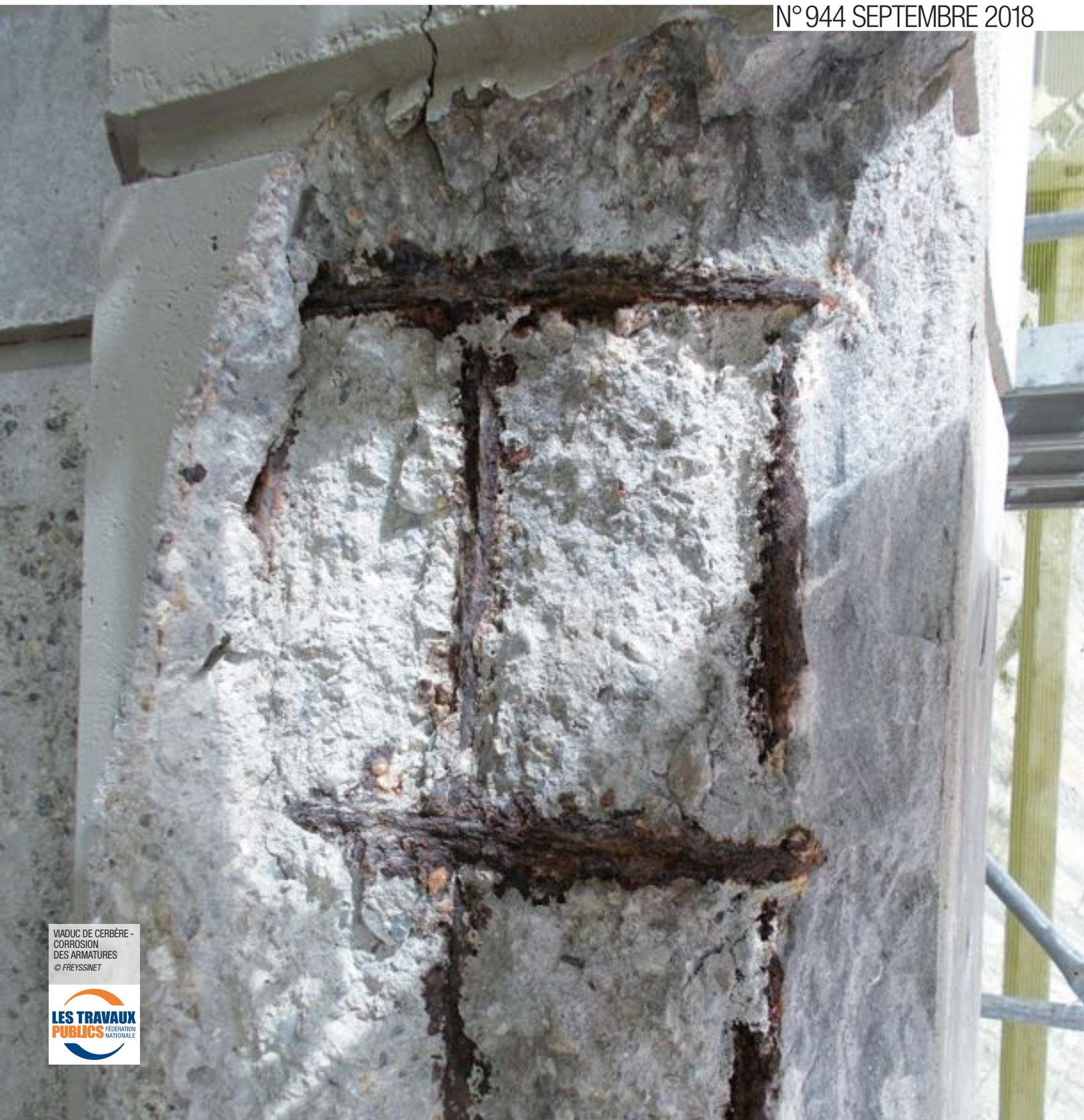


# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES. LE BARRAGE DE PANNECIERE. LES SUSPENTES DU PONT CANADA A TREGUIER. RENFORCEMENT D'UN VIPP SUR LA MOSELLE. UN TABLIER DE PONT SUR L'A6 A ORMOY. VIADUC DE CERBERE. BETONS DEGRADES DU BUNKER K2 DE LA BASE DE LORIENT. TRAITEMENT DE LA RSI AU BARRAGE DE BIMONT. LES VIADUCS D'ACCES AU PONT EIFFEL A CUBZAC. A43 - LES TABLIERS DU VIADUC DE CHAMOUSSET (73). UNE REHABILITATION EN PROFONDEUR DE 2 PS SUR L'A6**

N° 944 SEPTEMBRE 2018



VIADUC DE CERBERE -  
CORROSION  
DES ARMATURES  
© FREYSSINET

**LES TRAVAUX  
PUBLICS** FEDERATION  
NATIONALE



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP



[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)

© 2014 BTP Banque. Tous droits réservés. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la BTP Banque est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la BTP Banque est formellement interdite.

Directeur de la publication  
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction  
Pierre Aristaghes (Bouygues tp), Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro  
Rédaction  
Monique Trancart (actualités),  
Marc Montagnon

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

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

Publicité  
Rive Média  
2, rue du Roule - 75001 Paris  
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44  
contact@rive-media.fr  
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle  
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04  
b.cosson@rive-media.fr

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://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

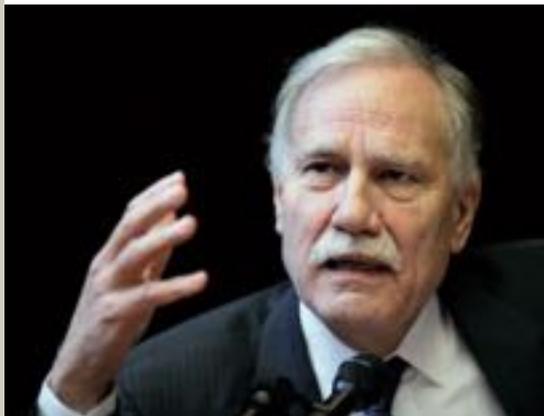
La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de 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  
Commission paritaire n°0218 T 80259  
ISSN 0041-1906

# LA MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES, UN ENJEU NATIONAL À DIMENSION EUROPÉENNE



Mettons la problématique des ouvrages d'art et de leur maintenance en perspective avec l'enjeu suivant : en Europe, le transport de marchandise et de passager devrait augmenter respectivement de 80 % et de 51 % d'ici à 2050. Échanges plus nombreux et complexes, seule une infrastructure adaptée permettra de saisir cette incroyable opportunité économique.

La France n'est pas en reste, avec son patrimoine unique d'infrastructures et son histoire rythmée par les grands projets et des ouvrages emblématiques, voulus par les Présidents successifs, comme incarnation symbolique de leur action. Au-delà du politique, le nouveau à cet égard séduit davantage que l'existant. Pourtant, cet état de fait ne doit pas occulter la nécessité de l'entretien de l'infrastructure déjà présente. Déconsidérer l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure, provoquant des défauts de maintenance, peut avoir des conséquences sérieuses sur la sécurité mais représenter également un non-sens économique, un entretien régulier étant bien moins coûteux à terme qu'une totale rénovation.

Au niveau européen, cette problématique se complexifie face à l'hétérogénéité des infrastructures et de leur qualité, au sein des États membres et entre eux. Bien que n'ayant pas de compétence exclusive en la matière, l'Union effectue un important travail d'harmonisation des normes et supporte, via notamment le Mécanisme d'Interconnexion Européen (24 milliards d'EUR sur 2014-2020), des projets de

création, de rénovation ou de modernisation d'infrastructures qui visent à terme à consolider un maillage infrastructurel adéquatement entretenu et performant au sein des huit corridors européens.

La directive Eurovignette du Paquet Mobilité, actuellement discutée au Parlement européen, illustre bien l'importance de ces enjeux pour les législateurs européens. En tant que rapporteur pour le groupe ALDE, je défends le principe du *earmarking*, c'est à dire le fléchage des fonds collectés vers un financement dédié aux infrastructures, à la fois nouvelles et existantes, afin de permettre leur entretien et leur modernisation continus et réguliers. Car outre l'état inquiétant par endroit du réseau, la question de la modernisation de l'infrastructure, notamment routière, se fera de plus en plus présente à l'avenir, avec par exemple l'essor annoncé des véhicules connectés et autonomes qui obligent nos infrastructures à devenir intelligentes. Mon ambition est donc de pouvoir répondre à terme à ces immenses besoins de financement via le *earmarking*.

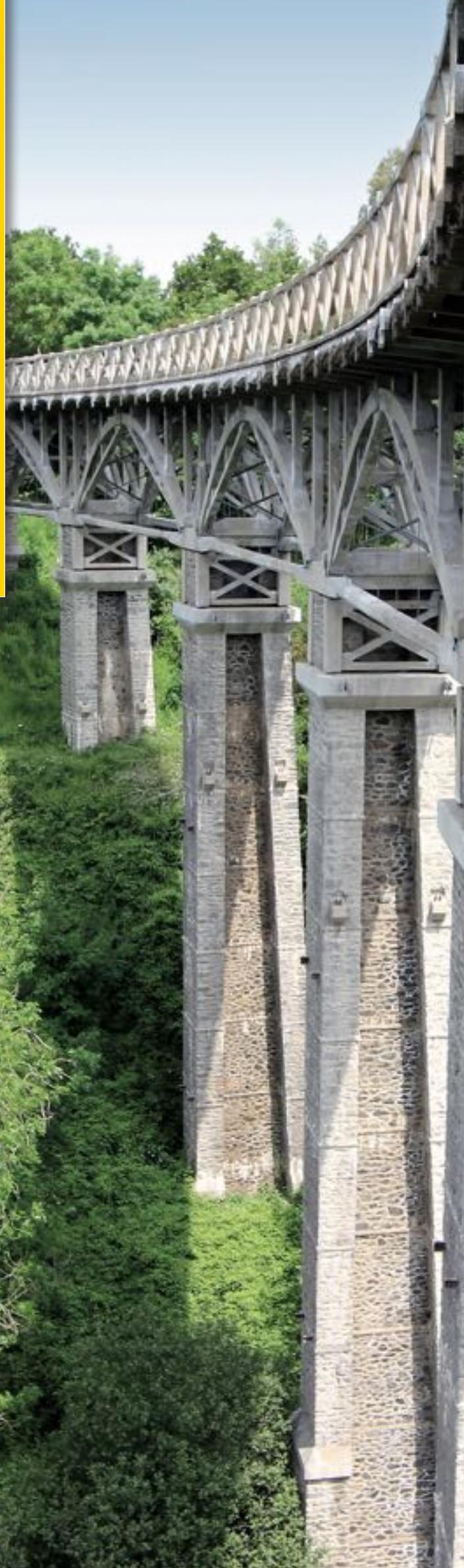
Au-delà de la normalisation et du soutien financier, les possibilités au niveau européen sont multiples. On pourrait imaginer, par exemple, la création d'une base de données européennes des structures d'ingénierie pour faciliter le partage des connaissances, ou bien la mise en place de formations adaptées et harmonisées pour les techniciens et les ingénieurs. La valeur ajoutée de l'Union tient aussi au développement de technologies innovantes, à l'instar du projet SMART RAIL, financé par Horizon 2020, développant un système de sonde automatique pour faire face au vieillissement des infrastructures ferroviaires.

La mobilisation d'un budget européen adapté à l'entretien, la modernisation et la réparation efficaces des infrastructures est urgente et vitale. Mais l'Union a aussi un rôle majeur de sensibilisation auprès des pouvoirs publics nationaux pour les inciter à entretenir leur patrimoine, indispensable pour la prospérité et l'attractivité du territoire européen.

**DOMINIQUE RIQUET**  
VICE-PRÉSIDENT DE LA COMMISSION DES TRANSPORTS  
AU PARLEMENT EUROPÉEN



# MAINTENANCE DES INFRA- STRUCTURES



LE VIADUC DE TOUPIN (1904), À SAINT-BRIEUC, ŒUVRE DE L'INGÉNIEUR HAREL-DE-LA-NŒ © STRRES

04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC ROGER BRIAND**

SCMF : UN SECTEUR QUI RECRUTE ET RÉCLAME DES APPELS D'OFFRES PUBLICS PAR ALLOTISSEMENT

**22 STRRES : LE VIEILLISSEMENT DE NOS STRUCTURES EST UNE RÉALITÉ**



30

**BARRAGE DE PANNECIÈRE**

Travaux de mise aux normes des accès



37

**REMPACEMENT DES SUSPENTES DU PONT CANADA**

à Tréguier



44

**RENFORCEMENT D'UN VIPP**

sur la Moselle



50

**RÉPARATION ET RENFORCEMENT D'UN TABLIER DE PONT SUR L'A6**

à Ormy



56

**VIADUC DE CERBÈRE**

Réparation et protection cathodique des bétons



62

**RÉPARATIONS DES BÉTONS DÉGRADÉS DU BUNKER K2**

de la base de Lorient



68

**BARRAGE DE BIMONT**

Traitement de la RSI



74

**RÉHABILITATION DES VIADUCS D'ACCÈS AU PONT EIFFEL**

à Cubzac



80

**RÉHABILITATION DES TABLIERS DU VIADUC DE CHAMOUSSET (73)**

sur l'autoroute A43



86

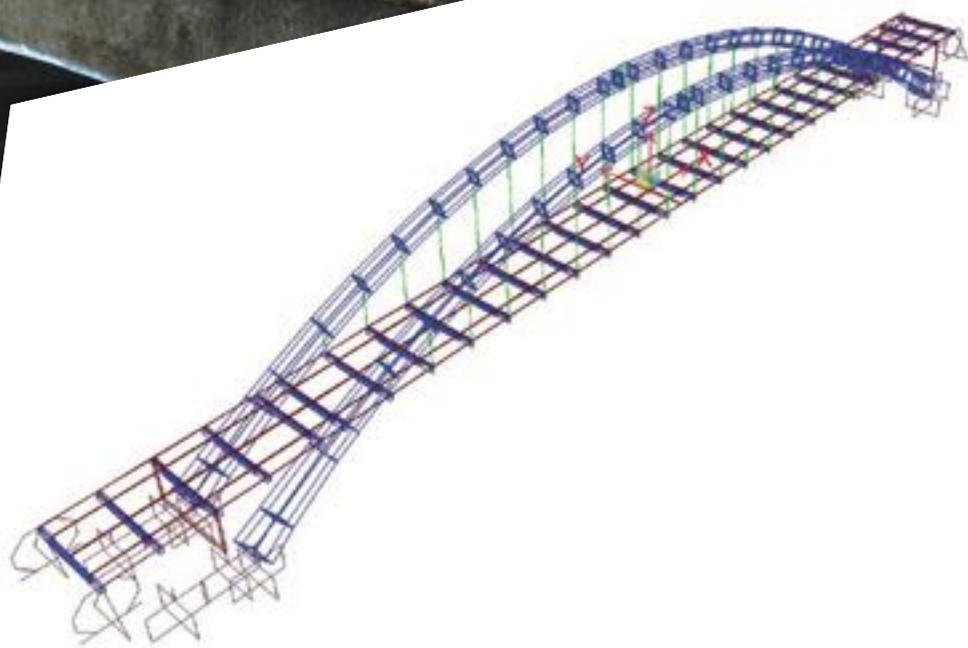
**RÉHABILITATION EN PROFONDEUR DE 2 PS**

sur l'autoroute A6



## PONT CANADA À TRÉGUIER COMMENT REEMPLACER L'IRREPLAÇABLE

**FREYSSINET** a remplacé les suspentes fortement dégradées de ce pont routier de 180 m dans les Côtes d'Armor, construit en 1954 par l'entreprise Coignet. C'est un pont en arc à tablier intermédiaire en béton armé d'une portée de 153 m avec suspentes en acier, le premier du genre en Europe. À noter que le système de suspentes n'avait pas été conçu pour être remplacé. (Voir article page 37).



## DES CHANTIERS PLUS DISCRETS ET MIEUX ACCEPTÉS



© MRW BRETAGNE ZEPPELINE POUR SEMITCAR

Chantier Dodin Campenon Bernard à la station Saint-Germain du métro de Rennes, en 2015. La dalle de couverture précède le creusement dessous afin de faire écran au bruit.

**La 3<sup>e</sup> conférence sur les nuisances de chantier, au 1<sup>er</sup> chef le bruit, s'est tenue le 21 juin. Respecter les horaires, informer les riverains, capoter les machines, placer des obstacles, un ensemble de mesures décidées tôt pacifient les travaux.**

Des travaux qui s'éternisent à cause d'une mauvaise évaluation des sols, des plaintes par dizaines : Nantes Métropole ne veut plus revivre ça comme en a témoigné un représentant de la collectivité au colloque sur les nuisances de chantier, le 21 juin à Paris<sup>(1)</sup>. « Nous avons convenu de limiter le brise-roche hydraulique (BRH) à deux heures le matin et deux, l'après-midi, » a-t-il informé. « Tout le monde a le droit de faire des travaux, » rappelle Christophe Sanson, avocat. En cas de problème, le maître d'ouvrage est responsable, quitte à ce qu'il se retourne contre les fauteurs de trouble. « Il y a une opposition-tension entre droit à construire ou à rénover et droit à la tranquillité, » précise Thierry Mignot, expert judiciaire.

Chaque chantier étant différent, il est difficile de régler les émissions sonores. Le code de santé publique préconise de ne pas attenter à la tranquillité du voisinage. Le code de l'environnement évoque le respect du voisinage. « Il faut éviter l'anormalement bruyant, » recommande Denis Bozzetto, président du Groupement des ingénieurs acoustiques (Cinov Giac). Les poussières, aussi, sont gênantes.

#### → Dégrogation d'horaires à certaines conditions

« Nous commençons par respecter les textes mais là n'est pas l'essentiel, assure

Pierre Verri, maire de Gières (Isère, 6700 hab.) qui entame une opération Cœur de ville. *Il faut anticiper le chantier. Un horaire de début de travaux à 8h entre en conflit avec l'arrivée des écoliers.* » Rennes qui cumule l'arrivée du TGV et une 2<sup>e</sup> ligne de métro a demandé des dérogations en matière d'horaire à la Direction départementale des territoires et de la mer. Le percement d'un tunnel a pu avoir lieu 24h/24 à condition qu'il n'y ait pas chargement de déblais, que la ventilation soit silencieuse, que le compresseur soit capoté, et après un essai d'un mois, concluant. Informer les riverains n'est pas perdre son temps. « Être le plus transparent possible et donner du sens, c'est la consigne de Rennes, indique Charlotte Marchandise, maire adjointe déléguée à la santé et à l'environnement. *Les visites de chantier ont du succès.* »

#### → Rencontrer, nettoyer

« Si le chantier est mieux compris, il est mieux accepté, confirme Solenne Lesourd, responsable d'agence Egis villes et transports Bretagne. *Nous rencontrons chaque commerçant à chaque démarrage de secteur du chantier du bus à haut niveau de service à Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor). Les vitrines sont nettoyées toutes les semaines.* »

La réduction du bruit commence dès l'étude d'impact du projet. « Le bruit fait

partie de l'enquête publique et nous prenons en compte les réactions, relate Étienne Pihouée, chargé de l'environnement à la Société du Grand Paris (SGP). *Une notice de respect de l'environnement est intégrée au cahier des charges des entreprises et non négociable.* »

« En Angleterre, l'étude d'impact est mise à jour pendant le chantier par l'entreprise, nous pourrions nous en inspirer » observe Frédéric Delafosse, directeur de Sixense Environnement.

#### → Camions toujours en marche avant

Il faut aussi organiser le chantier. « Nous avons posé des parois acoustiques jusqu'à 6 m de haut (à ancrer dans le sol) et placé la base vie pour qu'elle fasse écran, raconte Maryse Rozier-Chabert, cheffe de projet ligne 15 sud à la SGP. *Les camions circulent uniquement en marche avant (pas de bip sonore). Ils attendent hors zone de chantier, un homme trafic régule leur venue sur site.* »

« Un bon principe pour réduire le bruit du chantier résiduel est de le coiffer, » conseille Sébastien Berçot, responsable réglementation et acoustique, Bouygues Bâtiment Île-de-France. Ainsi, Dodin Campenon Bernard a-t-elle créé la dalle de couverture de la station Saint-Germain du métro de Rennes avant de creuser en dessous. Toutefois, les parois moulées devaient être réalisées avant. Le porteur du cutter a été insonorisé par un capot.

#### → 1% du coût total

Les BRH peuvent être remplacés par des croqueuses de béton, moins bruyantes. La prévention du bruit de chantier revient à 1% du total d'une opération, selon le Cinov Giac. C'est toujours mieux qu'un arrêt de chantier. Saint-Brieuc verse une prime quand les mesures de protection sont respectées par les entreprises. ■

<sup>(1)</sup> Organisé par le Centre d'information sur le bruit avec son Club Décibel Villes sous l'égide du ministère de la Transition écologique et solidaire, à la FNTP. Précédents colloques en 2006 et 2013.

## NUIRE ENCORE MOINS

Voici les documents pour réduire les émissions sonores et les poussières des chantiers :

- Bruits des chantiers, guide n°4, 14 pages, Conseil national du bruit, 2013.
- Acceptabilité des chantiers urbains, mooc (cours par internet), 15 février 2019, France université numérique.
- Rédiger des notices d'instruction de qualité concernant le bruit (fabricants de machines), 2016, Direction générale du travail. En préparation : guide utilisateurs de machines.

## INTÉGRER LE BRUIT DANS LES PLANS CLIMAT, AIR, ÉNERGIE

Il arrive que la lutte contre le changement climatique et celle contre le bruit s'opposent. La densification du bâti limite l'étalement urbain mais, entre les façades hautes d'une rue étroite en "canyon", le bruit se réverbère et la pollution stagne. Les nuisances sonores ne font pas partie des plans climat air énergie territoriaux (PCAET)<sup>(1)</sup>. Elles relèvent des plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) depuis 2016.

### → Guide à paraître

Six agglomérations<sup>(2)</sup> ont été retenues pour expérimenter l'articulation entre les deux plans, dans le cadre d'un appel à manifestation d'intérêt de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Leurs actions sur dix-huit mois ont été analysées et inspirent un guide de recommandations à paraître début 2019 (Ademe). Un séminaire d'échanges a eu lieu début juillet.

« Nous avons rapproché la carte du bruit de celle de la thermographie de l'habitat pour déterminer quels logements ont droit à une aide qui compense le surcoût acoustique d'une isolation thermique, » a expliqué Samuel Degezelle, chargé de mission air et bruit à l'urbanisme de la Communauté urbaine de Dunkerque (Nord) dont certains quartiers souffrent des autoroutes A16 et A25.

### → Déplacer une crèche

Saint-Étienne Métropole (Loire), en croisant ses cartes d'exposition au bruit et aux polluants, a vu qu'une micro crèche se trouvait dans une zone néfaste sur les deux plans. Elle l'a déplacée 150 m au nord.

L'impact du bruit sur la santé est utilisé par Grenoble Alpes Métropole pour convaincre des bienfaits de mesures prises comme la vitesse à 30 km/h. L'agglomération a monté un observatoire du bruit avec mesures permanentes par balises mobiles (solaires). Elle superpose les cartes de qualité de l'air et des nuisances sonores, et cherche à modéliser leur relation.

### → Plan climat sous l'angle du bruit

C'est pour créer une dynamique sur le bruit que Bordeaux Métropole s'est portée candidate à l'AMI de l'Ademe. Elle a un plan d'action pour un territoire durable à haute qualité de vie mais pas encore de PPBE. Son plan local d'urbanisme sanctuarise 50% du territoire en zone naturelle et agricole. En contrepartie, elle densifie le tissu urbain. Deux axes de transport collectif sont renforcés.

« Nous avons évalué notre plan climat sous l'angle du bruit, a développé Héléne Dourneau, chef de projet vulnérabilités urbaines et aménagement durable à la direction de la nature. Dans un tableau, nous donnons une couleur à l'effet - nul, convergent ou divergent - avec un commentaire. Nous en tirons des recommandations. » Sur les voies vers l'aéroport de Mérignac, l'agglomération impose la prise en compte du bruit aux porteurs de projets immobiliers.

### En savoir plus sur :

[www.territoires-climat.ademe.fr](http://www.territoires-climat.ademe.fr)

<sup>(1)</sup> Obligatoires dans les collectivités locales de plus de 50 000 habitants et à fin décembre dans celles de plus de 20 000 habitants.

<sup>(2)</sup> Aix-Marseille, Bordeaux, Dunkerque, Grenoble, Paris Saclay, Saint-Étienne avec assistance à maîtrise d'ouvrage CIDB, Énergies demain et Ademe.



© SUEZ/BUSINESS ROLL AGENCY

Centre aquatique de Levallois (Hauts-de-Seine) en partie chauffé par une récupération sur eaux usées depuis 2009.

## MOINS DE POLLUTION ET DE BRUIT GRÂCE AUX BUS RAPIDES

**Les 4 lignes de bus à haut niveau de service d'Amiens (Somme) devraient améliorer la qualité de l'air et l'ambiance sonore. L'agglomération veut abaisser la part des voitures dans les déplacements de 56% (2010) à 50% en 2023. Celle des bus va monter de 7% à 11%. Le vélo grimpera de 1,9% à 4%. La marche se maintient à un tiers.**

**Sur 3 des 4 lignes, les bus seront électriques (43 véhicules articulés de 18 m). Les batteries seront moins volumineuses grâce à une recharge en cinq minutes en bout de ligne, équivalente à un trajet\*.**

**Fin de l'opération : 1<sup>er</sup> trimestre 2019. Coût : 122 millions d'euros.**

\* Collaboration avec le Laboratoire de réactivité et chimie des solides (UMR CNRS 7314).



© AMIENS MÉTROPOLE

Un bus à haut niveau de service dans le carrefour Foch d'Amiens (Somme) dont les travaux se terminaient fin juillet.

## RÉCUPÉRATION LOCALE DE CHALEUR

La Fédération nationale des collectivités concédantes et régies veut encourager la récupération de chaleur par les collectivités. C'est facile et pas cher, selon elle. Elle publie un cahier des charges-type pour connaître et analyser le potentiel local d'un territoire en donnant la priorité à la valorisation sur site puis la diffusion via un réseau de chaleur. Le document de 30 pages n'oublie ni les sources de fraîcheur (faible chaleur en été) ni le stockage. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie estime à 120 TWh la chaleur perdue chaque année qui aurait pu être captée sur des réseaux d'assainissement, des stations d'épuration, des centres de données, des industries dont les blanchisseries, etc.

[www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/cahier\\_des\\_charges\\_etude\\_territoriale\\_chaleur\\_fatale\\_fncrr\\_v4.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/cahier_des_charges_etude_territoriale_chaleur_fatale_fncrr_v4.pdf) et [www.ademe.fr/chaleur-fatale](http://www.ademe.fr/chaleur-fatale)

### DÉPOLLUER LES SOLS SUR PLACE

Les trois quarts des terres de sites pollués finissent dans les filières de traitement. Or, il faudrait plutôt dépolluer in situ sans excavation, par aération en dépression du sol (venting) ou avec excavation, sur place, en vue de les réutiliser, selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie qui publie 2 guides sur la détermination de la composition chimique d'un sol, à l'échelle d'un territoire ou d'un site. Ainsi veut-elle que les porteurs de projet se préoccupent le plus tôt possible d'une pollution plutôt que de "tomber dessus" et de l'évacuer en décharge.



© LAURENT CHÂTEAU/ADEME

Dépollution d'un terrain par aération forcée.

### OUVRAGES D'ART EN PÉRIL

L'audit indépendant\* du réseau routier national non concédé révèle que 7 % des ouvrages d'art nécessite des réparations structurelles. Ce réseau de 12 000 km supporte 18,5 % du trafic routier. Il est entretenu et exploité par les directions interdépartementales des routes (État). Si le budget consacré à l'entretien - 666 millions d'euros par an - n'augmente pas, 6 % des ponts seront hors service en 2037.

\* Confié à Nibux et IMDM par le ministère des Transports. Cf. actualité du 10 juillet sur [www.ecologie-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologie-solidaire.gouv.fr)

## L'ÉOLIEN EN MER DÉBLOQUÉ

L'éolien en mer commercial va voir le jour. Le 20 juin, le Président de la République a donné son feu vert aux six projets lauréats des appels d'offres lancés en 2011 et 2013. C'est le fruit de mois de négociation entre l'État et les industriels qui ont accepté une baisse de 30 % du tarif de rachat de l'électricité produite par rapport à celui des appels d'offres. Le coût de cette famille d'éolien a baissé en quelques années. Ce renoncement représente 15 milliards d'euros non versés.

Les 6 projets se situent au large de Dieppe-Le Tréport, Fécamp (Seine-Maritime), Courseulles-sur-Mer (Calvados), Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor), Saint-

Nazaire (Loire-Atlantique) et îles d'Yeu et Noirmoutier (Vendée). Les parcs se situent à 10-17 km des côtes et fournissent 2 000 GWh environ par an. Ils sont porteurs de 15 000 emplois dans ces régions, selon le Syndicat des énergies renouvelables.

Avant même de connaître ce déblocage, le fabricant danois d'éoliennes LM Wind Power avait choisi Cherbourg (Manche) pour produire des pâles destinées à toute l'Europe. Le chantier de son usine s'est terminé en mars après un an de travaux.

#### → Des pâles de 80 tonnes

Un des dix bâtiments construits par Zanello, abrite la fabrication de pâles de 88,40 m et 80 tonnes. Il mesure 23 m

de haut, 213 de long et 105 de large. Des robots y évoluent.

Le site de 11,5 ha est gagné sur la mer. Cemex a livré 14 000 m<sup>3</sup> de bétons dont celui des fondations qui doit résister à l'ambiance marine. ■



© CEMEX

Chantier de l'usine de pâles de LM Wind Power à Cherbourg (Manche) en 2017.

### 6 PARCS MIS EN SERVICE ENTRE 2021 ET 2024

Lieu	Puissance totale	Mise en service *	Opérateurs	Fabricant d'éoliennes
Dieppe-Le Tréport	496 W 62 éoliennes de 8 MW	2023	Éoliennes en mer Dieppe-Le Tréport (Engie, EDP Renewables, Caisse des dépôts)	Siemens-Gamesa Renewable Energy
Fécamp	498 MW 83 éoliennes de 6 MW	2022	EDF Énergies renouvelables et Enbridge	LM Wind Power
Courseulles-sur-Mer	450 MW 75 éoliennes de 6 MW	2023	EDF Énergies renouvelables et Enbridge	LM Wind Power
Saint-Brieuc	496 MW 62 éoliennes de 8 MW	2023	Ailes marines (Iberdrola et Avel Vor)	Siemens-Gamesa RE
Saint-Nazaire	480 MW 80 éoliennes de 6 MW	2021	EDF Énergies renouvelables et Enbridge	LM Wind Power
Îles d'Yeu et Noirmoutier	496 MW 62 éoliennes de 8 MW	2024	Éoliennes en mer Île d'Yeu et de Noirmoutier (Engie-EDP Renewables, Caisse des dépôts)	Siemens-Gamesa RE

\* Estimation.

## 3,6 MILLIARDS D'EUROS POUR MODERNISER LES VOIES FERRÉES



© SNCF RÉSEAU

Changement d'aiguillage à Juvisy-sur-Orge (Essonne) en 2017.

L'État s'est engagé à consacrer 10 millions d'euros par jour à la modernisation du réseau ferré, soit 3,6 milliards sur dix ans en incluant 2017. C'est le 1<sup>er</sup> des quatre "piliers" sur lesquels repose la loi pour un nouveau pacte ferroviaire du 27 juin (loi n°2018-515).

Aux 3,6 milliards d'euros, s'ajouteront 200 millions à partir de 2022, mesure

annoncée par le Premier ministre, le 25 mai, ajoute la ministre des Transports dans un communiqué.

#### → Des trains plus fiables

« Le réseau est vieillissant et pas assez entretenu, reconnaît Élisabeth Borne. C'est la conséquence du choix d'avoir investi prioritairement dans le réseau TGV pendant des décennies, au détriment des

moyens pour les trains du quotidien. » Ce pilier du pacte vise à réduire les incidents, les ralentis sur les tronçons en mauvais état, et à augmenter le nombre de trains là où il y en a besoin.

Par exemple, depuis la rénovation en 2017 de la ligne entre Brest et Quimper (Finistère), soit 75 km, le trajet dure 1h15 au lieu de 1h45 avec plus de gares desservies. Coût : 78 millions d'euros (région 31 %, département 25,5 %, État 19 %).

#### → Rapport sur les lignes les moins empruntées

Par ailleurs, le 1,5 milliard d'euros versé par l'État dans le cadre des contrats de plan État-régions entre 2015 et 2020 est maintenu. Les contrats après 2020 dépendront d'un rapport à venir sur l'état du réseau et des circulations sur les lignes les moins empruntées. ■

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

**GARES & STATIONS** 929

**SPÉCIAL BIM 2** 934

**TRAVAUX SOUTERRAINS** 939

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX** 930

**VILLE ET PATRIMOINE** 935

**OUVRAGES D'ART** 940

**TRAVAUX SOUTERRAINS** 931

**INTERNATIONAL** 936

**SPÉCIAL INNOVATION** 941

**OUVRAGES D'ART** 932  
+ SUPPLÉMENT "SPÉCIAL 100 ANS" OFFERT

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX** 937

**SOLS ET FONDATIONS** 942

**SOLS ET FONDATIONS** 933

**SPÉCIAL GRAND PARIS** 938

**ÉNERGIE** 943

\*Offre valable jusqu'au 31/12/18



### BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 929 x | <input type="checkbox"/> 934 x | <input type="checkbox"/> 939 x |
| <input type="checkbox"/> 930 x | <input type="checkbox"/> 935 x | <input type="checkbox"/> 940 x |
| <input type="checkbox"/> 931 x | <input type="checkbox"/> 936 x | <input type="checkbox"/> 941 x |
| <input type="checkbox"/> 932 x | <input type="checkbox"/> 937 x | <input type="checkbox"/> 942 x |
| <input type="checkbox"/> 933 x | <input type="checkbox"/> 938 x | <input type="checkbox"/> 943 x |

Soit un montant total de :  
\_\_\_\_\_ numéros x 15 € = \_\_\_\_\_ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)  
\*Offre valable jusqu'au 31/12/18 et hors frais portaux (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 10,00€ d'envoi Europe et 12,50€ d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

**JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :**

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_  
 Entreprise \_\_\_\_\_ Fonction \_\_\_\_\_  
 Adresse \_\_\_\_\_  
 Code postal [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville \_\_\_\_\_  
 Tél. : \_\_\_\_\_ Fax : \_\_\_\_\_  
 Email : \_\_\_\_\_  Merci de ne pas communiquer mon adresse mail  
 Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 ÉVIDENCE**

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

## 2<sup>e</sup> LIGNE DE TRAMWAY À ANGERS EN 2022

Trois filiales de Colas vont participer à la construction de la 2<sup>e</sup> ligne de tramway d'Angers (Maine-et-Loire). Cette ligne reliera Belle-Beille, à l'ouest de la métropole, à Monplaisir, au nord-est, en 2022.

La métropole a confié les voies ferrées à Colas Rail, soit plus de 10 km, ainsi que l'agrandissement du centre de remisage des rames. La ligne B sera végétalisée à 80%. Ce chantier commence fin 2018 et dure jusqu'à mi-2021. Montant du contrat : 42 millions d'euros. Par ailleurs, le secteur Ouest des aménagements de part et d'autre des voies seront réalisés par Colas Projects (mandataire), Colas Centre-Ouest avec Travaux Publics des Pays de Loire. Démarrage en mai 2020 pour une livraison en juin 2022. Montant : 20,7 millions d'euros.

Colas Rail et Colas Centre-Ouest avaient participé à la 1<sup>re</sup> ligne du tramway en 2011.



© COLAS

Vue de la 1<sup>re</sup> ligne du tramway.

## RACHAT DE LA SABLIERE DE VRITZ

Lafarge-Holcim France a racheté la sablière de Vritz (Loire-Atlantique). Le site d'extraction de sables alluvionnaires dispose d'un permis d'exploiter jusqu'en 2045.

## L'AGGLOMÉRATION DE LILLE STOCKE LES EAUX DE PLUIE



© CEMEX

Réservoir-tampon de 37 m de diamètre et 27 de profondeur.

La Métropole européenne de Lille (Mel) construit des réservoirs d'eau. Le premier, à Roubaix, retient les eaux de pluie afin qu'elles n'engorgent pas les égouts. Les eaux usées et pluviales empruntent le même réseau.

Ce réservoir-tampon du quartier du Brondeiroire peut recevoir 23500 m<sup>3</sup>. Il sera recouvert d'un espace vert. Il mesure 37 m de diamètre sur 27 m de profondeur. Son couvercle en béton, composé

de prédalles et poutres précontraintes fabriquées à l'extérieur et positionnées en étoile, repose sur douze poteaux de 25 m.

### → Piliers coulés en deux parties

Les piliers ont été formés en deux parties, sur 14 m puis sur 11 m. Le coffrage était constitué de banches sur 9 niveaux de 2,80 m de haut.

Cemex a fourni les bétons autoplaçants nécessaires car la grande hauteur exclut

les vibrations. Ils doivent résister à la pollution des eaux usées, notamment les hydrocarbures de chaussée.

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : Mel ; bureaux d'études : Merlin (projet), Sogea Caroni ; entreprises : Sogea Caroni et Botte Fondation.

Par ailleurs, la Mel a installé une cuve extérieure qui récolte les eaux de pluie pour arroser les jardins aménagés sur la friche de la fonderie Fives Cail (faubourg dans l'est de Lille).

### → 1800 m<sup>3</sup> d'eaux de pluie pour l'arrosage

La cuve peut contenir 1800 m<sup>3</sup>.

Les parois mesurent 37,5 cm d'épaisseur sur 9,80 m de haut. Sa forme en trèfle et sa couleur, du béton rouge, rappellent le passé industriel du site. Les feuilles du trèfle ont été réalisées en quatre coulages à la pompe par 4 cheminées.

Maîtrise d'ouvrage : Soreli (Sem de rénovation et restauration de Lille) ; maîtrise d'œuvre : Caruso St John Architects ; bureau d'études : ACR Amiens ; entreprise : Holibat ; bétons : Cemex. ■

## LE CSTB MODIFIE SA VEINE DYNAMIQUE

Une partie de la soufflerie d'essais du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) de Nantes (Loire-Atlantique) va être agrandie.

Le centre d'essais thermique et aérodynamique propose trois veines sur un total de 5000 m<sup>2</sup>. Peuvent y être mis à l'épreuve du vent des ponts, des trains, etc., à l'échelle réelle. Une chambre expérimentale combine des températures extrêmes de -32°C à +55°C avec du vent jusqu'à 140 km/h. La veine thermique est entourée du circuit dynamique où le "courant d'air" peut monter à 280 km/h.

### → 3 millions d'euros

Ce site du CSTB<sup>(1)</sup>, baptisé Jules Verne, est en cours d'agrandissement jusqu'en novembre.

Le premier bâtiment avait été construit en 1988 par Spie Batignolles et complété en 1993. C'est la même entreprise qui est chargée du génie civil de l'extension-rénovation. La maîtrise d'œuvre est confiée à Ceris Ingénierie, mandataire, avec le cabinet d'architecture Arch.IC.

Montant : plus de 3 millions d'euros. La géométrie de la veine dynamique est modifiée afin d'optimiser le champ aérodynamique. Le reste des équipements d'essais continuent de fonctionner pendant le chantier.

### → Renforts de la structure

Spie Batignolles Grand Ouest, après démolition partielle et la création de voiles et poteaux de grande hauteur, pose des

renforts de structure de grande portée. Les travaux comprennent l'agrandissement des locaux et des portes d'accès, le traitement aéro-acoustique des turbines et un nouveau transformateur électrique. ■

<sup>(1)</sup> Le CSTB dispose d'autres sites d'essais à Grenoble (acoustique), Sophia-Antipolis (énergie, numérique, environnement) et Marne-la-Vallée (multi domaines).



© ARCHIC

Vue du centre d'essais après rénovation.

## PASSAGE À NIVEAU SUPPRIMÉ, QUARTIER RÉNOVÉ



Cette rue, maintenant en tranchée, est empruntée par 16 000 véhicules par jour.

Les travaux de suppression du passage à niveau n°20 à Molsheim (Bas-Rhin) et son remplacement par une tranchée couverte s'étalent sur un an et demi. Les barrières ont cessé de descendre et monter en juin 2017.

Le passage fait partie des 50 à supprimer en priorité sur la liste dressée par SNCF Réseau. Il était fermé trois heures par jour pour laisser filer 128 trains vers Saint-Dié-des-Vosges (Vosges) ou vers Sélestat (Bas-Rhin). De plus, 16 000 véhicules dont 500 camions empruntent cette rue. Piétons et cyclistes sont nombreux dans ce secteur de la gare.

### → Pôle multimodal

L'opération s'accompagne de la transformation de la gare en pôle multimodal,

son adaptation aux personnes à mobilité réduite, l'implantation de pistes cyclables, le réaménagement de deux carrefours proches et l'embellissement de l'entrée sud de la ville.

### DEUX MAÎTRISES D'OUVRAGE

- **Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre route et coordination : conseil départemental du Bas-Rhin.**
- **Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre ferroviaire et génie civil : SNCF Réseau.**
- **Entreprises : groupement Eiffage Génie Civil (mandataire) avec Eiffage route (terrassément) et Pro-Fond (parois moulées).**

Le tout pour plus de 25 millions d'euros payés à 50 % par l'État et SNCF Réseau, à 20 % par le département du Bas-Rhin, 20 %, par la région Grand-Est et 10 % par Molsheim.

Les travaux ont consisté à créer deux parois moulées de 400 m descendant à 14 m de profondeur pour recevoir les tabliers provisoires du pont, ce qui fut fait en août 2017. Les tabliers définitifs ont été préfabriqués à proximité et ripés en place au printemps 2018.

### → Butons hydrauliques

Les parois sont maintenues par des butons le temps d'enlever les terres sous le pont et de couler les radiers sur une épaisseur jusqu'à 1 m.

Eiffage Génie Civil, chargée des travaux, a opté pour des butons et des liernes hydrauliques avec lesquels le personnel est plus en sécurité, la manutention et la pose étant moins compliquées.

Un technicien de Groundforce a formé les équipes. ■

## BOUGUES AU PAYS DE GALLES ET EN AUSTRALIE

Bouygues UK, filiale de Bouygues Construction, va construire le campus de l'innovation de l'Université de Cardiff (Pays-de-Galles). Le chantier de 134 millions d'euros prend place sur une ancienne gare de triage. Les travaux commencent en septembre pour se finir en 2021. Par ailleurs, Bouygues Bâtiment International, également filiale de Bouygues Construction, a confirmé le rachat de Austin William Edwards (Australie).

## SOCOTEC INVESTIT L'ITALIE ET LE BIM

Socotec a acquis Dimms, groupe italien spécialiste des études géophysiques et géotechniques sur site, des essais et analyses en laboratoire de sols, roches et matériaux de construction. L'organisme de contrôle de la construction met ainsi un pied en Italie dans les régions de Milan, Naples, Bologne et Ancone.

De plus, le groupe français a signé des partenariats avec des éditeurs de logiciels de vérification intervenant dans le Bim. Ainsi propose-t-il de certifier les compétences des personnes, le niveau d'intégration du Bim dans une entreprise, la concordance entre maquette numérique et ouvrage réel, ou encore la possibilité d'utiliser cette même maquette en phase exploitation.

## ALLIANCE ÉCHANGES D'ÉNERGIE

Greenflex et Blockchain Partner ont décidé d'exploiter les retours d'expérience de l'échange d'électricité renouvelable entre producteurs décentralisés : industries, collectivités, particuliers. Ils le font à travers Abbel qui fédère les acteurs de la filière et l'Afnor.

Ainsi, entendent-ils favoriser les échanges payants grâce à une blockchain, système de transfert de données par paquets sécurisés entre deux utilisateurs, sans organe central de contrôle.

## BARAQUES DE CHANTIER À ÉLECTRICITÉ SOLAIRE

Des capteurs solaires photovoltaïques alimentent en électricité une base vie d'un chantier au pied de la tour Eiffel à Paris. L'entreprise Darras & Jouanin expérimente l'électricité solaire assistée par un accumulateur et, éventuellement, un groupe électrogène. La consommation en carburant du groupe s'en trouve réduite.

### → 12 kWh en stock

Quatre capteurs de 335 W sont installés sur le toit du bâtiment modulaire. La batterie peut stocker jusqu'à 12 kWh. Le passage de l'une à l'autre source

de courant se fait automatiquement. C'est la première fois que l'entreprise recourt à ce mode de production d'énergie sur un chantier de la Compagnie parisienne de chauffage urbain (filiale de Paris et d'Engie) où il s'agit de déplacer 400 m d'une canalisation pour sécuriser le parvis de la tour.

### → Déblais sur péniche

Par ailleurs, les déblais du terrassement sont transportés par un ou deux camions par jour vers la Seine, acheminés en péniche vers un centre de valorisation puis réintègrent les tranchées. ■



Les 4 capteurs solaires sur le toit de la base vie au pied de la tour Eiffel.

© DARRAS & JOUANIN

### BÉTONS POUR TUNNEL À LASER

Des bétons spécifiques ont été produits par Lafarge-Holcim pour le tunnel de 3,4 km qui abrite un laser à rayons X, près d'Hambourg (Allemagne). Onze pays européens contribuent à l'European XFEL avec lequel des scientifiques étudieront la structure de la matière.

