

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**PATRIMOINE ET REHABILITATION.** HOTEL DIEU DE MARSEILLE. PONT-RAIL DE SURY-LE-COMTAL. ILLSEE - CONFORTEMENT D'UN BARRAGE EN SUISSE. RENOVATION DU TUNNEL FERROVIAIRE DE ROCHE. PONT EMILE BADIANE DE ZIGUINCHOR. « LE CARRE RICHAUD » A VERSAILLES. RENFORCEMENT DU VIADUC DU LOING SUR L'AUTOROUTE A6. TRAMWAY DE TOULOUSE : OUVRAGES DU PONT SAINT-MICHEL. ELARGISSEMENT DE L'AUTOROUTE A63 : RENFORCEMENT DU VIADUC SUR L'ADOUR

N°903 JANVIER/FÉVRIER 2014



RESTAURATION DU  
PLAFOND DU SALON  
DE L'ABONDANCE -  
GRAND APPARTEMENT  
DU ROI A VERSAILLES  
© CHRISTIAN MILET

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE

# Avec la SMAvie, je suis rassuré.

- ✕ J'ai une assurance-vie solide.
- ✕ Mon conseiller est toujours disponible.
- ✕ J'ai de bons rendements chaque année.



## Paul B., sociétaire SMAvie depuis 2006

« Mon épargne, je l'ai confiée depuis 8 ans à la SMAvie et je ne le regrette pas ! Les performances de ses contrats, sa solidité financière et son statut mutualiste me rassurent. Et puis j'apprécie mon conseiller. Il a toujours été à nos côtés pour tous les projets de ma famille. »

## ÉPARGNE, SANTÉ, PRÉVOYANCE

Depuis plus de 80 ans, la SMAvie accompagne les particuliers et les professionnels pour tous les projets de leurs vies. Aujourd'hui, plus de 90 %<sup>(1)</sup> de nos sociétaires sont prêts à nous recommander à leurs proches. Alors vous aussi, rejoignez la SMAvie et bénéficiez d'un accompagnement personnalisé pour toutes vos assurances de personnes.

La SMAvie assure toute ma vie

Pour découvrir l'offre de la SMAvie BTP  
prenez rendez-vous avec un conseiller :

☎ 01 40 59 73 00    💻 [www.smavie.fr](http://www.smavie.fr)

  
**SMAVIE BTP**  
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

## BATIRETRAITE MULTICOMPTE

**3,01%**  
en 2013

**5,64%\*\***  
en 2013

pour une épargne investie  
à 85 % sur le support en euros  
et à 15 % sur l'unité de compte  
BATI ACTIONS INVESTISSEMENT

(1) Baromètre satisfaction 2013 - SMV Conseil.

\* Taux de rendement du support en euros de BATIRETRAITE Multicompte, après application des frais de gestion et avant prélèvements sociaux.

\*\* Après application des frais de gestion et avant prélèvements sociaux. Répartition de l'épargne au 28/12/2012. Le capital est garanti uniquement sur les contrats et supports en euros. Les performances passées ne préjugent pas des rendements futurs.

SMAvie BTP, société d'assurance mutuelle à cotisations fixes, entreprise régie par le code des assurances - RCS-PARIS 775 684 772 - 114 avenue Emile Zola - 75119 PARIS Cedex 15

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  
Email : morgenthalerm@fnfp.fr

Comité de rédaction  
Hélène Abel (Ingérop), Jean-Bernard  
Datry (Setec), Philippe Gotteland  
(Fnfp), Laurent Guilbaud (Saipem),  
Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imbert  
(Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis),  
Louis Marracci (Bouygues TP),  
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),  
Jacques Robert (Arcadis), Claude  
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion  
(Systra), Michel Morgenthaler (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro  
Rédaction  
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente  
Com et Com  
Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copemic - 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

France (10 numéros) : 190 € TTC  
International (10 numéros) : 240 €  
Enseignants (10 numéros) : 75 €  
Étudiants (10 numéros) : 50 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)  
Multi-abonnement : prix dégressifs  
(nous consulter)

Publicité  
Emmanuelle Hammaoui  
9, rue de Berri  
75008 Paris  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41  
Email : ehammaoui@fnfp.fr

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

Réalisation et impression  
Com'1 évidence  
Immeuble Louis Vuitton  
101, avenue des Champs-Élysées  
75008 PARIS  
Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50  
Email : contact@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).

