en lieu et place des précédentes.

La solution développée a été de pincer la membrure (éléments en acier constituant les éléments porteurs principaux de la structure : cornière à ailes égales) et de la relier aux micropieux de substitution des fondations superficielles, par une poutre type HEB ou bien par des tubes de fortes inerties adaptables aux différentes configurations (figure 4). La poutre équipée du Vé de pincement est placée sur la membrure et sur les deux emplacements de réception des armatures des micropieux. La membrure est pincée suivant le couple de serrage prédéfini (figures 5a et 5b). La membrure existante du pylône est alors déboulonnée et remplacée en toute sécurité. Une mécanosoudure définitive est réalisée reliant la nouvelle embase et les armatures des micropieux de renforcement. Cette étape étant réalisée, la poutre est démontée et les armatures sont arasées en partie supérieure. La protection contre la corrosion de l'ensemble du dispositif mécano-soudé (embases, plaques et micropieux) est assurée par un massif de liaison composé d'une virole métallique extérieure remplie de béton (figure 6).

PROJET 400 KV GRAVELINE - WARANDES 1 À 6 (FUTUR POSTE FLANDRES MARITIME)

Le projet se situe dans la région des Hauts-de-France, département du Nord (59), sur le territoire de la Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD). La zone étudiée, dans laquelle prend place le projet, porte sur les communes de Bourbourg, Gravelines et Saint-Georges-sur-l'Àa. La carte en figure 7 matérialise cette zone.

Le poste électrique de Warande 400 kV et 225 kV a été mis en service entre



© SBF

la fin des années 70 et le début des années 80. Les éléments le constituant ont vieilli. Pour des raisons environnementales, techniques et financières, le poste électrique à 400 kV sera reconstruit et les lignes 400 kV Gravelines-Warande 1 à 6 sont à réhabiliter car elles font l'objet d'une entrée en coupure dans le futur poste de Flandres Maritime à construire.

Le poste couvre un territoire important en termes de qualité de l'électricité. Il permet l'évacuation de la puissance produite par la centrale nucléaire de Gravelines et alimente les nombreuses industries fortement consommatrices d'électricité présentes dans le dunkerquois. Le nombre d'industriels est important dans cette zone. L'actualité et les études prospectives affichent un dynamisme toujours soutenu sur le court, le moyen et le long terme. Cette obsolescence impliquera une dégradation à terme de la qualité de l'électricité : coupures nécessaires pour la maintenance du site ou avaries.

4- Dispositif de reprise.

5a & 5b- Poutre équipée du Vé de pincement.

4- Underpinning system.

5a & 5b- Beam fitted with V-shaped clamp.

Rte est concerné par le raccordement au réseau électrique de plusieurs de ces projets (interconnexion France-Angleterre GridLink, parc éolien en mer au large de Dunkerque, accompagnement des industries dans leur projet de décarbonation, projet de construction de gigafactory pour la production de batteries et la production d'hydrogène vert H2V59).

Le projet prévoit notamment :

→ La construction d'un nouveau poste électrique de 24 ha de superficie

en parallèle du fonctionnement du poste électrique actuel de Warande (22 lignes électriques seront raccordées à ce poste) ;

→ Les modifications des lignes aériennes 225 kV et 400 kV à proximité immédiate de ce nouveau poste, pour son raccordement, notamment le remplacement des conducteurs. L'augmentation de la capacité permettra de mieux raccorder au réseau l'énergie renouvelable produite par les unités de production notamment les parcs éoliens offshore à venir et assurer une meilleure sécurité d'approvisionnement.

De novembre 2023 à mars 2024 sera réalisé le renforcement des fondations de 18 pylônes par micropieux sur les ouvrages aériens 1 à 6 Gravelines-Warande, en sortie du poste existant de Warande (figure 9).

Les fondations existantes de ces supports sont constituées de pieux battus injectés de 12 à 18 m de profondeur selon les efforts à reprendre (ces pieux battus comportent un tube de 178 mm de diamètre et en pied un sabot de 300 mm de côté).