L'équipement émet des flashes très puissants capables de cartographier les détails atomiques de virus, de filmer des réactions chimiques et d'étudier des processus internes aux planètes. Lafarge-Holcim Deutschland a fourni plusieurs bétons dont un lourd, facile à pomper, servant à la radio protection et un autre adapté aux fonds marins. L'industriel a aussi développé des produits à teneur réduite en aluminium, natrum, silice et magnésium, perturbateurs des mesures au laser. Certaines combinaisons contiennent très peu de silice.



Tunnel de 3,4 km pour rayon laser hyper puissant.

### FIBRES DE RENFORT

Des fibres macro-synthétiques en copolymère se mélangent au ciment des chapes fluides Sika pour réduire le risque de fissures et accroître la résistance aux chocs. Ces chapes sont désolidarisées du support par un polyane.

Elles conviennent pour les locaux à forte sollicitation (P4), au ciment coulé sur isolant phonique ou thermique les plus compressibles et aux planchers chauffants.

## OUTIL NUMÉRIQUE DE CHANTIER



La tablette est le bon format pour lire des plans, ici sur un chantier SNCF Réseau entre Paris et Bordeaux.

Le personnel de chantier peut être relié au bureau ou à une base vie par un outil numérique. La tablette convient mieux qu'un téléphone intelligent, à l'écran trop petit, et que l'ordinateur, trop encombrant.

Finalcad propose une solution sur tablette où le conducteur de travaux ou le chef de chantier trouvera, sans quitter le terrain, les informations dont il a besoin et vérifiera que tout a été réalisé comme projeté.

L'éditeur de logiciels construit la solution à partir des plans fournis par l'entreprise. Il ne conserve que ce qui concerne la construction. Il maille le plan, découpe par zone et par objet, et y raccroche des listes de choses à faire, à confirmer ensuite. Cette liste permet de contrôler par exemple si un mur est au bon endroit. Sinon, un défaut est signalé et il y est remédié.

Si besoin, le conducteur de travaux interroge quelqu'un à distance et y ajoute une

photo. Des faits marquants sont enregistrés comme un retard de livraison ou une plainte de riverain.

#### → Travail connecté ou non

L'opérateur travaille en étant relié à une plate-forme internet ou hors connexion après avoir rapatrié les données dont il a besoin.

Finalcad a d'abord conçu son système pour le bâtiment et le développe pour les travaux publics, notamment à travers un partenariat avec Eiffage. Il a été utilisé par SNCF Réseau sur la ligne Paris-Bordeaux et l'est actuellement sur le renouvellement du RER A, sur la modernisation de la ligne 4 du métro parisien, et pour les travaux du tramway de Bordeaux.

#### → Analyse centralisée des défauts

Les chefs de chantier disposent de la situation du tronçon de voie et sa description dans le détail. La non-conformité d'un point remonte dans le système jusqu'à la plate-forme "centrale" de l'entreprise.

L'ensemble de ces données est analysé afin de détecter des défauts récurrents par type d'ouvrage par exemple, et d'y remédier pour le prochain chantier. ■

## RENFORCEMENT DE BUSES : DE L'INNOVATION À L'EXPÉRIMENTATION

Le système de renforcement de buses métalliques de S&P Renforcement prend seulement 3 cm sur l'épaisseur de la paroi. Il convient quand la zone de marnage (radier) est corrodée sans qu'il y ait atteinte à la structure (épaisseur de tôle encore acceptable) et pour les petits diamètres (inférieurs à 2,50 m).

Le procédé<sup>(1)</sup> a été retenu au même titre que 7 autres projets par le comité d'innovation routes et rues (direction des infrastructures du ministère de la Transition écologique) lors de l'appel à innovation "routes et rues" 2018.

Il s'agit d'un mortier projeté sur un treillis en fibres de carbone fixé par des connecteurs électro-soudés. « Sa légèreté facilite la mise en œuvre dans les endroits difficiles d'accès, » constate Frédéric Marty, chef du bureau d'études ouvrages d'art au service d'ingénierie routière de Mende-Montpellier (Dir Méditerranée) qui a assisté la Dir Massif

Central dans son utilisation sur deux tronçons<sup>(2)</sup>.

#### → Guide en préparation

« Suite à cette sélection du produit, nous entrons dans une 2<sup>e</sup> phase, ajoute-t-il. Nous allons suivre son comportement, cette fois en réparation structurelle, sur un tronçon en le chargeant progressivement de l'intérieur par vérins. Le Cerema avec qui nous préparons un guide de réparation des buses, nous accompagne dans cette expérimentation. »

En septembre 2015, une buse s'était rompue sur l'autoroute A75 près de Lodève (Hérault) qui avait dû être coupée. Un entretien spécialisé évite de telles situations. ■

<sup>(1)</sup> Partenaires : S&P Renforcement France, Gauthier (applicateur Sud-Ouest), Cofex Méditerranée (applicateur Sud-Est), Idetec (diagnostic ouvrages d'art).

<sup>(2)</sup> Direction interdépartementale des routes (État). Cf. : [www.enroute.mediterranee.equipement.gouv.fr/la-dir-mediterranee-innove-pour-l-entretien-a1141.html](http://www.enroute.mediterranee.equipement.gouv.fr/la-dir-mediterranee-innove-pour-l-entretien-a1141.html)



Projection de mortier avant pose du treillis en carbone sur une buse de l'A75.

### MATÉRIEL D'AIDE À LA DÉCONSTRUCTION, À LA DÉMOLITION ET AU RECYCLAGE



© DEMAREC

Pince à béton hydraulique 25 % plus puissante.

Le Syndicat des entreprises de déconstruction, dépollution et recyclage (Seddre) a attribué les prix de l'innovation du ressort, jusqu'au 1<sup>er</sup> juin, du Syndicat national des entreprises de démolition avant sa fusion avec le Syndicat des recycleurs du BTP.

Le 1<sup>er</sup> prix est revenu à Serfim Recyclage pour la séparation du gypse de la brique dans les briques plâtrières. Le procédé est complété par la valorisation des deux

produits en cours de développement avec Vicat.

#### → Boîte à matériel contaminé

Deux finalistes étaient en compétition avec Serfim. Twinga Contractor présentait une brouette électrique, mini-dumper capable de lever 1 tonne à 1,71 m, et Sols machines services proposait une boîte où enfermer le matériel contaminé lors d'un désamiantage (Polubox). Le coup de cœur du jury s'est porté sur

un godet de chargeuse qui arrose grâce à des orifices qui s'ouvrent et se ferment (Natural Tech). La chargeuse transporte de l'eau dans son Dumpo et la libère, par exemple, sur les pistes pour plaquer la poussière au sol.

Parmi les autres dossiers prétendant à une distinction, citons une pince à béton "dopée" par des vérins hydrauliques qui en augmente la puissance de 25 % par rapport à un modèle conventionnel, selon Demarec qui la fabrique.

#### → Ponceuse à trois têtes télécommandées

Autre "trouvaille" : la ponceuse de surfaces horizontales de grande dimension à trois têtes télécommandées (Blastrac). Ainsi, l'opérateur travaille-t-il en retrait lors d'un désamiantage.

Sogelink a conçu une version de terrain du logiciel Amiante 360 qui mesure l'exposition des salariés, sur tablette.

Lapro a mis en avant une entrée d'air à ouverture variable spécifique aux chantiers de désamiantage. De forme carrée, Airway Flow mesure 42 cm de côté. Elle est à la fois entrée d'air de compensation et de réglage grâce à une guillotine, conforme aux recommandations Carsat/INRS, Cramif.

#### → Gérer les bennes

Artemise a proposé un service de collecte et démantèlement de détecteurs de fumée dans une filière industrielle agréée.

Enfin, du côté des bennes de gravats, Océan de Smart Tracking Tag les géolocalise, et Vabene, application sur téléphone mobile de Suez, permet d'en commander une, son vidage et son retrait. ■

### GROUPES ÉLECTROGÈNES COUPLÉS

Le Twinpower est un conteneur de 20 pieds doté de deux groupes compacts de 725 kVA capables de fonctionner un par un, ou en parallèle. Ils peuvent être raccordés à d'autres groupes ou sur le secteur.

Le partage en deux, propre à ce modèle de la gamme Qac 1450, économise 10 % de carburant selon Atlas Copco qui le commercialise. Cette configuration facilite la maintenance, une unité continuant de fonctionner quand l'autre est à l'arrêt.



© ATLAS COPCO

Les groupes fonctionnent seuls ou en parallèle.

### CARTOGRAPHIE MOBILE

Le Two Ultimate de Leica Pegasus se compose d'outils depuis la capture de l'existant - rues, ouvrages d'art, voies de chemin de fer, etc. - jusqu'à la visualisation des données collectées, leur partage, extraction, stockage sur un système d'informations géographiques. Ces données qui relèvent du travail du géomètre, alimentent la maquette numérique d'un milieu urbain.

Mobile, il se pose sur le toit d'un véhicule. Une caméra filme à 360° et quatre autres sont latérales.



© LEICA GEOSYSTEMS

Les caméras sur le toit d'un véhicule.



© NATURAL TECH

Le godet de la chargeuse s'ouvre pour libérer l'eau.

## PROTÉGER LES MILIEUX AQUATIQUES EN PHASE CHANTIER

Les milieux aquatiques doivent être protégés lors d'un chantier. Un premier guide sur ce thème paraît suite au travail de l'Agence française de la biodiversité, du Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, de Biotope, du ministère

de la Transition écologique et solidaire et d'acteurs des travaux publics. Le document technique de 152 pages, téléchargeable, présente les bonnes pratiques à partir de retours d'expérience, les dispositifs techniques et leur dimensionnement.

Il identifie un milieu aquatique et les risques d'impacts. Il aborde les rejets accidentels, la lutte contre l'érosion, les écoulements de surface, les sédiments et polluants à piéger.

[www.afbiodiversite.fr](http://www.afbiodiversite.fr) ■



## ACCESSIBILITÉ DE L'ESPACE PUBLIC DANS LES PETITES COMMUNES

Rendre l'espace public accessible aux personnes à mobilité réduite profite aux personnes âgées et à tous les piétons.

L'ouvrage sur l'accessibilité des petites villes et villages recense 23 opérations considérées comme exemplaires par le

Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, qui le publie.

Ces opérations qui incluent la gestion des eaux et du foncier et s'accompagnent d'une rénovation paysagère et d'une mise en valeur du patrimoine, contribuent

à rendre les centres villes plus confortables donc plus fréquentés.

Ce "recueil de belles pratiques" de 232 pages est téléchargeable à condition de laisser ses coordonnées.

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr) ■



**TRAVAUX**  
REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.**  
Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

**Prochains numéros :**

- TRAVAUX n° 945 « International »
- TRAVAUX n° 946 « Travaux maritimes et fluviaux »



**Bertrand COSSON**

Tél. 01 42 21 89 04

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)

## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 3 ET 4 OCTOBRE

**Maintenance des ouvrages de génie civil**

Lieu : Labège (Haute-Garonne)  
www.le-pont.com

#### • 4 OCTOBRE

**70 ans du Comité français de mécanique des sols et de géotechnique**

Lieu : Paris  
www.cfms-sols.org

#### • 16 AU 19 OCTOBRE

**67<sup>e</sup> congrès de l'industrie minière**

Lieu : Clermont-Ferrand  
www.lasim.org

#### • 28 AU 31 OCTOBRE

**Cycle de vie en génie civil**

Lieu : Gand (Belgique)  
www.ialcce2018.org

#### • 7 AU 10 NOVEMBRE

**BFUP et structures**

Lieu : Fuzhou (Chine)  
http://2018uhpc.fzu.edu.cn/conf/

#### • 13 AU 15 NOVEMBRE

**Rock Slope Stability (C2rop)**

Lieu : Chambéry (Savoie)  
www.c2rop.fr/symposium-rss-2018/

#### • 14 ET 15 NOVEMBRE

**Journées techniques du Groupe-ment pour la recherche sur les échangeurs**

Lieu : Aix-les-Bains (Savoie)  
www.greth.fr

#### • 20 AU 22 NOVEMBRE

**Salon des maires et des collectivités locales**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.salondesmaires.com

#### • 27 AU 30 NOVEMBRE

**Pollutec**

Lieu : Lyon  
www.pollutec.com

#### • 11 DÉCEMBRE

**Energy Class Factory (performance énergétique et hydrique, usines et infrastructures)**

Lieu : Lyon (Cité internationale)  
www.ademe.fr

### FORMATIONS

#### • 1<sup>er</sup> AU 3 OCTOBRE

**Bonnes pratiques chantier : préservation cours d'eau et zones humides**

Lieu : Égletons (Corrèze)  
https://formation.afbiodiversite.fr

#### • 6 AU 8 NOVEMBRE

**Conception des ouvrages de protection du littoral**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 7 AU 9 NOVEMBRE

**Aménagements fluviaux : digues et berges**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 12 ET 13 NOVEMBRE

**Acceptabilité des chantiers urbains**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 20 ET 21 NOVEMBRE

**Enjeux de la connaissance du potentiel éolien**

Lieu : Paris  
www.metrol.fr

#### • 27 AU 30 NOVEMBRE

**Montage de parcs éoliens en France et analyse globale des projets**

Lieu : Bonneval (Eure-et-Loir)  
www.metrol.fr

#### • 5 DÉCEMBRE

**Eurocode 8 ouvrages d'art : résistance aux séismes, approfondissement**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 4 AU 7 DÉCEMBRE

**Piloter l'exécution d'un chantier d'ouvrage souterrain**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

**L'arrêt signifie régression**

**Réparation sur site de marches d'escalator**

- Service de réparation fiable et rapide
- Temps de réparation très courts
- Pas de démontage/remontage des escaliers
- Économie de coûts allant jusqu'à 50 %
- Certifiée DEKRA

**Weber Tec GmbH**  
info@webertec-escalator.com  
www.webertec-escalator.com

**EsCare**

### NOMINATIONS

#### CEREMA :

Pierre Jarlier préside le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. Il remplace Patricia Blanc qui avait succédé fin décembre dernier, à Gaël Perdriau, démissionnaire.

#### CNPP :

Bernard Durand a été désigné président de l'association Centre national de prévention et de protection à la suite de Claude Delpoux.

#### ENGIE :

Paulo Almirante est nommé directeur des opérations du groupe. Il conserve la direction générale adjointe des centres de profit pour l'Europe, le Brésil, le Moyen-Orient, l'Asie centrale et du sud et la Turquie, ainsi que la responsabilité sociale et environnementale.

#### POLYTECHNIQUE :

Éric Labaye remplace Jacques

Biot à la présidence de l'école d'ingénieurs.

#### SER :

Florence Lambert préside la commission industrie, emplois et innovation du Syndicat des énergies renouvelables à la suite d'Ignace de Prest.

#### SNCF :

Gilles Mergy prend la direction du réseau territorial de SNCF immobilier. Il succède à Lucette Vanlaecke amenée à d'autres fonctions dans le groupe.

#### SNPB :

Duarte Da Costa remplace Alain Dachary à la présidence du collège Grand-Ouest du Syndicat national du pompage du béton.

#### UNIFEF :

Sandrine Gourlet a été élue présidente de l'Union des ingénieurs des ponts, des eaux et des forêts. Elle remplace Thierry Dallard, président de la Société du Grand Paris.

SCMF

# UN SECTEUR QUI RECRUTE ET RÉCLAME DES APPELS D'OFFRES PUBLICS PAR ALLOTISSEMENT

UNE CROISSANCE RETROUVÉE POUR UN SECTEUR QUI ÉPROUVE NÉANMOINS DES DIFFICULTÉS À EMBAUCHER. UNE PERCEPTION TROP SOUVENT ARCHAÏQUE DE LA PROFESSION, BIEN LOIN DE LA RÉALITÉ. LE SOUHAIT D'IMPOSER DES APPELS D'OFFRES PAR ALLOTISSEMENT POUR LES MARCHÉS PUBLICS AFIN NOTAMMENT DE PALLIER LA VENUE D'UNE SOUS-TRAITANCE ÉTRANGÈRE À BAS COÛTS. TELLES SONT QUELQUES-UNES DES GRANDES LIGNES DES PROPOS DE ROGER BRIAND, PRÉSIDENT DU SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE DE FRANCE (SCMF), QUI DÉFEND AVEC DÉTERMINATION UNE PROFESSION À LAQUELLE ON DOIT NOMBRE D'OUVRAGES REMARQUABLES DANS NOTRE PAYS. **ENTRETIEN AVEC ROGER BRIAND, PRÉSIDENT DU SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE DE FRANCE.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1

## Comment le secteur de la construction métallique se situe-t-il sur le marché français ?

Le secteur de la construction métallique en France emploie plus de 15 000 salariés répartis entre bureaux d'études, usines de fabrication et chantiers pour le montage des structures. Avec 800 entreprises recensées sur l'ensemble du territoire français en 2017, le secteur voit ses activités progresser.

Le chiffre d'affaires réalisé par le secteur est estimé à 3,6 milliards d'euros, dont 9 % à l'export. Il comprend des ouvrages d'art, des bâtiments industriels, des bâtiments agricoles, des bâtiments commerciaux et de logistiques, des équipements de sports et de loisirs tels que stades, arenas, équipements sportifs, parkings aériens...

En cette fin d'année, un premier bilan des activités de la construction métallique française confirme la reprise économique amorcée depuis 2016, avec un taux de croissance de +5,49 % 2017 et +4 % annoncés sur 2018 : la production annuelle 2018 devrait dépasser les 700 000 t.

## Comment l'activité est-elle assurée ?

L'activité est essentiellement assurée par l'investissement, qu'il soit privé ou public, les investissements publics se faisant plus rares en raison de la baisse des dotations de l'État aux collectivités. Toutefois, le programme du Grand Paris et l'objectif des Jeux Olympiques en 2024 devraient redonner du souffle à la commande publique.

FIGURE 1 © SCMF - FIGURE 2 © ARFORIA - FIGURE 3 © SCMF



2



3

La croissance est retrouvée pour un secteur qui éprouve néanmoins des difficultés à embaucher. En effet, trop souvent encore, les métiers de la construction métallique souffrent d'une perception archaïque, bien loin de la réalité. Les ateliers actuels disposent de lignes de fabrication automatisées très performantes résolument orientées vers la numérisation et la robotisation. Avec une préfabrication en usine, ce sont des mécanos géants qui arrivent sur les sites de montage. Des montages réalisés sur des chantiers propres anti-poussière, anti-gravats et avec zéro déchet. En matière de respect de la planète, faut-il aussi rappeler que l'acier est un matériau recyclable et indéfiniment recyclé.

### Quel est le taux des capacités de production du secteur industriel français ?

Le taux d'activité de la filière construction s'avère étroitement lié au taux d'utilisation des capacités de production des entreprises de France. En examinant les données, force est de constater que depuis le début de l'année 2017 et en 2018, les valeurs de ce taux se sont redressées doucement pour atteindre 80,6% à fin octobre 2017 ainsi qu'au premier trimestre 2018.

Au-delà d'un taux de 80%, il a toujours été constaté un accroissement très net des investissements des entreprises manufacturières et notamment en construction de bâtiments industriels. Pour rappel, 76% des bâtiments industriels sont réalisés en construction métallique.

Depuis quelques années, du fait de l'évolution du e-commerce, la construction de surfaces d'entrepôts logistiques est en progression. Alors que les qualités structurelles de la construction

## LE SCMF EN BREF

**L'organisme a été fondé en 1886 par une poignée d'entrepreneurs, parmi lesquels Gustave Eiffel, sous le nom de Chambre Syndicale des entrepreneurs de construction métallique de France et n'a cessé depuis d'exister, même aux heures les plus sombres de la deuxième guerre mondiale.**

**Le 31 août 1962 est créé, sous l'impulsion du SCMF, le Centre technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM), régi par la loi n°48-1228 du 22 juillet 1948 définissant le statut juridique des centres techniques industriels, auquel est alors transféré l'ensemble du personnel technique de la Chambre Syndicale.**

**Les deux structures, juridiquement indépendantes, travaillent de façon étroite et complémentaire au développement de la Construction Métallique.**

**La Chambre Syndicale, changeant de raison sociale en 1969, devient alors le Syndicat de la construction métallique de France.**

**Roger Briand est président du SCMF depuis décembre 2010.**

**1- Roger Briand, président du Syndicat de la Construction Métallique de France.**

**2- Vue aérienne des bâtiments de La Samaritaine.**

**3- Perspective du chantier de rénovation de La Samaritaine.**

**4- Chantier de rénovation de la Grande Halle de la gare de Paris-Austerlitz.**

**5- Vue d'ensemble du bâtiment de la Poste du Louvre.**

métallique sont avérées, celle-ci n'est pas toujours retenue pour construire les très grands entrepôts. Elle reste très compétitive sur le marché des entrepôts de taille moyenne, entre 2000 et 5000 m<sup>2</sup>.

### La profession souffre-t-elle des mêmes besoins de recrutement que les autres secteurs des travaux publics et du bâtiment ?

Si le SCMF se réjouit de renouer avec la croissance, la profession précise qu'elle se heurte à des difficultés de recrutement à tous les niveaux.

Pas assez connus, les métiers souffrent d'une image dégradée qui n'éveille pas suffisamment l'intérêt des chercheurs d'emplois et des jeunes étudiants.

Les écoles qui forment à nos métiers ne sont pas en nombre suffisant et, surtout, ne sont pas toujours bien adaptées

à la formation spécifique à nos métiers. Nos entreprises emploient des titulaires de BTS mais aussi des ingénieurs provenant notamment de l'ENSAM<sup>(1)</sup> pour nos bureaux d'études. Contrairement à une idée trop souvent répandue, une entreprise de construction métallique dispose d'un bureau d'études important qui conçoit, dimensionne et dessine les ossatures qu'elle fabrique et met en œuvre sur site.

Consciente qu'elle souffre encore d'une image de pénibilité associée aux métiers de la sidérurgie, la profession s'est organisée. Elle va notamment s'investir pour mieux informer sur les avantages, la technicité, l'attrait de ses métiers (ateliers modernes, automatisés, robotisés, équipés d'imprimantes 3D...) auprès des conseillers d'éducation, des enseignants, comme du grand public.

Parfaites et récentes illustrations de cette démarche, notons que l'APK (Association pour le développement des formations aux métiers de la construction métallique), en collaboration avec les entreprises et l'Éducation Nationale, vient de proposer un nouveau BTS : "architectures en métal : conception et réalisation".

Et le SCMF lance, sur son site "SCMF.eu", une bourse d'emplois afin de donner plus de visibilité aux demandes des entrepreneurs. Parallèlement, soulignons qu'un programme de promotion des métiers est à la réflexion pour un déploiement en 2018.

D'autres travaux de grande ampleur ont été lancés en 2018 pour sensibiliser les plus jeunes. "Serious games" et autres outils pédagogiques multimédias visant du collège aux écoles d'ingénieurs sont sur la table, l'objectif étant de créer des vocations et répondre aux besoins des entreprises. ▶

© DR



© SCMF



6- Évolution du tonnage usiné en construction métallique.

7- Évolution du carnet de commandes.

8- La lumière et la valorisation de l'existant sont deux fondamentaux du projet de rénovation de la Cité de l'Économie et de la Monnaie (Citéco).

9- Le chantier de l'ancien Hôtel Gaillard appelé à devenir la Cité de l'Économie et de la Monnaie (Citéco).

### Comment la profession est-elle organisée au niveau de la recherche et de l'innovation ?

Le SCMF est étroitement lié au CTICM (Centre Technique de la Construction Métallique) qui est le bureau de recherches de la profession. Il est constitué d'entreprises à taille humaine, dont les effectifs sont généralement de l'ordre de 50 à 250 salariés, elles n'ont pas toutes les capacités financières pour disposer de leur propre bureau de recherches.

Le CTICM, avec ses 70 ingénieurs-chercheurs est aussi le centre de référence scientifique et technique de la profession des constructeurs métalliques de France depuis plus de 55 ans. Comme pour les autres CTI, il repose sur un modèle économique avec deux grandes sources de financement : les ressources propres, obtenues essentiellement grâce à des études et diagnostics confiés par des donneurs d'ordre

privés et publics, et les ressources collectives, correspondant à une taxe parafiscale, versée par chaque entreprise ressortissante, qu'elle soit adhérente ou non du SCMF, sur la base du volume de sa production en constructions métalliques.

Cette seconde part, qui se situe actuellement à hauteur de 5 millions d'euros, représente aujourd'hui un peu plus de la moitié du budget du CTICM et lui permet de mener au mieux ses missions de création, codification, diffusion et valorisation des connaissances au service de tous.

Depuis quelques années, l'État en recherche de financement à mis en

place un plafonnement sur le montant de cette taxe fiscale perçue par le CTICM.

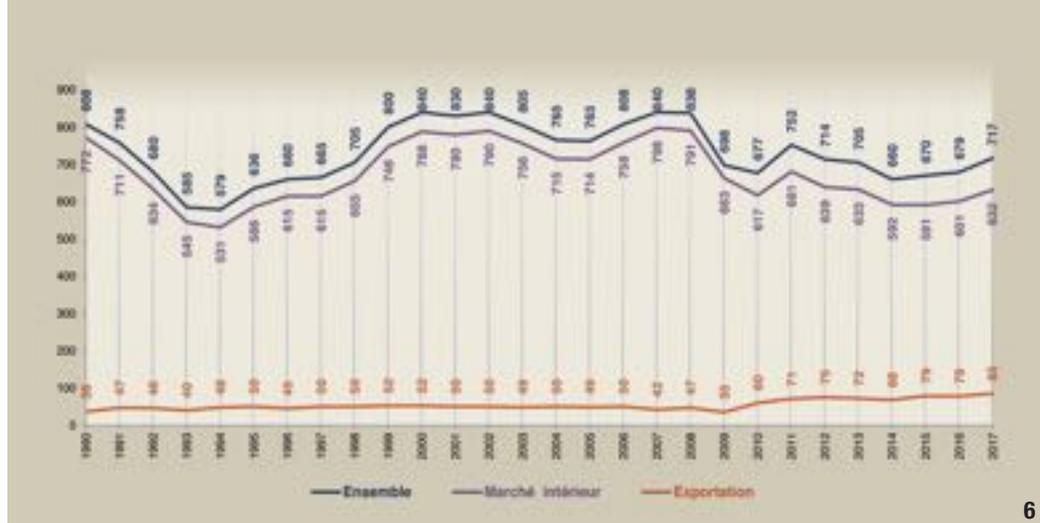
Tout ce qui se situe au-dessus du plafond est récupéré par l'État.

Ainsi, le plafonnement de cette taxe, instaurée depuis la loi de finances 2012, prive le CTICM de marges de manœuvre, notamment pour développer de nouveaux logiciels de calcul, aider la profession à conforter ses compétences dans l'ingénierie de la sécurité incendie, émettre des guides et recommandations, s'impliquer dans les commissions européennes de normalisation pour défendre les positions de la construction métallique française,

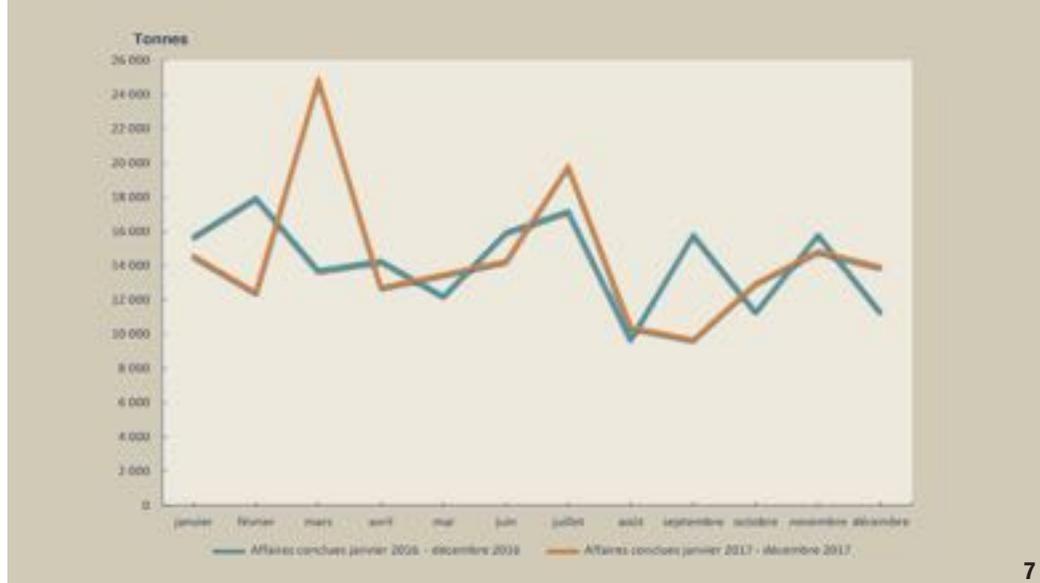
ou encore dans plus de projets de recherche en France et sur la scène européenne.

La profession continue à dénoncer fortement ce principe anti-économique en demandant qu'en période d'embellie comme celle constatée actuellement, le plafond puisse, a minima, être relevé et adapté à la hausse de la production.

Alors que les pouvoirs publics incitent les entreprises à participer aux plateformes régionales d'innovation, aux pôles de compétitivité, à investir en recherche et développement pour ainsi mettre sur le marché des produits différenciés qui assurent l'activité future



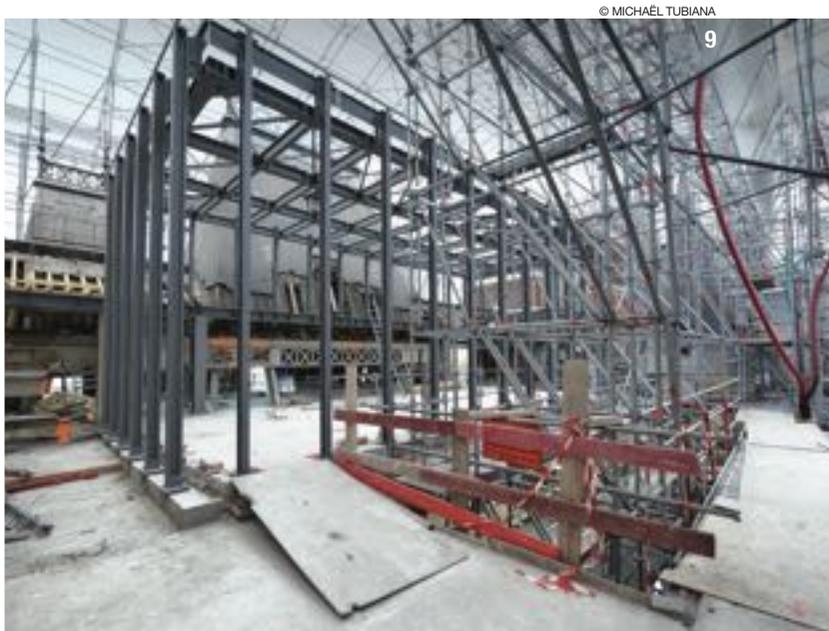
6 © SCMF



7 © SCMF



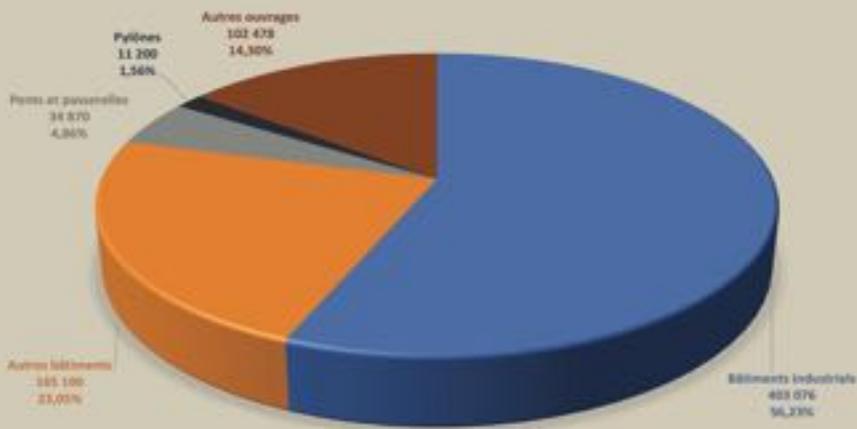
8



9

© BANQUE DE FRANCE ATELIER S.LION ASSOCIÉS

© MICHAËL TUBIANA



10



11

10- Évolution des marchés par type d'ouvrages.

11- Taux d'utilisation des capacités de production de l'industrie française.

12- Le vélodrome national de Saint-Quentin-en-Yvelines.

13- La nouvelle passerelle piétonne entre le quartier d'affaires Cœur d'Orly et l'aérogare Orly Sud réalisée par le groupement Baudin Chateaufort/Valérian.

de nos entreprises, nous sommes très surpris par cette mesure de l'État qui vient paradoxalement dégrader les ressources du CTICM en instituant un plafonnement sur le montant de la taxe parafiscale versées par les entreprises de notre filière alors que son rôle est essentiel pour le développement de nos entreprises.

Des études et des recherches sont également menées pour mettre au point des systèmes constructifs mixtes (métal et béton/bois/verre) ou démontables, à l'instar du système Demodolor où quatre solutions constructives sont proposées pour la déconstruction ou la rénovation des bâtiments futurs grâce à

une approche systématique de démontabilité dès la conception. D'autres pistes font l'objet de R&D : l'approche BIM, le comportement du métal (solidité, séisme, performance énergétique), le dimensionnement optimisé basé sur une approche scientifique...

**Quelle est la position du SCMF en ce qui concerne les appels d'offres publics ?**

Si le code des marchés publics, au travers de la loi du 9 décembre 2016, prévoit de privilégier l'allotissement plutôt que de recourir au marché en entreprise générale, il n'est pas tou-

jours possible pour l'acheteur public de respecter cette recommandation, par exemple s'il n'est pas en mesure d'assurer lui-même la mission à réaliser, ne serait-ce que pour des raisons purement techniques de compétence ou de capacité industrielle.

C'est ainsi que bon nombre de marchés, surtout les plus importants, sont passés en mode entreprise générale. Dans ce cas, l'acheteur public bénéficie du confort d'un interlocuteur unique, mais les effets sont pervers.

Trop souvent, certains lots sous-traités par l'entreprise générale sont confiés à des entreprises étrangères bien que les études en aient été faites, avant l'appel

d'offre, par des entreprises françaises. Le savoir-faire français est ainsi récupéré au niveau de la conception mais le choix final est dicté par des raisons financières, le maître d'ouvrage étant écarté de facto d'un choix final pourtant financé par les deniers publics.

Cette démarche, que nous pouvons comprendre dans le cas de marchés privés, nous paraît inacceptable pour des marchés publics, car l'État se prive de rentrées fiscales importantes (CFE, CVAE, cotisations fiscales...). La concurrence avec les entreprises étrangères est de ce fait déloyale.

Une mesure pourrait régler ce problème : rendre nécessaire pour les entreprises générales d'indiquer dans leur offre les noms des entreprises sous-traitantes des lots principaux - tel que celui de la construction métallique - avec obligation de les conserver lorsqu'elles se voient attribuer le marché.

Cette règle simple permettrait aux décideurs publics d'aboutir à un achat responsable en connaissance de cause et globalement économique pour la commande publique. >

© BRIAND CONSTRUCTION MÉTALLIQUE



12

© BAUDIN CHATEAUFORT/VALÉRIAN



13

## Comment la construction métallique s'intègre-t-elle dans la démarche désormais quasiment obligatoire de développement durable ?

Il est important de rappeler à ce sujet qu'en termes de développement durable, 75% des produits mis en œuvre par les constructeurs métalliques français sortent des aciéries électriques françaises, et s'avèrent 100% recyclables à l'infini, avec la même qualité. Réaliser des constructions entièrement démontables et réutilisables, en droite ligne de l'économie circulaire, très en vogue aujourd'hui, fait partie de notre ADN depuis bien longtemps ! En matière de recyclage, nous ne le disons pas assez, l'acier est le matériau le plus vertueux.

L'acier est indéfiniment et entièrement recyclable et sans altération de ses qualités. Par ses propriétés magnétiques et sa valorisation, il se trie très facilement, ce qui en fait le matériau le plus recyclé dans le monde.

Dans le cadre de rénovation ou de réhabilitation, la construction acier démontre toute sa pertinence et autorise toutes les audaces architecturales. Elle est adaptée en construction, en réhabilitation, mais aussi en surélévation et extension grâce à la légèreté des structures ou la préfabrication en atelier pour faire revivre des bâtiments prestigieux, notamment en milieu contraint. Entre autres récentes et emblématiques références, citons : La Samaritaine, la Bourse de Commerce de Paris, l'ancien bâtiment du Virgin Mégastore qui sera inauguré fin 2018 et accueillera les "Galeries Lafayette et Channel..." ou encore les nombreuses verrières des nouvelles gares (Montpellier, Rennes...). Un savoir-faire mis aussi en lumière au travers de nombreuses références



14

récentes au nombre desquelles la réhabilitation de la Gare d'Austerlitz, la Poste du Louvre, La Cité de l'Économie et de la Monnaie de Paris, le pont ferroviaire de Thouré sur Loire, le pont-transbordeur de Martrou sur la Charente.

### Quelques commentaires sur ces différentes opérations à commencer par La Samaritaine.

Fermé depuis 2005, le grand magasin parisien de La Samaritaine fait l'objet d'un chantier de réhabilitation très complexe mêlant rénovation, restructuration et construction neuve. Fait rare pour être souligné, l'ensemble des techniques constructives concerne le matériau métal et fait appel à des savoir-faire du 19<sup>e</sup> et du 21<sup>e</sup> siècle. Les bâtiments des architectes Frantz Jourdain et Henri Sauvage construits en 1905 et 1928 sont entièrement à ossature métallique. Mandatés par Vinci Construction, CSS International se concentre sur le bâtiment Sauvage tandis que SMB s'occupe de la partie Jourdain.

Plus de 2 300 t de charpente et 30 000 m<sup>2</sup> de plancher en structure mixte sont en cours de création.

SMB réalise aussi sur ce même îlot le bâtiment de la rue de Rivoli 7 niveaux de planchers à ossature métallique. Soit plus de 1 000 t et 12 000 m<sup>2</sup> de surface de plancher mixte pour un total de plus de 3 300 t de charpente et 42 000 m<sup>2</sup> de plancher sur l'ensemble du chantier.

### La gare d'Austerlitz ?

Le lot couverture et charpente métallique de la rénovation de la Grande Halle de la gare de Paris Austerlitz, des verrières latérales et du Tympan Valhubert a été confié au Groupement Baudin Châteauneuf/Dumanois/Lassarat. Les travaux menés ont concerné la dépose de la couverture vitrée et opaque ainsi que le renforcement de la charpente métallique grâce à un concept de pannes, arbalétriers et empannons. Le groupement a aussi géré le remplacement des vitrages du tympan et des verrières latérales et la pose de la couverture en zinc avec remplacement

des chéneaux, tout comme la pose de la couverture en verre Stadip et la création de cheminements en toiture. Enfin, le groupement a opéré une réfection de la protection anticorrosion sur la charpente métallique et sur les lambris.

### La Poste du Louvre ?

Inaugurée en 1888 pour accueillir l'Hôtel des Postes, en lieu et place de l'Hôtel d'Armenonville, La Poste du Louvre vit depuis 2012 une reconstruction lourde (80 millions d'euros). En effet, le dossier retenu, signé de l'architecte Dominique Perrault lors d'un concours européen, propose un projet architectural et urbain, à usage mixte. Le lot Charpente Métallique a été confié à l'entreprise Auer qui a ainsi réalisé les mises au point, le calcul, le traçage, la fabrication et la pose de plus de 2 000 t de charpente métallique !

Et les chiffres sont à la hauteur du chantier : 2 600 heures de calculs (2 ingénieurs internes et un externe), 7 500 heures de dessin (saisie charpente, réalisation des attaches et dos-



© OPPIC

15



© OFFICE DE TOURISME DE ROCHEFORT Océan

16

sier pour fabrication), 7500 heures en atelier pour 16000 heures travaillées sur site. Notons de plus qu'Auer a géré également la fourniture et la pose des planchers techniques (10 000 m<sup>2</sup> de plancher acoustique en Cofradal 200 et 10 000 m<sup>2</sup> de plancher coupe-feu en Cofrastra 40) tout comme l'étude, la fourniture et la pose de 13000 m<sup>2</sup> de peinture intumescente.

### La Cité de l'Économie et de la Monnaie ?

Dans le cadre d'un projet pédagogique et citoyen, la Banque de France a lancé la création d'une Cité de l'Économie et de la Monnaie - Citéco -, en lieu et place de l'ancien Hôtel Gaillard dans le 17<sup>e</sup> arrondissement à Paris.

Cet édifice construit au XIX<sup>e</sup> siècle et classé aux Monuments Historiques en 1999, fait actuellement l'objet d'une importante restauration de la part de CCS International, en sous-traitance de la société Dumex, notamment pour le renfort et la transformation des structures métalliques. En effet, habillée de pierre, la structure porteuse de l'hôtel Gaillard s'avère en fait entièrement métallique et rivetée.

La mission de CCS International consistait plus précisément à renforcer et transformer les structures existantes en sous-sol et dans les étages afin d'assurer une mise aux normes de la loi ERP et accessibilité. Ainsi, CCS International est venue greffer, par soudure, des charpentes métalliques contemporaines à celles existantes.

Soulignons aussi pour ce chantier le travail de renfort mené en sous-oeuvre dans des mansardes très exigües avec une accessibilité particulièrement difficile (toutes les opérations de montage et de levage ont ainsi été réalisées au moyen d'une mini-grue araignée).

Enfin, si la lumière et la valorisation de l'existant sont deux fondamentaux du projet, notons que les Ateliers Lion Associés, gagnants du concours, ont imaginé la création d'une extension en structure métallique depuis la terrasse (qui a été réaménagée en toiture).

### Dans le domaine des ouvrages d'art ?

Le pont-transbordeur de Martrou, près de Rochefort, classé aux Monuments historiques depuis 1976, demeure le dernier pont-transbordeur existant en France. C'est au XIX<sup>e</sup> siècle que sa construction fut envisagée pour répondre à la demande de la population. La difficulté technique était de trouver un système qui n'entrave pas la navigation maritime. En effet de nombreux navires de la Marine empruntent à cette époque le fleuve Charente menant à l'Arsenal de Rochefort.

**14- Représentation du pont-transbordeur de Martrou en 1900.**

**15- Projection du pont-transbordeur de Martrou après rénovation.**

**16- La nacelle du pont-transbordeur est suspendue à un chariot à l'aide câbles entrecroisés.**

**17- Image de synthèse du futur pont de la Rivière des Galets à La Réunion.**

**18- Le " Grand Pont " de Thouaré-sur-Loire après rénovation.**

L'ouvrage est constitué de deux pylônes de 66,25 m de hauteur et d'un tablier de 175,50 m auquel est suspendue une nacelle de 14,50 m de longueur dont le déplacement est assuré par un chariot circulant le long de rails fixés sur le tablier.

Le pont-transbordeur bénéficie d'une opération de restauration de grande ampleur menée par le ministère de la Culture sous le pilotage de l'OPPIC<sup>(2)</sup>. L'entreprise Baudin Châteauneuf est en charge des travaux sous la responsabilité du maître d'œuvre, Philippe Ville-neuve architecte en chef des Monuments historiques.

L'objectif principal de ce chantier d'entrevure est de restituer l'état originel du tablier imaginé en 1900 par Ferdinand Arnodin. Le tablier actuel sera démonté puis remplacé par un nouveau tablier construit sur le site même en 2018. Il sera assemblé par rivetage. Les éléments les plus sollicités du Pont Transbordeur seront remplacés : le tablier, les escaliers de service, les câbles de suspension, les selles en tête de pylône, les roues du chariot de la nacelle... La nacelle, datant de 1993, sera aussi restaurée et le Pont Transbordeur sera repeint dans sa couleur d'origine : le noir.

Pour les deux ponts-cages de Thouaré-sur-Loire, Grand Pont et pont du Haut Village, construits en 1882, permettant le franchissement de la Loire à l'est de Nantes, l'ensemble de la structure métallique a été renforcée et rénovée. Sur le Grand Pont, la chaussée d'origine a été remplacée par une dalle en BFUP de 2400 m<sup>2</sup>, plus légère de 50 %, ce qui a permis l'ajout d'encorbellements cyclables. L'opération, confiée à Bouygues TPRF renouvelle l'approche en matière de réhabilitation de structure métallique.

**Bien que ce numéro de Travaux soit consacré à la maintenance des infrastructures, pourriez-vous, en conclusion, présenter brièvement un chantier de construction neuve qui illustre les capacités des entreprises françaises de construction métallique ?**

Celui du pont de la Rivière des Galets à La Réunion constitue une excellente illustration.

Il s'ouvre au bout du monde à 9000 km d'Arpajon-sur-Cère d'où est originaire la société Matière qui a réalisé cet ouvrage.

Par-delà l'océan, sur ce bout de France dans l'océan Indien qu'est l'île de la Réunion, du Cirque de Mafate jusqu'au Port coule la Rivière des Galets.

Cette rivière qui, certes, fait vivre la région, sépare aussi les hommes.

Heureusement, grâce entre autres à la Construction Métallique, il est possible de les réunir avec de superbes ponts.

C'est le défi relevé par Matière et les autres entreprises qui se lancent dans la construction d'un grand viaduc routier. Mener à bien un tel projet est un challenge qu'il faut savoir relever.

C'est là qu'intervient le talent des constructeurs métalliques.

Avec deux tabliers de 430 m de long et près de 4500 t d'acier, c'était un défi logistique que d'amener ces pièces usinées en métropole jusqu'au département français ultramarin. Ce fut possible grâce à la convergence des différents talents impliqués dans ce chantier. □

1- **ENSAM** : École nationale Supérieure d'Arts et Métiers.

2- **OPPIC** : Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la Culture.