Editions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0116 T 80259  
ISSN 0041-1906

### « L'USAGE CRÉE LA VALEUR »



© DR

Il y a trente cinq ans, une partie du pont de pierre à quinze arches de Tours s'effondrait dans la Loire. Procédure exceptionnelle sur une route nationale, les Tourangeaux ont été consultés pour choisir entre une reconstruction totale à l'identique, une consolidation et reconstruction partielle ou une solution moderne. Finalement les arches démolies ont été reconstruites en béton tout en préservant l'apparence des voûtes de pierre. L'histoire de ce pont n'est pas finie. Son ouverture au tramway en 2013 a suscité un large débat sur le web, débat nourri d'expertises diverses et variées.

On imagine l'émotion due à cet effondrement. Cet évènement a été à l'origine de la prise de conscience par les pouvoirs publics de l'absence de politique de maintenance du patrimoine routier à l'échelon national. Une méthode de gestion du patrimoine en cohérence avec la répartition des compétences techniques sur le territoire s'est depuis révélée efficace. Les Voies Navigables ont adopté le même système avec quelques adaptations. Un peu plus tard le ministère fédéral allemand se retrouvait d'un coup d'un seul en charge d'un patrimoine élargi aux infrastructures de l'ancienne Allemagne de l'Est et venait apprendre sur le modèle français.

Nous avons bien progressé en compétences et en méthodes. Mais cette politique a aussi conduit à la multiplication sur le terrain d'officines à « diagnostic » qui, sous ce vocable fourre-tout, fournis-

sent photos et métrés des désordres apparents et produisent des projets de réparation sans pouvoir donner d'explications sur l'origine des désordres. Je ne sais pas si les maîtres d'ouvrage, aujourd'hui encore plus dispersés et isolés, y ont réellement gagné au-delà de la quiétude recherchée. Au moins sont-ils sensibilisés sur la nécessité de maintenance et sur la démocratisation incontournable des espaces dits d'expertise.

L'émotion des Tourangeaux est-elle encore assez présente dans les esprits pour justifier l'intérêt toujours actif des internautes ? Vraisemblablement non mais ceci montre combien la réhabilitation d'un ouvrage ou d'un bâtiment pose, encore bien plus que pour du neuf, la question de son acceptation sociale.

Et force de constater que nous passons d'une économie de possession à une économie d'usage. Et c'est tant mieux. Qui aurait parié que le saut à l'élastique sauverait de la démolition un pont de Gustave Eiffel ? Certes usage éphémère, répit précaire.

Une réhabilitation, c'est un effort d'imagination, de transgression, transformer une prison XVII<sup>e</sup> en hôtel de luxe, un hôpital en palais de justice. C'est donc une suite de compromis. Compromis entre l'envie et le possible, entre la norme et le sur mesures, entre l'histoire d'un lieu et son nouvel usage. Imaginer des mesures compensatoires vis-à-vis du risque incendie, concevoir des dispositifs amortisseurs sismiques, intégrer l'usage, célébrer une nouvelle acoustique.

Ce dialogue entre gens de métiers produit des merveilles sur le bâti ancien. Les passoires thermiques plus récentes sont vouées à la démolition. Les tramways renaissent et les ponts s'élargissent pour accueillir les circulations douces. Le patrimoine se fait paysage, éco quartier, multimodal. Il s'agit là d'une belle opportunité.

Fort à parier aussi que notre patrimoine de demain perdra toute architecture excessive, plus sage, plus sobre, plus durable et plus accessible.