La nature des couches est majoritairement sableuse avec présence de débris coquilliers. Ces sables sont lâches à très denses. Cette formation correspond à des dépôts liés au développement de la zone portuaire et industrielle de Dunkerque (sols remaniés et remblais). En dessous, on retrouve une formation correspondant à des dépôts limono-sableux ou argileux marins (Assise de Dunkerque : sables à Cardium et argiles des polders à Scrobicularia), que recouvrent la tourbe de surface. On trouve ensuite des sables du Landénien (d'une épaisseur de l'ordre de 50 m environ) dont la partie inférieure de l'ordre de 20 m d'épaisseur est à



5a

© SBF



5b

© SBF

6- Massif de liaison constitué d'une virole métallique.

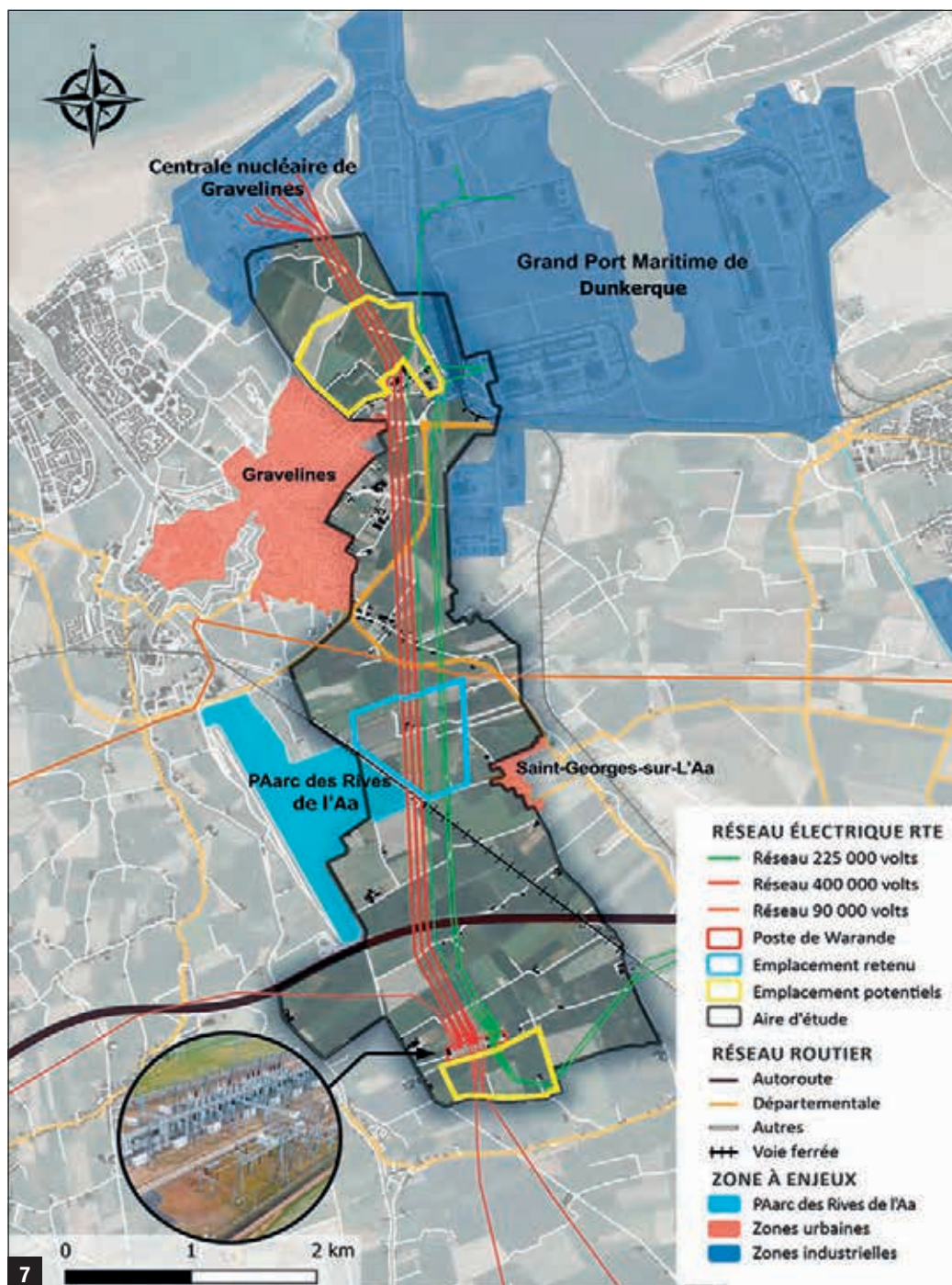
7- Principaux éléments structuraux du projet Warande.