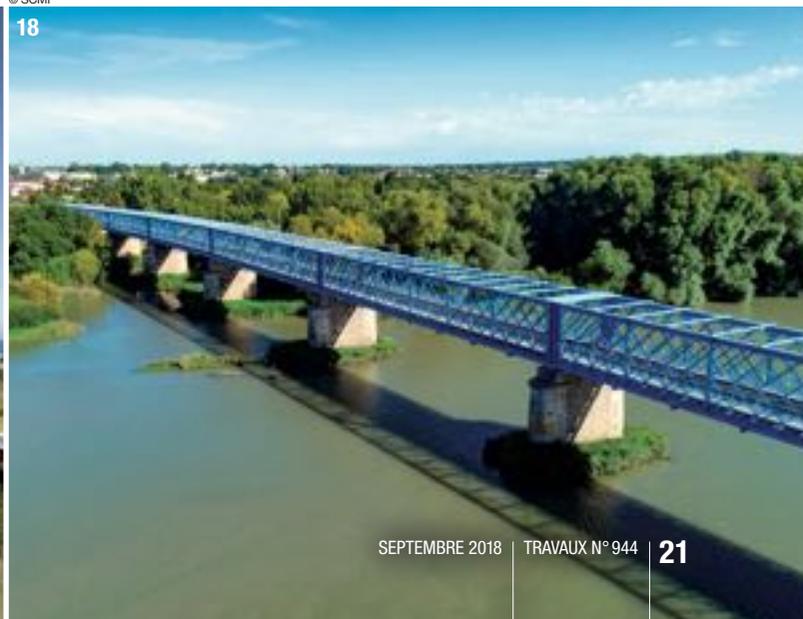
© MATIÈRE

17



© SCMF

18





© POA  
1

# STRRES LE VIEILLISSEMENT DE NOS STRUCTURES EST UNE RÉALITÉ

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

IL DISPARAÎT PAR OBSOLESCENCE, EN FRANCE, UN PONT PAR JOUR. POURQUOI FRANCHIRIONS-NOUS UN PONT DONT LA STRUCTURE PRÉSENTE UN GRAVE DANGER ? POUR REMÉDIER À CETTE CONSTATATION ET RÉPONDRE À CETTE QUESTION, LE STRRES PROPOSE DES SOLUTIONS : MIEUX CONNAÎTRE CE PATRIMOINE EN LE SITUANT ET EN L'IDENTIFIANT, C'EST-À-DIRE EN LUI CRÉANT UNE VÉRITABLE CARTE D'IDENTITÉ, ÉVALUER SON ÉTAT DE SANTÉ PAR UN DIAGNOSTIC COMPLET, PRESCRIRE LES ACTIONS CORRECTIVES, ÉTABLIR UN " CARNET D'ENTRETIEN " ATTACHÉ À CHAQUE OUVRAGE ENFIN, ET CE N'EST PAS LE MOINS IMPORTANT, RÉALISER LES TRAVAUX NÉCESSAIRES. CHRISTIAN TRIDON FAIT LE POINT SUR L'ACTION DE CE SYNDICAT QU'IL ANIME ET QU'IL PRÉSIDE DEPUIS 2002.

Le STRRES, Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures, a été créé en 1982 à l'initiative d'un petit groupe d'entrepreneurs qui, dans le cadre de la FNTP, se sont rassemblés pour définir

les bases d'une structure regroupant les entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie Civil. Créé en 1982, il rassemble à ce jour environ 80 entreprises de Travaux

**1- Le pont de la Girafe à Féricy, en Seine-et-Marne (époque très ancienne).**

publics (membres actifs) et une quinzaine de membres correspondants (fabricants de produits et de matériels). Dans un premier temps, ils ont participé à la publication des guides - les "guides verts" - décrivant les prescriptions à respecter en vue d'entretenir, réparer

## 2- Christian Tridon, président du STRRES.

ou renforcer les structures existantes, quelle que soit la nature des matériaux qui les composent, ce qui est devenu un véritable métier depuis quelques décennies déjà.

« En effet, précise Christian Tridon, la conservation et l'amélioration du parc d'ouvrages, avec le souci de le maintenir apte à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu et de préserver l'environnement est, de nos jours, une exigence fondamentale. Ces ouvrages sont la base de notre développement économique. Ils en sont donc les outils indispensables ».

Ce fait n'a pas échappé au monde du génie civil et c'est ainsi que, autour des années 1980, en précurseurs donc, l'AFPC (l'Association française pour la construction), la FNTP (Fédération nationale des travaux publics), le SNBATI (Syndicat national du béton armé et des techniques industrialisées) et le STRRES (Syndicat national des entrepreneurs de travaux de réparation et de renforcement de structure) ont rédigé une série de guides, bien connus sous le nom de "guides verts", intitulés comme suit :

- **Fascicule 1** : Guide général,
- **Fascicule 2** : Reprise du béton dégradé,
- **Fascicule 3** : Béton projeté,
- **Fascicule 4** : Traitement des fissures et protection du béton,
- **Fascicule 5** : Précontrainte additionnelle,
- **Fascicule 6** : Tôles collées,
- **Fascicule 7** : Réparation et renforcement en fondation,
- **Fascicule 8** : Maçonnerie d'ouvrages d'art.

Ces guides présentaient l'avantage de regrouper des informations jusque-là extrêmement dispersées dans les différents organismes ou services techniques intervenant dans le secteur du Génie Civil (LCPC, SETRA, SNCF, EDF) et de définir les bases d'une méthodologie de réparation. D'autant que les premiers effets de la décentralisation commençaient à se faire sentir et qu'il devenait urgent de mettre à la disposition des entreprises des documents techniques définissant et facilitant leurs interventions.

À noter, qu'en 1994, certains d'entre eux ont été repris intégralement dans la rédaction des normes françaises de



## CHRISTIAN TRIDON : UN PARCOURS ATYPIQUE

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

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

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

ADS a également travaillé dans la reconnaissance de la sécurité des tunnels ferroviaires.

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

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

À cet ensemble s'ajoute une société en Roumanie, dans le même secteur d'activité, avec des financements européens (FASEP).

Soit un total d'une dizaine de petites entreprises de travaux et d'expertises totalisant environ 200 personnes.

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

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

Il est également président du Conseil de l'Ordre des tuteurs des travaux publics, d'ASCO-TP (association pour la connaissance des TP) et organise depuis 23 ans, un colloque (association " Le Pont ") qui se déroule tous les ans en octobre à Toulouse (2 jours avec environ 400 participants) dont le thème générique est la maintenance des ouvrages de génie civil. Il est aujourd'hui organisé conjointement avec l'AFGC.

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

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

la série 95-100 traitant des réparations de structure :

- **NF-P 95-101** : Reprise du béton dégradé,
- **NF-P 95-102** : Béton projeté,
- **NF-P 95-103** : Traitement des fissures,
- **NF-P 95-104** : Précontrainte additionnelle,
- **NF-P 95-106** : Réparation et renforcement des fondations,
- **NF-P 95-107** : Maçonnerie.

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

À noter que le référentiel de la future NF-P 95-105 sur le Renforcement par armature extérieure collée est en cours.

## DES GUIDES QUI FONT RÉFÉRENCE

Le temps passant, les techniques proposées ont évolué et se sont diversifiées. De nouveaux développements sont apparus et la normalisation, tant nationale qu'europpéenne, s'est développée et s'est imposée, rendant les textes existants insuffisants et incomplets. Bien conscient de cette réalité, le STRRES, avec l'appui de la FNTP, s'est attaqué, à partir de 2004, à la rédaction d'une collection de nouveaux documents, véritable encyclopédie sur le sujet.

Quatre grandes familles ont été traitées :

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

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

« Avec l'aide financière de la FNTP, poursuit Christian Tridon, précisément en la personne de son président Daniel Tardy et du président de sa commission technique François Vahl, le STRRES a ainsi créé un comité de pilotage d'une quinzaine de personnes constitué d'entrepreneurs et d'experts en provenance d'horizons différents, reconnus dans la profession afin d'établir et de publier 19 guides qui représentent aujourd'hui près de 4000 pages et dont la publication exclusivement numérique mais qu'il est possible d'imprimer s'est échelonnée jusqu'en 2012 ».



3

© STRRES

À l'intérieur de ces familles, les rédacteurs se sont toujours adressés à trois acteurs principaux : le prescripteur, l'entrepreneur, le contrôleur.

Chacun d'eux en retirera les éléments qui lui sont nécessaires à l'accomplissement de sa tâche. Outre les informations techniques relatives au chapitre traité, tous y trouveront des informations générales liées à la sécurité et à la protection de l'environnement ainsi que des rappels aux normes (françaises et européennes) et à diverses directives, réglementations et recommandations. En introduction à chaque famille, un chapitre est consacré au rappel technologique du matériau ou de la technique traitée. Ils ont été rédigés par des experts choisis parmi les meilleurs dans leur spécialité. Ces experts ont travaillé sous le contrôle et suivant l'avis d'un comité de pilotage organisé au sein du STRRES et composé de professionnels reconnus, provenant d'entreprises, de maîtres d'ouvrage, de maîtres d'œuvre, et d'organismes scientifiques.

Ils présentent les techniques actuelles d'entretien, de réparations ou de renforcements des structures, le cadre normatif dans lequel elles doivent être mises en œuvre ainsi que les exigences diverses (sécurité des personnes et protection de l'environnement) qui doivent être prises en compte. Ils s'inscrivent dans une démarche générale qui doit impérativement être respectée et qui mérite d'être rappelée.



4

© STRRES

**3- Le viaduc de Toupin (1904), à Saint-Brieuc, œuvre de l'ingénieur Harel-de-la-Noë.**

**4- Nacelle à déport négatif au travail sur le Pont-Neuf (1607), à Paris.**

Elle se décline en 4 actions principales qui sont :

- Le dépistage (surveillance, inspections),
- Le diagnostic (ensemble des actions permettant de préciser l'état de l'ouvrage),
- La préconisation (prescrire les actions correctives à prévoir),
- L'action corrective (toutes actions de maintenance ou de réparation permettant la remise ou le maintien à niveau de l'ouvrage).

#### **DU DIAGNOSTIC À L'ACTION**

Ces guides sont des aides à "la préconisation" et à "l'action corrective". Pour la rédaction de ces guides, les auteurs ont considéré que les phases amont, telles que la détection et le diagnostic, avaient été précédemment exécutées, et correctement exécutées. En effet, l'action corrective ne peut être efficace que si le diagnostic a été correctement posé.

Ce diagnostic préalable analyse les désordres, recherche leurs causes et, dans la mesure du possible, propose leur élimination. Cette analyse très approfondie, réalisée en tenant compte de la nature de l'ouvrage et du respect de sa destination, conduit à un projet de travaux qui doit être bâti dans les meilleures conditions économiques souhaitables, en s'appuyant sur les moyens modernes d'investigation et sur les techniques faisant l'objet des différents guides.

« Il ne faut cependant pas perdre de vue, précise le président du STRRES, au cours de la réalisation des travaux de réparation, leur spécificité parti-

**5- Le barrage de Bimont (1952) à Saint-Marc-Jaumegarde dans la montagne Sainte-Victoire.**

**6- Le barrage-voûte et barrage à contreforts de Roselend (1962) à Arèches-Beaufort en Savoie.**

**7- Travaux sur les voûtes du barrage-réservoir de Pannecière (1949), en amont de Paris.**

culière. En effet, lorsque l'on touche à l'existant, et ceci quel que soit la qualité du diagnostic, la réalité peut se révéler différente de ce qui avait pu être appréhendé ».

Des modifications ou des adaptations peuvent alors devenir nécessaires et celles-ci ne peuvent se faire que s'il existe une parfaite collaboration entre les différents intervenants : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entrepreneur.

« Ces guides ne sont pas de simples "recettes" à la disposition d'acteurs non expérimentés, poursuit-il. Ils s'adressent, de la même manière que n'importe quel document technique, à

des professionnels dont le niveau d'expérience et de compétence permet l'interprétation des conseils qui y sont donnés ».

Ils ont été élaborés sur la base des notions techniques et scientifiques connues à ce jour, au vu des pratiques et des retours d'expérience collectés auprès des intervenants dans chacune des spécialités traitées, le STRRES n'intervenant pas dans le choix des techniques et de leur mise en œuvre pour un projet donné. Ils doivent bien évidemment continuer à s'adapter aux techniques et aux exigences sociales et environnementales dans lesquels s'inscrivent ces types de travaux. ▷



© STRRES  
5



6  
© OUEST ACCRO



7  
© SEINE GRANDS LACS



8

© SNCF IGOA

Pour cela, le STRRES veille, en profitant du retour d'expérience dont les lecteurs voudront bien lui faire part, à la mise à jour de ces documents.

À noter qu'ils sont en cours de "labellisation" auprès de l'IDRRIM (Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité).

Leur rédaction s'est achevée en 2012 mais, le premier datant de 2005, les responsables du STRRES se sont aperçus, qu'entre-temps, de nombreuses modifications étaient intervenues à telle enseigne qu'il convenait d'actualiser leur contenu.

À cet effet, a été mis en place un COPIREV (Comité de Pilotage de Révision), qui fonctionne depuis 2013 et reprend les guides un à un en y apportant les modifications liées notamment à de nouvelles normes ou de nouvelles directives. Quatre ont déjà été révisées et la démarche est en cours de poursuite pour les autres.

Parallèlement est entreprise la rédaction d'un vingtième guide consacré à la protection des ouvrages métalliques. Il est possible qu'il soit disponible à la fin de l'année 2018.

En complément de ce travail de fond, le STRRES poursuit son action de promotion auprès de tous les acteurs de la profession - maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre - il organise des journées techniques, des visites de chantier et participe à l'ensemble des groupes de travail liés aux ouvrages d'art.

Dans ce registre, les "Info-Flash" du STRRES sont très appréciés des professionnels du domaine. Sous forme d'un petit-déjeuner, entre 8h et 10h, il y est traité une technique particulière, avec

l'introduction faite par un "Monsieur Loyal", personnalité neutre et reconnue, suivie d'un débat sur le sujet traité. À titre personnel, Christian Tridon organise chaque année le colloque "Le Pont" dont la 23<sup>e</sup> édition se tiendra, comme les précédentes, à Toulouse en collaboration avec l'AFGC (Association Française de Génie Civil) et l'IMGC (Ingénierie Maintenance Génie Civil), équivalent du STRRES en ingénierie, à destination d'un public formé de collectivités territoriales, de sociétés d'autoroutes, de représentants de la SNCF, d'EDF, centré sur les pathologies des ouvrages d'art.

**8- Le viaduc en maçonnerie de Cize-Bolozon, reconstruit en 1950, à Bourg Bellegarde dans l'Ain.**

**9- Le pont en arc de la Caille (1928), conçu par Albert Caquot, à Cruseilles en Haute-Savoie.**

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



9

© STRRES



© STRRES 10

11

au niveau européen. La première réunion de ce groupe "pont" de la FIEC s'est réunie en avril 2018.

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

### TROIS GRANDES ÉPOQUES

Pour le STRRES et son président Christian Tridon, l'histoire de la construction

**10- Le pont Saint Pierre en poutre en treillis type Warren reconstruit en 1987 à Toulouse.**

**11- Les premiers aciers performants sont apparus dès 1920.**

**12- Le pont Saint Michel en béton précontraint à béquilles en "V" (1962), conçu par Eugène Freyssinet, à Toulouse.**

peut être classée en trois grandes époques en ce qui concerne le vieillissement des structures.

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

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

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



© STRRES 12



13

© FHENRY



14

© STRES

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

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

« Les premiers aciers performants apparaissent dès 1920 tandis que le

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

À partir des années 50, on a reconstruit en France plus de 5 000 ponts.

**13- Des gabions "XXL" pour éviter les affouillements sous le pont de Pierre à Bordeaux (1822).**

**14- Réparation du pont sur l'Essonne, à Ormoy (autoroute A6).**

**15- Restauration du pont suspendu d'Ancenis sur la Loire.**

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

Les pathologies sont beaucoup plus importantes et évolutives.

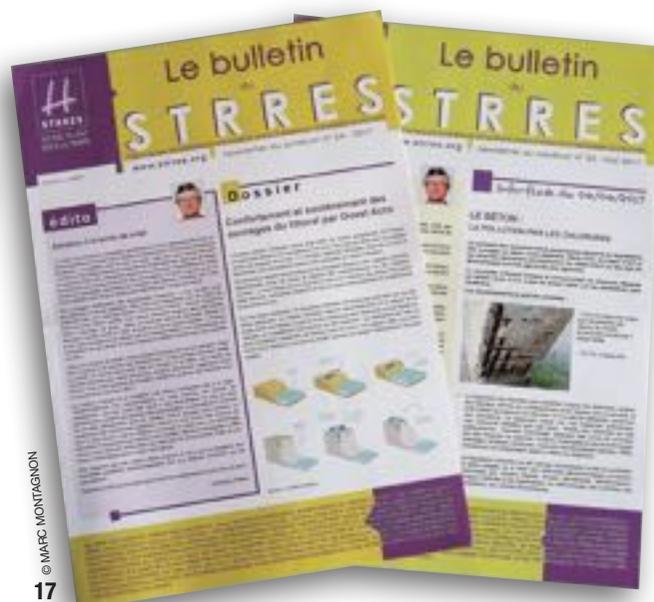
#### UN REGARD SUR LES PONTS

Nous comptons, en France, 1 million de km de voies routières et 30 000 km de voies ferrées. Ce patrimoine regroupe environ 200 000 ponts sur



15

© SNCF IGOA



voie routière et 50000 sur voie ferrée. Il se compose de 60% de ponts en maçonnerie (pierre ou brique) principalement antérieur au XX<sup>e</sup> siècle, 30% de ponts en béton armé et béton précontraint, 10% de ponts métalliques. « Ce sont les ouvrages postérieurs à 1950 (béton armé et précontraints), précise Christian Tridon, qui nous posent aujourd'hui les plus gros problèmes. Leur matériau et leur technicité en font des ouvrages fragiles qui entrent dans leur 3<sup>e</sup> tiers de vie. Ils nécessitent donc beaucoup d'attention, surveillance, diagnostic, entretien courant, travaux de réparation, voire pour nombre d'entre eux, des travaux de renforcement lourds ».

« Nous estimons la valeur neuve d'un pont entre 2500 et 3000 €/m<sup>2</sup> de surface de tablier. Le coût de surveillance et d'entretien courant devrait correspondre annuellement, à environ 1% de cette valeur, soit 25 à 30 €/m<sup>2</sup>. Le tablier d'un pont moyen (en France) est estimé à 400 m<sup>2</sup>. Le budget nécessaire pour l'entretien des ponts routiers seuls devrait être de l'ordre de 200 000 x 400 m<sup>2</sup> x 25 euros soit environ 2 milliards/an. Ces ponts représentent à eux seuls une valeur neuve d'environ 200 milliards d'euros. Leur âge moyen est de 60 ans ».

À ce chiffre viennent, bien entendu, s'ajouter les travaux de remise en état (lorsqu'un ouvrage n'a pas été entretenu depuis très longtemps) ainsi que les travaux de renforcement dans le cas de déficiences importantes.

Une étude récente à laquelle a participé le STRRES précise que le budget moyen qui devrait être affecté aux ponts pour leur maintien en bon état devrait être de 25 euros HT/m<sup>2</sup> de tablier par an.

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

Les conséquences d'une mauvaise maintenance apparaissent dès lors clairement, ainsi que l'indique le président du STRRES, car le mal principal dont souffrent ces ouvrages des années 50 est principalement la corrosion : « Pour les structures en béton armé et précontraint, 50 ans en moyenne après leur construction, le mariage heureux du béton et de l'acier s'avère aujourd'hui

source de désordres du fait des réactions internes entre la chaux contenue dans le béton et les agents extérieurs (CO<sub>2</sub>, chlore...). Pour les structures en acier, l'oxydation naturelle provoque la corrosion du métal ».

« Ce qui est plus grave, précise Christian Tridon, est que ce mal ne peut être mis en évidence que par un spécialiste. Alors que la dégradation d'une route est visible de tout un chacun et ne présente pas de risque majeur si ce n'est celui de l'inconfort, voire de l'insécurité, celle d'un pont peut entraîner son effondrement, ainsi que le montrent malheureusement plusieurs exemples en Europe et aux États-Unis ».

« La valeur neuve d'un pont construit aujourd'hui est estimée entre 2500 à 3000 euros/m<sup>2</sup>, sa valeur d'entretien étant donc de l'ordre de 1%. Ce n'est pas ce que l'on fait. On en est même assez loin. Le vieillissement de nos structures est une réalité. L'investissement dans le domaine de l'entretien est plus que jamais nécessaire si nous voulons conserver à ces ouvrages un bon état de service et de sécurité ». C'est effectivement la première fois dans l'histoire de la construction que nous sommes confrontés à des problèmes de vieillissement structurel aussi rapides.

Les pathologies qui affectent le béton armé notamment nous sont assez bien connues. Leur progression est (à l'échelle du temps) très rapide.

Nous maîtrisons les techniques d'entretien et de protection qui permettent de prolonger la vie des ouvrages.

Il est absolument nécessaire que leur gestionnaire en prenne conscience, afin de conserver ce patrimoine clé de notre développement social et économique. □

## DES " GUIDES VERTS " AUX " RECOS-STRRES "

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

- NF P 95 101 reprise béton dégradé
- NF P 95 102 béton projeté
- NF P 95 103 traitement des fissures
- NF P 95 104 précontrainte additionnelle
- NF P 95 106 réparation et renforcement des fondations
- NF P 95 107 maçonnerie

**Soit 19 guides répartis en 4 familles :**

- FABEM : béton et maçonnerie
- FAME : métal
- FAFO : fondations
- FAEC : équipements d'ouvrage

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

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

**Sous forme de fiches de 3 ou 4 pages, les RECOS-STRRES présentent la tâche, son mode opératoire et proposent un plan de contrôle.**



1

© SEINE GRANDS LACS EPTB

# BARRAGE DE PANNECIÈRE : TRAVAUX DE MISE AUX NORMES DES ACCÈS

AUTEURS : PHILIPPE LENOIR, DIRECTEUR TECHNIQUE, OUEST ACRO - LUC BOISNARD, PRÉSIDENT, OUEST ACRO

**LE BARRAGE DE PANNECIÈRE, SITUÉ SUR LA RIVIÈRE YONNE AU NORD DE CHÂTEAU-CHINON (58), RETIENT UN LAC-RÉSERVOIR MIS EN SERVICE EN 1950. C'EST LE PLUS ANCIEN DES OUVRAGES GÉRÉS PAR SEINE GRANDS LACS EPTB. DES TRAVAUX DE RÉALISATION ET DE MISE AUX NORMES D'ACCÈS AU BARRAGE ONT ÉTÉ CONFISÉS À L'ENTREPRISE OUEST ACRO, SPÉCIALISTE DES TRAVAUX D'ACCÈS DIFFICILES.**

Situé sur l'Yonne, le barrage de Pannecière est un ouvrage en béton armé de 352 m de long et 50 m de hauteur, muni de 12 contreforts d'appui distants de 17,50 m et de 13 voûtes (figure 1). À ses deux extrémités, le barrage s'appuie sur deux culées poids. Les fondations de l'ouvrage reposent sur la roche granitique du Morvan qui assure l'étanchéité de la retenue. Au sommet du barrage,

un pont-route assure le franchissement de l'ouvrage, la circulation alternée s'effectue sur une chaussée en encorbellement. L'épaisseur de la voûte varie de 0,50 m en crête à 1,60 m en partie basse, pour un rayon de courbure de 8,55 m (figure 2). La surface du parement amont couvre environ 20 000 m<sup>2</sup> et celle des culées 500 m<sup>2</sup>. Le barrage a été construit entre 1937 et 1949, construction interrompue pendant la

**1- Vue d'ensemble du barrage de Pannecière et du lac réservoir.**

**1- General view of Pannecière Dam and the reservoir.**

guerre. Il retient un lac-réservoir d'une superficie de 520 ha pour une capacité de 82,5 millions de m<sup>3</sup>. Le lac et son barrage ont été construits pour protéger la ville de Paris des inondations causées par la Seine, comme celle de 1910. Une usine hydroélectrique EDF a été mise en place sur le site. Le barrage de Pannecière est géré par le syndicat mixte Seine Grands Lacs Eptb (Établissement Public Territorial du



2

© OUEST ACRO

**2- Le barrage de type multi-voûte surmonté par un pont-route.**

**3- Programme de mise aux normes et sécurisation des accès existants.**

**2- The multiple-arch type dam with a road bridge on top.**

**3- Programme for retrofitting and securing the existing accesses.**

Bassin). C'est un ouvrage stratégique car il écrête les crues et soutient les étiages, régulant l'eau pour l'agglomération parisienne, auxerroise, ainsi que pour toutes les villes en aval.

Des appareils électroniques d'auscultation placés à différents endroits du barrage permettent aux services de l'État d'effectuer des contrôles réguliers. Le personnel de l'exploitant emprunte différents accès pour contrôler l'ouvrage deux fois par jour en complément des surveillances automatisées.

Après d'importantes opérations de confortement menées entre 2011 et 2012, Seine Grands Lacs Eptb a



3

© OUEST ACRO

engagé des travaux sur le barrage pour assurer la sécurité du personnel dans ses déplacements et optimiser ses trajets (figure 3).

### **DESCRIPTIF DES TRAVAUX**

Il s'agit de réaliser des travaux de sécurisation, de mise aux normes, de création de nouveaux accès, suite à l'étude et aux reconnaissances effectuées en 2014 par le bureau d'études Isl. C'est l'entreprise Ouest Acro, spécialiste des travaux d'accès difficiles, qui a été chargée du chantier.

Les travaux de création et de mise aux normes des accès sur le barrage de Pannecière se décomposent en 4 phases :

**Phase 1 :** création d'un accès amont en prolongement de l'escalier hélicoïdal existant en réaménageant le radier ainsi que les protections collectives du chemin d'accès au batardeau immergé en amont du barrage, en rive gauche.

**Phase 2 :** création des accès aval en rive droite : voûtes A, B, C, D, réalisation de passerelles, d'une tour-escalier, d'escaliers en caillebotis.

**Phase 3 :** création des accès aval en rive gauche : voûtes L et M. Réalisation d'une passerelle, d'escaliers, de plateformes.

**Phase 4 :** mise aux normes des équipements existants (escaliers, plateformes, garde-corps...).



4



5

© OUEST ACRO

## RÉTABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ DES ACCÈS

En voûte A et en voûte M, les précédents travaux de confortement ont nécessité des terrassements pour mettre en place des butons parasismiques. Le cheminement a donc été interrompu ce qui nécessite la création d'un franchissement par passerelle afin de rétablir la continuité des accès. Par ailleurs, en voûte M, le déroctage est venu combler le cheminement le long du contrefort C12 ce qui nécessite outre un déblaiement partiel l'installa-

tion d'un franchissement (deux escaliers aux extrémités du remblai reliés par une passerelle).

En voûte C, la mise en place du renfort en pied de voûte a obstrué le trou d'homme du contrefort C2 ce qui nécessite de rétablir l'accès entre les voûtes B et C via un franchissement constitué d'escaliers, et de passerelles sur 15 m de dénivelé.

En voûte B, les terrassements pour la mise en place du renfort en pied de voûte ont rendu l'accès au trou d'homme du contrefort C1 impossible.

Le rétablissement consiste à installer un escalier menant à la dalle du renfort et à rejoindre le trou d'homme C1 par un franchissement composé d'une passerelle et d'une plateforme.

## MISE AUX NORMES DE L'EXISTANT

Les travaux consistent à :

→ Ajouter un deuxième garde-corps sur les escaliers aval (en rive gauche et en rive droite), sur l'escalier conduisant aux bondes de fond et sur l'escalier en voûte A

ainsi que compléter le garde-corps existant d'une lisse intermédiaire et d'une plinthe.

→ Côté amont, raccorder l'escalier hélicoïdal à l'escalier menant au batardeau immergé lors des travaux.

→ Reprendre le profil de l'escalier en rive gauche aval sur une dizaine de mètres afin de réduire sa pente et de réaliser des marches plus profondes.

→ Élargir une douzaine de marches au bas de l'escalier en voûte A.



6

© OUEST ACRO

4- Tour escalier en acier galvanisé en voûte C du barrage.

5- Tour escalier en acier galvanisé en voûte C avec une passerelle.

6- Vue depuis le couronnement du barrage du levage des structures en voûte C.

4- Galvanized steel staircase tower on arch C of the dam.

5- Galvanized steel staircase tower on arch C with a foot bridge.

6- View from the top of the dam showing lifting of arch C structures.



7

© OUEST ACRO

- Sécuriser l'accès en voûte B le long du contrefort C1.
- Faciliter l'accès aux galeries du contrefort C11 et de la voûte D.
- Sécuriser l'accès à la lecture de deux points de mesure en voûte D.
- Sécuriser l'accès à un regard situé au-delà du garde-corps existant en voûte L.

Le site doit aussi être équipé de protections collectives pour éviter les risques de chute sur sol glissant (par des caillebotis en acier et mains courantes) et de chutes en hauteur (garde-corps).

### PHASE PRÉPARATOIRE

Après analyse du site et suite à un fort déversement d'eau ayant entraîné un glissement de terrain, le bureau d'études Géolithe a dimensionné des ancrages de confortement, une géogrille de stabilisation et le béton de confinement. En effet les nombreux ravins nécessitaient des précautions supplémentaires notamment la reconstitution du remblai de surface (confinement de surface par géogrille renforcée, végétalisation par substrat, acheminement et mise en place de terre végétale) et par le comblement en béton armé sous les escaliers existants. Les études géotechniques ont permis de dimensionner les ancrages (micro-

### 7- Levage des passerelles depuis le couronnement du barrage.

### 7- Lifting foot bridges from the top of the dam.

pieux) des massifs en béton destinés à supporter les escaliers et passerelles métalliques.

Elles ont aussi permis de définir les contraintes liées au chantier, notamment la circulation sur le couronnement du barrage (fermeture des accès pendant les phases de levage des structures métalliques) ainsi que l'exiguïté de l'espace chantier (travaux principalement réalisés en fond de voûte). Cette phase préparatoire devait aussi prendre en compte les impératifs de gestion et d'exploitation du barrage.

### POINTS CLÉS DES TRAVAUX MISE AUX NORMES DES ACCÈS

La première phase consistait à créer et mettre aux normes l'accès au batardeau en amont du barrage en rive gauche. Le raccordement avec la dernière marche a été fait avec un emmarche-

ment en béton. Au cours des travaux, l'entreprise devait veiller à ne pas endommager la géo-membrane Carpi et ne rien faire reposer dessus.

Le raccordement de l'escalier hélicoïdal nécessitait de créer un accès en béton d'environ 8 m de longueur et de 0,9 m de largeur utile, en limitant la pente à 5%. La jonction avec la partie hélicoïdale imposait de raccorder la dernière marche et de prolonger les deux garde-corps. Les travaux consistaient à remplacer le garde-corps existant en mauvais état et à rajouter un deuxième garde-corps en vis-à-vis en laissant une largeur utile de passage de 0,9 m.

### CRÉATION DES ACCÈS AVAL EN RIVE DROITE

Il s'agissait de créer des équipements permettant à l'exploitant de cheminer de la voûte D au pont route en passant par les voûtes C, B, A, en toute sécurité, de façon presque continue sans faire des allers-retours inefficaces. Les travaux nécessitaient la création d'équipements lourds comme une passerelle et une tour-escalier dont les assises et les ancrages ont fait l'objet d'études géotechniques supplémentaires. Au trou d'homme C3 (voûte C à D) l'entreprise a réalisé un escalier en béton de 0,9 m de largeur utile et déli-

mité par 2 garde-corps. Il fallait réaliser 3 marches en béton en quart de cercle de rayon 40 cm en tête afin de rendre le passage fonctionnel. Depuis le pied de l'ouvrage qui s'arrête à l'entrée du trou d'homme, un caillebotis métallique a été mis en place sur environ 9 m (dont 3 m dans la partie cylindrique). Les travaux consistaient aussi à réaliser 3 marches en béton en quart de cercle de rayon 40 cm en tête afin de rendre le passage fonctionnel. En voûte D, il fallait créer une marche en béton de surface 0,5 x 0,5 m et de hauteur 0,2 m afin d'accéder plus facilement au point de mesure de l'appareil C3VDPO. Un autre plot en béton de hauteur 0,2 m a été créé afin d'accéder plus facilement au point de mesure de l'appareil C4VDPO.

### CRÉATION D'UNE TOUR-ESCALIER MÉTALLIQUE VERS LA PLATEFORME DE MESURE (VC-ESC-26-CR)

Après étude géotechnique et pour permettre la pose de la tour-escalier, il a fallu purger le talus et mettre à nu le rocher. Le terrassement consistait en un déroctage de la rive et un confortement par la mise en œuvre de grillage plaqué (50 m<sup>2</sup>). Le déroctage a permis de réaliser des micropieux pour l'ancrage de la dalle de béton recevant la tour-escalier. ▷

Le talus au rocher a été conforté par des barres HA25 scellées dans un forage de 64 mm sur une profondeur de 2 m. Les relevés topographiques réalisés par un géomètre ont permis au bureau d'études de dessiner les futures structures dans leur environnement. À la voûte C, à partir de la plateforme intermédiaire en béton réalisée, il s'agissait d'installer un escalier métallique menant à la plateforme de mesure. Le talus présentait une pente à 50° sur une longueur de 5 m (soit 6 m d'escalier en retenant une pente maximale de 40° après terrassement du talus). L'entreprise a utilisé la plateforme stabilisée pour le pré-montage de la tour, des passerelles et escaliers métalliques. Cette tour devait permettre le passage entre la voûte C et la voûte B. Ce passage était non existant et l'exploitant devait jusqu'alors passer par le remblai qui pouvait être glissant (figure 4).

La tour se compose d'un escalier métallique de 4 volées. Elle est constituée de 4 poteaux en HEA 180 boulonnés, pour une hauteur de 13,50 m et une emprise au sol de 2,65 m<sup>2</sup>. L'escalier reliant la partie haute du remblai et l'ouvrage est incliné à 30° pour une longueur de 7,5 m. Il offre une largeur utile de 0,9 m entre les 2 garde-corps. À cette installation s'ajoutent des passerelles métalliques (figure 5), des plateformes et des raccords en béton pour permettre le passage vers la voûte B du barrage. La charge d'exploitation demandée pour l'ensemble des métalleries était de 500 daN/m<sup>2</sup>. La passerelle inclinée métallique reliant la partie haute du remblai et la dalle de renfort a une portée de 12 m et une inclinaison de 10°. Elle offre une largeur utile de 0,9 m entre les 2 garde-corps. La passerelle métallique intermédiaire d'une hauteur de 7,25 m se raccorde à l'escalier en haut de la 2<sup>e</sup> volée en prenant appui sur un 3<sup>e</sup> poteau ancré dans le massif de l'ouvrage. De l'autre côté, elle est reliée au raccordement en béton en prenant appui sur une semelle superficielle carrée fondée au rocher (0,4 m de côté et 0,3 m de hauteur). Un escalier métallique aller-retour sur 5 volées est créé pour franchir les 15 m de dénivelé du talus vers la voûte B. Il est tenu par 2 poteaux métalliques verticaux ancrés dans un massif en béton en pied fondé et ancré au rocher. Les ancrages sont réalisés par 6 barres HA25 scellées dans un forage de 64 mm sur 3 m de profondeur. Le maillage est formé de 2 files de 3 barres espacées de 2 m dans les 2 directions.

La passerelle métallique pour rejoindre la crête du talus menant à la voûte B, de 15,25 m de hauteur est réalisée depuis le haut de l'escalier. L'appui en crête du talus comprend 2 micropieux (diamètre du tube 48,3 mm / épaisseur du tube 3 mm / diamètre de forage 90 mm) d'une longueur totale de 4,7 m (1,7 m sous le TN supposé de partie libre et 3 m d'encastrement au rocher). La tour-escalier ainsi que les passerelles ont été montées et assemblées sur la plateforme, puis la tour a été levée par une grue mobile 150 t et chevillée sur la dalle par scellement chimique M16 inox.

**8- Tire-forts pour l'installation de passerelle en fond de voûte C.**

**9- Passerelle projetée en fond de voûte en acier galvanisé.**

**8- Tackle for installation of a foot bridge at the back of arch C.**

**9- Planned galvanized steel foot bridge at back of arch.**

Le levage des passerelles a été réalisé de la même manière avec une seconde grue 35 t, puis elles ont été solidarisées à la tour et fixées par des massifs d'ancrage en béton armé par micropieux (diam. 48 mm épaisseur 3 mm, contrainte à la limite élastique 500 Mpa).

Tous les éléments métalliques ont été spécialement conçus en acier galvanisé à chaud (NF EN ISO 1461), la tour pesant à elle seule 7 t. Tous les éléments de structures (profilés type HEA, caillebotis métalliques pour les marches et les platelages, garde-corps) ont été réalisés avec les caractéristiques sui-



8

© OUEST ACRO



9

© OUEST ACRO



10

© OUEST ACRO

vantes : nuance S 235, limite d'élasticité 235 MPa, résistance à la traction 360 MPa.

Le contrôle des épaisseurs de galvanisation sur site a été régulièrement réalisé conformément à la norme.

#### PASSERELLES PROJETÉES EN FOND DE VOÛTE

À l'intérieur de la voûte C du barrage, il a été demandé de réaliser un escalier métallique en acier galvanisé pour relier la plateforme de mesure vers le remblai et de créer une passerelle depuis le remblai vers la dalle de renfort du pied de voûte C. Pour cela, compte-tenu des difficultés d'accès, l'entreprise a dû trouver des solutions pour projeter la passerelle en fond de voûte au moyen de grues automotrices et de tire-forts (figure 6).

Ouest Acro a procédé à la réalisation de massifs par la pose de micropieux pour ne pas s'appuyer sur le remblai et

**10- Grues automotrices pour le levage des passerelles.**

**11- Escalier en béton préfabriqué reliant le couronnement au pied du barrage.**

**12- Escalier en béton préfabriqué et main courante en acier.**

**10- Self-propelled cranes for lifting foot bridges.**

**11- Precast concrete staircase linking the top to the base of the dam.**

**12- Precast concrete staircase and steel handrail.**

garantir la stabilité de l'escalier et de la passerelle. Les relevés du géomètre ont permis de positionner les massifs béton et micropieux. Pour des raisons de topographie, les éléments ont été ripés à l'intérieur de la voûte au moyen de tire-forts, la grue ne pouvant être placée à l'intérieur de la voûte (figure 7). Des passerelles projetées ont été installées également en fond de voûte M, A, B, C aval, M aval. Assemblées sur la plateforme, elles ont été placées grâce aux tire-forts et à un mouflage ancré en fond de voûte (figures 8 et 9). Il s'agissait de passerelles projetées de 900 mm de largeur utile pour une charge d'exploitation de 500 daN/m<sup>2</sup>. Les grues automotrices ont été placées sur le couronnement du barrage avec pour contrainte d'éviter la surcharge sur celui-ci. Elles devaient être installées sur une zone spécifique du couronnement capable de supporter le poids de la grue et des structures levées.

Une autre particularité du chantier était de respecter l'interdiction d'ancrer les métalleries lourdes sur les voûtes qui venaient d'être nouvellement rénovées et renforcées (figure 10).

#### CRÉATION D'UN ESCALIER EN BÉTON EN RIVE GAUCHE AVANT DU BARRAGE

Un escalier en béton antidérapant a été créé pour permettre l'accès depuis le couronnement et le pied de voûte. Après analyse des relevés topographiques, il a été possible de positionner les différentes volées en respectant la réglementation et les exigences liées à la configuration du site (notamment le dénivelé). L'entreprise a proposé un escalier en béton préfabriqué de 5 paliers et 4 volées. Les escaliers en béton préfabriqués présentent de nombreux avantages en terme de coût, de qualité, de finition et de mise en œuvre, vu la complexité du site. ▷



© OUEST ACRO

11

12



13 © OUEST ACRO

Cette solution permettait d'éviter de réaliser un coffrage, un coulage et une chape en béton sur place.

Les plans de principe ont permis de valider la hauteur des marches (22 cm) et la longueur des volées par l'exploitant du site : 3 volées de 4,48 m, 1 volée de 4,76 m ; 4 paliers de 1 m et 1 palier de 1,43 m pour une longueur totale de 23,63 m sur un dénivelé de 11,06 m. Suite à cette validation, l'entreprise a réalisé les escaliers en béton préfabriqués, le terrassement des massifs pour accueillir les paliers de l'escalier puis les forages et les ancrages. Quatre micropieux par palier ont été placés. Les paliers ont été coulés (béton C35) après pré-positionnement des volées d'escalier grâce à une pompe à béton, puis l'escalier a été scellé sur les radiers (figure 11). La pose des 4 volées d'escalier s'est faite par grue Ppm, la grue

**13- Vue du haut de l'escalier en béton préfabriqué et main courante.**

**13- Plan view of the precast concrete staircase and handrail.**

automotrice devant être positionnée sur le couronnement du barrage afin de transposer les volées sur les différents paliers créés.

Pour cette étape, l'accès au barrage a été fermé à la circulation. Ouest Acro a ensuite installé les garde-corps et la main courante en acier galvanisé (figures 12 et 13). □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Seine Grands Lacs Eptb  
**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Seine Grands Lacs Eptb  
**GROUPEMENT :** Ouest Acro (Mandataire) et Btem  
**SOUS-TRAITANTS :** Bureau d'études Géolithe - Mss (Métallerie)

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**VOÛTE C ESCALIER MÉTALLIQUE :** 7,50 m  
**PASSERELLE MÉTALLIQUE :** 12 m  
**TOUR-ESCALIER :** 13,5 m de haut avec deux passerelles de servitude de 7,25 m et 15,25 m  
**POIDS DE LA TOUR :** 7 t  
**NOMBRE TOTAL DE PASSERELLES :** 7 passerelles de 3 m à 13,40 m de longueur  
**TONNAGE TOTAL DES PIÈCES MÉTALLERIE :** 27 t  
**ESCALIERS EN BÉTON :** 23,63 m de long sur un dénivelé de 11,06 m

### ABSTRACT

#### **PANNECIÈRE DAM: ACCESS RETROFITTING WORK TO COMPLY WITH NEW STANDARDS**

PHILIPPE LENOIR, DIRECTEUR TECHNIQUE, OUEST ACRO -  
LUC BOISNARD, PRÉSIDENT, OUEST ACRO

**The Pannecièrre multiple-arch dam, with a reservoir capacity of 80 million cu.m, is located on the Yonne River. Various studies showed a need for retrofitting and the execution of accesses for the operator in order to ensure its safety and comfort during twice-daily checks on the measuring instruments equipping the structure. Ouest Acro was assigned the work of creating a steel staircase tower, and installing collective protective equipment by means of guard rails, handrails and foot bridges of galvanised steel, and prefabricated staircases, steps and platforms in reinforced concrete. The firm also performed reinforcement of the embankments, applying its expertise in difficult access works. □**

#### **PRESA DE PANNECIÈRE: OBRAS DE CONFORMIDAD DE LOS ACCESOS**

PHILIPPE LENOIR, DIRECTEUR TECHNIQUE, OUEST ACRO -  
LUC BOISNARD, PRÉSIDENT, OUEST ACRO

**La obra civil de la presa de Pannecièrre (presa multi-bóvedas), con una capacidad de depósito de 80 millones de m<sup>3</sup>, está situada sobre el Yonne. Diferentes estudios han revelado la necesidad de ajustarla a las normas y dotarla de accesos para la empresa operadora para garantizar su seguridad y su confort durante la comprobación bicotidiana de los instrumentos de medición que equipan la construcción. Las obras, encargadas a la empresa Ouest Acro, han consistido en crear una torre con escalera, instalar protecciones colectivas mediante barandillas, pasamanos y pasarelas de acero galvanizado, así como unas escaleras prefabricadas, escalones y plataformas de hormigón armado. Asimismo, la empresa ha reforzado los terraplenes, aprovechando sus competencias en obras de difícil acceso. □**



1

© FREYSSINET

# REPLACEMENT DES SUSPENTES DU PONT CANADA À TRÉGUIER

AUTEURS : THIERRY GOYER, CHEF DE SERVICE, SERVICE GRANDS TRAVAUX, DIRECTION DES INFRASTRUCTURES, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - DAMIEN MOREAU, INGÉNIEUR, SERVICE GRANDS TRAVAUX, DIRECTION DES INFRASTRUCTURES, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - CHRISTOPHE ACCART, RESPONSABLE, BUREAU D'ÉTUDE ARTCAD - ROBERT-MARIE BESCOND, INGÉNIEUR TRAVAUX, FREYSSINET RÉGION GRAND OUEST

**LE PONT CANADA EST UN PONT ROUTIER CONSTRUIT EN 1954 PAR L'ENTREPRISE COIGNET SUR LA RD 786 QUI ENJAMBE L'ESTUAIRE DU JAUDY À TRÉGUIER (CÔTES-D'ARMOR). C'EST LE PREMIER PONT DE CE TYPE CONSTRUIT EN EUROPE. IL SOUFFRE DE DÉFAUTS STRUCTURELS MAJEURS SUR CERTAINES SUSPENTES QUI PRÉSENTENT DES PERTES DE SECTION IMPORTANTES AVEC UN OU PLUSIEURS FILS ROMPUS. UN SYSTÈME THÉORIQUEMENT NON REMPLAÇABLE, QUE L'ENTREPRISE FREYSSINET A ÉTÉ CHARGÉE DE RÉPARER.**

D'une longueur totale de 179,65 m et d'une portée de 153 m, c'est un pont en arc à tablier intermédiaire, en béton armé et suspentes en acier. L'ouvrage haut de 26 m se caractérise par ses deux arcs en béton et son tablier suspendu (figure 1). Il présente une largeur entre les deux arcs de 12,30 m. Il fit sensation lors de sa mise en service en 1954 ; un seul cintre aura été nécessaire pour la

**1- Vue d'ensemble du pont Canada à Tréguier.**

**1- General view of Canada Bridge at Tréguier.**

construction des deux arcs. Le tablier est constitué d'une dalle reposant sur des pièces de pont et des longerons. La travée centrale est suspendue à chacun des arcs par l'intermédiaire de 18 suspentes espacées de 6,54 m, ancrées aux extrémités des pièces de pont. Chacune des suspentes est constituée de 40 fils métalliques de  $\varnothing$  7 mm, disposés parallèlement pour former une section rectangulaire.