HÉLÈNE ABEL  
INGÉROP



# PATRIMOINE



## RÉHABILITATION

INSPECTER, ENTRETENIR,  
RÉPARER

ILLSEE - CONFORTEMENT D'UN BARRAGE EN HAUTE MONTAGNE SUISSE © CEDRIC HELSUY



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC  
CATHERINE PÉGARD**  
LE CHÂTEAU DE VERSAILLES  
PERPETUEL ET PRESTIGIEUX  
CHANTIER

**20 CEMENTYS : LA FIBRE OPTIQUE  
AU CŒUR DE LA « CIVIONIQUE »**



26

**HÔTEL DIEU  
DE MARSEILLE**  
Réhabilitation en hôtel 5\*



34

**RÉFECTION  
INNOVANTE**  
pour le pont-rail  
de Sury-le-Comtal



40

**ILLSEE**  
Confortement d'un barrage  
en haute montagne suisse,  
canton du Valais



46

**TUNNEL DE ROCHE**  
Rénovation du tunnel  
ferroviaire



52

**TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION**  
du pont Émile Badiane  
de Ziguinchor



58

**« LE CARRÉ RICHAUD »**  
1 rue Richaud -  
78000 Versailles



64

**RENFORCEMENT  
DU VIADUC DU LOING**  
sur l'autoroute A6



70

**TRAMWAY  
DE TOULOUSE**  
Réparation et renforcement  
des ouvrages du pont Saint-  
Michel



76

**ÉLARGISSEMENT  
DE L'AUTOROUTE A63**  
Renforcement du viaduc  
sur l'Adour



## À MARSEILLE, L'HÔTEL DIEU N'ACCUEILLERA PLUS D'INDIGENTS

**FONDÉ** au XII<sup>e</sup> siècle, l'Hôtel Dieu de Marseille, dans le quartier du Panier, était un ensemble de maisons étroites communicantes qui accueillait les indigents, les malades et les enfants abandonnés. La partie construite au XVIII<sup>e</sup> siècle, inscrite à l'inventaire supplémentaire des Monuments Historiques, a fait l'objet d'une réhabilitation et d'une transformation en hôtel de luxe. Il aura fallu pas moins de 3 années d'études et de diagnostics puis 3 années de travaux, en suivant des protocoles d'intervention spécifiques, pour réaliser ce palace 5 étoiles certifié Haute Qualité Environnementale. (voir article page 26).





## SUR L'ALPAGE DES VACHES D'HÉRENS, LA RÉHABILITATION DU « MUR D'ILLSEE » A DONNÉ DE LA DISTRACTION AUX « REINES »

**LE BARRAGE** d'Illsee, construit en 1923 à 2 500 m d'altitude dans le Valais suisse, a été l'objet d'importants travaux de confortement et de protection afin d'augmenter sa résistance au séisme et à l'altération du béton par alcali-réaction. Ont été réalisés notamment 67 tirants verticaux précontraints d'une capacité exceptionnelle de 7 254 kN qui constituent une première en Suisse. Ils ont nécessité une homologation spéciale de l'EMPA et il a fallu recourir à des hélicoptères pour les acheminer à pied d'œuvre. (voir article page 40).



© SIF-GROUTBOR



© CEDRIC HELSLY

# STOCKER L'ÉNERGIE EN PRÉVISION DES FORTES CONSOMMATIONS

**Le stockage d'énergies, utile aux heures de pointes de consommation, revient moins cher que la mise en route de centrales d'appoint, mais son coût devra baisser et la réglementation, s'adapter.**



Bassins haut et bas de la station de transfert d'énergie par pompage de Revin (Ardennes). Puissance : 720 MW.

Le stockage d'électricité est évalué à 1,5 GW en France. Il pourrait croître de 1 à 1,5 GW, selon l'étude Peps rendue publique aux journées sur le stockage d'énergies, les 5 et 6 novembre 2013<sup>(1)</sup>. Le stockage d'énergie thermique qui éviterait l'installation de chaudières supplémentaires, a un potentiel de 5 à 10 GWh. À court terme, les zones non interconnectées au réseau électrique dans les départements et territoires d'outre-mer pourraient bénéficier d'opérations de démonstration pour des puissances de 200 à 400 MW.

Le stockage d'énergies est amené à se développer pour deux raisons principales. Il est soutenu par le principe du marché de capacités prévu pour 2016, inscrit dans la loi sur la Nouvelle organisation du marché de l'électricité (NOME, 7 décembre 2010). Dans ce cadre, le

stockage peut mettre à disposition une puissance en heures de pointe et absorber les surplus de production en dehors. Réseau de transport d'électricité (RTE) a reconnu l'idée que le stockage s'inscrit dans ce mécanisme de capacités défendue par le club ATEE sur ce thème. La capacité traduit la garantie prise par les fournisseurs d'électricité de satisfaire la consommation au moment des pics comme le leur a demandé le ministère de l'Écologie<sup>(2)</sup>. Il est prévu que cette offre soit rémunérée de l'ordre de 30-50 euros/kWh/an puisqu'elle évite l'enclenchement de centrales à combustibles fossiles. Par ailleurs, ces technologies pourraient pallier l'intermittence des énergies nouvelles renouvelables.