6- Connecting block consisting of a steel ferrule.

7- Main structural features of the Warande project.



6
© SBF



7
© RTE

dominante argileuse. Cette formation repose sur des Argiles des Flandres. En amont des travaux de renforcement des fondations par micropieux, une campagne d'essais de traction conforme à la norme NF P94-150-2 a été réalisée. Ces essais ont pour objet de définir les frottements latéraux q_s , à retenir au droit des supports existants (qui seront renforcés) et futurs, dans le but de déplaçonner la valeur maximale de 90 kPa fixé par le Cner (Centre National d'Expertise Réseau) dans les sables. L'objet de ces essais est donc de dimensionner au plus juste les nouvelles fondations ainsi que les renforcements à mettre en œuvre.

Les essais ont eu lieu sur des ancrages exécutés dans les mêmes conditions que ceux prévus pour les micropieux de l'ouvrage (méthode et diamètre de perforation, hauteur neutre et longueur de scellement, armatures, méthode d'injection) (figure 8).

L'entreprise Geotec (bureau d'études en ingénierie géotechnique et environnementale) réalise une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage afin de s'assurer que les essais de traction de type conformité (destructif) sont réalisés conformément à la norme.

Les renforcements des fondations existantes s'effectuent en réalisant 2, 3, ou 4 micropieux par pied de pylône en forage type autoforé de diamètre 175 mm avec une armature de 101,6 x 12,5 mm. Les profondeurs sont comprises entre 15 et 23 m (19 m moyen). L'ensemble des supports étudiés se situe dans un contexte de nappe à faible profondeur voire sub-affleurante. Pour s'adapter à ce type de terrains, des modifications ont été apportés aux taillants de forage tri-lames usuellement utilisés (nombre et positionnement des événements, profil des lames). Le matériel a aussi été adapté (moteur de roto-percuteur, dessableur, presses hydrauliques) afin de disposer du couple nécessaire à l'entraînement du train de tige et de pouvoir recycler le coulis d'injection.

Les massifs existants se composent d'une cheminée en béton enrobant l'embase métallique scellée dans le pieux. Les transferts d'efforts normaux se font aux micropieux de renforcement par l'intermédiaire :

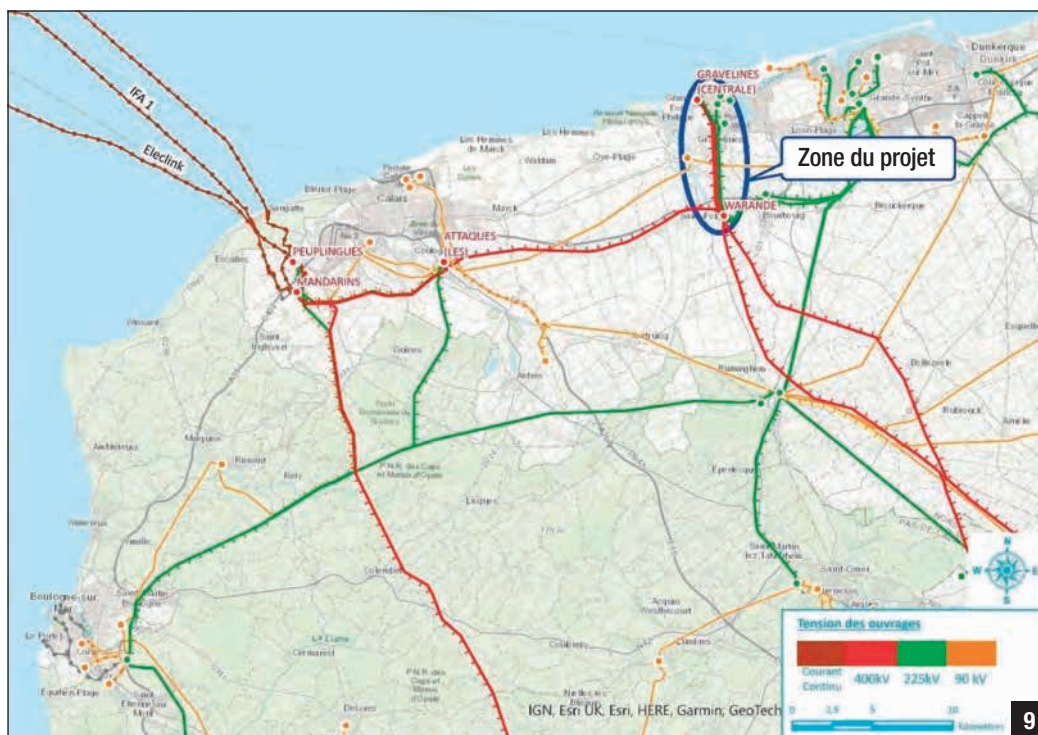
- Du frottement entre l'embase métallique et la cheminée en béton existante ;
- De bielles de béton comprimées en appui sur l'embase scellée dans la cheminée d'une part et sur les micropieux d'autre part ;