Avec une chaussée de 7 m de large, ce pont route est aujourd'hui très fréquenté en particulier par les poids lourds (8500 véhicules/jour). Si le béton n'a pas trop souffert avec le temps, les suspentes soutenant la travée centrale montraient des signes de faiblesse. Après des investigations non destructives, l'état de service du pont Canada a été qualifié de défectueux. ▶

**2- Modélisation 3D de l'ouvrage pour le calcul des nouvelles suspentes.**  
**3- Installation des moyens d'accès.**

**2- 3D model of the bridge for design of the new suspenders.**  
**3- Installation of means of access.**

L'ouvrage a donc été placé sous haute surveillance en juin 2016 de manière à garantir la sécurité des usagers, avec interdiction aux plus de 19 t de circuler, dans les deux sens. Un fil rompu, dans les deux sens. Un fil rompu a donné l'alerte d'une dégradation avancée du système de suspension. Le Conseil Départemental des Côtes-d'Armor, gestionnaire de l'ouvrage, a décidé de le remettre en état et de le renforcer. Sept suspentes très dégradées nécessitaient une intervention d'urgence.

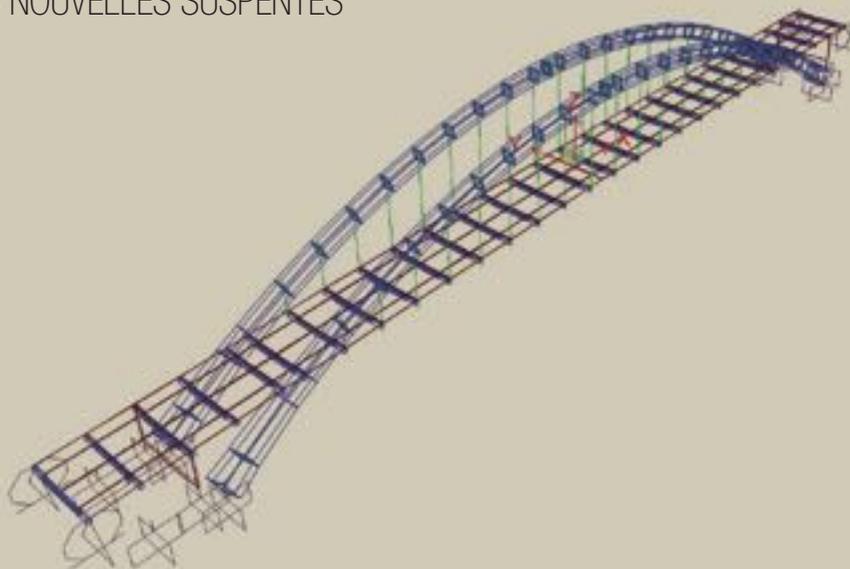
### ÉTUDES DES DÉSORDRES

Les investigations menées en 2016 ont confirmé la présence d'amiante dans la peinture bitumineuse entourant les suspentes. Les auscultations électromagnétiques des suspentes ont mis en évidence :

- Une augmentation significative du niveau d'oxydation des câbles par rapport aux auscultations précédentes de 1968 et 1970, conduisant à une « oxydation interne homogène et élevée » ;
- Des défauts structurels concernant au moins 13 suspentes ;
- Une suspente diagnostiquée à plus de 24 % de perte de section ;
- Des défauts de piqûres de corrosion sur l'ensemble des suspentes ;
- Des ruptures complètes de fils sur une suspente amont et 8 suspentes aval ;
- La dissolution de certains fils mais aussi de la corrosion expansive.

Parmi les suspentes les plus atteintes, la suspente S-2 aval présente 4 fils rompus avec cependant 0 % de défaut. Les suspentes S+4 (aval), S+2 (aval et amont), S+1 (aval), S-2 et S-3 (aval) doivent être mises en sécurité le plus rapidement possible (défauts cumulés > 5%). Les résultats de l'auscultation de 2017 ont fait apparaître :

### MODÉLISATION 3D DE L'OUVRAGE POUR LE CALCUL DES NOUVELLES SUSPENTES



2

© FREYSSINET



3

© FREYSSINET



4

© FREYSSINET

- De nouvelles ruptures de fils en amont et en aval ;
  - Des ruptures sur la S-5 amont, qui n'en comportait pas auparavant ;
  - Une évolution du taux d'oxydation pour les suspentes S-9, S-8, S+9 en amont ;
  - Une aggravation très significative pour la suspente S-2 aval en défauts cumulés (Il est donc imposé pour la mise en sécurité de commencer par cette suspente) ;
  - La nécessité d'inclure la suspente S+6 aval pour la mise en sécurité.
- Les analyses de l'Ifstar effectuées dans la mission globale du Cerema, avec auscultation des suspentes, ont montré une contrainte à la rupture des fils conforme (1 300 MPa).

#### DESCRIPTIF DES TRAVAUX

Le chantier confié à l'entreprise Freyssinet comprenait :

- Les études d'exécution et de méthodes ;
- Les ouvrages provisoires ;
- La reconnaissance des armatures avant forage ;
- Les travaux préparatoires : perçages, carottages, renforts de part et d'autre des sections percées en cas de coupure des armatures ;
- Les opérations de vérinage ;

#### 4- Vue de l'échafaudage d'un poids de 35 t par arche.

#### 4- View of the scaffolding weighing 35 tonnes per arch.

- La réalisation de bossages en béton armé au-dessus des arcs ;
- Le remplacement des suspentes par des suspentes neuves ;
- Les opérations de vérinage et de transferts de charges ;
- La dépose des anciennes suspentes amiantées sous-section 3.

#### MODÈLE DE CALCUL

Le bureau d'études Artcad a mené les études de calculs de conception et a effectué une mission VISA. Les difficultés liées au remplacement des suspentes étaient nombreuses : il n'existait plus aucun réglage possible, le revêtement des fils était amianté, l'état des efforts présents sous charges permanentes dans la structure dépendait des efforts dans les suspentes (si les efforts étaient modifiés, les efforts dans la structure l'étaient aussi). Les recalculs

effectués par Artcad ont montré que toute modification de la tension des suspentes entraînait un changement dans les efforts dans les longerons et pouvait les fragiliser. De plus les nouveaux ancrages inférieurs et supérieurs ne devaient pas entamer des aciers existants ; l'entretoise était très ferrillée dans son extrémité en plus de recevoir les terminaisons des suspentes. Il fallait obtenir, dans la modélisation, les efforts à vide de la structure initiale, en intégrant notamment un effort de compensation au sommet de l'arc introduit par vérinage. Les calculs ont aussi montré qu'une modification de la raideur des suspentes pouvait engendrer une modification des efforts dans les longerons. L'ensemble de l'ouvrage a été modélisé aux éléments finis.

Artcad a examiné une solution de remplacement des suspentes à l'identique et une solution de remplacement de chaque suspente par une paire de suspentes, de part et d'autre des potelets. La solution de remplacement des suspentes à l'identique n'était possible qu'au moyen de suspentes provisoires qui n'étaient pas gardées comme définitives, solution qui s'avérait coûteuse. Le choix de remplacer les suspentes par une paire nouvelle a donc été retenu. Les calculs ont été menés pour

dimensionner les nouvelles suspentes, concevoir les ancrages et vérifier, d'une part, l'ensemble de la structure avec les nouvelles raideurs liées à ces suspentes et, d'autre part, vérifier les conditions du transfert de charges. Les ancrages ne devaient pas intercepter les aciers passifs existants.

Le modèle de calcul a montré que la coexistence de suspentes anciennes et de double-suspentes plus raides dans l'ouvrage engendrait des efforts inadmissibles dans la zone de transition, pour ce qui concerne les longerons. Ceci impliquait de faire les transferts de charges pour l'ensemble des suspentes amont ou aval en même temps.

La première étape consistant à mettre en sécurité les 7 suspentes les plus atteintes par les pertes de section ne pouvait se traduire par un seul remplacement de celles-ci mais par l'installation des 7 nouvelles paires de suspentes avec une légère mise en pression pour éviter les effets de choc en cas de rupture d'une suspente ancienne. Base de calcul :

- Section d'une suspente existante : 40 fils de 7 mm de diamètre de contrainte à la rupture théorique 1 400 MPa (1 320 MPa selon les essais diligentés par le maître d'ouvrage) ;

- Section des paires de suspentes neuves : 2 Ø 60 mm nuance S355. Pour des questions d'approvisionnement, l'entreprise a mis en place des barres Ø 64 mm ;
- Suspentes neuves et leurs ancrages dimensionnés pour le cas de rupture accidentelle ;
- Effort maxi dans une paire de barres : 110 t ELU.

### MODÉLISATION DU PROJET

L'entreprise Freyssinet, chargée des travaux, a proposé une solution variante techniquement fiable et économiquement avantageuse pour remplacer les suspentes. Elle consistait à supprimer le système d'étrier en parties supérieure et inférieure et placer des barres droites ancrées aux extrémités, disposées en diagonale, passées de part et d'autre de la poutre de rive du tablier.

Freyssinet a dû re-modéliser totalement l'ouvrage, notamment dans ses phases de construction pour prendre en compte l'exhaustivité des charges et déterminer les modes opératoires

de remplacement des suspentes. Différentes technologies ont été utilisées pour la remodelisation à partir des plans d'archives de la construction. Le logiciel Sap 2000 modélisation 3D a permis de prendre en compte la distribution transversale des efforts entre les différents longerons du tablier (figure 2). Les non linéarités géométriques (déplacements) et les matériaux (fluage et retrait du béton) étaient inclus dans la modélisation. Celle-ci tenait compte aussi de l'effort de vérinage des arches (annales Itbtp de 1955).

La modélisation a permis de calculer les nouvelles suspentes: des barres pleines diam 64 mm en acier S355 K2 aux très bonnes propriétés mécaniques. C'est la gamme Freyssinet H ROD qui a été adaptée ici par rapport à la géométrie de l'ouvrage.

### TRAVAUX DE RENFORCEMENT

Freyssinet a dû optimiser les phasages tout en tenant compte de toutes les contraintes (amiante, travaux sous cir-

culcation, échafaudages et moyens d'accès complexes, site Natura 2000, site remarquable du littoral...). La première étape consistait à mettre en sécurité l'ouvrage afin de rétablir des conditions normales de circulation. Pour pouvoir reprendre partiellement la charge en cas d'une rupture de suspente, l'entreprise a mis en place des moyens d'accès (figure 3). Elle a notamment conçu un système de passerelles horizontales (positionnées à plus de 15 m

de hauteur) pour travailler par le haut et assurer la sécurité des opérateurs sur l'ouvrage. L'échafaudage représentait 35 t par arche soit 70 t sur les deux arches (figure 4).

### CAROTTAGES

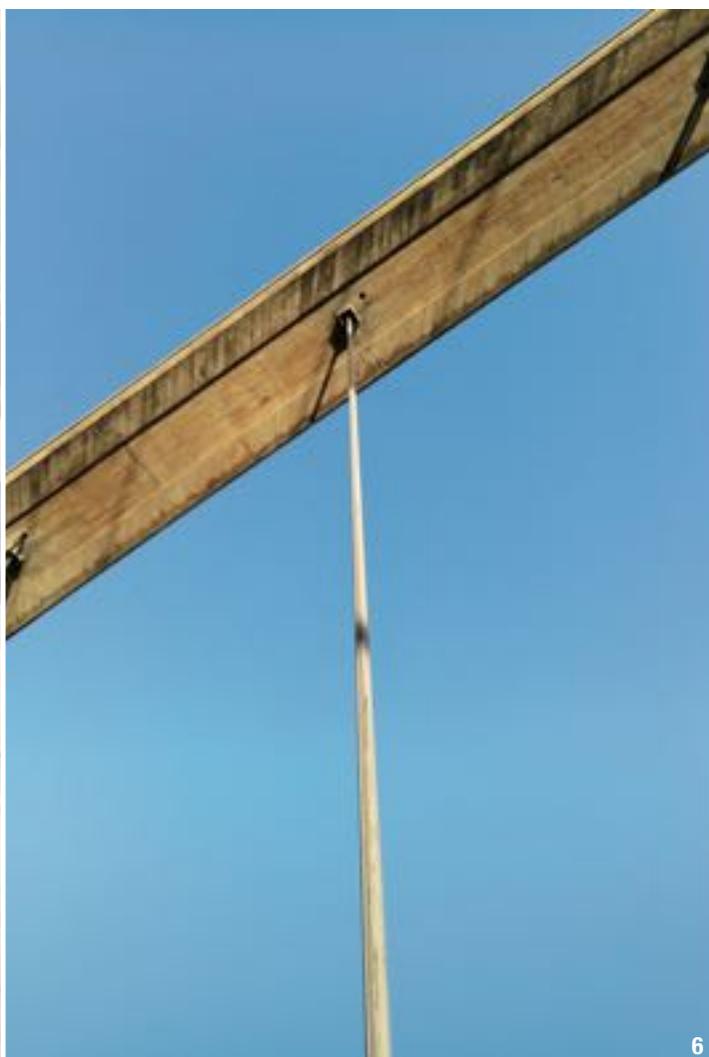
Des relevés très précis ont été réalisés par un géomètre avant la phase d'échafaudage, opération de préparation indispensable afin d'éviter les risques de dilatation thermique et les mouvements de l'ouvrage qui auraient induit une erreur de repérage.

Pour passer les barres, il a fallu carotter le béton de l'arche et du tablier (figure 5) de manière parfaitement verticale. Grâce aux relevés géométriques 3D, la position des barres a été définie de manière très précise. La contrainte d'implantation était importante : les barres devaient être centrées au dessus de l'arche, tout en étant centrées par rapport aux poutres de rive, en prenant en compte les aciers existants dans une verticalité parfaite. Pour réaliser les passages des suspentes, des carottages

5- Carottage du béton de l'arche et du tablier.

6- Vue de dessous de l'arche après carottage.

5- Core drilling of the arch and deck concrete.  
6- View of the underside of the arch after core drilling.





7



8

**7- Installation des suspentes à l'aide d'une grue mobile.**  
**8- Installation et positionnement des suspentes par rapport à l'axe du pont.**  
**9- Chevêtres en double U pour l'ancrage des barres.**

**7- Installation of suspenders using a mobile crane.**  
**8- Installation and positioning of suspenders relative to the bridge centre-line.**  
**9- Double-U headers for bar anchoring.**



9

dans l'arc et sous le tablier du pont ont été pratiqués avec une technique de forage de grande profondeur, à l'aide d'un tube minier suffisamment long pour diriger le carottage et maintenir l'axe dans la partie courbe de l'arc. En effet le forage des arcs présentait une double difficulté : une surface d'attaque non plane et une alternance de parties pleines et creuses avec des hourdis supérieur et inférieur de 40 cm environ. L'ouvrage présentant 36 suspentes au total soit 72 barres, il y a eu 72 carottages dans l'arc et 72 autres dans le tablier (figure 6). Point complexe : la précision de l'implantation des forages au droit les uns des autres en dépit d'un différentiel de 20 m de haut environ.

**BOSSAGES**

L'entreprise a ensuite créé un bossage en béton armé à l'aide d'un micro béton de la gamme Foreva Premix C500 de Freyssinet pour sa résistance élevée en compression (85 Mpa sur bossage d'essai à 28 jours), ce qui a permis de tenir les délais.



10

© FREYSSINET

Autre avantage de ce béton : sa très faible porosité par rapport à l'environnement marin. La contrainte architecturale imposait une forme particulière de bossages ; ceux-ci devaient être le moins hauts possible. Sur les suspentes les plus longues les bossages devaient faire, au point minimum, 6 cm de hauteur.

### REPLACEMENT DES SUSPENTES

Les pièces d'ancrage ont ensuite été réceptionnées. L'entreprise a levé les suspentes à l'aide d'une grue mobile avec leur système d'ancrage équipé (figure 7) puis les a réglées.

La géométrie du tablier (présence de diaphragmes dans les arcs et des pièces de pont en intrados du hourdis) a nécessité de positionner les suspentes suivant un biais par rapport à l'axe du pont, pour les ancrer aux bossages supérieurs (figure 8). En partie inférieure, les barres ont été ancrées dans un chevêtre en double U (figure 9) de hauteur 300 mm.

Sur les arches, chaque suspente, dont la partie supérieure était munie d'un capot injecté de graisse anticorrosion, a été fixée sur un bossage en béton par une plaque écrou en acier fabriquée sur mesure.

Les chevêtres ont été acheminés par un télescopique équipé d'un treuil puis les barres ont été mises en place de nuit, sous coupure de circulation afin d'optimiser les délais et de ne pas gêner le trafic. Une grue avec une flèche télescopique de 48 m a permis de placer les barres par le dessus, puis les plus longues - qui étaient en deux parties -

**10- Vue  
d'ensemble  
de l'installation  
des suspentes.**

**10- General  
view of suspen-  
der installation.**

ont été assemblées. Sept premières suspentes ont été remplacées (soit 14 barres), et 20% de l'effort final a été mis sur la nouvelle suspension pour ne pas déséquilibrer l'ouvrage.

Chaque suspente était composée de deux barres d'acier de 64 mm de diamètre, de différentes hauteurs, filetées en usine et manchonnées sur site.

### MISE EN TENSION

L'opération a été répétée pour le remplacement des 29 suspentes restantes (figure 10).

En avril 2018, l'entreprise a transféré l'ensemble des efforts sur les nouvelles suspentes et procédé à la mise en tension par équipression (2x9 vérins) par moitié d'arc (figure 11). Tous les vérins ont été actionnés en même temps. Ces vérins creux ont été spécialement fabriqués pour le chantier.

La mise en tension progressive des suspentes avec les vérins hydrauliques a permis le transfert de charge. Cette opération réalisée de nuit a nécessité la fermeture complète de la circulation. Les efforts attendus ont été vérifiés (environ 35 t par suspente).

L'entreprise a ensuite procédé à la dépose des anciennes suspentes (celles-ci ont été détendues puis arasées au plus près des anciens supports

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Conseil Départemental des Côtes d'Armor

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Conseil Départemental des Côtes d'Armor,  
Service Grands Travaux

**ASSISTANT MAÎTRE D'ŒUVRE DE CONCEPTION :** Artcad

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR, VISA ET CONTRÔLE DES ÉTUDES  
D'EXÉCUTION :** Artcad

**ASSISTANCE POUR LE DIAGNOSTIC ET L'EXPERTISE  
DES SUSPENTES :** Cerema et Ifsttar

**ASSISTANCE POUR LES INVESTIGATIONS ET LE DIAGNOSTIC  
DE DURABILITÉ DES BÉTONS ARMÉS :** Cerema

**ENTREPRISE MANDATAIRE :** Freyssinet France Région Grand Ouest

**BUREAU D'ÉTUDES :** Freyssinet

**TRAVAUX AMIANTE :** Freyssinet (Mts)

(retrait des anciennes suspentes sous-section 3)

**SOUS-TRAITANTS :** Ects (Échafaudages) Tns (Carottages)

Vertica (Travaux sur cordes)

**COORDINATEUR SPS :** Becs



© FREYSSINET

11

qui ont fait l'objet de travaux d'étanchéification). C'est sur cette phase spécifique de dépose des anciennes suspentes que les équipes MTS qualifiées "sous-section 3 amiante" sont intervenues. Les travaux de finition ont concerné la mise en tension définitive des nouvelles barres, les capotages (injectés), et quelques retouches anti-corrosion. □

**11- Mise en tension des nouvelles suspentes par équilibre de pression.**

**11- Tensioning of new suspenders by balanced pressure.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**ANCIENNES SUSPENTES CONSTITUÉES DE : 40 fils métalliques Ø 7 mm**  
**LONGUEUR CUMULÉE DES NOUVELLES SUSPENTES : 600 m**  
**DIAMÈTRE DES NOUVELLES SUSPENTES : 64 mm**  
**CHEVÊTRES ANCRAGES BAS : 5 t**  
**ÉCHAFAUDAGES : 200 t**

### ABSTRACT

#### REPLACEMENT OF SUSPENDERS ON CANADA BRIDGE AT TRÉGUIER

THIERRY GOYER, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - DAMIEN MOREAU, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - CHRISTOPHE ACCART, BUREAU D'ÉTUDE ARTCAD - ROBERT-MARIE BESCOND, FREYSSINET

**Canada Bridge** is a road bridge built in 1954 on county road RD 786 straddling the Jaudy estuary at Tréguier (Côtes-d'Armor region of France). It suffers major structural defects on certain suspenders which show major losses of cross section with one or more broken wires. The system was not designed to be replaced. Freyssinet, the company awarded the contract for the works, proposed a technically reliable solution to replace the suspenders. This involved eliminating the U-clamp system in the upper and lower parts and placing straight bars anchored at the ends, arranged diagonally, on either side of the deck edge beam. After a design engineering study and modelling of the structure, the contractor replaced the 36 suspenders and performed suspender tensioning. The old asbestos-contaminated suspenders were removed by specially skilled personnel. □

#### SUSTITUCIÓN DE LOS COLGANTES DEL PUENTE CANADA DE TRÉGUIER

THIERRY GOYER, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - DAMIEN MOREAU, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES CÔTES D'ARMOR - CHRISTOPHE ACCART, BUREAU D'ÉTUDE ARTCAD - ROBERT-MARIE BESCOND, FREYSSINET

**El puente Canada** es un puente vial construido en 1954 sobre la RD 786 que cruza el estuario de Jaudy, en Tréguier (Côtes-d'Armor). Sufre defectos estructurales importantes en algunos colgantes, que presentan notables pérdidas de sección, con uno o varios hilos rotos. El sistema no fue diseñado para ser sustituido. La empresa Freyssinet, encargada de las obras, ha propuesto una solución técnicamente fiable para sustituir los colgantes, que consiste en eliminar el sistema de estribo en las partes superior e inferior y colocar barras rectas ancladas a los extremos, dispuestas en diagonal, a ambos lados de la viga de borde del tablero. Tras el estudio de cálculo y modelización de la construcción, la empresa ha sustituido y tensado los 36 colgantes. Los antiguos colgantes amiantados han sido retirados por personal cualificado de la categoría "subsección 3". □



1

© DEMATHIEU-BARD

# RENFORCEMENT D'UN VIPP SUR LA MOSELLE

AUTEURS : LAURENT DUFLLOT, DIRECTEUR ADJOINT À LA DIRECTION DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE LA MOSELLE - FRANCK SERTHELON, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, DEMATHIEU BARD - THIBAUT HOUMAIRE, CONDUCTEUR DE TRAVAUX INFRASTRUCTURES GÉNIE CIVIL GRAND EST, DEMATHIEU-BARD

**L'OUVRAGE TE27 DE TYPE VIPP (VIADUC INDÉPENDANT À POUTRES PRÉCONTRAINTES) QUI FRANCHIT LA MOSELLE A ÉTÉ CONSTRUIT EN 1966. UN OUVRAGE EN MAUVAIS ÉTAT QUI MÉRITAIT UN VRAI PROJET DE RÉPARATION/RENFORCEMENT. LE CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE LA MOSELLE A CONFIEÉ CE CHANTIER À L'ENTREPRISE DEMATHIEU BARD. LE CHANTIER S'EST DÉROULÉ DE MAI 2017 À JUIN 2018.**

Le viaduc TE27 permet à la RD56 de franchir la Moselle entre Rettel et Contz-les-Bains. Il comporte un tablier d'une longueur totale de 158 m répartie sur 5 travées indépendantes de 32 m. Le tablier est de type VIPP et comporte 4 poutres espacées de 2,83 m et de hauteur totale 1,65 m. Entre ces poutres a été réalisé un hourdis intermédiaire de 18 cm d'épaisseur. Chaque tablier compte également 2 entretoises d'about et 2 intermédiaires. L'ouvrage supporte un trafic de

6 500 véhicules/jour dont 3% de poids lourds, assure la continuité d'une piste cyclo-piétonne dénommée "Charles le Téméraire" et permet par deux passes la navigation de la Moselle. Il est précontraint longitudinalement par 12 câbles 12 Ø 8 pour les poutres centrales et 11 câbles 12 Ø 8 pour les poutres de rive. Le tablier est également précontraint transversalement par 1 câble 12 Ø 8 tous les 80 cm. Les entretoises sont également précontraintes.

**1- Vue d'ensemble du viaduc avec mise en place d'échafaudages.**

**1- General view of the viaduct with installation of scaffolding.**

## **PATHOLOGIES ET INVESTIGATIONS**

L'ouvrage présente de nombreuses fissures actives sur les poutres, le hourdis et les entretoises : fissures transversales régulières d'ouverture maximale 4/10<sup>e</sup> mm ; fissures longitudinales entre poutre et hourdis d'ouverture maximale 2/10<sup>e</sup> mm, fissures longitudinales sur ou sous talon d'ouverture maximale 3/10<sup>e</sup> mm, fissures biaisées récurrentes sur entretoises d'about d'ouverture maximale 2/10<sup>e</sup> mm.



© DEMATHIEU-BARD  
2

Les fissures observées en intrados sont le siège d'efflorescences.

Au-delà de cette fissurographie, l'étanchéité, les joints de chaussée, les appareils d'appui se sont avérés défectueux. De nombreux défauts de parement ont également été notés.

Les trottoirs et la chaussée présentaient des désordres importants et les garde-corps n'étaient plus aux normes.

Des modélisations fines ont été menées par le bureau d'étude (Coredia) du maître d'ouvrage pour apprécier l'état réel du viaduc et tenter de le justifier dans sa configuration d'exploitation actuelle et future. Lors de cet exercice, les capacités d'expertise du Cerema ont été mobilisées pour arrêter une modé-

**2- Installation des échafaudages suspendus.**

**3- Ferrailage et reprise des joints de chaussée.**

**4- Réfection totale des joints de chaussée.**

**2- Installation of suspended scaffolding.**

**3- Reinforcement and repair of pavement joints.**

**4- Complete renovation of pavement joints.**

lisation la plus représentative possible. L'ouvrage s'est avéré non justifiable que ce soit en classe I ou classe II.

Les expertises ont montré que les bétons structurels étaient très carbonatés et de qualité médiocre.

Les investigations sur les différentes familles de précontrainte ont démontré des pertes de tension très importantes puisque les câbles avaient perdu quasiment 50% de leur précontrainte d'origine. Le diagnostic a aussi montré un déficit d'acier de reprise des efforts tranchants et un déficit concernant le hourdis.

Ces constats alarmants ont poussé le maître d'ouvrage à limiter à 3,5 t la circulation sur ce VIPP et à entre-

prendre une campagne de réhabilitation (figure 1).

**DESCRIPTIF DES TRAVAUX**

Le projet de renforcement consistait à mettre en œuvre une précontrainte additionnelle, des armatures composites collées en intrados (bandes longitudinales et transversales), en sous-face des talons des poutres, en about des poutres et sur les entretoises.

Un revêtement épais devait être appliqué sur l'intrados et la surface des poutres pour assurer le traitement des fissures, la protection des armatures contre les effets indirects de la carbonatation et la protection contre les UV des renforts en carbone.



© DEMATHIEU-BARD  
3



4

De nouveaux bossages devaient être réalisés pour accueillir les appareils d'appui en néoprène fretté et les maintenir dans un environnement assaini. Les superstructures (renformis, étanchéité, couche de roulement, joints de chaussée et de trottoirs, garde-corps) devaient aussi être complètement reprises. Enfin, le maître d'ouvrage a profité des travaux pour modifier le profil en travers de la RD56 et créer une bande de 2 m consacrée à la piste cyclo piétonne.

## RÉPARATION ET RENFORCEMENT

L'entreprise Demathieu Bard, en charge du chantier, a travaillé sur échafaudages suspendus sur deux puis trois travées pour toujours laisser une passe navigable sur la Moselle (figure 2). De plus, il fallait maintenir la circulation piétonne et cycliste sur le pont et optimiser le temps d'interruption du trafic routier. Pour prendre en compte ces contraintes, l'entreprise a mis en place un alternat et interrompu totalement la circulation uniquement lors des phases de réparation du tablier, de mise en œuvre des renforts en matériaux composites, de vérinage pour le changement des appareils d'appui



5

**5- Précontrainte additionnelle grâce à des déviateurs métalliques.**

**6- Massifs en béton réalisés au-dessus des déviateurs.**

**7- Massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle finis.**

**5- Additional prestressing by means of metal deviators.**

**6- Concrete blocks executed above the deviators.**

**7- Finished anchoring blocks for additional prestressing.**

et de réparation des joints de chaussée. Les travaux comprenaient : le traitement de toutes les fissures et la reprise des bétons dégradés, la reprise des parements en béton projeté des culées, la réalisation d'une précontrainte additionnelle (massifs d'ancrages et

déviateurs, mise en place des gaines et câbles, mise en tension), le renfort en matériaux composites, le vérinage, la création de bossages d'appuis, le remplacement des appuis néoprène, la réparation intégrale de l'étanchéité, des joints de chaussée et enrobés.

## DÉMOLITION DES JOINTS DE CHAUSSÉE

La première étape consistait à démolir les enrobés, enlever les anciennes couches d'étanchéité et l'ancien renformis jusqu'à atteindre le tablier brut. Un grenailage a été effectué en surface



6



7

© DEMATHIEU-BARD

afin d'éliminer les résidus (figure 3). Le tablier présentant des problèmes d'évacuation d'eau, il a fallu recréer une pente transversale et une pente longitudinale.

Le maître d'œuvre a opté pour un renfort bitumineux aux qualités spécifiques anti-orniérantes : l'étanchéité est assurée par un revêtement bicouche mixte associant une membrane bitumineuse élastomère soudée et une couche d'asphalte gravillonnée. Au total 230 t de renforts en bétons bitumineux ont été appliqués. Les joints de chaussée ont été totalement refaits (figure 4). Parallèlement, l'entreprise a échafaudé les deux premières travées (côté Contz-les-Bains).

### PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE DES POUTRES

Il a fallu réaliser tous les massifs d'ancrage béton et déviateurs métalliques pour la précontrainte. Une auscultation a été réalisée au préalable au ferroskan et radar pour positionner parfaitement les barres d'ancrage. La précontrainte additionnelle consistait en la mise en œuvre de 2 torons gainés graissés 4 T15 au droit de chaque poutre.

Le tracé de la précontrainte comporte une branche horizontale en zone centrale entre les deux entretoises intermédiaires et deux branches inclinées de 6° environ entre les massifs d'ancrage et les déviateurs. Les raccords entre les branches inclinées et la branche horizontale sont assurés par un cercle de rayon supérieur à 3 m. L'excentricité résultante de la précontrainte additionnelle est égale à 11 cm au-dessus de la fibre inférieure des poutres en zone centrale entre les entretoises intermédiaires. Les câbles sont sortis à environ 94 cm au-dessus de la sous-face des poutres.

#### Les déviateurs de la précontrainte additionnelle

Deux déviateurs sont mis à l'aplomb des entretoises intermédiaires. Ils sont constitués de deux pièces métalliques de part et d'autre de chaque poutre de hauteur égale 0,25 m. Ces pièces sont composées de caissons raidis de manière régulière. Les raidisseurs supportent les tubes métalliques des déviateurs. Les deux caissons de part et d'autre de chaque poutre ont une semelle inférieure commune.

Les déviateurs métalliques sont le siège des raccords en cercle entre les 3 branches rectilignes du tracé de la précontrainte. Ces raccords sont réalisés par des tubes métalliques cintrés (figure 5).



8  
© DEMATHIEU-BARD

**8- Ferrailage des massifs d'ancrage pour la précontrainte additionnelle.**

**8- Reinforcement of anchoring blocks for additional prestressing.**

Des massifs en béton réalisés au-dessus des déviateurs métalliques permettent d'appuyer les pièces en métal des déviateurs et de transmettre les efforts engendrés par la déviation de la précontrainte aux entretoises et aux poutres (figure 6). Ces massifs ont une largeur de 55 cm de part et d'autre de l'âme des poutres, une hauteur de

50 cm au-dessus de la sous-face des entretoises et une longueur de 40 cm. Ils sont solidarisés au talon et à l'âme ainsi qu'au béton des entretoises par le biais de scellements en aciers passifs.

#### Les massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle

La précontrainte additionnelle est ancrée par le biais de massifs d'ancrage implantés à 3,50 m de l'extrémité des poutres (figure 7). Ils sont cousus aux âmes et aux talons des poutres ainsi qu'au hourdis. Les coutures sont réalisées par des scellements d'aciers passifs et par des barres de précontrainte au droit des âmes. La longueur des massifs est égale à 1 m. La largeur totale des massifs est de 1,25 m (y compris l'encombrement du béton des poutres). Le massif règne sur toute la hauteur de la poutre.

Les ancrages de la précontrainte additionnelle sont des ancrages passifs sur une extrémité et actifs sur l'autre.

L'entreprise a mis en place des cellules de charge sur chaque travée au fur et à mesure des mises en tension pour, à terme, vérifier la tension des câbles. Tous les massifs ont été terminés fin 2017 mais la mise en tension des câbles a duré jusqu'à avril 2018. Pour bétonner ces massifs en sous-face du tablier, il a fallu carotter la dalle supérieure (4 carottages par massif soit 2 de diamètre 200 mm et 2 de diamètre 100 mm) et couler du béton autoplaçant de granulométrie adaptée 0/10 mm en remplissant par le haut. L'objectif était de garantir une mise en œuvre parfaite du béton au milieu du ferrailage dense des massifs au taux de 280 kg/m<sup>3</sup> (figure 8). Un massif complet représentant 1,5 m<sup>3</sup> de béton. À raison de 8 massifs par travée, 40 massifs au total équivalant à 60 m<sup>3</sup> de béton ont été mis en œuvre.

Pour contrôler la qualité et l'efficacité de la précontrainte additionnelle et du comportement de l'ouvrage après réparation, le maître d'œuvre a fait instrumenter plusieurs sections de poutres sur chaque travée. Les résultats ont été probants et ont confirmé la bonne réalisation des travaux.

### RENFORCEMENT PAR ARMATURE COLLÉE EN FIBRE DE CARBONE

Une longueur de 4,5 km de tissu carbone a été posée sur les poutres et sous le tablier. Cela a nécessité une préparation rigoureuse du support, une précision au collage et une surveillance continue grâce à une caméra thermique. Ces prestations ont été réalisées par l'entreprise co-traitante Freyssinet. Les contraintes liées à la température et l'humidité ont retardé cette phase du chantier : les deux premières travées ont été faites en 2017, puis les trois autres en 2018. L'ensemble de l'intrados et des poutres a été protégé par un revêtement en résine.

#### Détail du renforcement

Les bandes mises en œuvre sur le hourdis, les entretoises et les poutres sont des bandes de tissu de fibre de carbone (TFC) de 300 mm de largeur de capacité égale à :

→ 130 KN/bande à l'ELU mini ;

→ 70 KN/bande à l'ELS mini.

Les renforts ont été recouverts par un revêtement compatible avec la matrice époxydique des tissus de fibre de carbone destiné à protéger les bétons des attaques des agents agressifs extérieurs.



9

© DEMATHIEU-BARD

Ce revêtement assure également la protection des renforts en matériau composite. L'intrados est doté d'une bande longitudinale mais également de bandes transversales espacées en moyenne de 80 cm. Enfin chaque entretoise est renforcée par 4 bandes verticales et 1 bande horizontale de renfort par face.

Une fois le mélange malaxé, il est mis en œuvre sur la surface de collage à raison de 700 g/m<sup>2</sup>. La pose du tissu se fait sur une couche de résine humide. Il faut effectuer le marouflage du tissu puis mettre en œuvre une couche de fermeture qui est lissée avec une spatule dans le sens longitudinal. Afin d'assurer une protection mécanique, un sablage sec de calibre 0,5/1,5 est projeté sur la résine.

#### VÉRINAGE/CHANGEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Pour changer les appareils d'appui sur chaque poutre, l'entreprise a mis en place des vérins selon un phasage précis. Elle a vériné une culée (4 appuis) et en même temps deux piles (8 appuis) en utilisant deux types de vérins (figures 9 et 10).

Les vérins ont été utilisés avec une pression de travail maximale de 400 bars. L'opération de levage du tablier a été exécutée grâce au système de Levage Assisté par Ordinateur (Freyssinet) permettant de vérifier et d'enregistrer les paramètres lors du levage. Cela a permis de contrôler les pressions et les déplacements de chaque point de vérinage dans les fourchettes de tolérance programmées et paramétrables (précision altimétrique entre 2 points de levage de 3/10 de mm). L'ouvrage a été relevé de 40 mm afin

**9- Vérinage sur une culée pour changer les appareils d'appui.**  
**10- Vérinage sur console métallique.**

**9- Jacking on an abutment to change support devices.**

**10- Jacking on steel bracket.**

de mettre les appareils d'appui hors d'eau par la création de bossages. L'entreprise a ensuite procédé au remplacement des appareils d'appui comprenant :

- Une phase d'enlèvement des appareils d'appui et de démolition des bossages ;
- Une phase de réfection des bossages ;
- Une phase de remise sur appareils d'appui définitifs.

#### TRAVAUX DE VOIRIE/PROLONGEMENT DE LA PISTE CYCLABLE

Dans le cadre de l'amélioration des conditions de la circulation piétonne, le projet prévoyait également l'élargissement du trottoir côté amont à 2 m utile. Cet élargissement était possible en modifiant la largeur de chaussée et en la passant à 6 m entre bordures MVL au lieu de 7 m. L'objectif était aussi de poursuivre la piste cyclable (figure 11). Ce choix du maître d'ouvrage permettait de réduire la vitesse des véhicules et notamment des poids lourds. Les garde-corps ont été remplacés



10

© DEMATHIEU-BARD

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### RÉPARATION DES APPUIS :

- Repiquage passivation et ragréage : 105 m<sup>2</sup>
- Reprise de fissures (pontage, calfeutrement et injection) : 130 m ; Rejointoiement des parements : 100 m<sup>2</sup>

### RÉPARATION ET RENFORCEMENT DES HOURDIS :

- Déconstruction du renformis : 1 260 m<sup>2</sup> ; Repiquage passivation et ragréage : 126 m<sup>2</sup>
- Reprise de fissures (pontage, calfeutrement et injection) : 890 m
- Renfort en tissus de fibres de carbone : 3 270 m

### RÉPARATION ET RENFORCEMENT DES POUTRES ET ENTRETOISES :

- Réparation des abouts de poutres : 40 u ; Repiquage passivation et ragréage : 65 m<sup>2</sup>
- Reprise de fissures (pontage, calfeutrement et injection) : 260 m ; Renfort en tissus de fibres de carbone : 1 190 m ; Forages et scellements pour ancrages passifs : 4 320 u
- Béton C40/50 pour massifs d'ancrage : 66 m<sup>3</sup> ; Armatures passives : 12 500 kg
- Armatures pour précontrainte additionnelle : 4 720 kg

**REVÊTEMENT LHM POUR HOURDIS ET POUTRES : 4 400 m<sup>2</sup>**

**RENFORMIS BITUMINEUX : 230 t**

**ÉTANCHÉITÉ : 1 520 m<sup>2</sup>**



© DEMATHIEU-BARD

11

12

par des garde-corps architecturés aux normes de 1,20 m de hauteur pour tenir compte de la fréquentation des cyclistes. Les réseaux existants sous trottoirs ont été passés dans des fourreaux en PVC noyés dans la structure de remplissage des trottoirs (figure 12). Ces travaux d'envergure ont permis de redonner un second souffle à cet ouvrage présentant une importance particulière via le franchissement de la Moselle au nord du bassin thionvillois et à proximité du Luxembourg. □

**11- Réalisation de l'élargissement de la chaussée pour la piste cyclable.**

**12- Réalisation des enrobés et travaux de voirie.**

**11- Execution of pavement widening for bicycle path.**

**12- Asphalting and road works.**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Conseil Départemental de la Moselle

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Service études et Grands Travaux Conseil Départemental de la Moselle

**GROUPEMENT :** Demathieu Bard (Mandataire) - Freyssinet

**SOUS-TRAITANTS :** Cogeci (BET Béton) - Entrepose (échafaudages) - Eurovia (chaussée) - Zillhardt Staub (étanchéité) - Tcmi (garde corps)

**CONTRÔLE TECHNIQUE :** Coredia - Cerema

**COORDINATEUR SPS :** Ace Btp Ingeneery

## ABSTRACT

### STRENGTHENING A VIADUCT WITH INDEPENDENT PRESTRESSED BEAM SPANS OVER THE MOSELLE

LAURENT DUFLLOT, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE LA MOSELLE - FRANCK SERTHELON, DEMATHIEU BARD - THIBAUT HOUMAIRE, DEMATHIEU-BARD

**Structure TE27 of the "VIPP" type** (*viaduct with independent prestressed beam spans*) passes over the Moselle between Rettel and Contz-les-Bains. Various investigations showed numerous cracks on the beams, the top slab and the cross ties, and defects regarding the waterproofing, pavement joints, support devices and facing. The strengthening works, assigned to Demathieu Bard, involved treating the cracks, repairing the damaged concretes and shotcrete facings of the abutments, performing additional prestressing, strengthening with bonded carbon-fibre reinforcing bars, replacement of the support devices, and road works including the extension of the bicycle path. □

### REFUERZO DE UN VIVP EN EL MOSELA

LAURENT DUFLLOT, CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE LA MOSELLE - FRANCK SERTHELON, DEMATHIEU BARD - THIBAUT HOUMAIRE, DEMATHIEU-BARD

**La obra TE27 de tipo VIVP** (*Viaducto Independiente con Vigas Pretensadas*) cruza el Mosela entre Rettel y Contz-les-Bains. Distintas investigaciones revelaron numerosas fisuras en las vigas, el forjado y las riostras, así como fallos de estanqueidad en las juntas de pavimento, los equipos de apoyo y el revestimiento. Las obras de refuerzo, encargadas a la empresa Demathieu Bard, han consistido en tratar las fisuras, reparar los hormigones deteriorados y los revestimientos de hormigón proyectado de los estribos, realizar un pretensado adicional y un refuerzo por armadura adherida de fibra de carbono, sustituir los equipos de apoyo y obras viales que incluyeron la prolongación del carril bici. □



1

© GRÉGOIRE KOULBANIS

# RÉPARATION ET RENFORCEMENT D'UN TABLIER DE PONT SUR L'A6 À ORMOY

AUTEURS : RODOLPHE MONTET, CHEF DE PROJET DRIEA/DIRIF SERVICE OUVRAGES D'ART -  
CHRISTOPHE PAULARD, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE TECHNIREP

LE PONT QUI PERMET À L'AUTOROUTE A6 DE FRANCHIR LA RIVIÈRE ESSONNE (91) À ORMOY A ÉTÉ CONSTRUIT À LA FIN DES ANNÉES 1950. LES INSPECTIONS RÉGULIÈRES DU PONT ONT DÉCELÉ EN 2011 UN DÉFAUT DE L'ÉTANCHÉITÉ SUR LE TABLIER QUI A ENTRAÎNÉ UNE DÉGRADATION DU BÉTON. AFIN DE GARANTIR LA PÉRENNITÉ DE L'OUVRAGE, LA DIRECTION INTERDÉPARTEMENTALE DES ROUTES D'ÎLE-DE-FRANCE (DIRIF) A MENÉ DES TRAVAUX DE RENFORCEMENT AVEC L'ENTREPRISE TECHNIREP (GROUPE ETPO). LA RÉPARATION CONSISTAIT À CONFORTER LE BÉTON DU PONT ET À REPREDRE L'ÉTANCHÉITÉ SOUS LA CHAUSSÉE PROTÉGEANT LE TABLIER AINSI QUE LES SYSTÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX DE RUISSELLEMENT.

Le pont d'Ormoys porte l'Autoroute A6 et permet le franchissement de la rivière Essonne. Cette partie de l'A6 est exploitée par la Direction interdépartementale des routes d'Île-de-France (DIRIF) qui est un service de l'État. L'ouvrage supporte un trafic journalier de 90 000 véhicules dont 12 000 poids lourds, dans les deux sens. Construit en 1959 au moment de la réalisation de l'autoroute, c'est un ouvrage en béton armé qui comprend deux tabliers indépendants mesurant

14,10 m de largeur (figure 1). Ils sont de longueur différente : 56,30 m dans le sens Province-Paris et 58,70 m dans le sens Paris-Provence. Chacun des tabliers est constitué de 3 travées indépendantes de portées respectives entre appuis 13,20 m/20,85 m à 22,68 m/19,48 m pour un sens et 13,20 m/22,99 m à 24,81 m/19,48 m pour l'autre. L'ouvrage présente un léger biais variable. Il s'agit d'un pont à poutres en béton armé. L'épaisseur totale du tablier

**1- Vue d'ensemble du pont portant l'autoroute A6 à Ormoys.**

**1- General view of the bridge carrying the A6 motorway at Ormoys.**

entre le dessus de la dalle (extrados) et la face inférieure des poutres (intrados) est de 1,50 m. Les poutres principales ont une largeur de 38 cm et le hourdis a une épaisseur de 18 cm. Le ferrailage de flexion de l'ouvrage est composé d'aciers TOR de diamètres divers allant jusqu'à 32 mm. Les piles intermédiaires sont massives et reçoivent chacune deux lignes d'appuis. Les culées sont enterrées dans les remblais. L'ouvrage étant implanté dans une zone marécageuse dont le sol est

tourbeux, des fondations profondes ont été réalisées.