→ **Changer la taxation**

Le stockage d'électricité, hors batteries automobiles exclues de l'étude Peps, est

déjà utilisé pour stabiliser la tension et la fréquence du courant du réseau quand la production diffère de la consommation. Aujourd'hui, en France, ce stockage est assuré à 99% par des stations de transfert d'énergie par pompage (Step, photo). Il s'agit d'un potentiel de production constitué de deux réservoirs : celui du haut se remplit d'eau par pompage dans celui du bas quand l'électricité ne coûte pas cher.

Une fois plein, il peut turbiner l'eau et produire de l'électricité au moment des pointes de consommation. Les Step sont de forte puissance, fournissent de grosses quantités d'énergie en peu de temps avec un rendement de 75-80%, c'est-à-dire qu'elles consomment 1,25 kWh en pompage pour produire 1 kWh électrique.

Elles sont soumises à une taxation basée sur leur consommation totale d'électricité alors qu'elles le seront peut-être à l'avenir sur la différence entre consommation et production.

Les autres technologies de stockage d'énergies sont donc réduites à portion congrue<sup>(3)</sup>. Les batteries figurent dans les opérations expérimentales d'Électricité réseau distribution France (ERDF) comme

Nice grid et Issy grid associées à une production photovoltaïque, et Venteea sur de l'éolien. Ces démonstrateurs diront si stocker de l'électricité est plus rentable que recourir à un réseau intelligent avec effacement partielle temporaire de certaines consommations.

→ **Batteries deux fois moins chères**

Les batteries telles que celles au lithium-ion de Saft sont intéressantes pour un stockage de courte durée. Il en faut peu et elles sont utilisables à court terme. Elles pourraient devenir intéressantes si leur coût baissait : « Depuis deux-trois ans, nos batteries coûtent 5 à 10% de moins par an », indique Michael Lippert, directeur marketing de Saft. *Nous pouvons encore diviser par deux leur prix d'ici à 2030.* »

**En savoir plus : [www.atee.fr](http://www.atee.fr) ; [www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org) ■**

<sup>(1)</sup> Étude de 235 pages financée par l'Agence de la maîtrise de l'énergie et de l'Environnement, l'Association technique énergie environnement et la Direction générale de la compétitivité de l'industrie et des services.

<sup>(2)</sup> Voir *Travaux* n°894, janvier-février 2013, page 12.

<sup>(3)</sup> Appel à manifestation d'intérêt sur le stockage d'énergies pour fin mars 2014 avec avances remboursables aux projets ayant un MWh restitué de 120 euros ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).

## COMPARER LES TECHNOLOGIES

**Un stockage d'énergie, c'est une capacité de restitution d'énergie dans un temps donné. Il peut absorber un surplus de production ou fournir de l'énergie à bon compte au moment où elle est la plus chère sur le marché.**

**Les différents stockages se comparent principalement sur la base de deux notions : le Capex (Capital Expenses), investissement en euros par kW installé ; le LCOS (Leverage Cost of Storage) coût en euros d'un kWh produit y compris rendement, maintenance, taxes sur la durée de vie.**

## CLARIFIER LES CONDITIONS TARIFAIRES

Le stockage d'énergies - électricité, chaleur, froid - peut avoir un impact positif sur notre économie mais à certaines conditions. Le Président de la République avait identifié le stockage d'électricité comme une filière d'avenir pour l'industrie parmi 34 plans de reconquête, en septembre 2013. Par ailleurs, Anne Lauvergeon l'a placé en tête des

sept ambitions pour la France du rapport que lui a confié le Premier ministre sur l'innovation ("Un principe et sept ambitions", 2013). Mme Lauvergeon souligne que la recherche et le développement ne suffiront pas à déployer les solutions de stockage. « Il importe également, dit-elle, de clarifier les conditions tarifaires d'accès au réseau des installations de

stockage. Aujourd'hui, en France, seul le producteur est autorisé à vendre l'énergie issue du stockage et les services associés au stockage ne sont pas valorisables. (...) Une installation de stockage est-elle un moyen de production ou un équipement du réseau comme un transformateur ? Est-elle un complément installé par le consommateur comme un générateur ? »