8- Dispositif d'essais de traction.
9- Lignes aériennes à proximité immédiate du nouveau poste à raccorder.

8- Tensile test device.
9- Overhead lines in the immediate vicinity of the new substation to be connected.

- D'un scellement d'aciers sur la cheminée permettant l'ancrage des bielles de compression ;
- D'une virole métallique remplie de béton au sein duquel viennent s'ancrer les micropieux munis ici de platines. Cette virole reprend la composante horizontale de la poussée de bielles et assure le confinement du béton du massif. □



PRINCIPALES QUANTITÉS

RÉHABILITATION LIGNE 225 KV ARGŒUVES - BRAILLY - CORNEHOTTE

- 90 fondations de pylônes à renforcer par micropieux avec changement des embases
- 526 micropieux en diamètre 120 et 140 mm, soit 5380 m de forage
- 74 800 kg d'armatures autoforées
- 530 m³ de béton C30/37
- 120 t d'acier (viroles)

PROJET 400 KV GRAVELINE - WARANDES

- 18 fondations de pylônes à renforcer (2023)
- 220 micropieux en diamètre 175 mm, soit 4 165 ml de forage
- 114 t d'armatures autoforées
- 326 m³ de béton C30/37

PRINCIPAUX INTERVENANTS

225 KV ARGŒUVES - BRAILLY - CORNEHOTTE

MAÎTRE D'OUVRAGE (MO) : Rte D&I Paris
ENTREPRISE GÉNÉRALE : C-Team (Allemagne)
FONDACTIONS : Spie Batignolles Fondations

PROJET 400 KV GRAVELINE - WARANDES

MAÎTRE D'OUVRAGE (MO) : Rte D&I Lille
ASSISTANCE MO : Géotec
ENTREPRISE GÉNÉRALE : Inabensa (Groupe Abengoa-Espagne)
FONDACTIONS : Spie Batignolles Fondations

ABSTRACT

STRENGTHENING THE FOUNDATIONS OF HIGH-VOLTAGE PYLONS

ANTOINE CAROULLE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

RTE favours optimisation of the existing infrastructure to upgrade its network, increase its lifetime, lower its costs and limit its environmental impact. To do so, for example, the OLLA project (Overhead Lines Lifespan Assessment) performs analysis of the level of damage of overhead conductors and enables RTE to schedule their replacement at the right time, minimising expenses and ensuring the reliability of the French electricity grid. Several French foundation contractors contribute to the mission to maintain the public service notably due to their expertise in live maintenance. □

REFUERZO DE LOS CIMIENTOS DE LOS PILOTES DE ALTA TENSIÓN

ANTOINE CAROULLE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

RTE, operador francés de la red eléctrica de alta tensión, apuesta por la optimización de las infraestructuras existentes para mejorar su red, alargar su vida útil, reducir sus costes y limitar su impacto medioambiental. Para ello, por ejemplo, el proyecto OLLA (Overhead Lines Lifespan Assessment) analiza el nivel de deterioro del cable agrupado aéreo y permite a RTE planificar su sustitución en el momento adecuado, minimizando los gastos y garantizando la fiabilidad de la red eléctrica francesa. Varias empresas francesas de cimentación participan en la misión de mantenimiento del servicio público, aportando básicamente sus competencias en materia de mantenimiento "en tensión". □



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

Engineering a Better Solution

Rejoignez notre
communauté technique !



MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr



Ouvrages de soutènement :

En haut : Échangeur de La Paoute (06)
TerraMesh® System

En bas : Sécurisation et consolidation
du talus des Bergers (38)
ReadyMac