Les documents d'exécution ne mentionnent pas la mise en œuvre d'une étanchéité à la construction et aucune étanchéité n'a été trouvée lors des investigations puis des travaux.

Au cours de son histoire, l'ouvrage n'a pas subi d'interventions importantes. Il a fait l'objet de quelques ragréages et a été vériné dans les années 1980, notamment pour être mis sur des appareils d'appuis en néoprène frettés.

### DÉSAGRÉGATION DU BÉTON SOUS LA CHAUSSÉE

En 2011, les spécialistes du Centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) effectuent des carottages révélant une désagrégation du béton sous la chaussée d'au moins 5 cm, parfois sous la forme de sable et de gravats. Le Département d'ingénierie ouvrages d'art (Dioa) de la Dirif est sollicité pour étudier l'ouvrage et mener les investigations en vue de déterminer les éventuelles pathologies et réparations à mener. Le point le plus sensible est la voie lente du tablier sens Province-Paris, où des traces de calcite et d'humidité sont visibles en sous-face.

L'inspection indique que, sur l'ensemble du tablier, une épaisseur allant de 4 à 8 cm est délaminée ou a disparu. Les zones où le hourdis est le plus endommagé correspondent à la voie lente. Tout indique que les zones pré-



© TECHNIREP

**2- Système de confortement provisoire (soutènements lourds) sous le hourdis.**

**3- Échafaudages suspendus permettant l'accès au pont.**

**2- Temporary reinforcement system (heavy retaining structures) under the subfloor structure.**

**3- Suspended scaffolding allowing access to the bridge.**

sentant des traces d'humidité en intrados ont une forte probabilité de voir se développer une corrosion.

Ces pathologies sont la conséquence de trois facteurs : la position de l'ouvrage au point bas de la cuvette de l'Essonne, l'absence d'un assainissement efficace pour l'évacuation des eaux de chaussée, et l'absence d'étanchéité sur le béton de la table de compression. Suite au recalcul complet de l'ouvrage et à l'étude de compatibilité avec l'exploitation de l'A6 en mode 2x2 voies, le projet de réparation est mis au point par le Dioa. En 2016 les premiers travaux concernent la partie du pont la plus endommagée : le sens Province-Paris. Le chantier est confié à l'entreprise Technirep.

L'A6 est la principale voie de communication entre Paris et Lyon ; le maître d'ouvrage ne peut ni fermer le pont ni en reconstruire un nouveau. Le démolir serait très coûteux et compliqué.

De plus, le pont est globalement en bon état mis à part le hourdis. Le projet de réhabilitation est donc lancé.

### DESCRIPTIF DES TRAVAUX

Le chantier se décompose en plusieurs opérations :

- Purges par hydrodémolition ;
- Coffrages en intrados en voie lente ;
- Soutènement du hourdis ;
- Scellement d'armatures de connexion du béton neuf au béton ancien ;
- Bétonnage ;
- Renforcement de la travée Nord par armature composite collée ;
- Mise en place du dispositif de retenue ;
- Pose de l'étanchéité ;
- Réfection de l'assainissement.

### TRAVAUX DE RÉPARATION SYSTÈME DE CONFORTEMENT PROVISOIRE

Les travaux de réparation ont été menés en deux temps : moitié voie rapide, puis moitié voie lente.

L'ouvrage présentait une faiblesse générale du tablier due à un sous-dimensionnement et à des défauts d'étanchéité ayant dégradé le béton sur la voie lente en particulier. ▷



© GRÉGOIRE KOULBANIS

Il fallait déstructurer le tablier, renforcer les armatures, réaliser un nouveau tablier puis refaire l'étanchéité et enfin renouveler la couche de roulement. Avec une contrainte majeure : laisser l'ouvrage en circulation. Compte-tenu du niveau de trafic en semaine sur cette section de l'autoroute A6, les travaux de réparation du tablier ont été organisés sur deux années (sens province-Paris en 2016 et Paris-province en 2017). L'équipe de Technirep est intervenue sur la première phase. Afin de maintenir la circulation sur le tablier, il s'est avéré nécessaire de mettre en place un système de confortement provisoire (soutènements lourds) (figure 2) sous les zones de hourdis subissant les sollicitations dues au trafic et un affaiblissement provisoire dû aux travaux de purge. L'entreprise a travaillé avec des échafaudages suspendus (figure 3).

C'était la première fois qu'elle plaçait ce type de soutènements. La mise en place des profilés a été particulièrement délicate. L'ensemble étant très lourd, tout a été démonté et assemblé sur place. Les constituants ont été conçus spécialement pour ce chantier.

De petits vérins (décintreurs) permettaient de s'assurer que les efforts passaient bien par la structure provisoire.

#### Étude du soutènement

Le soutènement est composé de deux barres inclinées constituées chacune



4

© TECHNIREP

de deux cornières 150x150x15 jumelées dos-à-dos et une barre verticale en HEA 200.

Une platine en tête est mise en place pour permettre l'appui d'un décintreur. Ce dernier sert à la mise en charge du système. Le pied du HEA 200 est équipé de deux goussets qui permettent son assemblage aux cornières. La fixation du système sur les poutres se fait au moyen d'un demi-HEA 400 fixé sur les poutres par des boulons scellés. La stabilité du système dans son plan est assurée par des tirants qui relient la tête du HEA 200 avec les cornières.

**4- Vue en détail du système de confortement provisoire.**

**5- Modélisation d'un élément de soutènement lourd.**

**4- Detail view of the temporary reinforcement system.**

**5- Modelling a heavy retaining component.**

Pour empêcher toute instabilité du système hors plan, les HEA 200 sont reliés aux entretoises par un système de câbles en têtes et en pieds (figure 4). Le décintreur est posé sur la tête du HEA 200 préalablement équipée d'une plaque de répartition entourée de taquets anti-cheminement.

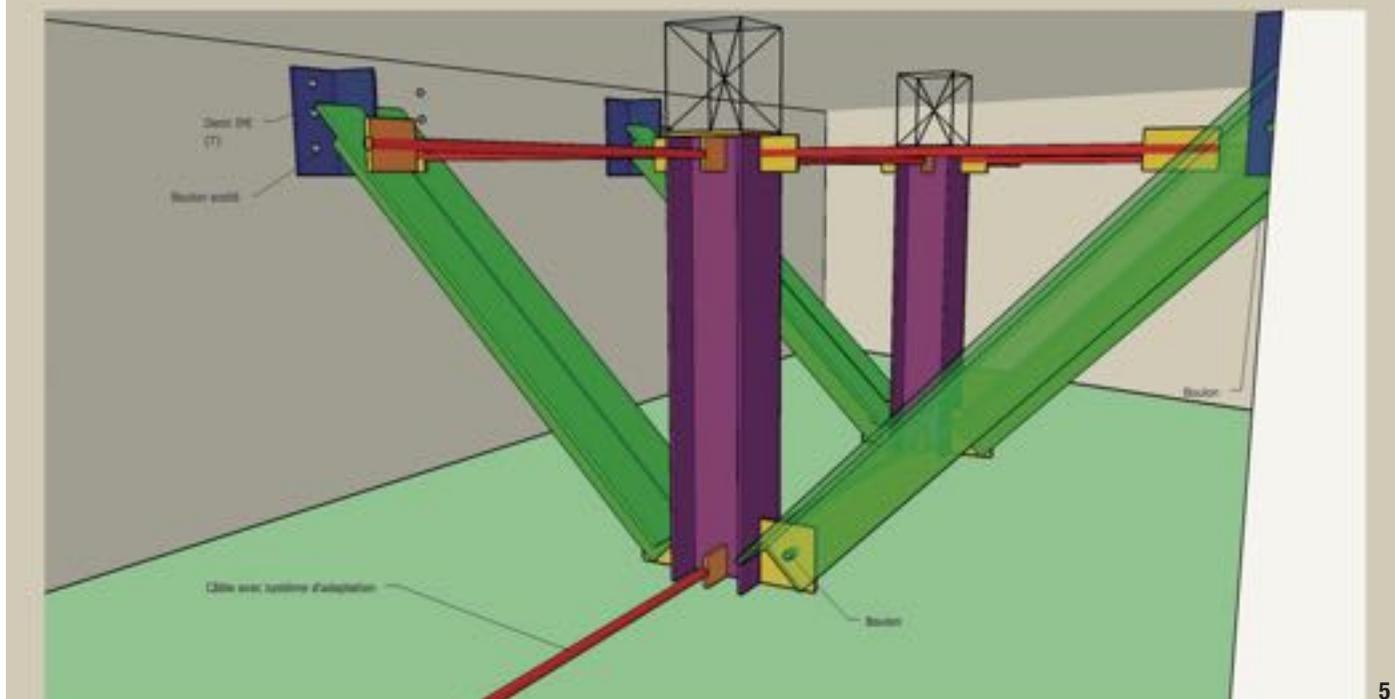
Un appui en caoutchouc de 5 mm d'épaisseur est mis au-dessus du décintreur. Les deux pieds de celui-ci doivent être parallèles aux ailes du HEA 200.

#### Modèle de calcul

Trois soutènements différents sont conçus pour l'ensemble de l'ouvrage. Chaque élément est composé de deux barres tendues ayant chacune deux cornières 150x150x15 jumelées et une barre comprimée en HEA 200. La différence entre les trois types d'éléments est la longueur des barres comprimées : 1,07 m, 1,12 m et 1,17 m. Le logiciel Robot Structural Professional 2015 est utilisé pour le calcul des sollicitations et la vérification des sections (figure 5).

Les appuis des cornières au niveau des poutres sont modélisés comme une articulation. En tête et en pied du HEA 200 un appui horizontal est également modélisé. Pour prendre en compte tout éventuel excentrement de charge, une simulation est modélisée au niveau de la tête du HEA 200 dans les deux sens.

## MODÉLISATION D'UN ÉLÉMENT DE SOUTÈNEMENT LOURD

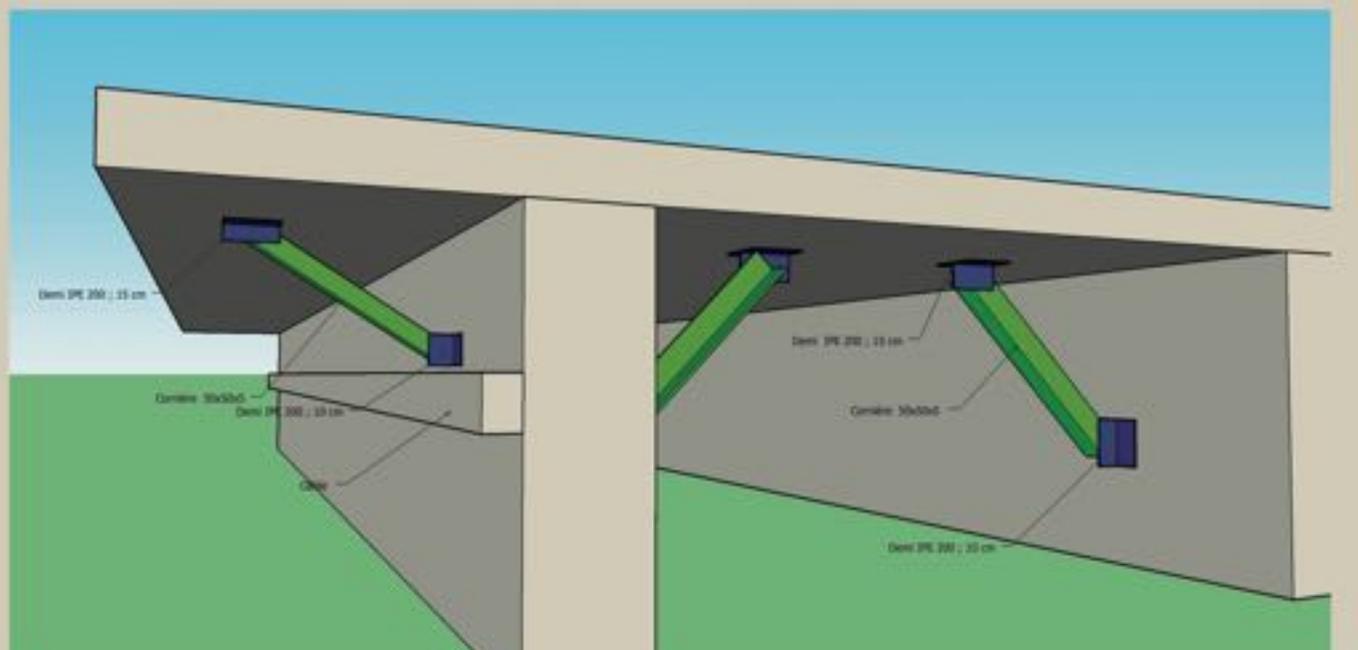


5

© TECHNIREP

## MODÉLISATION D'UN ÉLÉMENT DE SOUTÈNEMENT LÉGER

© TECHNIREP  
6



### SOUTÈNEMENT LÉGER

En dehors de la voie lente, un soutènement léger a été mis en œuvre sur les autres voies. Chaque élément est ici constitué d'une barre comprimée (cornière) sous forme d'un bracon attaché à la poutre et au hourdis par des T. Les T sont fixés sur la poutre et sur le hourdis par des scellements (figure 6). Deux soutènements légers différents ont été conçus pour l'ensemble de l'ouvrage. La cornière de chaque élément est inclinée en fonction de la position sous les consoles de rive entre les poutres. La différence entre les deux types de soutènement est la longueur des barres comprimées (0,438 m et 1,177 m) et leur inclinaison par rapport à la verticale (62° et 48°). Le calcul des sollicitations et la vérification des sections ont aussi été modélisés pour ces soutiens.

### PURGE PAR HYDRODÉMOLITION

La totalité du hourdis de la voie lente a été purgée sur 18 cm d'épaisseur. Sur les autres parties de l'ouvrage les purges ont été effectuées sur une épaisseur allant de 5 à 8 cm. L'hydrodémolition du tablier (à 2500 bars) a permis de démolir le béton et de conserver les aciers en place (figure 7). Compte-tenu de la quantité de béton à purger dans des délais restreints, un robot d'hydrodémolition a été utilisé (cadence de démolition de 4 à 5 m<sup>3</sup>/jour) ; au total 78 m<sup>3</sup> de béton ont ainsi été démolis.

© TECHNIREP



7

**6- Modélisation d'un élément de soutènement léger.**

**7- Hydrodémolition du tablier réalisée au robot.**

**6- Modelling a light retaining component.**

**7- Hydrodemolition of the deck performed with a robot.**

Le réglage du robot d'hydrodémolition s'est avéré délicat puisqu'il fallait ajuster à la fois la pression à la sortie de la buse, le débit de la buse ainsi que la vitesse de passage de la buse au-dessus du béton, de manière à n'éliminer que le béton altéré.

### DISPOSITIF D'ENLÈVEMENT DES GRAVATS

Les zones correspondant à la voie lente posaient différents problèmes : la chute des gravats et le souffle du jet du robot d'hydrodémolition. L'entreprise a mis des coffrages étanches en métal sous

l'intrados de l'ouvrage pour éviter toute chute de déchets. L'enlèvement des gravats s'est fait au moyen d'une aspiratrice pour respecter les contraintes environnementales.

### COFFRAGES EN INTRADOS EN VOIE LENTE

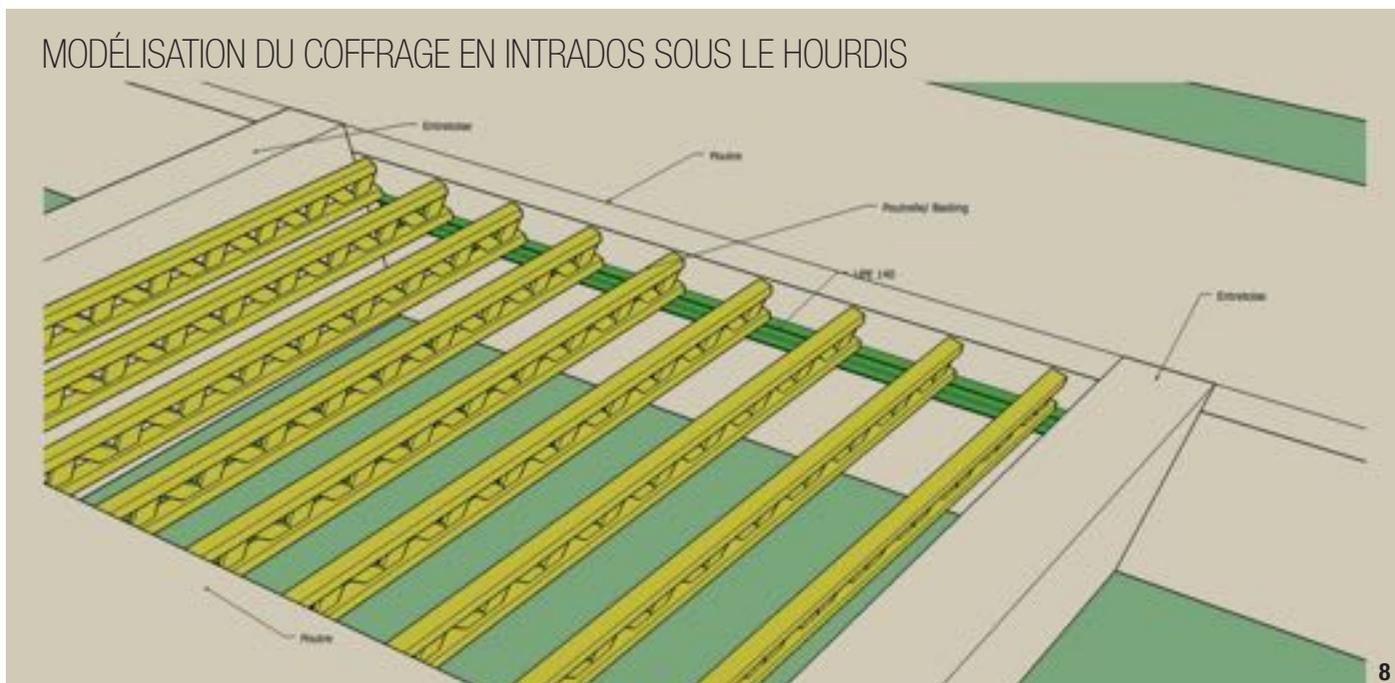
Il s'est avéré nécessaire de mettre en œuvre un coffrage en intrados pour bétonner le hourdis (figure 8). Sous le hourdis, le coffrage a été conçu avec une tôle d'acier 2 mm coupée à dimension d'une épaisseur suffisante pour résister à l'hydrodémolition et un contreplaqué de 15 mm, supportés par des poutrelles de 200 mm de hauteur et 80 mm de largeur.

Les poutrelles étant supportées par deux cornières à ailes égales de 100 mm fixées sur les poutres par des tiges scellées (figure 9).

### POSE D'ARMATURES ADDITIONNELLES

L'élaboration du projet a montré que l'ouvrage était suffisamment ferrailé vis-à-vis des charges d'exploitation actuelles mais qu'il fallait augmenter les nappes d'acier supérieures du hourdis. Dans tous les cas, l'épaississement du hourdis nécessitait la mise en œuvre d'une armature additionnelle. Plus de 14 t d'aciers passifs ont été ajoutés à l'ouvrage. Il fallait aussi assurer la connexion du béton neuf au béton ancien de manière à rendre l'ensemble monolithique.

## MODÉLISATION DU COFFRAGE EN INTRADOS SOUS LE HOURDIS



8 © TECHNIREP

Les justifications conduites au projet ont abouti à la réalisation d'un grand nombre de scellements : 9300 épingles HA10 scellées sur 10 cm et 5300 HA12 scellées sur 30 cm. Des essais de traction ont été réalisés sur des barres scellées dans le hourdis, montrant qu'elles pouvaient être tendues au moins jusqu'à 90% de la limite élastique sans que le scellement chimique ne s'arrache ou ne se déforme de manière réchibitoire.

### SCELLEMENT DE 14000 CONNECTEURS

Le renforcement structural a été réalisé par pose d'armatures additionnelles (23 t d'acier sur toute la longueur au total (figure 10) en deux temps) puis scellement de 14000 connecteurs

pour solidariser l'ancien béton sur le nouveau. Cette phase du chantier a été mécanisée à l'aide de perceuses aspirantes. Il fallait percer, faire un scellement chimique et raccorder les aciers ensemble. Pour prendre en compte les vibrations dues au trafic, des essais de coulage de différents types de bétons ont été effectués.

Le béton initialement prévu n'étant pas pertinent, la solution du bétonnage au C40/C50 a été retenue pour sa prise rapide et ses caractéristiques mécaniques.

Les bétonnages structuraux du hourdis ont tous été faits de nuit, le week end durant les restrictions de circulation. La mise en oeuvre du béton a été faite au moyen d'une pompe horizontale déployée en extrémité de tablier.

**8- Modélisation du coffrage en intrados sous le hourdis.**

**9- Coffrage étanche réalisé en intrados sous le hourdis.**

**10- Pose d'armatures additionnelles et bétonnages structuraux du hourdis.**

**8- Modelling of the formwork on the lower surface of the top slab.**

**9- Watertight formwork executed on the lower surface of the top slab.**

**10- Placing additional reinforcements and structural concreting of the top slab.**

### RENFORCEMENT DE LA TRAVÉE NORD PAR ARMATURES COMPOSITES COLLÉES

Les calculs ont montré que les poutres de rive de la travée Nord avaient un léger déficit de résistance à l'état limite ultime (ELU).

Un renforcement a été réalisé par collage de plats de carbone Carboplate E170 Mapei (avis technique du CSTB : 3/14-769). Technirep a dû faire des essais à l'aide d'un extractomètre pour vérifier si le béton était suffisamment résistant pour recevoir le renforcement en fibre de carbone.

### DISPOSITIF DE RETENUE

À l'issue de la réparation de la structure, un dispositif de retenue a été mis en oeuvre.



9



10

© TECHNIREP



© TECHNIREP  
11



12

Le choix de Technirep s'est porté sur la BN5+ (dispositif de niveau H2) qui a été implantée sur une longrine réalisée en béton C35/45.

Les dispositifs sont classés par niveau de retenue. Ces niveaux sont définis par leur capacité à retenir et rediriger sur la chaussée des véhicules en perte de contrôle. H2 correspond à la retenue d'un véhicule de 13 t lancé à 70 km/h et arrivant sur la barrière avec un angle de 20°.

#### ÉTANCHÉITÉ- ASSAINISSEMENT

Technirep a refait le système d'étanchéité, de type feuille préfabriquée monocouche posée à chaud (figure 11) titulaire d'un avis technique du Cerema.

Au total 800 m<sup>2</sup> d'étanchéité ont été mis en œuvre. La difficulté était de parvenir à effectuer la pose des feuilles dans les chenaux d'assainissement. Puis la couche de roulement composée d'un enrobé à chaud (type BBSG) représentant 250 t a été appliquée. Le pont d'Ormo y a aussi été doté d'un

**11- Système d'étanchéité de type feuille préfabriquée.**

**12- Reprise des écoulements d'eau de l'ouvrage.**

**11- Waterproofing system of the prefabricated sheet type.**

**12- Reworking of the structure's water drainage.**

dispositif d'assainissement. En raison de l'absence de pente longitudinale et de la faible pente transversale de la chaussée, les calculs prévoyaient de disposer des évacuations d'eau tous les 4 m pour éviter l'accumulation de l'eau sur la voie lente en cas de pluie décennale (figure 12). Ce faible espacement a été retenu, compte tenu de

la relative irrégularité du profil en long de l'ouvrage, due aux déformations sous charges permanentes.

Le collecteur principal a une pente de 1 % et un diamètre qui varie de 150 mm à 250 mm. Il se vide hors

ouvrage dans une conduite en PVC reliée au système d'assainissement principal de l'A6. Des dispositifs spéciaux permettant la dilatation des conduites ont été mis en œuvre au droit des joints de l'ouvrage. □

#### PRINCIPALES QUANTITÉS

**REINFORCEMENT PAR ARMATURES ADDITIONNELLES :**

**14 t d'acier passif**

**CONNECTEURS : 14 000 u**

**PURGE PAR HYDRODÉMOLITION: 78 m<sup>3</sup> de béton démolis**

**SURFACE D'ÉTANCHÉITÉ : 800 m<sup>2</sup>**

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE ET MAÎTRISE D'ŒUVRE :**

**Direction interdépartementale des routes d'Île-de-France (DiRIF)**

**ENTREPRISE MANDATAIRE : Technirep**

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Colas (enrobés), Smac (étanchéité), Thp (hydrodémolition), ArhnoIdt (échafaudage)**

**LABORATOIRE CHARGÉ DES ESSAIS BÉTON : Rincent Btp**

#### ABSTRACT

### DECK REPAIR AND STRENGTHENING ON A BRIDGE OVER THE A6 MOTORWAY AT ORMOY

RODOLPHE MONTET, DRIEA/DIRIF - CHRISTOPHE PAULARD, TECHNIREP

The bridge carrying the A6 motorway at Ormo y is a reinforced concrete structure consisting of two separate decks. Suffering from disintegration of the concrete under the pavement due to corrosion, the bridge underwent renovation work carried out by Technirep. The initial works concerned the most severely damaged part, in the Provinces-Paris direction. They involved deconstructing the deck, strengthening the reinforcements, executing a new deck, redoing the waterproofing and then renewing the wearing course, with the major constraint of allowing traffic to continue on the bridge. To do this, the contractor employed a temporary reinforcement system (heavy retaining structures) under the subfloor structure. Finally, additional reinforcement (more than 14 tonnes of passive reinforcing bars) was added to the structure. □

### REPARACIÓN Y REFUERZO DE UN TABLERO DEL PUENTE SOBRE LA A6 EN ORMOY

RODOLPHE MONTET, DRIEA/DIRIF - CHRISTOPHE PAULARD, TECHNIREP

El puente que soporta la autopista A6 en Ormo y es una construcción de hormigón armado formada por dos tableros independientes. Afectado por el deterioro del hormigón bajo la calzada a causa de la corrosión, el puente ha sido objeto de obras de rehabilitación a cargo de la empresa Technirep. Los primeros trabajos se han centrado en la parte más dañada: el sentido Province-París. Consistieron en desestructurar el tablero, reforzar las armaduras, realizar un nuevo tablero, reimpermeabilizarlo y renovar la capa de rodadura, con la complicación añadida de mantener el puente en circulación. Para ello, la empresa ha utilizado un sistema de refuerzo provisional (soportes pesados) debajo del forjado. Finalmente, se ha añadido una armadura adicional (más de 14 t de aceros pasivos) a la construcción. □



1

© FREYSSINET

# VIADUC DE CERBÈRE : RÉPARATION ET PROTECTION CATHODIQUE DES BÉTONS

AUTEURS : OLIVIER LESIEUTRE, RESPONSABLE DU SERVICE CORROSION, DIRECTION TECHNIQUE OPÉRATIONNELLE, FREYSSINET FRANCE - CHRISTIAN SCHMITT, RESPONSABLE D'ACTIVITÉ GÉNIE CIVIL, FREYSSINET SUD-OUEST - CHRISTOPHE MICHAUX, DIRECTEUR TECHNIQUE, SIXENSE-CONCRETE

**LE VIADUC DE CERBÈRE, DANS LES PYRÉNÉES ORIENTALES, EST LE SEUL PASSAGE ENTRE COLLIOURE ET L'ESPAGNE. DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ONT PERMIS DE RENFORCER L'OUVRAGE ET DE LE PROTÉGER CONTRE LA CORROSION EN LE PLAÇANT SOUS PROTECTION CATHODIQUE PAR COURANT IMPOSÉ. C'EST L'ENTREPRISE FREYSSINET QUI A MENÉ À BIEN CE CHANTIER.**

**M**is en service en 1983, l'ouvrage de 236 m de long construit en bord de mer Méditerranée, porte la route départementale n°914 et permet le franchissement de criques et d'éperons rocheux. Cette route, seul axe entre Collioure et l'Espagne, est un itinéraire touristique qui accueille un trafic moyen de 4 000 véhicules par jour (figure 1). L'ouvrage a fait l'objet,

depuis sa construction, de plusieurs diagnostics et de deux tranches de travaux successives face aux dégradations affectant le tablier et les piles, dues à la corrosion des armatures. Il est en effet très exposé aux embruns.

L'estacade est constituée de 5 ouvrages successifs : un tablier (dalle béton armé) avec 5 travées d'une longueur de 55,66 m (côté mer), un tablier (dalle

**1- Vue d'ensemble de l'estacade de Cerbère.**

**1- General view of the Cerbère viaduct.**

béton armé) avec 5 travées d'une longueur de 39,93 m, un tablier (dalle béton armé) avec 4 travées d'une longueur de 27,20 m, un tablier (dalle béton précontraint) avec 2 travées d'une longueur de 56 m ; et un tablier (dalle béton précontraint) avec 2 travées d'une longueur de 57 m. Les cinq tabliers sont posés sur 20 appuis eux-mêmes ancrés sur le rocher.

## DIAGNOSTIC ET DÉSORDRES

Un diagnostic réalisé par l'entreprise Concrete en 2013, commandé par le Conseil Départemental des Pyrénées Orientales, a permis - à travers une approche globale partant de la structure jusqu'à l'analyse de l'environnement des aciers dans le béton - de définir la problématique de corrosion à laquelle il fallait répondre. De nouvelles investigations et études ont été engagées en 2015 pour définir les hypothèses avant consultation des entreprises.

Il s'avère que la dégradation des différentes piles et culées de l'estacade de Cerbère est due à l'agressivité du milieu. Les investigations concernant les matériaux (béton et acier) menées sur les piles montrent que le béton, de qualité moyenne et carbonaté à certains endroits sur des profondeurs significatives, est fortement pollué par les chlorures jusqu'au niveau des armatures. Les concentrations mesurées au droit des aciers dépassent nettement le seuil critique conventionnel, permettant la dépassivation puis la corrosion des armatures (figure 2). Le phénomène de foisonnement des aciers entraîne la fissuration du béton d'enrobage et l'apparition d'épaufrures. La mise en œuvre de revêtement de protection résine en surface des piles et culées n'a pas empêché la pénétration des ions chlorures. La purge des bétons lors des campagnes de travaux précédentes n'a pas été effectuée dans toutes les



© FREYSSINET

**2- Corrosion des armatures constatée lors du diagnostic.**  
**3- Installation des moyens d'accès sur l'estacade.**

**2- Reinforcement corrosion detected during the diagnosis.**  
**3- Installation of means of access on the viaduct.**

zones polluées ou n'a pas permis une élimination efficace de la chloruration. L'inspection des appuis de l'estacade ainsi que le diagnostic ont permis de mettre en avant les pathologies suivantes :

- Les piles et les culées présentent un état de dégradation avancé ;
- Les bétons constitutifs des piles et culées de l'ouvrage sont pollués par les chlorures exogènes jusqu'à des profondeurs bien supérieures à l'enrobage des aciers (concentrations en chlorures supérieures au seuil critique jusqu'à des profondeurs de 60 à 110 mm) ;

- La corrosion des armatures, à l'origine des dégradations, est avérée et confirmée par des sondages qui montrent que la plupart des armatures mises à nu sont corrodées. Certaines présentent des pertes de section importantes (jusqu'à 60%).

## DESCRIPTIF DES TRAVAUX

Les campagnes de réparation antérieures, de méthode traditionnelle (suivant les normes NFP 95101 et 95102), se sont révélées inefficaces pour remédier aux dégradations du béton causées par les chlorures (qui génèrent des corrosions auto-catalytiques et des anodes induites par effet de bord sur le pourtour des zones réparées). Par endroits, la corrosion s'est développée à tel point qu'elle a dissous certains aciers.

Les travaux de réhabilitation consistent à protéger les armatures, réparer les bétons et reconstruire les appuis. Compte-tenu de l'historique de l'ouvrage, de l'agressivité du milieu ambiant et du caractère stratégique de l'estacade, la mise en œuvre d'un système de protection cathodique par courant imposé (PCCI) en complément des stratégies de réparation conventionnelles a été proposée par le groupement Freyssinet-Concrete. Cette technologie est la plus adaptée dans un environnement corrosif généralisé avec des courants de corrosion de forte intensité. Elle permet de limiter les volumes de purge aux seuls bétons éclatés ; elle offre un suivi de performance dans le temps pour s'assurer de l'efficacité du système et effectuer les réglages nécessaires (en fonction de l'évolution de l'état électrochimique des aciers dans le béton). Phasage :

- Décapage des revêtements des piles ;
- Étalement et butonnage ;
- Purge des bétons dégradés ;
- Sablage à sec ;
- Reconstitution des parements et renforcement spécifique de la pile P5 ;
- Protection cathodique ;
- Revêtement de protection ;
- Changement d'appareils d'appui.

## TRAVAUX DE RÉPARATION

C'est l'entreprise Freyssinet qui a mené le chantier de septembre 2016 à fin 2017. L'estacade, située en bord de mer et construite sur des éperons rocheux, offrait peu de place aux installations de chantier (figure 3). Les travaux se situant en milieu urbain, les problématiques de bruit et de poussière devaient aussi être prises en compte. ▷



© FREYSSINET

La RD 914 étant le seul axe routier de transit de la Côte Vermeille, l'exploitation de l'ouvrage devait être maintenue pendant toute la durée des travaux. De même, à proximité immédiate de l'estacade, l'accès aux installations techniques du port a dû être également maintenu. Enfin, pour ne pas gêner les flux touristiques, les travaux devaient être interrompus pendant la période estivale.

Pour accéder au viaduc, l'entreprise a posé un échafaudage fixe, un filet de protection et des passerelles entre piles (figure 4). Une épreuve a été réalisée sur une pile test pour valider le procédé de réparation. Les travaux se sont ensuite déroulés par demi-ouvrage, une moitié après l'autre.

#### DÉCAPAGE, MISE EN SÉCURITÉ DE PILES PAR BUTONNAGE, PURGE DES BÉTONS DÉGRADÉS

Il a fallu enlever les deux types de revêtement existants, aux épaisseurs différentes. Les supports revêtus d'une couche de peinture pelliculaire ont été poncés (1 500 m<sup>2</sup>) et les supports béton revêtus de résine ont été hydrodécapés à très haute pression (1 500 bars) sur 500 m<sup>2</sup> sur plusieurs piles en particulier.

Pour les piles, l'entreprise a mis en place un dispositif de maintien transversal. Sur les piles P11, P12, P13 et P5 suspectées de fortes dégradations avec de profondes épaufrures pouvant se détacher sur des linéaires importants, un butonnage a été réalisé pour éviter tout risque d'instabilité pendant les purges. Ce dispositif "slim shore" était composé de bracons servant à bloquer la pile en tête suivant l'axe du tablier (figure 5). Les efforts horizontaux dus au freinage et aux variations linéaires étaient ainsi transmis sur les fondations des deux piles adjacentes. Ces butons permettaient à la fois de réduire la longueur de flambement de la pile et de reprendre les efforts horizontaux (figure 6). La pile P5 ayant été confortée en 1998 par un sarcophage épais et fortement armé, il était nécessaire de démolir celui-ci. Le même dispositif de stabilité provisoire a été mis en œuvre avant l'hydrodémolition du sarcophage qui a permis d'atteindre les bétons d'origine (la démolition a été limitée à la surépaisseur de béton) (figures 7 et 8). Il a fallu ensuite purger les bétons dégradés non adhérents au marteau-piqueur. Dans le phasage de démolition, afin d'éviter de fragiliser les piles, l'entreprise a procédé par demi nervure. Au total 20 m<sup>3</sup> de béton ont été purgés,



4 © FREYSSINET

sur des épaisseurs allant de 5 à 10 cm. Certaines zones étaient déjà fortement dégradées.

Les aciers ont été traités par sablage ; ceux souffrant de perte de section ont été reconstitués à l'identique. Au fur et à mesure des purges, lorsque certaines armatures présentaient des pertes de section trop importantes, il a fallu mettre en œuvre un renforcement par ajout d'armatures. La mise en œuvre d'une protection cathodique imposant une continuité électrique des aciers demandait que celle-ci soit vérifiée systématiquement (suivant la méthode exigée dans la norme EN ISO 12696) et le cas échéant recréée par des personnels habilités.

**4- Installation des échafaudages et protections de chantier.**

**5- Butonnage des piles.**

**4- Installation of scaffolding and worksite protection systems.**

**5- Pier stying.**

#### RECONSTITUTION PAR BÉTON PROJETÉ

L'équipe de Freyssinet a reconstitué les piles en béton projeté par voie sèche. Il fallait restituer le monolithisme de la structure avec des caractéristiques mécaniques élevées. 23 appuis au total ont été renforcés par ajout d'armatures, piquages et projections de béton.

Sur l'ensemble des piles, 60 t de béton projeté Foreva® Shotcrete 40 (40 MPa) ont été mis en œuvre.

Des essais de contrôle du béton projeté ont permis d'obtenir, à 4 jours une résistance supérieure à 40 MPa. Cette étape du chantier a été réalisée par des techniciens certifiés Asquapro.

Sur la pile P5, le sarcophage a été partiellement reconstitué sur une couche plus mince.

#### PROTECTION CATHODIQUE

Freyssinet et Concrete ont réalisé le design (conception et étude de dimensionnement) de la protection cathodique par courant imposé, le principe étant de fournir aux aciers l'énergie suffisante pour juguler leur corrosion. Conformément aux attendus des normes EN ISO 12696 et EN ISO 15257 cette ingénierie a été réalisée tant au niveau de l'entreprise que du bureau d'étude par des personnels formés et qualifiés par une certification en protection cathodique spécifique au secteur des aciers dans le béton délivrée par le Cefracor (Centre Français de l'Anticorrosion).



5 © FREYSSINET



6

© FREYSSINET

La première étape consistait à analyser l'environnement et définir des zones de protection différenciées (les nervures côté mer étant plus exposées) puis déterminer la densité d'acier dans les différentes parties de l'ouvrage. Au total les 4 culées et les 16 piles devaient être traitées par protection cathodique. Les piles et culées de l'estacade présentant une géométrie et un ferrillage différents, il a fallu rédiger une étude de dimensionnement spécifique pour chaque élément. Un zonage anodique a été défini en prenant en compte les rôles structurels des éléments mais aussi leur environnement. Les zones anodiques se décomposaient par chevêtre, âme, nervure côté mer, nervure

**6- Butonnage d'une pile - vue en détail.**

**7- Pile P5 après l'hydrodémolition du sarcophage.**

**8- Sarcophage hydrodémoli de la pile P5.**

**6- Pier staying - detail view.**

**7- Pier P5 after hydrodemolition of the sarcophagus.**

**8- Sarcophagus of pier P5 after hydrodemolition.**

côté terre, semelle (pour les piles P9, P12, P14, P15 et P23) (figure 9). Seul le chevêtre de la pile P6 de convenance a été divisé en deux zones distinctes. Pour chaque culée, les zones anodiques se décomposaient par chevêtres sous bossage et appui du chevêtre. L'entreprise a fait un calcul des surfaces d'acier à protéger, et donc du nombre d'anodes, dont l'espacement et la longueur étaient adaptées à chaque zone. Sur la pile P5, l'âme étant entourée par un sarcophage béton de 3,5 m de hauteur rajouté après la construction de l'estacade, les zones anodiques étaient les suivantes : chevêtre, âme, nervure mer, nervure terre (au-dessus du sarcophage), sarcophage - partie âme

et nervure terre, sarcophage - partie nervure mer.

Pour chaque pile et chaque culée, les études ont permis de définir une intensité de courant par zone. La densité de courant anodique choisie a été de 220 mA/m<sup>2</sup> d'anodes. Ce choix s'explique par la réduction du courant de protection par courant imposé au début du traitement (primo-polarisation) en regard du courant nécessaire en phase de stabilisation (au bout de quelques mois). Selon la norme EN ISO 12696 en vigueur, l'entreprise a effectué les calculs pour obtenir une résistance de circuit telle que la chute de tension soit inférieure à 10% de façon à assurer une protection homogène. ▷



7



8

© FREYSSINET

Ces calculs permettaient de déterminer l'emplacement et le nombre de contacts positifs et avaient donc une forte influence sur le câblage.

Un essai pilote a été réalisé en début de chantier afin de valider les hypothèses prises lors de l'étude initiale et d'affiner les études de dimensionnement finales. Comme pour les études, la mise en œuvre a été réalisée par des personnels formés et certifiés en protection cathodique pour le secteur béton.

### SYSTÈME ANODIQUE MIS EN ŒUVRE

L'entreprise a mis en œuvre des anodes en titane forées, résistantes et durables dans le temps et qui permettent d'amener à cœur un courant de protection sans nécessité de recréer un enrobage supplémentaire (figure 10). Sur l'ensemble de l'estacade de Cerbère, plus de 6300 anodes en titane activé ont été intégrées avec des longueurs allant de 15 cm à 80 cm. Plusieurs types d'anode ont été placés en fonction des différentes zones (anodes dont la longueur et le profil ont été adaptés en fonction de la demande du courant de protection).

Les anodes d'une même zone étaient reliées entre elles par des bandes en



9

© FREYSSINET

**9- Installation du poste de travail sur la pile P23.**

**10- Mise en œuvre des anodes forées sur l'âme des piles.**

**11- Rainures et rubans en titane reliant les anodes d'une même zone.**

**12- Électrode de référence et sonde de dépolarisation.**

titane (figure 11). Chaque zone était raccordée au transformateur/redresseur via des câbles cuivre XLPE/XLPE de gaine rouge. Les connexions négatives étaient raccordées au pôle négatif du transformateur redresseur par des câbles cuivre XLPE/XLPE de gaine noire.

Chaque scellement d'anode a fait l'objet d'un contrôle rigoureux, soit plus de 7000 contrôles. Des saignées au disque diamant, d'une longueur de

2,5 km, ont permis le câblage puis la connexion de toutes les anodes.

Le mesurage était assuré par des électrodes de référence et des sondes de dépolarisation (figure 12) avec leurs câbles ramenés à la centrale de mesure. Ces matériels de mesure permettaient de contrôler le potentiel électrochimique des aciers et de vérifier les niveaux de protection appliqués (monitoring). Le critère retenu était une dépolarisation relative d'au moins 100 mV



10



11

© FREYSSINET



12

© FREYSSINET



13



14

à 24 h après coupure permanente de l'alimentation en courant continu de la protection cathodique.

Le système de contrôle et de gestion de la protection cathodique par courant imposé (PCCI) comportait différents éléments :

#### UNITÉ CENTRALE

Un système de contrôle et de gestion centralisée appelé CCU (Central Control Unit) a été installé et contenait :

- Un transformateur redresseur produisant le courant nécessaire au fonctionnement du CCU ;
- Un ordinateur recueillant les données des points de mesurage, donnant les consignes en courant aux contrôleurs esclaves ;

**13- Cabinet esclave sur la pile P9 pour la protection cathodique.**

**14- Pile après mise en œuvre du revêtement de protection.**

**13- Slave controller on pier P9 for cathodic protection.**

**14- Pier after placing the protective coating.**

- Un système de communication permettant de recueillir les données sur site ou à distance via un routeur GSM.

#### ARMOIRES ESCLAVES

La gestion décentralisée de la protection cathodique a été assurée par les armoires esclaves réparties le long de l'ouvrage (1 à 2 armoires par pile/culée) (figure 13) comportant les éléments suivants :

- Un transformateur redresseur produisant le courant nécessaire au fonctionnement global de l'armoire esclave ;
- Un système de monitoring gérant quatre zones anodiques (en puissance) et 8 voies de mesure ;

- Une protection foudre protégeant le matériel en cas d'impact sur l'ouvrage.

Les armoires ont été prévues pour gérer l'ensemble des zones anodiques de l'estacade de Cerbère.

#### REVÊTEMENT DE PROTECTION

Une fois les bétons réparés et protégés par la protection cathodique, l'entreprise a mis en œuvre un revêtement d'imperméabilisation mono-composant flexible, à raison de 2 couches, pour assurer la pérennisation de la réparation et le traitement esthétique d'ensemble (figure 14).