→ **Stockage d'air souterrain**

En ce qui concerne les travaux publics, deux techniques de stockage peuvent engendrer de l'activité : les stations de transfert d'énergie par pompage (Step, hydroélectricité) et la compression d'air (CAES) où de l'électricité est produite par détente d'un air sous pression stocké en souterrain. ■

## CARRIÈRES ET MATÉRIAUX : 2013 MOINS MAUVAISE QUE PRÉVUE



Les granulats ont mieux résisté que le béton prêt à l'emploi de janvier à octobre 2013. Ici, carrière de calcaire de Secab à Bellignies (Nord).

« L'État et les collectivités territoriales ont-ils conscience qu'en contribuant à diminuer le nombre de carrières - autorisations d'exploiter non renouvelées -, ils favorisent des transports plus longs, plus polluants et coûteux, » interroge Didier Riou, président de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem).

En dix ans, 1 000 sites ont fermé. Il ne reste que 2 500 carrières sur notre territoire après les rachats de petites sociétés par des grands groupes en 2012. L'activité de recyclage de matériaux ne va pas changer la donne, selon M. Riou. Les industriels rattachés à l'Unicem aimeraient que leurs efforts vis-à-vis de l'en-

vironnement soient reconnus, que les procédures d'autorisation soient améliorées et les études d'impact, plus objectives.

Ils sont inquiets pour l'activité en 2014, anticipée à -4% pour les granulats et à

-3% pour le béton prêt à l'emploi (BPE). À fin octobre, l'année 2013 a toutefois été jugée moins mauvaise que prévue. La production de granulats a même été en hausse de 1,3% par rapport à 2012. Le BPE est en repli de 2,2% sur la même période.

En ce qui concerne les débouchés, les travaux publics qui en représentaient 39% en 2012, voient le niveau des marchés conclus à fin octobre 2013 baisser de près de 10%.

### → Recul 2007-2013

Rappelons que malgré une légère reprise en 2011 après la dégringolade de 2008, le marché des granulats a baissé de 20% entre 2007 et 2013 et celui du BPE, de 15%. En 2012, le chiffre d'affaires du secteur avait atteint 13,5 milliards d'euros, soit une baisse de 2,5% par rapport à 2011, pour une production de 500 millions de tonnes (-4,8%). ■

### PLUS DE MATÉRIAUX SUR BARGES

**Voies navigables de France et l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction ont officialisé leur partenariat visant à faire passer de 6 à 9% la part de la production de matériaux de construction qui emprunte la voie d'eau d'ici à 2022. Ces matériaux représentent 40% du poids transporté par barges fluviales.**

## EXTRACTION : TROPHÉES EUROPÉENS

Cinq carrières françaises ont obtenu un trophée au concours développement durable remis le 27 novembre par l'Union européenne des producteurs de granulats (Bruxelles). Huit avaient participé parmi 52 sociétés venant de 14 pays.

Les carrières rouges de Muneville-le-Bingard (Manche) ont gagné dans la catégorie des meilleures pratiques environnementales. SNEH Matériaux qui les exploitent, forme tout son personnel à la biodiversité. Le site abrite une zone Natura 2000 de 12 hectares où prospèrent des landes spécifiques suivies et gérées par le Centre permanent d'initiative pour l'environnement du Cotentin. Ce dernier étudie aussi la faune et la flore sur l'ensemble du site.

### → Anticiper des éboulements

Le prix spécial biodiversité a été attribué à la Carrière de Maizières (Meurthe-et-Moselle) pour ses mesures en faveur des

chauve-souris. Sur ce site, Granulats Vicat anticipe l'éboulement d'anciennes cavités qui les abritaient. La société a créé un abri de 120 m<sup>2</sup> déjà adopté par des petits rhinolophes et des oreillards ainsi qu'un corridor de plantations pour les guider vers les bois. Deux mares attireront les insectes dont les chauve-souris sont friandes. La même société en Isère a remporté le trophée sur les meilleures pratiques en santé et sécurité, en particulier pour un jeu sur ces thèmes utilisé en formation.