#### CHANGEMENT D'APPAREILS D'APPUI

Plusieurs appareils d'appui ont été changés. Sur certaines piles (notamment P6, P14 et P15) les bossages étaient très dégradés. Il a fallu procéder au vérinage des lignes d'appui pour les remplacer par des appareils neufs et procéder à la réfection des bossages. Les vérinages ont été réalisés au moyen de 3 vérins hydrauliques de capacité unitaire 100 t, avec un suivi altimétrique limitant les dénivelées transversales à 0,3 mm. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**SURFACE DE BÉTON DES PILES : 2 000 m<sup>2</sup>**  
**SURFACE DE BÉTON PRÉPARÉE PAR PONÇAGE : 1 450 m<sup>2</sup>**  
**SURFACE DE BÉTON PRÉPARÉE PAR HYDRODÉCAPAGE : 550 m<sup>2</sup>**  
**BÉTON PROJETÉ FOREVA® SHOTCRETE 40 : 60 t**  
**HYDRODÉMOLITION DE BÉTON : 8,6 m<sup>3</sup>**  
**ANODES FORÉES : 6 300 u**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Conseil départemental des Pyrénées Orientales  
**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Direction des routes / Pôle Ouvrages d'Art  
**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Freyssinet Sud-Ouest / Sixense Concrete  
**SOUS-TRAITANTS :** Thp (hydrodémolition), Perpignan Échafaudages (moyens d'accès)  
**CONTRÔLE EXTÉRIEUR :** Cerema

#### ABSTRACT

### CERBÈRE VIADUCT: REPAIR AND CATHODIC PROTECTION OF CONCRETES

OLIVIER LESIEUTRE, FREYSSINET - CHRISTIAN SCHMITT, FREYSSINET - CHRISTOPHE MICHAUX, SIXENSE-CONCRETE

**The Cerbère viaduct, built on the Mediterranean seashore** (in the eastern Pyrenees region) is situated on a tourist route carrying an average traffic of 4,000 vehicles per day. Since its construction, the structure has already undergone several work campaigns to cope with damage affecting the deck and the piers due to reinforcement corrosion. A new renovation project has been launched to protect the reinforcing bars, repair the concretes and rebuild the supports. Alongside conventional repair methods, steel treatment by impressed current cathodic protection (ICCP) was employed. A current amperage was defined by zone, for each pier and each abutment. This protection current provided the steels with the necessary and sufficient energy to effectively curb corrosion, despite the aggressiveness of the structure's immediate environment. □

### VIADUCTO DE CERBÈRE: REPARACIÓN Y PROTECCIÓN CATÓDICA DE LOS HORMIGONES

OLIVIER LESIEUTRE, FREYSSINET - CHRISTIAN SCHMITT, FREYSSINET - CHRISTOPHE MICHAUX, SIXENSE-CONCRETE

**Construido a orillas del mar Mediterráneo, el viaducto de Cerbère** (Pirineos Orientales) se encuentra en un itinerario turístico con un tráfico medio de 4.000 vehículos al día. Desde su construcción, ya ha sido objeto de varias campañas de obras para corregir los deterioros que afectan el tablero y los pilotes a causa de la corrosión de las armaduras. Se ha iniciado un nuevo proyecto de rehabilitación para proteger las armaduras, reparar los hormigones y reconstruir los apoyos. Paralelamente a los métodos de reparación convencionales, se ha aplicado un tratamiento de los aceros mediante protección catódica por corriente impresa (PCCI). Así, se ha definido una intensidad de corriente por zonas para cada pilote y cada estribo. La corriente de protección ha aportado a los aceros la energía necesaria para combatir eficazmente la corrosión, pese a la agresividad del entorno inmediato de la construcción. □



1

© GTM OUEST

# RÉPARATIONS DES BÉTONS DÉGRADÉS DU BUNKER K2 DE LA BASE DE LORIENT

AUTEURS : OLIVIER COLLOUD, PRÉSIDENT FONDATEUR DE LMDB (LES MÉDECINS DU BÉTON) -  
PIERRE BARJON, ENTREPRISE VERIFOREZ 3D - PHILIPPE QUINZIN, CHARGÉ DE TRAVAUX CHEZ GTM OUEST-TRAVAUX SPÉCIAUX

**LA BASE KEROMAN (NOM UTILISÉ PAR LES ALLEMANDS) OU BASE SOUS-MARINE DE LORIENT ("BSM" NOM UTILISÉ PAR L'ARMÉE FRANÇAISE) DEMEURE À CE JOUR LE PLUS IMPORTANT PATRIMOINE BÉTON CONSTRUIT EN EUROPE : PLUS D'UN MILLION DE M<sup>3</sup> DE BÉTON MIS EN ŒUVRE PAR PRÈS DE 15 000 PERSONNES. GTM OUEST TSP SAS A MENÉ UN VASTE CHANTIER DE RESTAURATION DES FAÇADES DE L'OUVRAGE ÂGÉ DE 75 ANS, AVEC DES TECHNIQUES NOVATRICES : MESURE ET ÉTUDE DE LA CHROMATIQUE GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE, NETTOYAGE PELLICULAIRE, ANODES SACRIFICIELLES, IMPRÉGNATION ISSUE DES NANOTECHNOLOGIES.**

## L'OUVRAGE

Érigée en 1942 par les Allemands, la base de Lorient est la plus grande forteresse militaire d'Europe du XX<sup>e</sup> siècle. Cette base sous-marine, d'une hauteur de 25 m, a été construite en béton armé, béton et granite. Le K2, l'un des trois plus gros bunkers du site (20 000 m<sup>2</sup> chacun) a fait l'objet d'un vaste chantier de réhabilitation mené par Lorient Agglomération (figure 1). Le site est en effet devenu le siège d'une activité économique, touristique et culturelle majeure : ses alvéoles abritent des entreprises, la Cité de la Voile,

le pôle Course au large, la nouvelle salle de musiques actuelles du Pays de Lorient ainsi que le musée interactif de la flore. Les travaux de réhabilitation consistaient à remettre en lumière les 9 800 m<sup>2</sup> de trois premières façades pour l'unique blockhaus K2. Ce chantier démarré en 2016 et mené par l'équipe Gtm Ouest-Tsp visait plusieurs objectifs : sécurisation des abords pour les usagers, augmentation de la durée de vie des bétons de façade, maintenance curative et préventive, préservation de l'intégrité des matériaux originels et mise en valeur du parement.

**1- Vue d'ensemble de l'ouvrage.**

**1- Overall view of the structure.**

De plus, le site étant classé Natura 2000 et ISO 14001, un travail en amont a été effectué avec les différents acteurs de la base sous-marine (traitement de l'eau, de la poussière, méthodologies respectueuses de l'environnement).

## DIAGNOSTIC ET EXPERTISE

LMdB (Les Médecins du Béton) ont mené la réflexion et l'étude de réhabilitation des façades du K2. Les dimensions colossales de ces constructions exigeaient des stratégies de diagnostic et de restauration particulières. Des technologies d'investigations modernes

Le site étant labellisé "patrimoine XX<sup>e</sup> siècle" il fallait travailler dans le respect historique et esthétique de l'ouvrage en tenant compte des principes généraux de la "Charte de Venise".



© VERIFOREZ

2

et adaptées à la très grande échelle ont permis d'avoir une vision systémique des pathologies et de concevoir des stratégies de restauration réalistes, tant techniquement qu'économiquement. Pour permettre une cartographie précise et détaillée et un diagnostic sélectif des bétons de parement, LMdB a retenu la technologie avancée de numérisation 3D - offrant une précision millimétrique de la mesure - de l'ensemble des façades de la base sous-marine à l'aide de scanners laser 3D et d'outils de traitement capables d'enregistrer des milliards de données.

**2- Relevé au scanner 3D du bunker K2.**  
**3- Nuage de points 3D du bunker K2.**

**2- 3D scanner survey of bunker K2.**  
**3- 3D scatter diagram of bunker K2.**

#### RELEVÉ PAR SCANNER TRIDIMENSIONNEL

L'entreprise Veriforez est intervenue sur le chantier en amont afin d'effectuer les relevés d'état des lieux des façades du K2 et des autres blockhaus. La solution de relevé par scanner permettait de récolter les informations nécessaires à l'établissement des plans en un temps réduit (figure 2). La phase de ciblage et de prise de données a duré 3 semaines, et le traitement des données ainsi que le dessin des élévations environ 1 mois et demi pour le seul K2. Le scanner laser 3D est fixé sur trépied

et envoie un faisceau laser horizontal sur un miroir incliné à 45° qui pivote pour mesurer les points selon un plan vertical. Le scanner effectue une rotation à 180° tout au long de l'acquisition pour assurer la mesure des objets dans toutes les directions. Le résultat se lit sous la forme d'un nuage de points qui peut être complété lorsque l'on change la position du scanner (figure 3). Sur le logiciel d'assemblage et de traitement des données Scene, les positions sont identifiées les unes par rapport aux autres grâce à la reconnaissance de points particuliers sous forme ▷



© VERIFOREZ

3



4

© GTM OUEST

de sphères et de cibles en damiers. Cette opération permet de minimiser les erreurs de recalage.

Au total, 197 scans ont été réalisés pour l'ensemble de la zone d'étude soit 32,8 Go de données brutes, dont 60 uniquement pour le K2. Une fois les nuages de points assemblés, le logiciel Pointcab a été utilisé pour obtenir les orthophotos de chaque façade, et Topstation pour le dessin d'architecture.

### DESCRIPTIF DES TRAVAUX

La réhabilitation des façades impliquait la mise en œuvre de technologies novatrices de nettoyage et décapage pelliculaires (par projection basse pression de vapeur saturée à sèche) permettant d'éviter toute perte de poids surfacique des bétons de parement

et donc de préserver leur intégrité. Le chantier consistait aussi à restaurer les peintures des menuiseries extérieures métalliques par mise à blanc préalable et traitement multicouche par projections électrostatiques.

Cela nécessitait des interventions spécifiques :

→ Dépose de 8 000 m<sup>2</sup> de filets de protection mis en œuvre il y a une vingtaine d'années pour sécuriser les façades (développement d'un outil spécifique pour extraire efficacement les quelques 40 000 goujons de fixation des filets) ;

→ Enlèvement des stigmates post-seconde guerre sans altérer les matrices des bois de coffrage (avivage par hydrogommage basse pression) ;

**4- Façade du K2 avant le traitement chromatique.**

**5- Décapage de la peinture sans chimie en eau surchauffée.**

**6- Réparation de béton en façade.**

**4- K2 facade before chromatic treatment.**

**5- Paint stripping without chemicals in superheated water.**

**6- Repair of concrete on the facade.**

→ Épreuves de validation pour retrouver les différentes matrices de coffrage ainsi que les sables, agrégats et ciments utilisés pour la fabrication des bétons de l'époque de construction ;

→ Restitution des calepinages des différentes matrices de coffrage ;

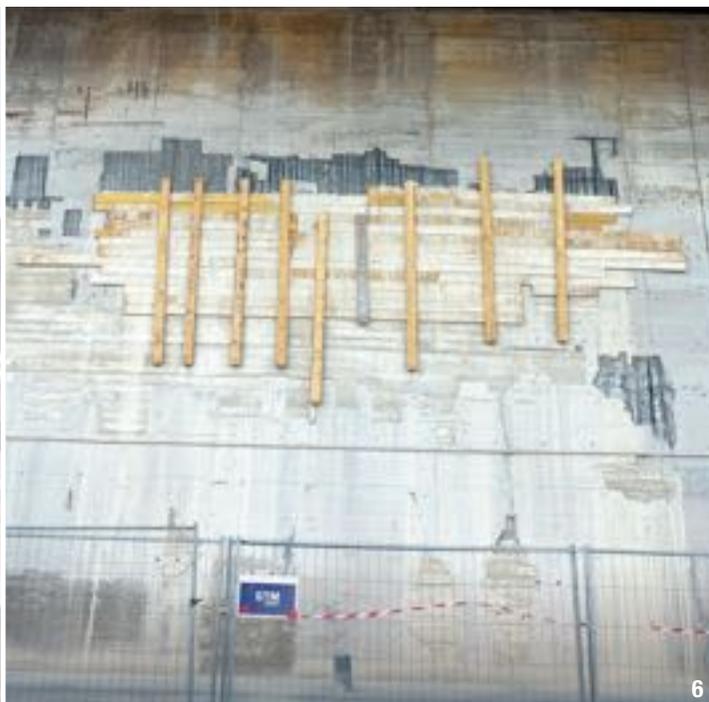
→ Mise au point d'une méthodologie spécifique de montage de ces coffrages et de coulage des bétons de reconstitution afin d'assurer une durabilité de la reprise et une plasticité proche des bétons périphériques.

### RECHERCHE HISTORIQUE, ÉPREUVE ET VALIDATION

La première étape consistait à rassembler les éléments disponibles sur les



5



6

© GTM OUEST



modes constructifs, la nature des coffrages et les constituants des bétons. Puis prélever des sables des différentes carrières locales afin de retrouver des agrégats similaires à ceux utilisés lors de la construction. Cela a permis de réaliser différentes formules, définies par LMdB, en tenant compte des éléments influant sur les gradients chromatiques (choix des sables, nature et provenance des ciments, rapports E/C, temps de coffrage, traitement de cure...) LMdB a ensuite conduit les études chromatiques et comparé, à l'aide d'un spectro-photocolorimètre et de logiciels spécifiques, les planches d'essais avec les différents bétons de l'ouvrage afin de valider les compositions, pour retrouver les teintes originelles dans les différentes "veines de bétonnages" du parement (figure 4). Une recherche de couleurs spécifiques aux menuiseries a été effectuée, avec l'aide du musée Flore qui a fourni des exemples datant de la seconde guerre.

### NETTOYAGE ET DÉCAPAGE PELLICULAIRE DES BÉTONS

Le bâtiment présentant une grande variété de bétons et des problématiques dues au vieillissement, à l'ambiance marine et aux recouvrements biologiques, il s'agissait de traiter l'ensemble dans un esprit respectueux du patrimoine.

Comment reconstituer des bétons fabriqués il y a 75 ans et leur redonner leur aspect d'origine ? Il a d'abord fallu déposer les filets fixés après-guerre puis s'atteler au nettoyage : à la vapeur plus ou moins saturée sous pression, hydro-gommage et avivage des peintures, techniques innovantes de nettoyage et décapage pelliculaires qui respectent l'épiderme du béton (figure 5).

**7- Bétonnage en cours sur plateforme élévatrice.**

**8- Pose des anodes discrètes pour le traitement électrochimique.**

**9- Menuiseries métalliques et peinture électrostatique.**

**7- Concreting in progress on lifting platform.**

**8- Placing discrete anodes for electrochemical treatment.**

**9- Metalwork and electrostatic painting.**

Il fallait enlever les stigmates post-seconde guerre sans altérer les matrices ni les veinages des bois de coffrage pour les restituer dans leur état originel. Pour retrouver les lignes de l'ouvrage, l'entreprise a utilisé un coffrage grim pant.

### CONTRAINTES DES RECONSTITUTIONS SURFACIQUES

Le chantier comprenait plusieurs contraintes : pour appréhender les réparations, il fallait être au plus près des bétons d'origine et tenir compte de leur composition chimique et minéralogique. L'impératif demandé par LMdB et l'architecte du patrimoine de l'équipe de maîtrise d'œuvre était de minimiser l'impact visuel des réparations pour

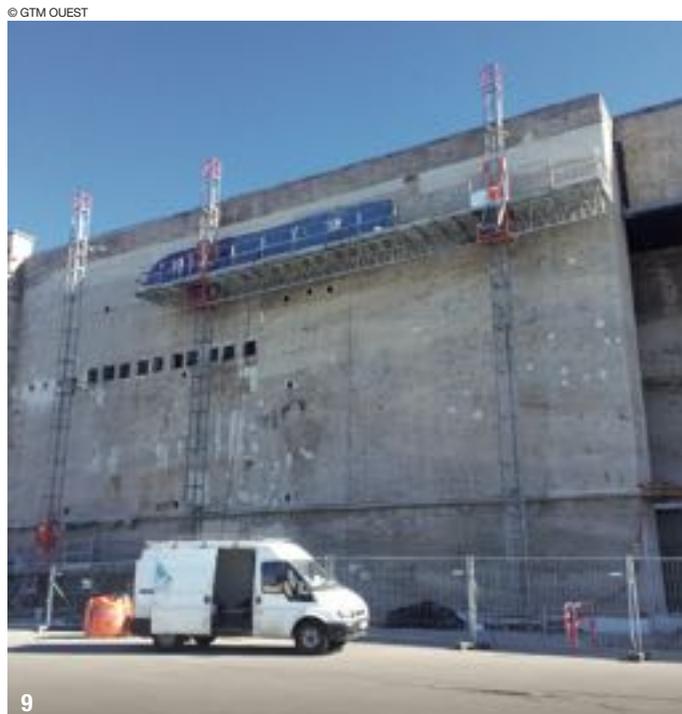
préserver la dimension esthétique. En outre l'entreprise devait travailler dans les règles de l'art propres à la réparation des bétons (figure 6). Il s'agissait de réaliser une réparation durable tout en assurant une parfaite compatibilité des reconstitutions avec les bétons originels et en évitant la génération de peaux induites en périphérie.

### RECONSTITUTIONS SURFACIQUES EN ENDUIT TRADITIONNEL

Pour les reconstitutions dites "surface brute hors moule", en application manuelle ou mécanique sur le béton, il fallait préparer soigneusement les zones de reprise surtout pour la zone périphérique. La fabrication des mortiers de reconstitution s'est faite sur site, permettant d'obtenir un résultat esthétique supérieur grâce à leur facilité d'ouvrabilité. L'entreprise devait aussi intégrer de nombreux paramètres garants de la durabilité des reconstitutions tels que la finition d'application manuelle (talochage, graissage, lissage), l'utilisation maîtrisée des outils pour éviter tout serrage excessif des reprises, le choix de l'appareillage des peaux d'impression et les temps de coffrage. Enfin il fallait maîtriser les cures lors du séchage.

### RECONSTITUTIONS SURFACIQUES EN BÉTON

Pour les reconstitutions dites "surface contre-moule" par bétonnage, Gtm Ouest a opté pour un coffrage grim pant avec la mise en place manuelle des planches de coffrage en même temps que le bétonnage. Objectif : maîtriser l'opération sans vibration excessive pour une cohésion générale, assurer un coulage homogène et régulier (sans ajout d'eau au béton sous peine de modifier son gradient chromatique). ▷



© GTM OUEST

9



10



11

© GTM OUEST

La principale difficulté était d'avoir des bétons réguliers par leur composition et fabrication (figure 7). Cela nécessitait un contrôle précis (humidité, hygrométrie, rapport E/C, météo, couleur des agrégats...) pendant l'ensemble du chantier, tous les bétons étant réalisés sur place.

### POSE DE 1200 ANODES SACRIFICIELLES

L'objectif était d'assurer la durabilité du béton en évitant la formation de piles induites en périphérie des zones restaurées. Le but était de limiter la création de spots de corrosion dans le périmètre des réparations par la mise en œuvre d'anodes sacrificielles et hybrides. L'entreprise a mis en place 1200 anodes sacrificielles, dont quelque 200 anodes sacrificielles hybrides permettant un traitement électrochimique de réalca-

nisation et de protection galvanique par courant imposé temporaire et courant galvanique (figure 8). Grâce aux anodes raccordées aux aciers d'armature dans les zones de béton reconstitué, les dégradations périphériques par génération d'anodes induites étaient empêchées. Un enregistreur permettait de contrôler les quantités de courant de protection et les potentiels électrochimiques acier/béton sur des zones déterminées. Un système assez exceptionnel sur ce type d'ouvrage. Principal problème : le manque de continuité électrique entre les aciers. Face aux problèmes de contact franc, l'entreprise a dû créer des continuités électriques pour assurer le bon fonctionnement de la protection cathodique galvanique, réaliser la mise à nu des armatures pour avoir accès à l'acier blanc et assurer des connections durables.

#### 10- Maquette de présentation des filets de protection en sous-face.

#### 11- Pose des filets de protection sur la façade.

#### 12- Façade du K2 après le traitement chromatique.

#### 10- Presentation model of safety nets on the underside.

#### 11- Placing safety nets on the facade.

#### 12- K2 facade after chromatic treatment.

La méthode de laminage utilisée à l'époque en raison de la nuance d'acier a eu pour conséquence de laisser une couche épaisse de calamine entre ces aciers dans le béton, formant ainsi un isolant naturel. De plus, les barres étaient ligaturées pour créer des treillis. Pour avoir un système de protection cathodique efficace, il fallait reconnecter les aciers entre eux dans les zones concernées et éviter tout court-circuit.

### RESTAURATION DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

L'ensemble des menuiseries extérieures a reçu un traitement identique : préparation du support selon la norme NF EN ISO 8504-01, protection périphérique mise en œuvre pour éviter de détériorer la peau des bétons au droit des châssis. La mise en peinture par projection électrostatique a été faite selon un système certifié ACQPA C5Ma ANV 934 (1 couche d'époxy riche en zinc à 40 µm, 4 couches d'époxy phosphate de zinc à 180 µm, 2 couches générales de polyuréthane à 80 µm) (figure 9). Ce complexe permet de protéger les parties vues et non vues des structures situées en atmosphère de corrosivité très élevée (milieu marin) sur acier décapé pour des travaux neufs.

### MISE EN PLACE DE FILETS DE PROTECTION EN INOX

La sous-face collaborante bacs aciers de la dalle de toiture a été re-sécurisée après purge des éléments métalliques instables avec des filets en inox (figure 10). En tout plus de 1000 m<sup>2</sup> de filets ont été posés avec de fortes contraintes : sécurisation des éléments corrodés se détachant du bac métallique, intégration d'un système de démontage et montage. L'objectif était d'avoir une maille se fondant dans l'ou-



12

© GTM OUEST



13

© GTM OUEST

vrage, qui soit quasi invisible (figure 11). Afin de ne pas générer de pile électrochimique entre les ancrages inox de maintien des filets et les aciers du bâtiment, la solution d'une chaussette diélectrique en nylon, servant d'isolant, a été retenue autour des quelques 1 000 points d'ancrage.

### ÉTUDE CHROMATIQUE ET TRAITEMENT D'IMPRÉGNATION

Pour obtenir la restitution esthétique originelle des bétons, un travail de traitement chromatique et fonctionnel issu des nanotechnologies a été réalisé (figure 12). Différentes études ont été effectuées pour les bétons de reconstitution à base de pigments minéraux et de sables issus des carrières locales. Après les relevés spectro photo colorimétriques et l'étude réalisés par LMdB, un traitement chromatique et fonctionnel par imprégnation a été appliqué à l'ensemble des parements de façades : pré-estompe des zones reconstituées pour diminuer le gradient chromatique (synonyme de défaut visuel perçu) ; trait-

tement chromatique par transparence pour une cohérence esthétique finale. Les savoir-faire artistiques des maîtres de l'école italienne ont été déployés par Tsp SAS à l'aide de technologies avancées du XXI<sup>e</sup> siècle. Il s'agissait aussi de préserver et restaurer les peintures de camouflage de l'époque, grâce aux technologies douces de nettoyage pelliculaire et d'avivage.

Les travaux ont pu se faire grâce à l'utilisation de plateformes élévatrices sur mâts et de nacelles automotrices de capacité 40 m (figure 13) pour accéder aux différentes zones d'intervention. □

**13- Plateformes et nacelles pour accéder aux zones d'intervention.**

**13- Platforms and aerial baskets to access work areas.**

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**VOLUME DE BÉTON TRAITÉ :** Plus de 9 000 m<sup>2</sup> dont 500 m<sup>2</sup> de reconstitutions à l'identique

**DURÉE DU CHANTIER :** 10 mois

**NOMBRE D'ANODES :** 1 200 anodes dont 200 hybrides sur les marquises et balcons avec pose de boîtier de monitoring

**FILETS DE PROTECTION :** 1 000 m<sup>2</sup> de filet inox (316 l) en sous-face du plancher collaborant

**PLUS DE 20 RELEVÉS** différents photocolorimétriques des bétons d'origine

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Lorient agglomération

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Lmdb (Les Médecins du Béton), Amoros Architecture, Philippe Peron architecte du patrimoine

**ASSISTANT MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Veriforez 3D

**ENTREPRISE MANDATAIRE :** Gtm Ouest Travaux Spéciaux

**SOUS-TRAITANTS :**

- Tsp SAS (nettoyage et traitement surfacique)
- Solorpec (Peinture élément métallique)
- Carl-sthal (Fourniture et pose filets inox 316)
- Sotrama & Accès industrie (Moyen d'accès nacelle)
- Scy-acces (Moyen d'accès plateforme bi-mat)

### ABSTRACT

#### REPAIR OF THE DAMAGED CONCRETES OF BUNKER K2 AT THE LORIENT BASE

OLIVIER COLLOU, Lmdb - PIERRE BARJON, VERIFOREZ 3D - PHILIPPE QUINZIN, GTM

**The Lorient submarine base** (referred to as "BSM" by the French army) is the largest concreted environment in Europe. The site has become a major centre of economic, tourist and cultural activities. The first work phase aimed to reveal about 9,800 m<sup>2</sup> of the first three facades for bunker K2 alone. GTM Ouest/TSP carried out a vast project to restore the facades of the 75-year-old structure, using innovative techniques: measurements and surveys by 3D scanner, cleaning and stripping the concrete skin, placing 1,200 sacrificial anodes, and chromatic and functional treatment by impregnation to restore the original colour of the concretes. □

#### REPARACIÓN DE LOS HORMIGONES DETERIORADOS DEL BÚNQUER K2 DE LA BASE DE LORIENT

OLIVIER COLLOU, Lmdb - PIERRE BARJON, VERIFOREZ 3D - PHILIPPE QUINZIN, GTM

**La base submarina de Lorient** ("BSM", nombre utilizado por el ejército francés) es el patrimonio de hormigón más importante de Europa. El lugar acoge actualmente una importante actividad económica, turística y cultural. La primera fase de las obras consistió en la rehabilitación de los cerca de 9.800 m<sup>2</sup> de las tres primeras fachadas del refugio subterráneo K2. Gtm Ouest/Tsp ha llevado a cabo una amplia obra de restauración de las fachadas de la construcción, de 75 años de antigüedad, utilizando técnicas innovadoras: mediciones, planos por escáner 3D, limpieza y decapado pelicular de los hormigones, colocación de 1.200 ánodos de sacrificio, tratamiento cromático y funcional por impregnación para recuperar el color original de los hormigones. □



© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

# TRAITEMENT DE LA RSI AU BARRAGE DE BIMONT

AUTEURS : KATIA LALICHE, CHEF DE PROJET - DIRECTION DE L'INGÉNIÉRIE, SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE (SCP) - ROMAIN GIUNTI, RESPONSABLE D'EXPLOITATION, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

**LORSQU'IL EST MIS EN ŒUVRE À TEMPÉRATURE TROP ÉLEVÉE, LE BÉTON CONSTITUANT LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES PEUT DÉVELOPPER UNE RÉACTION SULFATIQUE INTERNE (RSI) AU MOMENT DE LA MISE EN EAU DE L'OUVRAGE. EXEMPLE DU BARRAGE VOÛTE DE BIMONT, ACTUELLEMENT RÉNOVÉ PAR L'ENTREPRISE DEMATHIEU BARD.**

La Société du Canal de Provence (Scp) gère un réseau de plus de 800 km de long (canaux, galeries, aqueducs) et de nombreux ouvrages de génie civil dont plusieurs grands barrages.

Le barrage voûte de Bimont, situé au pied de la montagne Sainte Victoire à quelques kilomètres d'Aix-en-Provence, est pour l'essentiel alimenté artificiellement en eau du Verdon (figure 1). Il contribue notamment à réguler et sécuriser l'alimentation en eau de la région aixoise et l'irrigation de 8 000 ha.

Il permet de produire plus de 4 GWh d'électricité par an et concourt, grâce à sa grande capacité de retenue, à atténuer les crues.

Le barrage fait l'objet d'une surveillance quotidienne grâce à une instrumentation automatique et à des relevés topographiques et hydrométriques.

D'importants travaux de rénovation ont démarré en 2016 pour réhabiliter l'ouvrage, mettre en valeur et sécuriser le site (accessible au grand public), et anticiper les futurs besoins en eau de la région.

**1- Vue d'ensemble du barrage de Bimont.**

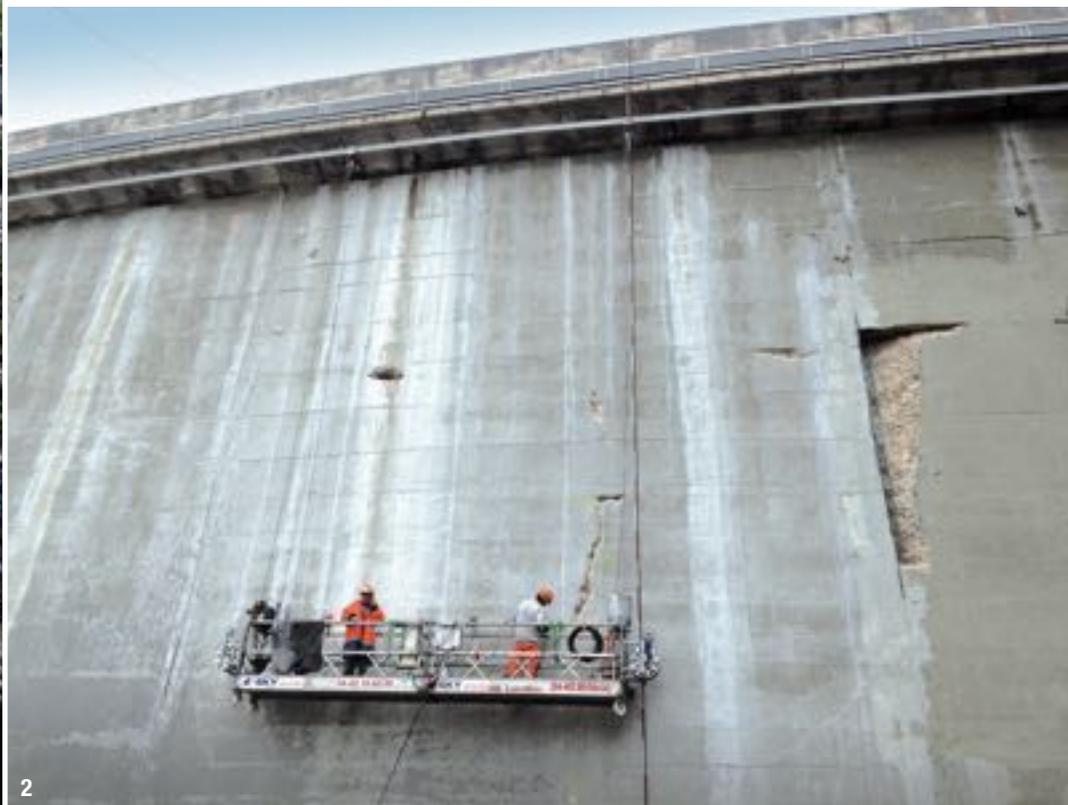
**1- General view of Bimont Dam.**

## PHÉNOMÈNE DE FISSURATION DES BÉTONS

Le barrage de Bimont, mis en service en 1952, est une voûte à double courbure de 86,50 m de hauteur. Il présente

une épaisseur en crête de 4,30 m, une épaisseur au pied de 17,40 m et une longueur de la ligne de crête de 180 m. Une dizaine d'années après sa mise en eau, un réseau de fissures est apparu progressivement sur les plots de la rive droite. Ce phénomène s'est accompagné de mouvements irréversibles de la rive droite du barrage, notamment un soulèvement des plots, un basculement vers l'amont de la crête et un déclivage des joints de construction.

De nombreuses études et investigations ont été menées dans les années 1970



2

© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

pour comprendre le comportement du barrage. Elles ont montré que certaines zones bien identifiées étaient sujettes à un phénomène de gonflement du béton. Les essais en laboratoire effectués sur des carottes de béton gonflant, dans les années 2000, ont montré que le gonflement n'était pas dû à un phénomène d'alcali-réaction mais à une réaction sulfatique interne (RSI) caractérisée par la présence d'ettringite. Depuis le début des années 2000, les mesures d'auscultation ont permis d'observer une stabilisation des conséquences du gonflement. Un projet de rénovation a été lancé en 2009 pour replacer l'ouvrage dans un état de contraintes acceptable et restaurer son monolithisme. Ce projet répond aux obligations réglementaires et aux missions d'entretien de la SCP. Il s'agit d'avoir un ouvrage optimisé, qui passera de 14 à 25 millions de m<sup>3</sup> de retenue pour répondre aux besoins de demain. Avant de procéder à la vidange de la retenue et pour garantir la continuité de l'alimentation en eau pendant les travaux, la Scp a aménagé en 2016 une dérivation hydraulique en aval. Les premiers travaux sur le barrage ont permis de moderniser le dispositif d'auscultation et le mode de transmission des données pour suivre le comportement de l'ouvrage pendant et après les travaux. Le chantier de rénovation a commencé en 2017 et se poursuivra jusqu'en 2019.

**2- Travail sur une passerelle suspendue à l'amont.**

**3- Injection en cours au coulis de ciment.**

**2- Work on a suspended foot bridge on the upstream side.**

**3- Cement grouting in progress.**

© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE



3

## ÉTUDE ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Le projet de rénovation a été conçu sur la base de deux campagnes de reconnaissance du béton de la voûte et des fondations du barrage en rive droite et des résultats d'une modélisation numérique. Celle-ci avait pour but de reproduire le comportement observé de l'ouvrage, en particulier les mouvements dus aux gonflements des bétons, puis de simuler les effets d'une remontée de la retenue après injection des joints et fissures. Le gonflement a été modélisé à l'aide du module Scas du

logiciel Coyne et Bellier Cobef ; l'algorithme Noten a permis de relâcher les contraintes de traction générées par le gonflement. La modélisation a mis en évidence l'existence d'une fissuration interne, parallèle aux parements, suspectée au début des études et confirmée par les campagnes de reconnaissance, permettant de circonscrire la zone à traiter. Le modèle a montré que le champ de contraintes en rive droite de l'ouvrage était fortement influencé par le gonflement des bétons, avec une concentration de contraintes élevées autour des zones gonflantes. L'objectif de la première campagne de reconnaissances, menée parallèlement à la modélisation numérique, était d'examiner, au moyen de vidéos en forages carottés, l'ouverture des joints et des fissures au sein du barrage ainsi que la zone de contact entre le barrage et sa fondation sous le pied aval des plots de rive droite. L'objectif de la seconde campagne était de mieux connaître l'extension de la fissure interne de feuilletage mise en évidence par la première campagne. Les forages ont été implantés autour de chaque noyau de gonflement, en tenant compte des résultats du modèle numérique. L'apport de la vidéo dans chaque forage a permis de déterminer de façon précise la localisation et le contour de la fissuration interne, s'étendant sur les sept plots de rive droite.



4

© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

#### DESCRIPTIF DES TRAVAUX

Le projet de rénovation consiste à injecter les fissures et les joints déclavés, renforcer l'étanchéité du parement amont, assurer le drainage de la fondation et la stabilité des culées.

Par ailleurs, le dispositif d'auscultation du barrage doit être complété pour suivre le comportement de la voûte à court terme au cours du premier remplissage après travaux et à long terme pour son exploitation dans les trente ans à venir.

L'objectif est de rendre l'ouvrage monolithique en assurant une parfaite répartition des contraintes à l'intérieur du barrage et de freiner le phénomène de RSI en stoppant la pénétration d'eau. Première difficulté pour l'entreprise Demathieu Bard chargée des travaux : trouver des moyens d'accès pour travailler en toute sécurité sur ce barrage voûte de 87 m de haut. Pour ce faire, elle a installé en amont une grue à tour commandée à distance, des échafaudages sur le parement aval et des nacelles sur le parement amont (figure 2). La grue a servi à acheminer le matériel de forage et le ciment.

#### INJECTION DES FISSURES INTERNES

Les fissures internes mises en évidence par la modélisation et reconnues par les campagnes d'investigation ont été injectées au coulis de ciment.

Les injections ont été réalisées en partant du bas de l'ouvrage et en remon-

tant, avec des pressions inférieures à 1 bar et par passes de hauteur limitée (de 2 à 4 m) (figure 3). Afin d'éviter l'endommagement de la structure, les plots traités ont été renforcés par des barres passives  $\varnothing$  40 mm préalablement aux opérations d'injection. Le réseau de barres d'ancrage présentait un maillage de 4x4 m permettant

**4- Atelier de forage.**

**5- Injection de coulis sur le parement.**

**4- Drilling equipment.**

**5- Cement grouting on the face.**

de reprendre la pression exercée par le coulis de ciment. Les barres d'ancrage ont été scellées sur toute leur longueur et équipées de platines d'ancrage venant s'appuyer sur le parement amont ou aval, au cas où les fissures internes seraient localisées à proximité des parements. Les barres ont été placées manuellement par un sys-



5

© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE



© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE  
6

tème de palonnier (total : 136 barres). Les études ont permis de définir le maillage des renforcements passifs et des forages d'injection du coulis de ciment dans les fissures (total 2400 m<sup>2</sup>). Puis grâce à la modélisation informatique BIM, l'inclinaison et le gisement des forages ont été déterminés (136 clous d'ancrage et 308 trous d'injection) (figure 4). Chaque forage a donné lieu à un contrôle par caméra endoscopique afin de valider le réseau de fissuration, d'anticiper les volumes de coulis à mettre en œuvre et de corriger la pression dans la limite

**6- Forage de drain réalisé en travaux sur cordes.**

**7- Joint entre les plots 2 et 3 pendant les travaux de reclavage.**

**6- Drain drilling performed by rope-harnessed workers.**

**7- Joint between blocks 2 and 3 during keying repair work.**

d'une intensité maximale déterminée en s'inspirant de la méthode GIN. Le produit d'injection était un coulis de ciment spécifique, résultat de 2 mois de recherche en laboratoire et de 17 essais de coulis différents. Il présentait une grande pénétrabilité, une grande résistance à la compression et une fluidité proche de l'eau. L'injection a été très précise, à faible pression pour ne pas solliciter la structure (figure 5). Afin de vérifier le bon remplissage des fissures, des carottages Ø 60 mm ont été réalisés pour vérifier le niveau de pénétration.

## DRAINAGE DE LA FONDATION

Dans le cadre du projet de rénovation, un rideau de drainage de la fondation a été mis en place, foré depuis le pied aval du barrage afin de contrôler les sous-pressions au pied aval de la voûte. Pour garantir une bonne efficacité du rideau de drainage, celui-ci a été réalisé jusqu'à une distance suffisamment proche du parement amont.

La performance du rideau de drainage a été optimisée en ajustant la distance entre l'axe des drains, leur diamètre et la distance au parement amont.

L'objectif étant d'obtenir un rabattement des sous-pressions entre 50 et 60%, conformément aux recommandations du Comité Français des Barrages et Réservoirs (Cfbr). Cette étape du chantier a été réalisée en travaux sur cordes compte tenu de l'accès difficile (figure 6).

Une collecte des drains a été réalisée, et des outils de mesure électronique ont été mis en place pour vérifier le débit de ces drains en temps réel.

## RECLAVAGE DU BARRAGE

Une campagne de reclavage de certains joints de construction sera réalisée à l'automne 2018, en phase de dilatation neutre, dans le but de rétablir le monolithisme de l'ouvrage en rive droite (figure 7). Le clavage des joints sera réalisé de façon similaire aux opérations d'injection des fissures en partant du bas et en remontant.

Les forages d'injection seront implantés de façon à tenir compte des limites haute et basse des compartiments de clavage de la voûte constituées de lames de tôle horizontales. Préalablement aux opérations de clavage, une inspection vidéo sera réalisée dans chaque forage afin de reconnaître l'état d'ouverture/fermeture de chaque joint. Les joints seront injectés à faible pression (maximum 4 bars). Le contrôle des déplacements sera réalisé au moyen de témoins en plâtre placés à cheval sur les joints et de fissuromètres. Pour l'implantation des forages, l'entreprise utilisera, là aussi, la modélisation 3D. Pendant la phase d'injection, une attention particulière sera portée sur la limitation des déplacements.

## ÉTANCHEMENT DU PAREMENT AMONT

Les travaux d'étanchement consistent, début 2019, à installer une géomembrane sur le parement amont des plots de la rive droite, fixée au moyen de profilés métalliques qui seront ancrés directement sur le parement. ▷



© SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE  
7

En partie basse de la zone traitée, la géomembrane s'étendra jusque sur les blocages amont de la fondation.

Afin d'assurer l'étanchéité périphérique de la géomembrane, il faudra inspecter et traiter par injection l'ensemble des désordres affectant ces zones.

Une surface de 3000 m<sup>2</sup> de géomembrane sera placée sur le parement amont rive droite (figure 8). L'objectif est de protéger le parement du contact direct avec l'eau de la retenue.

Un système de drainage permettra de vérifier l'efficacité du complexe d'étanchement et, le cas échéant, d'évacuer les débits : trois carottages traversants permettront de collecter les eaux qui pourraient passer derrière l'étanchéité.

#### RENFORCEMENT DE LA CULÉE RIVE DROITE

La stabilité des culées a été vérifiée en regard des règles de dimensionnement des barrages poids (Cfbr). Pour garantir

une marge de sécurité suffisante, un renforcement de la culée rive droite est prévu à l'automne 2018 : il s'agit d'apporter un complément de force verticale à la structure au moyen de 4 tirants actifs verticaux (figure 9).

#### MODÉLISATION DE L'OUVRAGE RÉNOVÉ

Le modèle numérique (conçu par Tractebel Engineering) a été utilisé pour analyser le comportement de l'ouvrage après reblavage et injection des fissures et pour des niveaux de retenue plus élevés. Il a permis de simuler des combinaisons de charges durables d'exploitation, accidentelles et rares (séisme, crue exceptionnelle). La modélisation numérique a été réalisée en tenant compte d'un taux de gonflement résiduel pour les 30 prochaines années. L'effet de chargements thermiques extrêmes en été et en hiver a également été étudié.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société du Canal de Provence (Scp)

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Société du Canal de Provence - Direction de l'ingénierie et des services. Assistance Technique : Tractebel - Coyne & Bellier.

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Demathieu Bard Construction (mandataire) / Spie Fondations

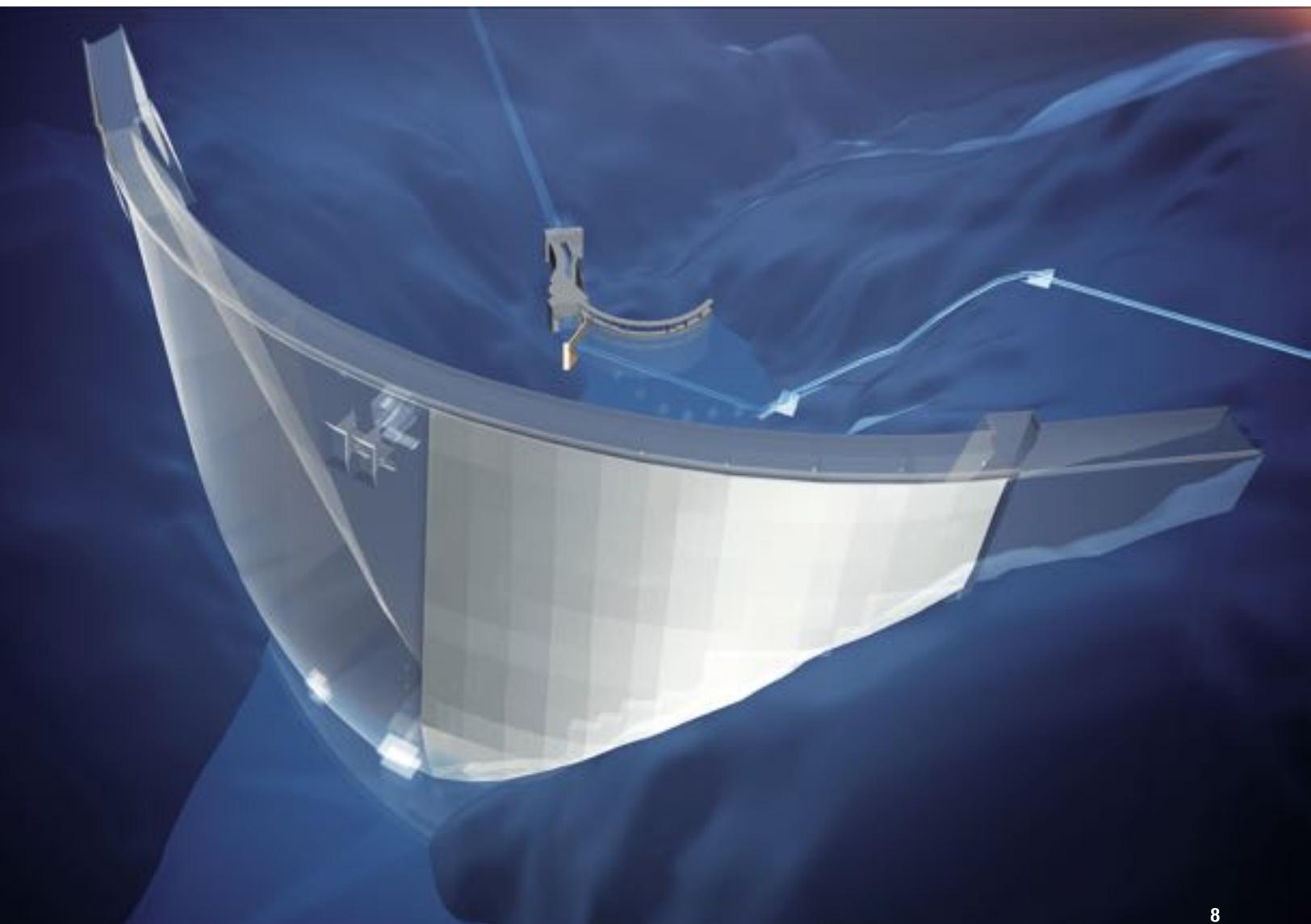
**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :** Alliance Échafaudages, Carpi, Ouest Acro

**COORDONNATEUR SPS :** Véritas

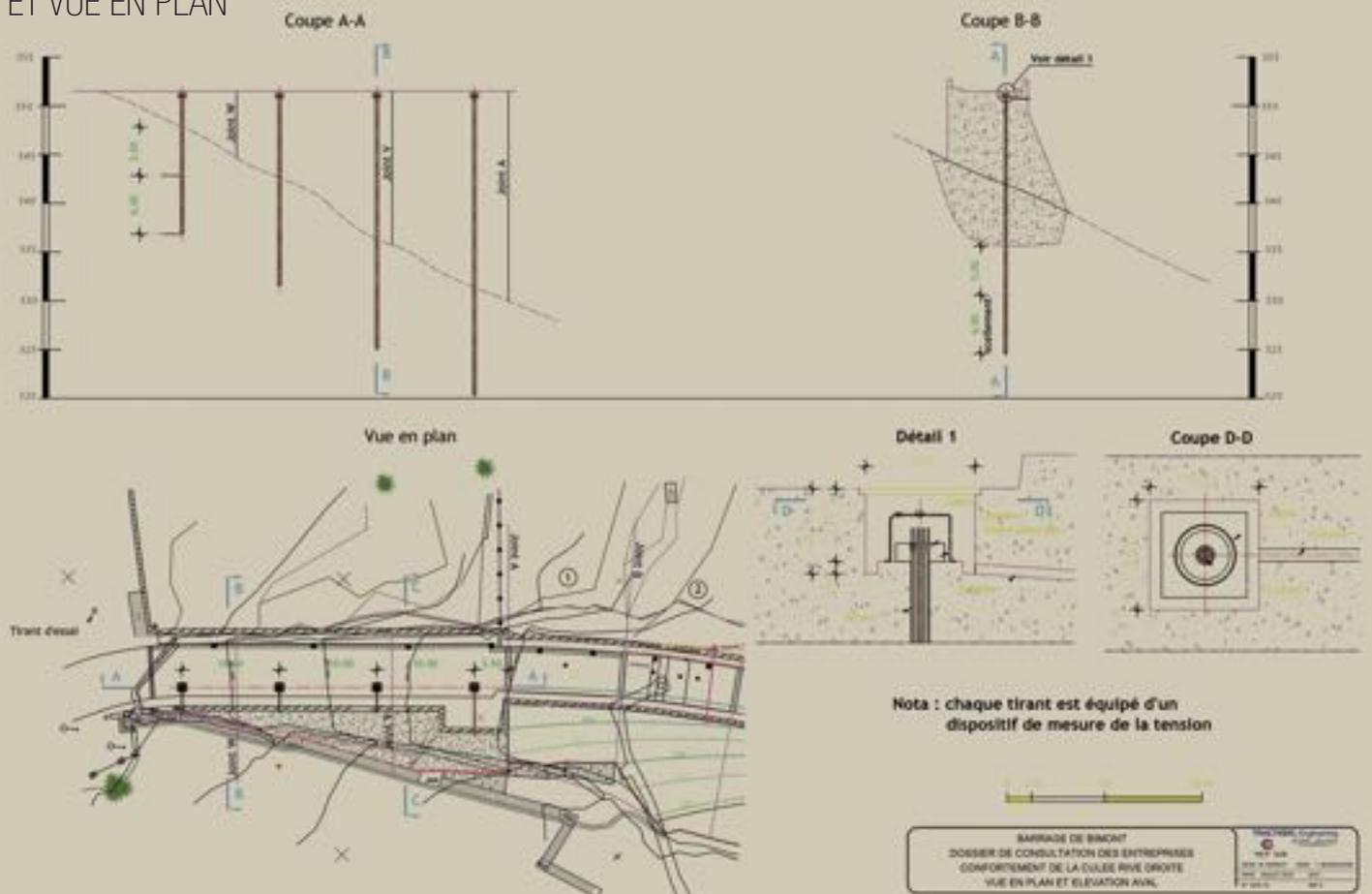
**8- Renforcement par pose d'une géomembrane - modélisation.**

**8- Strengthening by laying a geomembrane liner - modelling.**

Les résultats pour les cas statiques indiquent que, plus que le niveau de la retenue, ce sont le gonflement irréversible des plots en rive droite et le gonflement thermique en été qui maximisent les contraintes. Les zones de fortes contraintes apparaissent principalement en rive droite autour des plots gonflants. Les valeurs maximales attei-



# RENFORCEMENT DE LA CULÉE RIVE DROITE PAR DES TIRANTS ACTIFS VERTICAUX- COUPE A-A ET VUE EN PLAN



9  
© TRACTEBEL

gnent 15 MPa, soit en augmentation de 8% par rapport à celles que l'ouvrage a déjà connues. Ces valeurs sont jugées acceptables en terme de résistance à la compression du béton tant sain que malade mesurées en laboratoire. Des essais de compression simple seront réalisés à fréquence décennale dans le cadre des revues de sûreté afin de quantifier une éventuelle dégradation du béton liée à la réaction sulfatique interne (RSI). □

**9- Renforcement de la culée rive droite par des tirants actifs verticaux - Coupe A-A et vue en plan.**

**9- Strengthening the right-bank abutment with prestressed vertical tie anchors - Section A-A and plan view.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**NOMBRE DE FORAGES :** 300 forages d'injection et 136 forages pour ancrage

**LONGUEUR DE FORAGE :** 5000 m

**MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ :** surface de 3000 m<sup>2</sup>

**ACCÈS :** 2500 m<sup>2</sup> d'échafaudages installés

**VOLUME DE BÉTON :** 150 000 m<sup>3</sup> mis en œuvre

**DURÉE DU CHANTIER :** 22 mois pour une livraison prévue à l'été 2019

## ABSTRACT

### ISR TREATMENT ON BIMONT DAM

KATIA LALICHE, SCP - ROMAIN GIUNTI, DEMATHIEU BARD

The Bimont arch dam is affected by a concrete swelling disorder (internal sulphate reaction) on the right-bank blocks, which has led to the development of a crack system. Numerical modelling and reconnaissance surveys identified the presence of median cracks virtually parallel to the faces. The structure is undergoing renovation work designed to restore the monolithic nature of the arch, to enable it to again withstand the full load of the reservoir and a higher operating level. The project awarded to Demathieu Bard covers cement grouting treatment of internal and visible cracks, and joints. These operations also include sealing of the upstream face with a membrane, execution of a drainage network at the downstream base and strengthening of the abutments by adding prestressed vertical tie anchors. The estimated work period is two years. □

### TRATAMIENTO DE LA RSI EN LA PRESA DE BIMONT

KATIA LALICHE, SCP - ROMAIN GIUNTI, DEMATHIEU BARD

La presa bóveda de Bimont sufre de una patología de hinchamiento de los hormigones (reacción sulfática interna) en los plots de la orilla derecha, que ha provocado la aparición de una red de fisuras. Una modelización digital y sondeos de reconocimiento han puesto de manifiesto la presencia de fisuras medianas casi paralelas en los revestimientos. La construcción ha sido objeto de obras de renovación con el objetivo de restaurar el monolitismo de la bóveda. Así, ésta será capaz de soportar de nuevo la plena carga del embalse y un nivel de explotación superior. El proyecto, encargado a la empresa Demathieu Bard, incluye el tratamiento por inyección de cemento de las fisuras internas y aparentes, así como de las juntas. Estas operaciones van acompañadas de una impermeabilización del revestimiento aguas arriba mediante una membrana y de la realización de una red de drenaje en pie aguas abajo y un refuerzo de los estribos añadiendo tirantes verticales activos. Se estima que las obras tendrán una duración de 2 años. □



1  
© NGE

# RÉHABILITATION DES VIADUCS D'ACCÈS AU PONT EIFFEL À CUBZAC

AUTEURS : PHILIPPE GUIGNARD, DIRECTEUR ADJOINT DES INFRASTRUCTURES, DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE - DAMIEN VEDRENNE, DIRECTEUR TRAVAUX, NGE

**LE PONT EIFFEL SITUÉ EN GIRONDE (RÉGION NOUVELLE AQUITAINE) PERMET À LA ROUTE DÉPARTEMENTALE 1010 DE RELIER CUBZAC-LES-PONTS À SAINT-VINCENT-DE-PAUL EN FRANCHISSANT LA DORDOGNE. SI LE PONT A PRIS LE NOM D'EIFFEL EN 1883, LES VIADUCS D'ACCÈS EN MAÇONNERIES SONT PLUS ANCIENS, CONSTRUITS SUR DES SOLS COMPRESSIBLES AVEC LES MOYENS DE L'ÉPOQUE. LES TRAVAUX RÉALISÉS APRÈS 1945 PUIS L'AUGMENTATION DU TRAFFIC ONT AGGRAVÉ LE TASSEMENT DES PILES. LE PROGRAMME DE CONCEPTION/RÉALISATION CONFIE À L'ENTREPRISE NGE A PERMIS LA RÉHABILITATION DU PONT ET L'AJOUT D'UNE PASSERELLE DE CIRCULATION DOUCE EN ENCORBELLEMENT.**

Le pont de Cubzac, construit entre 1832 et 1836, a été requalifié par Gustave Eiffel entre 1879 et 1883. Le tablier Eiffel a remplacé le pont suspendu construit à l'origine.

Le tablier métallique comporte huit travées. Il prend appui sur sept piles établies dans la Dordogne et sur deux piles-culées reconstruites aux extrémités des viaducs d'accès (figure 1).

Ceux-ci ont une longueur de 252 m ; chacun est constitué de 28 voûtes en plein cintre de 5,80 m d'ouverture au niveau du couronnement des piles. Transversalement, chaque viaduc présente une voûte d'élégissement centrale en arc ogival d'une ouverture de 3 m et de 3,50 m sur les piles-culées (figure 2). En extrémité sur la Dordogne, les pile-culées comportent une voûte

**1- Vue d'ensemble du viaduc d'accès rive gauche.**

**1- General view of the left-bank access viaduct.**

en plein cintre de 8 m d'ouverture. Le raccordement aux remblais d'accès est assuré par une culée creuse en maçonnerie de 28 m de longueur. Avec une largeur entre tympans de 8,85 m et des parapets en léger encorbellement, la chaussée a une largeur de 6 m encadrée par deux trottoirs de 1,20 m de largeur. Les piles des viaducs sont constituées de deux piliers à section

carrée réunis en tête par une voûte en arc brisé de 3 m d'ouverture. Les piles courantes des deux viaducs sont fondées superficiellement sur radier général. Près de la Dordogne, les fondations sont établies sur un sol renforcé par des pieux en bois battus dans une couche de 25 m d'argile. Les tassements des appuis des viaducs atteignent 1,60 m en rive gauche et 1,10 m à 1,60 m en rive droite, depuis l'origine.

Se manifestant dès la construction, les tassements des appuis ont engendré des pathologies affectant les structures en maçonnerie des deux viaducs d'accès. On observe aussi un basculement de la pile culée droite et une altération des pierres. Les fondations se sont adaptées aux conditions de sols compressibles qui ont fortement tassé. Pour stopper ces mouvements et conserver le pont, élément fort du patrimoine et très fréquenté (jusqu'à 14 000 véhicules/jour), le Département de la Gironde a lancé des travaux de réhabilitation, avec le souhait d'intégrer des circulations douces. Une opération de conception/réalisation a donc été confiée au groupement d'entreprises Nge (mandataire), Etpo, Baudin-Châteauneuf, Ingerop, Lavigne Cheron. Objectifs : restaurer les maçonneries des viaducs d'accès, stopper le basculement de la pile-culée rive droite, limiter la coupure de circulation à 3 mois sur le pont, respecter l'architecture de l'ouvrage, créer des liaisons douces et proposer une mise en lumière.

**2- Vue des voûtes ogivales d'élégissement des viaducs d'accès.**

**3- Pile-culée rive droite - Atelier de micropieux pour renforcement.**

**4- Pile-culée rive droite - Ferrailage du corset en béton armé.**

**2- View of the ogival arches for lightening the access viaducts.**

**3- Right-bank abutment pier - Micropile equipment for strengthening.**

**4- Right-bank abutment pier - Reinforcement of the reinforced concrete guard.**



Le choix a été fait d'une intervention minimaliste pour préserver l'image du pont existant. Le chantier a commencé début 2016 et s'est terminé fin 2017.

#### DESCRIPTIF DES TRAVAUX

L'analyse du suivi des tassements de l'ouvrage ainsi que l'expertise des pathologies des viaducs d'accès ont conduit le groupement d'entreprises à proposer une réhabilitation basée sur les principes suivants :

- Pour la pile-culée rive droite, un renforcement spécifique par un complément de fondation profonde par micropieux scellés dans les marnes du substratum vers 40 m de profondeur. En effet, cet appui présente une tendance au déversement qui doit être annulée pour garantir la pérennité de l'ouvrage.
- Pour l'ensemble des voûtes hors pile-culée rive droite, une restauration des maçonneries altérées et un remplacement de tous les voussoirs dégradés ou fracturés des voûtes et des tympans par des pierres ayant les mêmes propriétés, hourdées au mortier de chaux hydraulique. En effet les mouvements relevés permettent d'extrapoler des tassements à venir inférieurs à 50 mm sur 50 ans. L'objectif est de redonner aux structures maçonnées leurs propriétés d'origine au vu de leur adaptabilité aux mouvements différentiels des appuis.

Les travaux de renforcement doivent garantir un comportement élastique vis-à-vis des variations de charges et des conditions de sols. La conception et la mise en œuvre de la passerelle métallique en encorbellement ne doit pas entraîner une augmentation des charges permanentes sur les fondations des travées courantes.

Les dispositifs d'ancrage sur l'existant doivent s'adapter au comportement des maçonneries et n'apporter aucune raideur supplémentaire. La coupure de circulation ne peut être que limitée. Autre contrainte pour le renforcement de la pile-culée : la proximité du lit de la Dordogne nécessite d'effectuer certains travaux en fonction de la marée. Enfin les travaux doivent assurer l'étanchéité générale de surface pour supprimer toute infiltration d'eau.

#### RENFORCEMENT DES FONDATIONS DE LA PILE-CULÉE RIVE DROITE

Les travaux de renforcement des fondations de la pile-culée rive droite comprennent :

→ L'exécution de 20 micropieux de 1600 kN de charge nominale, de 40 m de long ancrés dans les marnes et constitués d'une armature principale de diamètre 177,8 mm, d'une épaisseur de 12 mm et d'une armature intérieure additionnelle de diamètre 127,6 mm pour une épaisseur de 12 mm visant à limiter le raccourcissement élastique (diamètre de forage 245 mm, scellement sur 12 m dans les marnes par méthode d'injection IRS, longueur totale 42 m, protection du tube sur la hauteur d'argile par une injection de coulis) (figure 3).

→ La réalisation d'un corset en béton armé ceinturant le massif de maçonnerie existant et permettant le transfert des charges vers les micropieux (figure 4). Les 2 poutres latérales de chaque corset présentent un plan incliné à 2/10 dressé vers l'intérieur des massifs de maçonnerie. Les poutres transversales reprennent les tractions mobilisées par l'action horizontale des charges sur les poutres latérales. Le transfert des charges sur chacun des corsets se produit par le blocage des massifs de maçonnerie sous la charge verticale. L'objectif est de réaliser un transfert progressif des charges par la reprise d'efforts dans les micropieux et le déchargement corrélatif de la fondation sur les pieux en bois jusqu'à ce que les déplacements se traduisent par un nouvel état d'équilibre.

La méthode consiste à disposer les micropieux latéralement aux massifs de fondation de la pile-culée, la transmission des efforts se faisant par l'intermédiaire de poutres en béton armé liaisonnées aux structures existantes.

## RECONSTRUCTION DES VOÛTES

Les désordres les plus importants concernent les voûtes situées dans la zone de transition entre les modes de fondation des viaducs (transition radier général - fondations semi-profondes par pieux bois). En effet, ces voûtes ont subi des tassements différentiels très importants et ont été mises en sécurité sur cintres métalliques au début des années 2000.

Le projet consiste à reconstruire la voûte VG2 en rive gauche et les voûtes VD4 à VD7 en rive droite sur le modèle des voûtes de 1836. Le principe est le suivant :

→ Dépose des cintres métalliques de sécurité (après expertise approfondie préalable) ;



5



6

© NGE

→ Mise en place d'échafaudages sous les voûtes adjacentes aux voûtes sur cintres ;

→ Étaïement des voûtes VG1 à VG3 et VD3 à VD8 (cintrage, coffrage) ;

→ Terrassement en surface et découverte des extrados des voûtes (sous coupure de circulation) ;

→ Analyse in situ de la qualité de la voûte ;

→ Déconstruction des parties de voûtes et de tympans non sains ;

→ Établissement des plans de calepinage des voûtes à reconstruire ;

→ Approvisionnement et taille des pierres ;

**5- Travaux de restauration des voûtes maçonnées.**

**6- Remplacement des pierres au tympan amont VD 7.**

**5- Masonry arch restoration work.**

**6- Replacing stones on upstream spandrel VD 7.**

→ Pose des pierres neuves et raccordement aux parties d'ouvrages existants pour la reconstitution des voûtes ;

→ Remplissage en maçonnerie.

## RESTAURATION DES MAÇONNERIES

Conservier les ouvrages en maçonnerie nécessite de garder les propriétés de ductilité propres aux matériaux constitutifs. Il s'agit donc de retirer les mortiers à base de ciment mis en oeuvre en rejointoiement d'entretien pour les reconstituer en mortier à base de chaux.

L'ensemble des voûtes des deux viaducs est conservé en procédant, pour chacune d'entre elles, au remplacement des pierres dégradées par des pierres neuves, à la suppression des joints au mortier de ciment et à la reconstitution des rejointoiements au mortier de chaux naturelle au niveau des douelles et des tympans (figure 5). Les nouvelles pierres présentent des propriétés mécaniques très proches des pierres d'origine pour conserver le même comportement. Selon leur position dans la douelle les nouveaux voussoirs sont maintenus ou non par des goujons en acier inoxydable puis ils sont scellés au coulis de chaux hydraulique naturelle.

Les pierres dégradées et ayant perdu leurs propriétés mécaniques sont systématiquement remplacées (figure 6). Après réalisation d'un plan de calepinage, elles sont déposées.

Les joints sont dégarnis en profondeur, les surfaces des joints sont nettoyées avant repose de chaque nouvelle pierre.

Les pierres de remplacement proviennent de la carrière de Sireuil (16) ; leurs caractéristiques physiques et chimiques se rapprochent le plus des pierres existantes, provenant sûrement des carrières de Bourg-sur-Gironde, aujourd'hui fermées.

Les mortiers de rejointoiement sont confectionnés avec un liant naturel de chaux hydraulique NHL. Ces chaux ont la propriété de faire prise et de durcir en présence d'eau.

Le dioxyde de carbone présent dans l'air contribue également au processus de durcissement par carbonatation.

Un mortier à base de chaux hydraulique présente plusieurs avantages : une prise rapide de quelques heures à l'air, une bonne résistance mécanique, compatible avec celle des pierres et une bonne résistance à l'humidité. Les joints sont réalisés en creux.



© NGE  
7

### TRAVAUX SUR LA CHAUSSEE

Afin de minimiser l'impact des travaux sur les vitesses de tassement, il s'agit d'alléger l'ensemble des viaducs d'accès par un reprofilage de la chaussée. En abaissant le profil en travers de 9 cm, la réduction des charges permanentes compense la surcharge apportée par la passerelle métallique. La transition avec le profil de chaussée du tablier métallique doit se faire sur la longueur des piles-culées.

L'objectif est de protéger les maçonneries en assurant une étanchéité générale de surface.

Au-delà de la réfection des joints maçonnés, la pérennité de la maçonnerie ne peut être assurée sans étudier la circulation des eaux pluviales. La mise en œuvre de la passerelle métallique en encorbellement nécessite la réalisation d'une dalle continue en béton armé

**7- Réalisation des dalles et longrines en béton armé en extradados des viaducs d'accès.**

**8- Montage au sol de l'équipage mobile.**

**9- Pose de l'équipage mobile avec une grue de 350 t.**

**7- Execution of reinforced concrete slabs and longitudinal members on the upper surface of the access viaducts.**

**8- Mobile rig assembly on the ground.**

**9- Installing the mobile rig with a 350-tonne crane.**

sur tout le linéaire des viaducs d'accès (figure 7). Cette dalle fine recouvre la largeur de la chaussée et doit permettre d'assurer une bonne assise de l'étanchéité générale des viaducs d'accès et éviter ainsi les infiltrations depuis la chaussée.

Par ailleurs, l'ensemble des exutoires d'évacuation des eaux de la chaussée est repris pour permettre leur écoulement maîtrisé au travers des voûtes.

### ÉQUIPAGE MOBILE

Un portique de pose - ou équipage mobile - a été spécialement conçu pour accéder sous l'ouvrage côté amont ainsi que pour prendre en charge les caissons de la passerelle sur une berge et les amener à l'endroit de pose en roulant (figures 8 et 9). L'équipage mobile, d'un poids total de 60 t, est constitué de 3 sous-ensembles :

→ Le châssis : il s'agit de la structure porteuse constituée de 2 poutres principales en HEB 500. Cette partie supporte le reste de l'équipage et roule sur les membrures supérieures de l'ouvrage via 4 boggies motorisés (ensemble de 2x4 roues par boggie). Le châssis est aussi équipé d'un bac support pour la mise en place du groupe électrogène et du système hydraulique (groupes motopompes, réservoir d'huile, etc.) ainsi que de 2 contrepoids en béton côté aval.

→ Le portique : c'est la structure suspendue au châssis qui supporte les passerelles. Elle est constituée de 2 poutres principales en HEB 300.

→ Les passerelles (passerelle principale et passerelles suspendues) : la passerelle principale est fixée sur 2 consoles qui sont suspendues au portique via les 2 vérins de translation verticaux. Les passerelles suspendues sont retenues à la passerelle principale via des suspentes et des axes (figures 10 et 11).

Cette solution des boggies (ensemble de 4x8 roues) offre une grande mobilité (vitesse de 1 km/h soit une traversée complète de l'ouvrage en 35 mn environ). Les fonctionnalités de l'équipage mobile permettent de réaliser les travaux à la hauteur voulue et facilitent l'ergonomie. ▷



© NGE  
8



9



10  
© NGE

Pour la pose et la fixation des caissons métalliques (figure 12), l'équipage permet de s'affranchir totalement des marées et des conditions météorologiques, assure un réglage très fin (fixation d'un caisson par 10 éclissages), ainsi que la stabilité parfaite du caisson une fois réglé pendant toute la phase de mise en place et de serrage des boulons HR.

#### AMENAGEMENT DE LA PASSERELLE

Il s'agit de mettre en œuvre, au droit de la structure existante, la passerelle métallique (2,70 m de large) en encorbellement côté amont. Parmi les contraintes fixées par le programme : une largeur utile de 2,50 m, un apport de charges inférieur à 1 % des charges actuelles en tête de fût des viaducs maçonnés, des surcharges piétonnes à reprendre (500 kg/m<sup>2</sup> localement et 250 kg/m<sup>2</sup> de charge générale).

→ La passerelle est portée par une structure en métal inscrite en porte à faux du pont existant, à la fois sur les viaducs d'accès en maçonnerie et sur le tablier métallique Eiffel. La piste cyclable se prolonge sur les remblais aux abords des ouvrages. Un des points forts de cette solution consiste à séparer physiquement la chaussée routière et la piste bidirectionnelle.

→ La passerelle est constituée d'une tôle de platelage supportant la voie cyclable et le garde-corps. Cette tôle, raidie par des cornières, s'appuie sur des diaphragmes. Les diaphragmes supportent également une tôle inférieure raidie par des plats. Des tôles verticales ferment l'ensemble, formant un caisson qui sera rendu étanche et ne nécessi-

tera pas de protection anticorrosion intérieure.

→ Les éléments constitutifs de la passerelle métallique font 14 m de long chacun avec des éléments particuliers au droit des piles de 16,80 m de long et quelques éléments plus petits de 5,60 m pour la zone spécifique de la travée cantilever de l'ouvrage existant. Les caissons courants font 14 m de long, pour 5 ancrages par caisson. Les contraintes supplémentaires sont étudiées afin d'être supportables par l'ouvrage métallique : contrainte maximale future 78 MPa, contrainte admissible sous charges non pondérées 130 MPa (limite élastique fer puddlé 200 MPa) (figure 13).

**10- Vue générale de l'équipage mobile - phase de pose des caissons métalliques.**

**11- Vue générale de l'équipage mobile - phase de génie civil.**

**10- General view of the mobile rig - steel section placing phase.**

**11- General view of the mobile rig - civil engineering phase.**

→ Les caissons sont ancrés dans les structures existantes par des consoles constituées de plats verticaux. La mise en place d'un système d'éclissage et la présence de trou oblong dans les platines permet le réglage horizontal et vertical du caisson durant le montage.

Au niveau du pont métallique, les caissons sont ancrés sur le hourdis du tablier de part et d'autre des pièces de pont espacées de 2,80 m. Le hourdis béton est reconstruit au niveau des trottoirs (création d'une poutre en béton armé avec tiges d'ancrages noyées). Le système d'ancrage est conçu de façon à ne solliciter que très faiblement les membrures du tablier du pont existant. Les efforts sont transmis directe-



11  
© NGE



© NGE

12

13

ment au hourdis par l'intermédiaire des bèches et des tiges d'ancrage précontraintes. Les ancrages sont positionnés au niveau des sections où le nombre de rivets est faible. Il n'y a donc pas de perte de section nette dans la membrure inférieure des poutres principales du tablier.

Un caillebotis est mis en place entre le caisson et la dalle du trottoir du tablier afin d'assurer la continuité du platelage. Le platelage est recouvert d'un revêtement antidérapant de type résine gravillonnée assurant également le rôle de protection anticorrosion.

Les surfaces extérieures du caisson sont revêtues d'un système de protection anticorrosion par peinture de type C3ANV agréée par l'Acqpa.

La passerelle est ancrée dans la maçonnerie des viaducs d'accès, à partir de la dalle en béton armé créée dans le cadre des travaux (tiges d'ancrages noyées dans la longrine en béton constituant le nouveau trottoir amont).

**12- Pose d'un caisson métallique avec l'équipage mobile.**

**13- Vue de la passerelle piéton-cycliste en encorbellement définitive.**

**12- Placing a steel section with the mobile rig.**

**13- View of the final cantilevered pedestrian-cyclist foot bridge.**

Cette dalle fait le contrepoids par rapport à la passerelle et joue un rôle de tirant transversal en venant en appui sur les tympans. Elle permet de ponter légèrement les charges de circulations pour soulager les maçonneries. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**LONGUEUR DE LA PASSERELLE : 1 700 m de piste piéton-cycliste (2,5 m de large) dont environ 1 050 m de structure métallique en encorbellement de l'ouvrage existant**

**VOLUME DE BÉTON : 3 000 m<sup>3</sup>**

**POIDS DE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE : 790 t pour la passerelle**

**QUANTITÉ DE MICROPIEUX : 800 m de micropieux Ø 216 mm type IV pour renforcement de la pile-culée rive droite**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Conseil Départemental de la Gironde**

**ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Ingénierie, Jean-Pierre Levillain (JPL Conseil)**

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES DE CONCEPTION-RÉALISATION : Nge GC (mandataire) - Baudin Chateaufort - Etpo - Ingerop - Lavigne et Cheron**

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS : Les Compagnons Saint-Jacques (maçonneries) - Sud fondations (groupe Nge - micropieux) - Argotech (instrumentation) - Tcmi (garde-corps définitifs)**

**COORDONNATEUR SPS : Veritas**

## ABSTRACT

### RENOVATION OF ACCESS VIADUCTS OF THE EIFFEL BRIDGE AT CUBZAC

PHILIPPE GUIGNARD, DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE - DAMIEN VEDRENNE, NGE

The Eiffel Bridge located in the Gironde (Nouvelle Aquitaine) region carries county road RD 1010 across the Dordogne River to connect Cubzac-les-Ponts and Saint-Vincent-de-Paul. Support subsidence has caused disorders affecting the masonry structures of the two access viaducts. The structure is also suffering from tilting of the right-abutment pier and weathering of the stones. The Design and Build programme entrusted to NGE involved renovation of the bridge and the addition of a cantilevered steel foot bridge for pedestrian and cyclist traffic. A continuous reinforced concrete slab receiving waterproofing was created over the entire length of the access viaducts. An installation gantry crane (or mobile rig) was specially designed to obtain access under the structure on the upstream side in order to take up the foot-bridge sections and place them in position. □

### REHABILITACIÓN DE LOS VIADUCTOS DE ACCESO AL PUENTE EIFFEL DE CUBZAC

PHILIPPE GUIGNARD, DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE - DAMIEN VEDRENNE, NGE

El puente Eiffel, situado en Gironde (región de Nueva Aquitania) permite a la carretera departamental 1010 unir Cubzac-les-Ponts y Saint-Vincent-de-Paul cruzando el río Dordoña. El hundimiento de los apoyos ha generado patologías que afectan a las estructuras de mampostería de los dos viaductos de acceso. Además, la construcción presenta una basculación del pilote del estribo derecho y una alteración de las piedras. El programa de diseño/realización, encargado a la empresa Nge, ha permitido rehabilitar el puente y añadir una pasarela metálica peatonal en voladizo. Se ha construido una losa continua de hormigón, responsable de la estanqueidad, a lo largo de los viaductos de acceso. Se ha diseñado especialmente un pórtico de instalación (o equipo móvil) para acceder por debajo de la obra, río arriba, para manipular y posicionar los cajones de la pasarela. □



1

© QUADRIC

# A43 - RÉHABILITATION DES TABLIERS DU VIADUC DE CHAMOUSSET (73)

AUTEURS : ADRIEN ROIBET, DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE, QUADRIC - JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGE D'ART, APRR-AREA

**LES CAISSONS MIXTES ACIER/BÉTON SONT DES OUVRAGES SENSIBLES AUX PROBLÉMATIQUES DE FATIGUE. PLUSIEURS PATHOLOGIES LIÉES À CES PHÉNOMÈNES ONT ÉTÉ DÉTECTÉES SUR LE VIADUC DE CHAMOUSSET EN 2014. PUIS EN 2015 : FISSURATION DES RAIDISSEURS LONGITUDINAUX, DES RAIDISSEURS TRANSVERSAUX ET DE LA TÔLE DE FOND. FACE À LA COMPLEXITÉ DES PHÉNOMÈNES MIS EN JEU, UNE APPROCHE MÊLANT ANALYSES CALCULATOIRES RAFFINÉES, INSTRUMENTATION, INVESTIGATIONS PHYSIQUES ET PROTOTYPES A ÉTÉ DÉPLOYÉE AFIN D'ABOUTIR À LA PHASE DE TRAVAUX DE RENFORCEMENT.**

## PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le viaduc de Chamousset, géré par le concessionnaire Area, situé en Savoie sur l'A43, à quelques hectomètres de l'échangeur A43-A430, possède un tablier mixte acier/béton.

L'ossature métallique est de type caisson, dont la connexion avec le hourdis béton armé est assurée par des cornières.

Sa longueur est de 245 m environ pour 4 travées oscillant entre 54 et 73 m. Cet ouvrage franchissant l'Arc et la RD1006 a été construit par l'entreprise Richard Ducros en 1991.

Il possède deux tabliers indépendants, supportant chacun un sens de l'A43.

## PREMIÈRE PATHOLOGIE

Lors d'une inspection détaillée du caisson métallique Sud en mai 2014, des fissures transversales ont été découvertes sur la tôle de fond de la travée P3/P4.

Jean-Marie Chenot, Ingénieur Expert du bureau d'études Quadric, alerte alors le concessionnaire Area sur le risque de propagation de cette fissure sur la tôle de fond et préconise un bilan exhaustif des fissures visibles à l'intérieur du caisson ainsi qu'une mise sous surveillance de l'ouvrage avant réparation (figures 2, 3 et 4).

À la suite de l'examen minutieux du caisson et de la réalisation d'un premier modèle de calcul, il s'est avéré que cette fissuration provenait de la transition des raidisseurs longitudinaux en T de la tôle de fond en raidisseurs de simple plat, s'opérant par la brusque interruption de la semelle du raidisseur. Cette modification brutale de géométrie induit une très forte concentration de contraintes dans l'âme du raidisseur au voisinage de l'interruption de la semelle. Or, cette zone comportant également une soudure verticale de raccordement de l'âme du raidisseur,

**1- Vue de l'ouvrage depuis le pont de la RD102 sur l'Arc.**

**1- View of the structure from the bridge on RD102 road over the Arc River.**

les premières analyses ont rapidement établi que cette configuration se révélait extrêmement sensible au phénomène de fatigue généré par le trafic routier. Malheureusement, ce phénomène n'avait pas été identifié dans les études d'exécution. Ce seul défaut de conception, sans mise en cause particulière des matériaux ou de la qualité d'exécution, suffisait ainsi largement à qualifier les causes de la fissuration malgré son caractère relativement précoce (à peine 25 ans de service).

La largeur conséquente de la fissure, environ 20 cm pour une largeur de tôle de fond de 3 m, dont on pouvait redouter une propagation, imposait des mesures conservatoires avant même de programmer la réparation définitive. Ces mesures furent de différentes natures : neutralisation d'une voie de circulation, perçage des abouts de fissures afin d'en maîtriser la propagation, instrumentation des fissures, surveillance visuelle rapprochée sur l'ensemble du caisson.

Des travaux de réparation partiels, permettant d'écarter les risques à court terme, ont ensuite été réalisés par l'entreprise Gagne de septembre à novembre 2014, afin de reprofiler l'ensemble des interruptions de raidisseurs longitudinaux de la tôle de fond et de créer au droit des fissures de la tôle de fond des « hippodromes » (pièce d'apport de forme oblongue) rebouchés par soudure à pleine pénétration (figure 5).

## SECONDE PATHOLOGIE

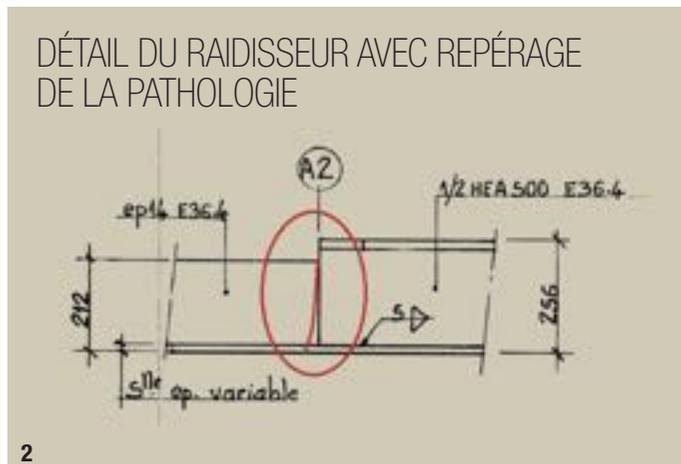
La visite annuelle réalisée au printemps 2015 a révélé l'existence de fissures de fatigue sur certains raidisseurs transversaux, principalement sur les tympans courants de l'ouvrage. Cette pathologie n'a pas de lien direct avec la précédente. Dans ce cadre, des visites spécifiques ont été mises en place afin de suivre l'évolution de ces fissures sur l'ensemble des raidisseurs touchés mais également de surveiller une éventuelle fissuration des autres raidisseurs transversaux.

Cette fissuration se localise principalement à la liaison entre l'âme des cadres de rigidité transversaux et la semelle supérieure du caisson. Les fissures relevées étaient au nombre de 18 dans le tablier Nord et de 8 dans le tablier Sud lors de la première visite de Quadric au printemps 2015. En mai 2017, leur nombre atteignait 63 unités sur l'ensemble des deux caissons. Leurs ouvertures maximales étaient de l'ordre du 1/10 mm pour la majorité, à l'exception de 2 qui étaient millimétriques. Les cadres d'entretoisement concernés étaient généralement voisins des appuis (figures 6 et 7).

Là encore, des mesures conservatoires ont été prises : interdiction du trafic de bois-ronds, perçage des fissures, surveillance visuelle régulière.

Si, de manière générale, le phénomène de fatigue était à nouveau logiquement suspecté, les facteurs précis influençant le développement de cette nouvelle fissuration étaient d'une nature beaucoup plus complexe que dans la situation de la première pathologie.

La seconde pathologie sur raidisseurs a nécessité un diagnostic approfondi, combinant analyse calculatoire, diagnos-



**2- Détail du raidisseur avec repérage de la pathologie.**

**3- Fissure sur la tôle de fond du caisson visible depuis l'extérieur.**

**4- Fissure de fatigue sur un raidisseur s'étant propagée sur la tôle de fond.**

**2- Detail of the stiffener with identification of the disorder.**

**3- Crack on the back plate of the box section visible from the outside.**

**4- Fatigue crack on a stiffener which has spread to the back plate.**

tics de laboratoire, investigations et instrumentations.

Au-delà des zones locales fissurées elles-mêmes, des problématiques plus larges ont émergé :

→ La fissuration, bien que localisée, modifie-t-elle le comportement global du caisson en flexion longitudinale ?

→ Les connecteurs de type cornières ne subissent-ils pas également des efforts inadmissibles remettant en cause leur intégrité ?

## MODÉLISATION DU PHÉNOMÈNE

Dans l'explication des causes mécaniques générant des variations de contraintes importantes sur raidisseurs, le phénomène de torsion joue un rôle important. Les travaux de Jacques Berthelley de la DteclTM du Cerema (anciennement Setra), par exemple dans le cadre de la construction du nouveau pont de Nevers (*Travaux*, juillet - août 1997, n.733), ont mis en évidence l'importance du phénomène de

reprise des efforts de distorsion sur les raidisseurs transversaux principaux, ici constitués par des tympans espacés de 6,3 m à 9,5 m environ. En effet, l'action de torsion induite par les chargements désaxés ne se traduit pas uniquement par un flux de torsion uniforme dit de Saint-Venant. Contrairement à la Résistance des Matériaux classique qui postule l'indéformabilité transversale des sections, les parois métalliques du caisson, très souples transversalement, subissent une déformation notable de distorsion. Le rôle des raidisseurs transversaux principaux, de par leur raideur transversale, est alors en quelque sorte de maintenir la géométrie de la section aux abscisses où ils sont implantés. Ce « blocage » de la géométrie transversale est réalisé au détriment d'efforts significatifs qui vont se développer dans le raidisseur : efforts normaux, efforts tranchants, mais aussi moment fléchissant notamment à l'encastrement raidisseur/hourdis présentant dans notre cas des fissures. À cet égard, le calcul d'exécution, qui prenait pour hypothèse une liaison rotulée entre le caisson et le hourdis, se révélait ainsi totalement inadéquat à retranscrire le comportement réel du caisson.

Afin d'appréhender de manière plus fine ce phénomène et ses incidences en matière de fatigue, Quadric a réalisé une modélisation de la travée T3 du caisson de Chamousset par l'intermédiaire d'un modèle 3D extrudé en éléments finis définissant le caisson et de plaques définissant les raidisseurs transversaux et le hourdis.

En effet, les effets recherchés étant ceux de la torsion et de la flexion locale, un modèle coques 2D, ou à plus forte raison un modèle filaire, se révélaient insuffisants à rendre compte des effets de distorsion évoqués précédemment. De plus, le modèle proposé a l'avantage de rendre compte tant des phénomènes locaux que globaux (figure 8). Parallèlement à cette approche, un calcul a été réalisé par Jacques Berthelley de la DteclTM du Cerema afin de cerner les effets spécifiques de reprise des efforts de distorsion. Il s'agit de modélisations « à tiroirs » : détermination des couples globaux de distorsion développés dans chaque tympan via le logiciel spécifique Cadia, puis à partir de ces couples détermination des efforts (N,Tz,My) en chaque section de raidisseur via le logiciel ST1, puis enfin détermination des contraintes via une modélisation volumique du détail de la liaison raidisseur/hourdis via le logiciel Code Aster.





Les principales conclusions de ces modélisations sont les suivantes :

- Les efforts de distorsion repris par les raidisseurs, et non pris en compte à la conception, sont significatifs et conduisent à des variations de contrainte importantes ;
- De manière plus inattendue dans leurs proportions, les effets locaux de rotation de la semelle sous la flexion du hourdis induisent des variations de contrainte supérieures, bien que du même ordre de grandeur, aux effets globaux de distorsion ;
- Enfin, et c'est sans doute le paramètre le plus important, l'interruption de la semelle du raidisseur avant la semelle supérieure du caisson, disposition calamiteuse,

vient décupler les effets précédents à double titre : forte concentration de contraintes à l'interruption de la semelle, faible catégorie de détail à 36 MPa (figure 9).

Par ailleurs, un recalcul complet de l'ouvrage dans les conditions réglementaires « classiques » a été réalisé dans le corpus d'origine. Quelques dépassements modérés, notamment en flexion longitudinale à l'ELS, ont été relevés, mais sans lien apparent avec la pathologie observée.

#### DIAGNOSTIC ET INVESTIGATIONS

Des essais de laboratoire ont rapidement été réalisés sur différents prélèvements d'acier de l'ouvrage : essais de traction, essais de résilience Charpy, analyse chimique, analyse micrographique...

**5- Hippodrome et nouveau raidisseur sur la tôle de fond.**

**6- Fissure sur le raidisseur transversal, percée pour ralentir sa propagation.**

**7- Coupe sur raidisseur avec repérage de la pathologie.**

**5- Racecourse and new stiffener on the back plate.**

**6- Crack on transverse stiffener, pierced to slow down its spread.**

**7- Cross section on stiffener with identification of the disorder.**

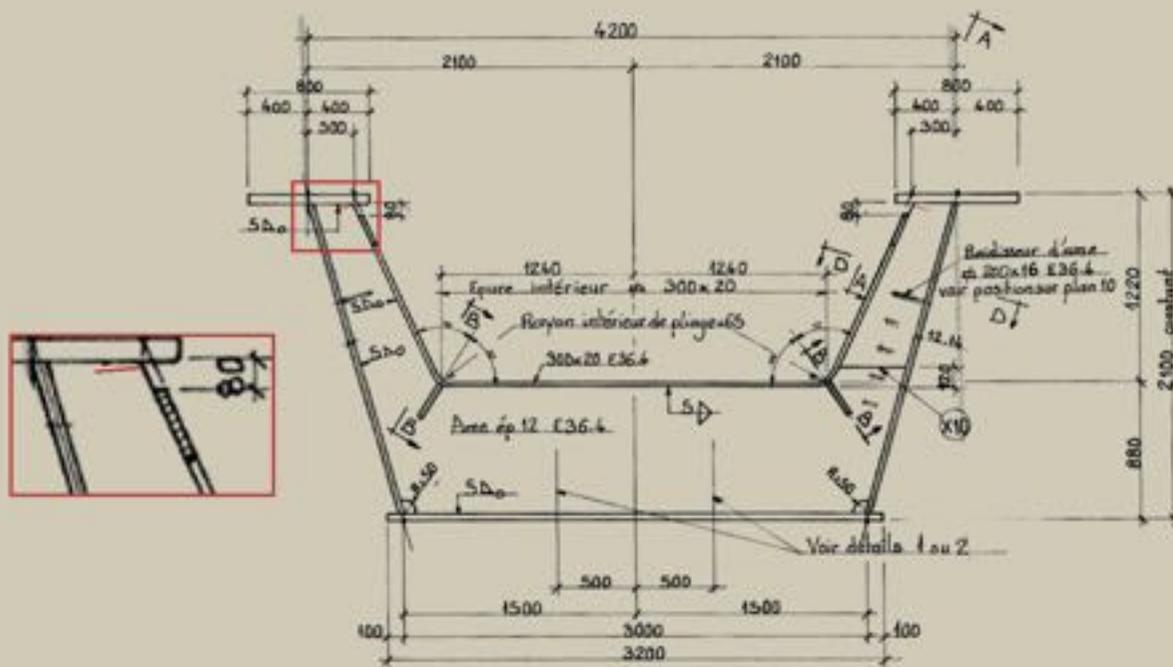
L'hypothèse d'un défaut de qualité des matériaux a ainsi été écartée.

Par la suite, l'opération a vu la répétition des épreuves préalables à la mise en service par l'application de six poids lourds d'un poids moyen de 25 t. Cette opération a permis de vérifier le fonctionnement actuel de l'ouvrage et de le comparer au fonctionnement d'origine.

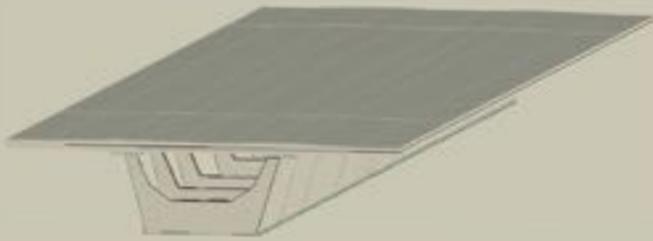
Les résultats de cette étude n'ont montré aucun signe notable d'évolution dans le comportement structurel des caissons, même sous cas de chargements désaxés.

Enfin, des investigations physiques ont été réalisées afin de contrôler l'état des cornières. L'existence de moments fléchissants liés à la distorsion des tympans laissait craindre une mise en

## COUPE SUR RAIDISSEUR AVEC REPÉRAGE DE LA PATHOLOGIE



### MODÈLE 3D DE LA TRAVÉE 3 DU CAISSON DE CHAMOUSSET



8

### DÉFORMATION DE LA SEMELLE SUPÉRIEURE DU CAISSON

sous charges excentrées sur le hourdis et concentration de contraintes à la liaison âme du raidisseur/semelle supérieure



9

8- Modèle 3D de la travée 3 du caisson de Chamousset.

9- Déformation de la semelle supérieure du caisson sous charges excentrées sur le hourdis et concentration de contraintes à la liaison âme du raidisseur/semelle supérieure.

10- Ouverture de fenêtres dans le hourdis et essais magnétoscopiques sur cornières.

11- Prototypes de renforcement.

8- 3D model of span 3 of the Chamousset box section.

9- Deformation of the top flange of the box section under eccentric loads on the sub-floor structure and stress concentration at the stiffener web/top flange joint.

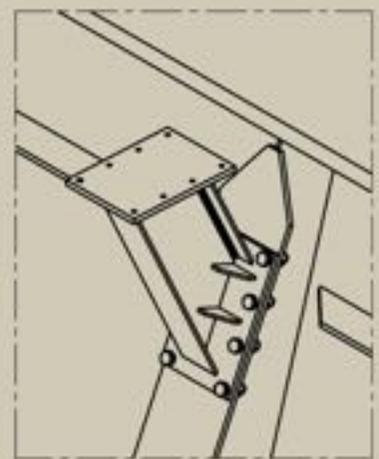
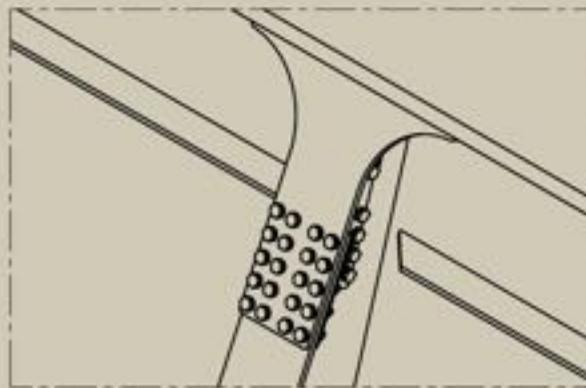
10- Opening of windows in the top slab and magnetic particle inspections on brackets.

11- Strengthening prototypes.



10

### PROTOTYPES DE RENFORCEMENT



11

flexion des cornières de connexion, crainte d'autant plus fondée que rien ne garantissait a priori la continuité et la qualité des soudures de ces connecteurs. Cette opération contraignante du point de vue de l'exploitation s'est réalisée sous basculement de circulation en début d'année 2017, et a consisté

à ouvrir trois fenêtres par hydrodémolition dans le hourdis, chacune permettant de dégager deux cornières. Outre le contrôle visuel, des Contrôles Non Destructifs (CND) par magnétoscopie ont été réalisés. Ces investigations ont apporté des éléments rassurants sur l'état de ces cornières : bonne qualité

d'exécution, absence de défauts dans les cordons de soudure (figure 9).

### INSTRUMENTATION

Afin de valider les modèles de calcul, et dans le but de qualifier l'agressivité du trafic, une instrumentation par jauges extensométriques (40 unités

déployées) a été mise en œuvre, ciblant les variations de contraintes dans les zones critiques des tympans, à la liaison semelle/hourdis.

L'acquisition des données a été réalisée sous camions d'épreuves, puis sous trois semaines du trafic courant de l'ouvrage.

Le comptage des différents cycles de contraintes a été réalisé via l'algorithme de comptage Rainflow ; il est ainsi possible à partir de la mesure physique en dynamique, soit environ 100 points de mesure par seconde (100 Hz), de déterminer les différents cycles de contraintes subis par la matière au voisinage de la soudure. La catégorie de détail étant connue préalablement, on réalise ainsi une mesure expérimentale de l'endommagement subi pendant la période de l'instrumentation, et par extrapolation de la durée de vie du détail instrumenté.

Les apports de l'instrumentation ont été essentiels :

- Confirmation de la faible durée de vie de l'intégralité des raidisseurs, la fissuration devant donc être généralisée à moyen terme sans action de réparation ;
- Qualification de l'agressivité du trafic, qui est d'environ 20% moins défavorable que les hypothèses prises à la conception ;
- Confirmation du fait que les besoins en renforcement concernaient principalement le voisinage des zones fissurées, le restant de l'ouvrage ayant donné des signaux rassurants tant du point de vue calculatoire qu'expérimental.

### PROTOTYPES DE RÉPARATION

La conception de la réparation s'est orientée vers deux solutions :

- Une solution par bracon métallique boulonné sur le raidisseur existant, et scellé dans le hourdis, dont l'avantage est notamment de ne comprendre aucune soudure ;
- Une solution par prolongation et évasement de la semelle existante, avec une liaison soudée sur la semelle supérieure, et une liaison boulonnée par 20 boulons M24 classe 10.9 en partie inférieure afin de limiter les effets de bridage à l'exécution (figure 11).

Afin d'avoir une certaine garantie sur le comportement mécanique d'une part, et d'autre part établir la faisabilité d'exécution, une phase de prototypes a été réalisée sur le tablier Nord : un raidisseur a été réparé sur la base du prototype 1, un autre sur la base du prototype 2. Après exécution, les deux prototypes ont été instrumentés par jauges suivant le principe de la phase de diagnostic. Les travaux de prototypes ont été réalisés par l'entreprise Cicéron entre septembre et octobre 2017. Les conclusions, tant du point de vue du comportement mécanique,

que de la faisabilité, ont milité pour le choix du prototype n°2. Le prototype n°1, conçu pour reprendre les effets de distorsion, s'est révélé en effet beaucoup moins efficace vis-à-vis des effets très locaux de déformation de la semelle du caisson. Sa mise en œuvre a été rendue complexe par les variations de géométrie et les défauts de planéité des pièces existantes.

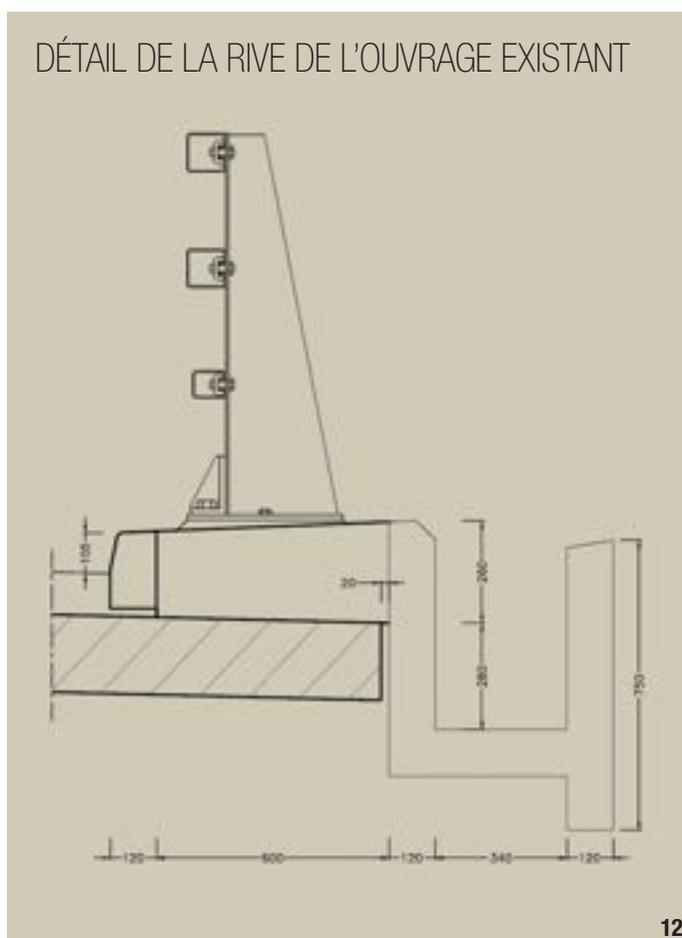
Cette phase de prototype a enfin permis, en collaboration avec Area, de préciser le juste besoin des travaux de réparation en matière d'exploitation sous chantier, et de fiabiliser le coût et le délai des travaux.

**12- Détail de la rive de l'ouvrage existant.**

**13- Détail de la rive projetée.**

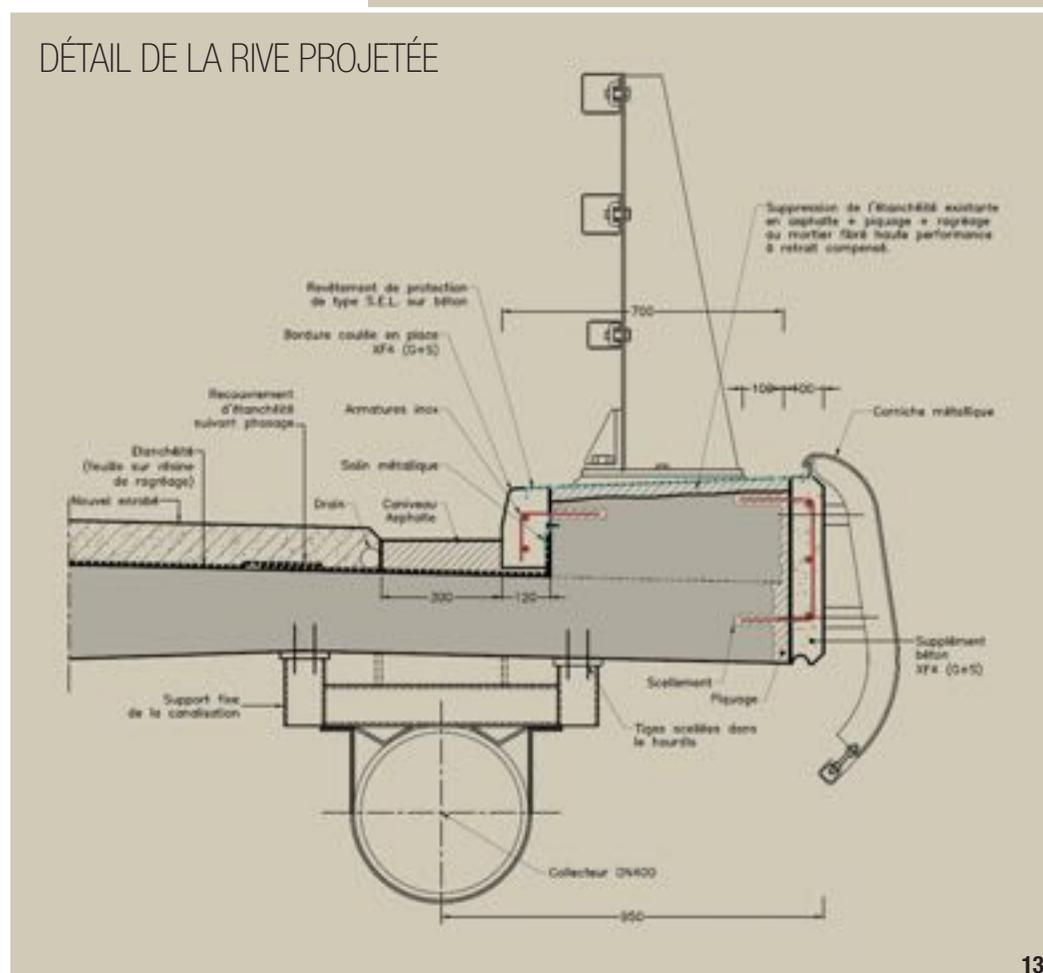
**12- Detail of the bank of the existing structure.**

**13- Detail of the planned bank.**



12

© QUADRIC



13

© QUADRIC



© QUADRIC

14

## TRAVAUX DE RÉPARATION

Ces travaux de réparation délicate ont fait l'objet d'une demande de principe auprès de l'autorité de contrôle des sociétés concessionnaires d'autoroute. Les travaux de réparation structurels ont été programmés entre mai et octobre 2018. Dans un contexte où des restrictions lourdes de circulation sont nécessaires pour réaliser les soudures des renforcements (neutralisation de voie lente, basculements), le maître d'ouvrage Area a souhaité adjoindre aux travaux de renforcements un lot indépendant de travaux de réfection de réfection générale des superstructures, afin d'optimiser l'utilisation des basculements et minimiser la gêne client. Cette mesure impose des travaux à postes, les travaux de réfection de

l'extrados ayant lieu en journée, et les travaux de soudure de nuit, sans circulation sur l'ouvrage.

Les travaux de réfection des superstructures, réalisés par l'entreprise Cofex-Gtm Travaux Spéciaux, et faisant l'objet d'un lot indépendant des réparations du caisson métallique, comprennent la réfection de l'étanchéité et de la chaussée, la reprise des joints de chaussée, la réfection et l'imperméabilisation des longrines de rives, ainsi que la reprise de l'assainissement (figures 12 et 13). Les travaux de réparation des ouvrages métalliques ont été attribués à l'entreprise Bouygues Travaux Publics Régions France, avec pour sous-traitant concernant les travaux de soudage Sttc. Ces travaux intègrent la reprise des 54 raidisseurs principaux, ainsi que quelques travaux de renforcements secondaires comprenant essentiellement l'ajout de raidisseurs longitudinaux afin d'atteindre la pleine conformité réglementaire sur des critères non liés aux pathologies observées (figure 14). Enfin, durant l'année 2019, le maître d'ouvrage a prévu la réfection de la protection anticorrosion des parties extérieures et intérieures du caisson métallique. □

**14- Renfort de raidisseur transversal en cours d'assemblage.**

**14- Strengthening of transverse stiffener during assembly.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

TRAVAUX DE RENFORCEMENT DES CAISSONS MÉTALLIQUES

**NOMBRE DE RAIDISSEURS À RENFORCER : 108 u**

**SOUDAGE : environ 1 000 h**

**NOMBRE DE BOULONS HRC : 2 080 u**

**SURFACE DE DÉCAPAGE DE LA PROTECTION ANTICORROSION À L'INTÉRIEUR DES CAISSONS : 1 800 m<sup>2</sup>**

TRAVAUX DE RÉFECTION DES SUPERSTRUCTURES

**SURFACE D'ÉTANCHÉITÉ EN FEUILLE PRÉFABRIQUÉE**

**MISE EN ŒUVRE : 5 000 m<sup>2</sup>**

**LINÉAIRE DE CONDUITE D'ASSAINISSEMENT EN FONTE**

**MIS EN ŒUVRE : 520 m**

**ÉTANCHÉITÉ SEL MISE EN ŒUVRE : 700 m<sup>2</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Area**

**MAÎTRE D'ŒUVRE, INSTRUMENTATION : Quadric**

**INSTRUMENTATION PAR JAUGES : Cerema Méditerranée**

**TRAVAUX DE RÉALISATION DES PROTOTYPES : Ciceron, Pascal, Montage Levage**

**TRAVAUX DE RÉFECTION DES SUPERSTRUCTURES :**

**Cofex-Gtm Travaux Spéciaux**

**TRAVAUX DE RENFORCEMENT DES CAISSONS MÉTALLIQUES :**

**Bouygues Tprf**

## ABSTRACT

### A43 - RENOVATION OF THE DECKS OF CHAMOUSSET (73) VIADUCT

ADRIEN ROIBET, DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE, QUADRIC - JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGE D'ART, APRR-AREA

The Chamousset viaduct is a composite structure located on the A43 motorway, managed by the concession operator Area. It consists of a very slender steel box section and a reinforced concrete top slab. Two types of cracks were detected in 2014 and 2015. These disorders, generated by fatigue, are mainly due to poor structural detailing, and in particular a sudden break in the stiffener flanges. A diagnosis was performed, using sophisticated calculations taking into account distortion effects, laboratory tests, and in particular physical instrumentation. This led to a repair prototype phase in 2017. The final box section repair works are being performed in 2018, and are combined with superstructure renovation works. □

### A43 - REHABILITACIÓN DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO DE CHAMOUSSET (73)

ADRIEN ROIBET, DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE, QUADRIC - JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGE D'ART, APRR-AREA

El viaducto de Chamousset es una obra mixta situada sobre la autopista A43, gestionada por la empresa concesionaria Area. Consta de un cajón metálico muy espigado y un forjado de hormigón armado. En 2014 y 2015 se detectaron dos tipos de fisuras. Estas patologías, generadas por efecto de fatiga, se deben principalmente a disposiciones constructivas erróneas, en especial una brusca interrupción de las zapatas en los rigidizadores. Se ha llevado a cabo un diagnóstico que incluía sofisticados cálculos que tenían en cuenta los efectos de distorsión, ensayos de laboratorio y, sobre todo, una instrumentación física, seguido de una fase de prototipos de reparación en 2017. Las obras definitivas de reparación del cajón se realizarán en 2018, y coincidirán con las obras de rehabilitación de las superestructuras. □



1  
© PHOTOThÉQUE SETEC DIADES

# UNE RÉHABILITATION EN PROFONDEUR DE 2 PS SUR L'AUTOROUTE A6

AUTEURS : RENAUD LECONTE, DIRECTEUR TECHNIQUE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGES D'ART, DIPP APRR

RÉHABILITER EN PROFONDEUR DEUX PS AUTOROUTIERS EN MINIMISANT LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION POUR LES VOIES FRANCHIES, TELLE ÉTAIT LA FINALITÉ DE CE PROJET CONÇU PAR SETEC DIADES POUR LE COMPTE D'APRR ET RÉALISÉ PAR EIFFAGE. DEUX OPÉRATIONS COUP DE POING ONT ÉTÉ NÉCESSAIRES POUR DÉGAGER LES OUVRAGES DE L'AUTOROUTE A6 ET LES REPOSITIONNER SUR LEURS APPUIS INITIAUX APRÈS 3 MOIS DE TRAVAUX SUR UNE AIRE AMÉNAGÉE À PROXIMITÉ DE L'A6.

## CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Dans le cadre de la maintenance des ouvrages d'art de son réseau d'autoroutes, Aprr est confronté à des pathologies toutes particulières sur béton affectant quelques passages supérieurs en structure mixte acier-béton franchissant l'autoroute A6 dans la région d'Avallon, France.

En effet, les hourdis en béton de ces ouvrages présentent des dégradations internes de type fissuration à

cœur, voire délaminations par endroit, nécessitant des travaux de démolition/reconstruction de ces parties malades visant à redonner aux structures la pérennité nécessaire à leur exploitation en sécurité, que ce soit pour les usagers de la voie portée autant que pour ceux de la voie franchie.

Le présent article traite des 2 PS208+133 et 208+582 portant respectivement la RD457 et le CR3 bis sur

1- Vue générale du PS208+133.

1- General view of overpass 208+133.

la commune de Savigny-les-Bois dans le département de l'Yonne et dont les travaux, réalisés par Eiffage, se sont achevés fin 2016.

## PRÉSENTATION DES OUVRAGES

Le PS208+133 est un ouvrage de type pont mixte à 3 travées de 13,70 m - 30,74 m - 12,50 m de longueurs respectives et présentant un biais de 94 grades. Réalisé en 1967, il est constitué de 4 poutres métalliques à âme pleine de hauteur constante égale à 1,00 m, espacées de 2,70 m et liaisonnées par des entretoises triangulées Warren (figure 1). Les poutres sont constituées de semelles supérieures en acier

2- Vue générale du PS 208+582.  
 3- Démolition des superstructures et d'environ 7 m de hourdis au niveau des abouts.  
 4- Charpente du PS 208+582 dans sa configuration d'origine sur l'aire de chantier. Présence des renforts au droit des points de portage (montants et entretoise).

2- General view of overpass 208+582.

3- Demolition of superstructures and about 7 metres of top slab at the end plate level.

4- Structure of overpass 208+582 in its original configuration on the worksite area. Presence of reinforcements at bearing points (uprights and cross ties).



© PHOTO THÉQUE SETEC DIADES

2

A42 S3, tandis que les âmes et les semelles inférieures sont en A52 S. Les entretoises sur piles et culées sont à âme pleine et sont enrobées de béton au niveau des culées faisant ainsi office de contrepoids.

La longueur des travées présente en effet un balancement défavorable avoisinant 0,40, les travées de rive étant très courtes par rapport à la travée centrale, induisant ainsi des risques de soulèvement du tablier au niveau des culées.

Pour pallier ce risque, des appareils d'appui en néoprène frettés, équipés de dispositifs anti-soulèvement, ont été mis en œuvre sur culées, le dispositif permettant néanmoins d'autoriser les déplacements horizontaux.

Cette charpente supporte une dalle en béton de 17 cm d'épaisseur pour une largeur totale de 10,00 m portant une chaussée de 7,00 m et de deux trottoirs de 1,50 m.

Le PS 208+582 est également un ouvrage de type pont mixte présen-

tant les mêmes travures mais avec un biais de 100 grades. Il est constitué de 3 poutres métalliques à âmes pleine de hauteur constante égale à 1,036 m, espacées de 2,50 m et liaisonnées par des entretoises triangulées Warren (figure 2).

La constitution des poutres, entretoises courantes et d'appuis est la même que pour le PS 208+133.

Cette charpente supporte une dalle en béton de 16,5 cm d'épaisseur pour une largeur totale de 7,00 m portant

une chaussée de 5,00 m et de deux trottoirs de 1,00 m.

Les changements de section des poutres sont réalisés par des semelles additionnelles soudées à l'extérieur des poutres.

Ces ouvrages reposent sur des culées en tête de colonnes sur semelles superficielles et des piles trapézoïdales fondées superficiellement.

Lors de la construction de cette portion de l'autoroute A6, ces ouvrages ont été construits selon un phasage particulier. ▷



© PHOTO THÉQUE APRR - DSI

3



4

En effet, ils ont été construits dans un schéma de fonctionnement isostatique avant d'être rendu hyperstatique lors de la réalisation de dénivellations d'appui conséquentes.

Le phasage détaillé de la construction, commun aux deux ouvrages, a été le suivant :

- Réalisation de la charpente en usine et mise en œuvre sur les seules piles définitives, la structure étant isostatique et les travées de rive étant en console ;
- Réalisation du hourdis en béton dans cette configuration initiale (mise en œuvre d'un coffrage, bétonnage du hourdis et décoffrage de l'ensemble) ;
- Dévérinage au niveau des piles jusqu'au contact au niveau des culées ;
- Dénivellation d'appuis sur piles d'environ 19 cm pour précontraindre la dalle en béton ;
- Réalisation des superstructures et finition de l'ouvrage.

La structure a été dimensionnée suivant la réglementation française de l'époque de construction des ouvrages. Bien que les contraintes dans la charpente et le béton aient été étudiées séparément, la mixité, rendue effective par le biais de connecteurs en arceaux sur les semelles supérieures afin d'empêcher le glissement béton/métal, a été prise en compte dans les calculs d'exécution.



© PHOTOTHÈQUE APRR - DISI

### PRINCIPE DE RÉPARATION

L'objectif des travaux à engager sur ces 2 ouvrages était la réparation de leur hourdis en béton qui présentait un état pathologique avancé. En effet, le diagnostic engagé sur ces ouvrages avait mis en évidence un feuilletage horizontal du béton certainement dû au gel interne du béton.

L'état pathologique des bétons ne permettant pas de les réparer, des travaux lourds de démolition puis de remplacement ont été jugés nécessaires.

Les principales contraintes de cette opération étaient la gestion des contraintes d'exploitation des voies franchies (en minimisant les neutrali-

sations de voies), le calendrier général de l'opération qui devait tenir compte d'une dépose et repose sous une seule coupure commune aux 2 tabliers, des délais de coupure de l'A6 entre Avallon et Auxerre Sud limités de 22h à 6h y compris les temps nécessaires au balisage/débalisage et encore l'optimisation des délais liés à la coupure des voies portées que sont la RD 457 et le CR3 bis,

Par ailleurs, la volonté du MOA était que la géométrie, les caractéristiques et le comportement des poutres métalliques soient conservés lors de la démolition et la reconstruction des hourdis en béton. La mission confiée à Setec Diadès était la maîtrise d'œuvre études de conception, suivi du VISA des études d'exécution relatifs aux 2 ouvrages, la maîtrise d'œuvre travaux étant quant à elle assurée par les services d'Aprr. Durant les travaux, une assistance technique a toutefois été apportée au MOEt par Setec Diadès.

Au démarrage de l'étude, deux solutions techniques ont été analysées dont le délaçage du tablier du PS208+582. Cette solution a été abandonnée en phase PRO par le MOA compte-tenu notamment de la nécessité de positionner le tablier sur 80 cm environ de calage provisoire au-dessus de l'auto-route en circulation.

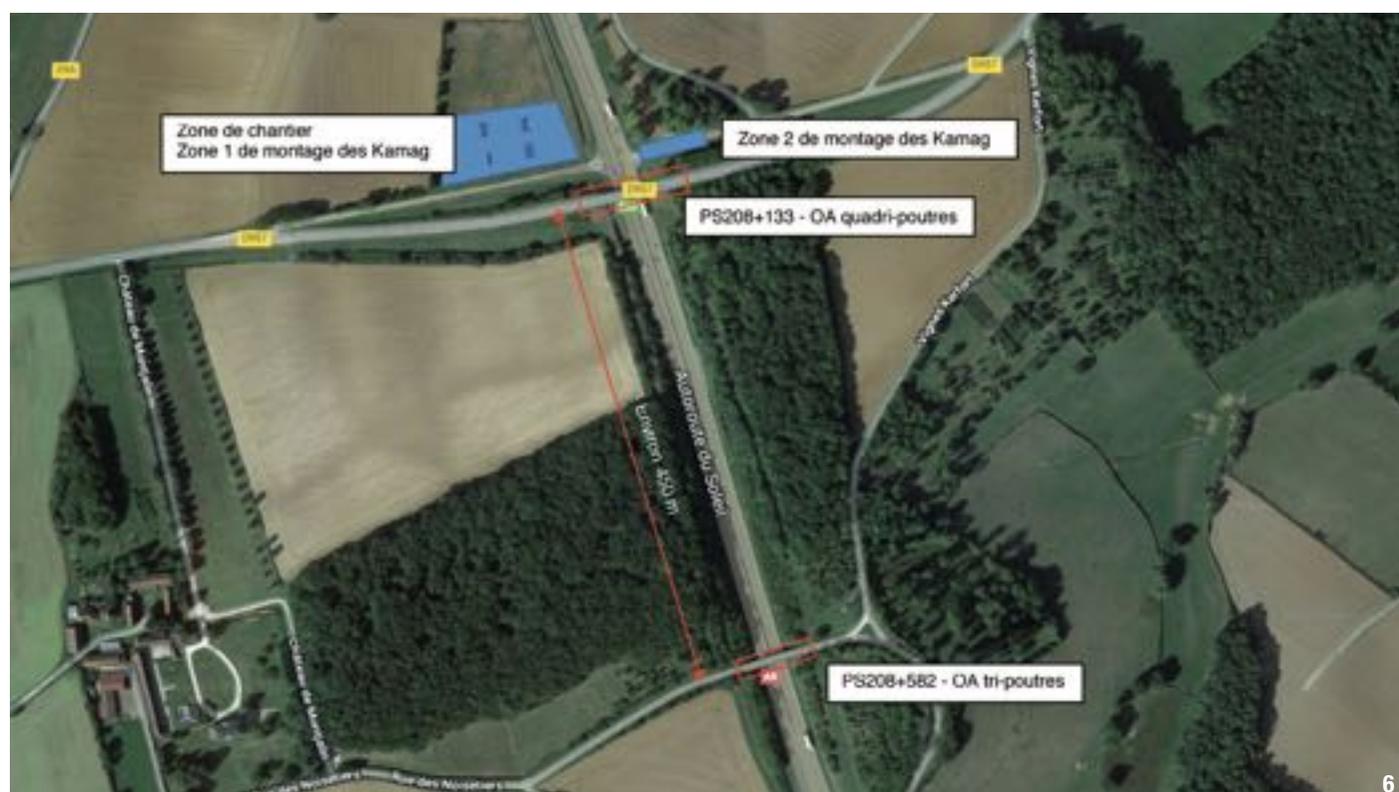
Afin de répondre aux multiples contraintes du projet et de réaliser des

**5- Travaux préparatoires d'écrêtage des terrains avoisinants.**

**6- Vue générale de la zone de travaux.**

**5- Preparatory clipping work on the neighbouring land.**

**6- General view of the work area.**



© PHOTOTHÈQUE SETEC DIADES

travaux de qualité en toute sécurité, la solution proposée et validée a été le déplacement des 2 tabliers sur une aire de stockage à proximité immédiate du site où les ouvrages seraient partiellement démolis puis reconstruits avant repose à leurs emplacements d'origine.

### 7- Schémas de déplacement des 2 tabliers.

#### 7- Diagrams of movement of the 2 decks.

La démarche adoptée a donc été la suivante :

- Préparer les accès travaux, zones de franchissement du TPC et de travaux de réparation des tabliers, préparer les ouvrages à leurs déplacements ;

- Déplacer les ouvrages durant une 1<sup>re</sup> nuit de coupure et les poser sur des appuis provisoires en bordure de l'autoroute ;
- Démolir puis reconstruire les hourdis en béton, hors gêne à la circulation de la voie franchie, tout en conservant les charpentes métalliques ;
- Reposer les ouvrages durant une 2<sup>de</sup> nuit de coupure sur leurs appuis d'origine.

Le premier point a consisté à s'assurer de la capacité portante des charpentes métalliques à supporter l'ensemble des phases travaux à réaliser en tenant compte du changement de fonctionnement statique des ouvrages, d'une part, et du déplacement des points d'appui nécessaires au portage des structures, d'autre part.

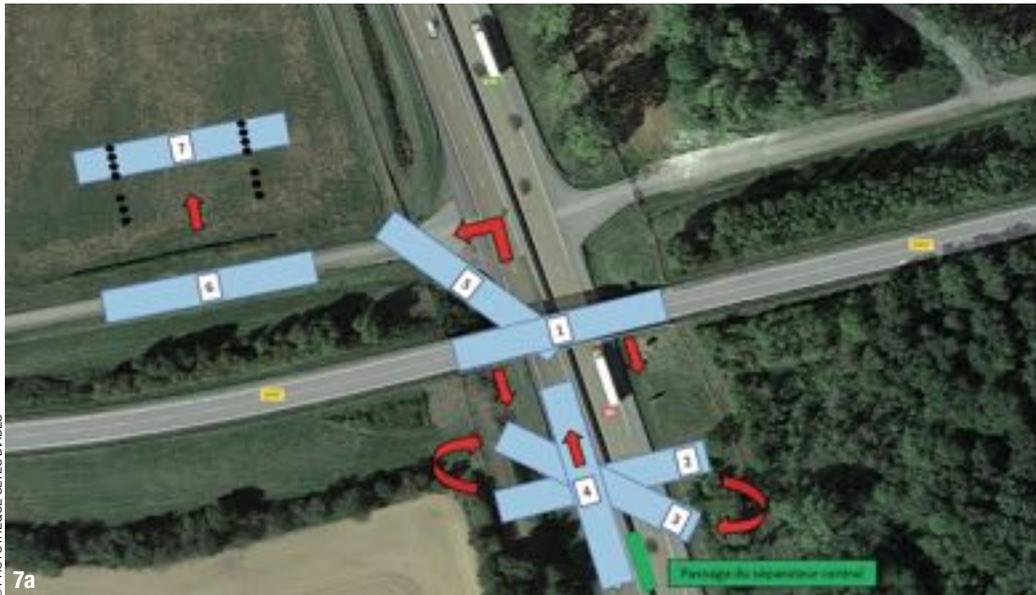
La technique retenue a été l'utilisation de 2 plateformes automotrices hydros-tatiques par ouvrage, placées en Bande d'Arrêt d'Urgence au plus près des piles existantes et permettant de soulever les ouvrages et les dégager de leurs appui existants. Le déplacement des points d'appuis de quelques mètres et l'augmentation des parties en console conduisaient alors à une augmentation significative des contraintes dans les charpentes.

Un des points cruciaux consistait donc à définir précisément les méthodes de déplacement des ouvrages et l'ensemble des phasages associés, et notamment à vérifier que les charpentes étaient aptes à supporter l'ensemble des charges engendrées par les travaux de portage.

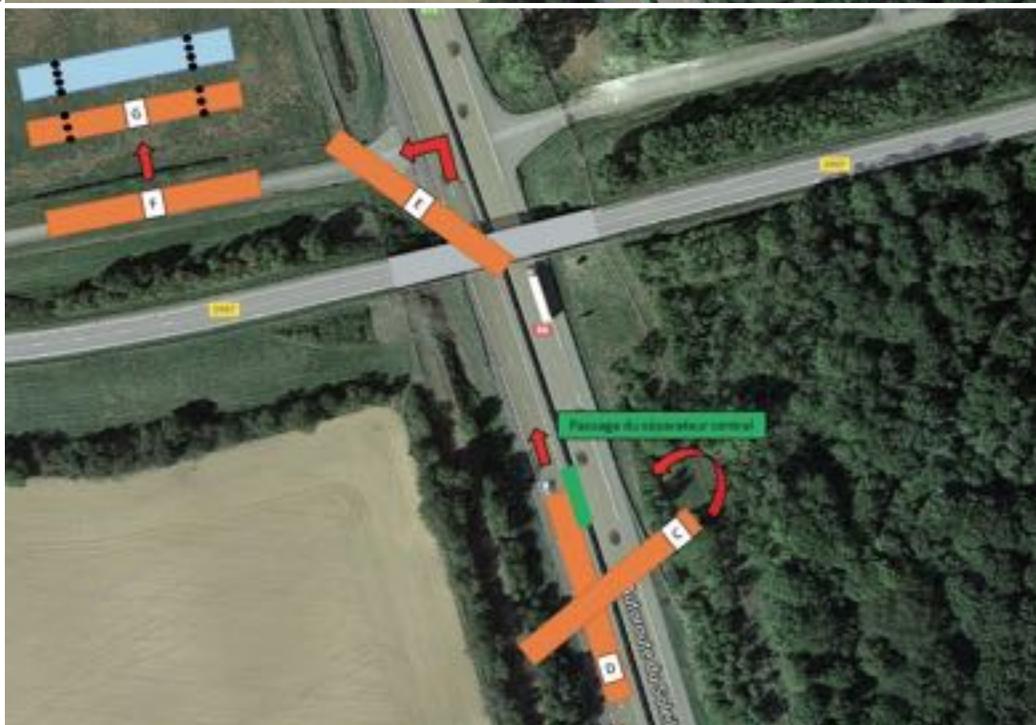
En effet, l'augmentation de la longueur des porte-à-faux liée au décalage des points de portage par rapport à la situation d'origine, passant de 13,54 m à un peu plus de 18,5 m, conduisait au doublement des moments sollicitants dans les charpentes.

### RÉALISATION DES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

La première phase des travaux, réalisée sans grosse restriction de circulation de l'autoroute A6, a donc consisté à démolir l'ensemble des superstructures sur les ouvrages ainsi que les hourdis sur les travées de rive sur 7 m environ afin de réduire sensiblement les sollicitations dans les charpentes et de minimiser d'environ 40 % le poids total des ouvrages avant leur dépose (349 t au lieu de 590 t pour le PS208+133 et 250 t au lieu de 429 t pour le PS208+582) et donc le dimensionnement des plateformes automotrices nécessaires au portage.



7a



7b



8



9

© PHOTOTHÈQUE APRR - DIPP

Par ailleurs, compte-tenu des dénivellements d'appui réalisées à l'origine, le vérinage des tabliers, nécessaire pour libérer les appuis et absorber les flèches de porte-à-faux complémentaires, aurait été trop important sans une diminution conséquente des charges en porte-à-faux.

La démolition d'une partie des travées de rive (figure 3) permettait alors, compte-tenu du balancement défavorable des travées, de soulager le tablier au niveau des culées, nécessitant toutefois de libérer préalablement les appuis anti-soulèvement. Cette démolition partielle des hourdis n'entraînait que très peu de perte de rigidité et d'affaiblissement de la section résistante des tabliers puisque les efforts étaient principalement concentrés sur les appuis et en travée centrale lors de

ces phases isostatiques de déplacement des ouvrages.

Le déplacement des points d'appuis intermédiaires conduisant à l'introduction d'efforts concentrés dans des sections non raidies des poutres, des raidisseurs verticaux d'âme ont été soudés sous les points d'appui provisoires. En parallèle, des contreventements transversaux provisoires en structure treillis ont été réalisés afin de raidir la charpente dans ces zones de portage (figure 4).

Le soulèvement, le portage puis la dépose des ouvrages ont été assurés par l'entreprise Sarens à l'aide de 2x2 plateformes automotrices Kamag disposées à proximité immédiate des piles. Afin de faciliter les phases de déplacement, des travaux préparatoires complémentaires ont été réalisés. Il a été

**8- Déplacement en cours du PS208+582.**

**9- Arrivée du PS208+582 sur l'aire de chantier.**

**8- Movement of overpass 208+582 in progress.**

**9- Arrival of overpass 208+582 on the worksite area.**

en effet nécessaire de renforcer les zones d'accotement à proximité immédiate des ouvrages pour permettre le dégagement des tabliers, de démolir un tronçon de GBA permettant ainsi de créer une zone de franchissement du

TPC, de démolir les garde-grève des 2 ouvrages pour faciliter le dégagement des tabliers, diminuer les hauteurs de vérinage des ouvrages et éviter les risques de contact entre charpente et garde-grève, et enfin d'écrêter une partie des talus pouvant gêner le déplacement des ouvrages (figure 5).

Une aire de chantier a été aménagée à proximité de l'ouvrage quadripoutre pour accueillir les deux tabliers en fin de dépose, les aires de montage des Kamag étant également disposées dans cette zone. Le choix d'amener les 2 ouvrages sur une même aire de travail a conduit à un ordonnancement spécifique des travaux (figure 6). En effet, l'acheminement des Kamag pour le tripoutre situé à près de 450 m de l'aire de travail nécessitait un montage partiel des Kamag leur

permettant de passer sous le quadri-poutre et une finalisation du montage au droit de l'ouvrage. Par ailleurs, le processus de cheminement du PS208+582 devait intégrer le franchissement des appuis du premier ouvrage.

## DÉPLACEMENT DES TABLIERS

De manière à compenser les effets du profil en long des ouvrages et la nécessité de conserver l'horizontalité des structures de manutention, des réglages par cales biaisées entre les plateaux et la charpente ont été nécessaires. Ils ont été complétés par la mise en œuvre de taquets de maintien tant dans le sens transversal que longitudinal, permettant de sécuriser toutes les phases de déplacement et d'éviter tout risque d'échappement d'appuis.

Compte-tenu de la configuration du site, le portage a dû être phasé avec la création notamment d'une aire de franchissement du TPC commune aux 2 ouvrages. Le déplacement des tabliers s'est donc déroulé selon la chronologie suivante :

- Dégagement des tabliers de leurs appuis.
- Démarrage du transfert avec le tablier quadri-poutre par une translation d'environ 20 m vers le tripoutre pour le dégager de ses appuis puis réalisation d'une rotation à 90 degrés permettant de franchir le TPC. L'acheminement pouvant alors se faire sur le sens 2 de l'autoroute avec une nouvelle



10  
© PHOTOTHÈQUE APRR - DISI

### 10- Grignotage des encorbellements.

### 11- Hydrodémolition de la dalle entre poutres pour la dépose du hourdis.

### 10- Overhang nibbling.

### 11- Hydrodemolition of the slab between beams for removal of the top slab.

rotation permettant de rentrer sur l'aire de travail et positionner le 1<sup>er</sup> tablier sur ses appuis provisoires (figure 7a - phases 1 à 7).

- Après avoir écrêté le remblai au droit des culées du tripoutre, translation de 20 m environ vers le quadri-poutre pour le dégager de ses appuis et rotation partielle du tablier pour le positionner en crabe par rapport à l'autoroute (figure 8).
- L'ouvrage est alors translaté sur 400 m environ jusqu'à la zone de dépose partielle du TPC, permettant ainsi de finaliser la rotation, franchir le TPC et positionner le tablier parallèle à l'autoroute sur le sens 2 de

circulation. Une dernière translation est effectuée pour franchir les piles du quadri-poutre avant de faire une ultime rotation et rentrer sur l'aire de chantier. Le second tablier peut alors être déposé sur ses appuis provisoires (figure 7b - phases A à G et figure 9).

Cette technique de dépose a permis de minimiser la gêne du client puisque l'amenée des plateformes automotrices a pu être opérée sous de simples neutralisations de voie, et la nuit de travaux du 4 au 5 juin 2016 a été nécessaire pour la dépose des 2 ouvrages sous coupure totale de l'autoroute A6. Des appuis provisoires avaient été construits préalablement sur l'aire de chantier, prêts à recevoir les 2 tabliers, perpendiculairement à l'autoroute.

## LES TRAVAUX DE RÉPARATION

Une fois sur l'aire de chantier, les travaux pouvaient être effectués sans difficultés particulières et en toute sécurité pour les compagnons.

La démolition des hourdis a été faite par grignotage à la pince pour les encorbellements et par hydrodémolition du béton au droit des semelles supérieures et entretoises pour la dépose des zones entre-poutres (figures 10 et 11).

Les éléments de dalle, préalablement sécurisés, ont ensuite été déposés et envoyés en centre de traitement.

Les entretoises métalliques noyées dans les poutres béton d'about ont été déposées dès la phase d'allègement du tablier du fait des déformations qu'elles avaient subies lors de la démolition partielle des hourdis, et reconstituées une fois sur la zone de chantier.

Une fois les charpentes « mises à nue », une remise en peinture a été réalisée après un lavage total, des retouches ponctuelles et la réalisation d'une couche de finition pour le PS208+133 et après un décapage complet de l'ancien complexe anticorrosion pour le PS208+582 dont la présence de plomb dans le primaire de la peinture a nécessité la mise en œuvre d'un échafaudage général, portant un confinement étanche et un sas de décontamination à 3 comportements conformément à la législation, afin de réaliser ces travaux en toute sécurité (figure 12).

Les charpentes métalliques des tabliers ayant été dimensionnées avec d'anciens règlements de calcul, il n'était pas envisageable de vouloir les mettre en conformité avec le nouveau corpus réglementaire que constituent les Euro-codes.



11  
© PHOTOTHÈQUE APRR - DISI



12



13

© PHOTO:HEQUE APRR - DISI

Les études de conception et d'exécution ont donc été conduites avec les derniers règlements français en vigueur. Malgré la construction d'un hourdis neuf, les épaisseurs d'origine ont été retenues en dérogeant aux épaisseurs d'enrobage Eurocodes, en les fixant arbitrairement à 3 cm.

La conservation de la géométrie des dalles permettait également, en respectant au maximum la conception d'origine, de sécuriser le respect du profil en long des tabliers en fin de travaux. Toutefois il a été constaté, lors des contrôles géométriques des charpentes sur l'aire de travail, que les contreflèches des poutres n'avaient pas retrouvé leurs valeurs d'origine reportées sur les plans BPE des montages à blanc de 1967.

Les nouveaux hourdis ont été réalisés par éléments préfabriqués de 2 m de longueur et mis en œuvre sur les charpentes en pianotant pour limiter la fissuration dans les dalles (hormis sur les zones d'about qui ont été réalisées après la repose des tabliers) et limiter les défauts de profils en long. Le clavage entre dalles a été exécuté de manière traditionnelle à l'aide de coffrages en bois réalisés sur mesure (figure 13).

Enfin, l'autoroute A6 a été coupée une seconde nuit entre le 1 et le 2 octobre 2016 pour la repose des 2 tabliers sur leurs appuis d'origine et les abouts de dalle ont pu être finalisés à l'aide d'éléments préfabriqués et une dernière portion coulée en place à l'aplomb des culées.

Un premier vérinage a été effectué pour poser les charpentes sur leurs 4 lignes d'appuis, suivi par une phase de dénivellations d'appui dont la valeur définitive a été définie au fur et à mesure des travaux par les profils géométriques des

**12- Vue générale de l'échafaudage et des sas de décontamination.**

**13- Mise en œuvre des dalles préfabriquées et clavage.**

**12- General view of the scaffolding and decontamination chambers.**

**13- Placing pre-fabricated slabs and keying.**

ouvrages suivis en temps réel afin d'éviter de créer un effet de creux en milieu de travée centrale du fait des différences de contreflèche constatées par rapport à la géométrie d'origine. La légère diminution des hauteurs de dénivellation a nécessité, dans un second temps, de prévoir ponctuellement un renfort des semelles inférieures du PS208+133. Les ultimes travaux ont ensuite consisté à finaliser les superstructures, reconstruire les garde-grève et murs en retour et, bien entendu, remettre en état l'ensemble des zones provisoires de chantier.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Aprr - Direction Infrastructure Péage Patrimoine

**MAÎTRE D'ŒUVRE :**

- **Maîtrise d'œuvre études + VISA :** Setec Diadès
- **Maîtrise d'œuvre travaux :** Direction de l'Ingénierie et des Systèmes d'Information d'Aprr Disi

**ENTREPRISE :** Eiffage - Agence Est

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :**

- **Réalisation des dalles préfabriquées :** Matière
- **Dépose et repose des tabliers :** Sarens
- **Terrassements :** Berger
- **Bureaux d'études Génie Civil :** BE Arlaud
- **Bureau d'études métal :** Mio

## CONCLUSIONS

Ce projet de réparation d'ouvrages a regroupé des problématiques techniques et des problématiques structurelles. Le mode de dépose et repose par plateformes automotrices et le mode de reconstruction des tabliers béton mixant plusieurs schémas statiques de fonctionnement et des inconnues sur l'histoire de l'ouvrage, ont nécessité une réflexion et une ingénierie complète pour assurer la bonne conception des ouvrages, la faisabilité de ces opérations coups de poing, tout en garantissant une bonne gestion des contraintes fortes d'exploitation autoroutières. □

## ABSTRACT

### THOROUGH RENOVATION OF 2 OVERPASSES ON THE A6 MOTORWAY

RENAUD LECONTE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, DIPP APRR

As part of the monitoring of its road structures, APRR (Autoroutes Paris Rhin Rhône) undertook a thorough renovation of two composite steel-concrete bridges on the A6 motorway whose damaged top slabs had to be demolished and rebuilt. In order to limit operating constraints during the works, the solution designed by Setec Diadès and implemented by the contractor Eiffage consisted of reducing the weight of the decks insofar as possible by demolishing the superstructures and 7 metres of top slab at the ends of the end spans. These two decks were then carried on hydrostatic self-propelled platforms onto a work area arranged near the motorway. Once the renovation works had been performed, the decks were able to be placed back on their original supports. □

### REHABILITACIÓN EN PROFUNDIDAD DE 2 PUENTES SOBRE LA AUTOPISTA A6

RENAUD LECONTE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, DIPP APRR

En el marco del seguimiento de sus obras, APRR (Autoroutes Paris Rhin Rhône) ha iniciado la rehabilitación en profundidad de dos puentes de estructura mixta acero-hormigón sobre la A6, cuyos forjados presentan patologías que exigen su demolición y reconstrucción. Para limitar las interrupciones del tráfico durante las obras, la solución proyectada por Setec Diadès e implementada por la empresa Eiffage ha consistido en aligerar al máximo los tableros por demolición de las superestructuras y 7 m de forjados en los extremos de los vanos de orilla, y seguidamente en transportar los dos tableros mediante plataformas automotoras hidrostáticas hasta una zona de trabajo habilitada cerca de la autopista. Una vez concluidos los trabajos de rehabilitación, los tableros se han vuelto a colocar sobre sus apoyos originales. □



**PRO BTP,  
LE MEILLEUR DE LA  
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ  
PRÉVOYANCE  
RETRAITE  
ÉPARGNE  
ASSURANCES  
ACTION SOCIALE  
VACANCES

 **PRO BTP**  
GROUPE