Le groupe Eurovia a été récompensé dans la catégorie communication pour sa démarche Granulats + sur 40 sites de carrières dans les Bouches-du-Rhône. Il s'agit d'économiser la ressource naturelle en proposant aussi des produits issus du recyclage.

### → Entretien par des handicapés

La carrière de Rosières-aux-Salines

(Meurthe-et-Moselle) a été distinguée pour son partenariat avec les collectivités locales. Outre la création de zones écologiques et d'accueil de la biodiversité, Les Sablières de la Meuse apportent leur soutien à un parcours touristique et pédagogique sur la vigne. Les espaces verts sont entretenus par des travailleurs handicapés du Carrefour d'accompagnement public social. ■



Les carrières rouges de Muneville (Manche) abritent une zone Natura 2000 de 12 ha où prospèrent des landes.

## RÉGULER LE PATRIMOINE MONDIAL DE L'UNESCO

L'avis de l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) et son contrôle sur les sites labellisés patrimoine mondial agacent. Récemment, l'Unesco s'est déclarée défavorable aux projets de tours aux portes de Paris qu'elle considère comme une très mauvaise idée\*. Selon elle, et citant l'exemple de la future Tour triangle (180 m, Paris XV<sup>e</sup>) avalisée par Anne Hidalgo, 1<sup>re</sup> adjointe au maire de Paris, l'idée de densifier en hauteur est une fausse idée. Une tour n'est pas plus dense qu'une ville compacte. Elle consomme beaucoup d'énergie en ascenseurs et pour monter l'eau, elle a besoin d'un parking et de services.

Le ministère de la Culture et de la Communication devait présenter un projet de loi fin 2013 afin de ne plus laisser l'Unesco contrôler seule les sites qu'elle classe et d'explicitier les implications concrètes d'un tel classement dans le code du patrimoine. L'État coordonne déjà les demandes d'inscription au patrimoine mondial de l'Unesco et encourage la création de commissions locales de gestion du bien en question.

\* Source : lettre web de la Gazette des communes, 8 et 18 octobre 2013.

## ÉVALUATION DES NORMES

Le Conseil national d'évaluation des normes applicables aux collectivités territoriales et à leurs établissements publics a été créé par la loi n°2013-921 du 17 octobre 2013. C'est un organe de consultation composé de représentants de l'État, de l'Assemblée nationale et du Sénat, et de collectivités territoriales.\*

\* Cf. Travaux, juin 2013, page 13.

## PLAN CAVITÉS 2013-2015

Le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a présenté son plan national 2013-2015 sur les cavités souterraines aux acteurs concernés, le 15 octobre, à Paris. Ce plan vise à améliorer, structurer et homogénéiser la politique nationale de prévention des risques liés aux effondrements ayant cette origine.

Le document avait reçu un avis favorable du Conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs.

Le plan repose sur une gouvernance partagée entre Etat, collectivités territoriales, professionnels et monde associatif. Il vise à proposer des solutions concrètes et des incitations pour mieux appréhender ce risque et à en réduire l'impact sur les territoires. Il comporte trois orientations : favoriser l'émergence de stratégies locales ; informer, former et sensibiliser les acteurs à ce domaine de prévention ; améliorer la connaissance et la partager.

## INTERCONNEXION EN MÉDITERRANÉE

L'Association des opérateurs de transport d'électricité de la Méditerranée, Med-TSO, a présenté un projet visant à interconnecter les pays bordant cette mer, fin décembre devant les ministres euro méditerranéens de l'énergie (Bruxelles).

Il s'agit dans les dix ans d'installer 150 000 MW de production dont 10 % en énergies renouvelables (220 milliards d'euros) et 33 000 km de lignes à très haute tension (20 milliards). RTE est membre de l'association.

## L'INGÉNIERIE SOUTENUE PAR LES PROJETS COMPLEXES



Les gares pourraient échanger de l'énergie avec leurs voisins de quartier. Ici, Gare de Lyon (Paris).

« La profession se porte bien », a affirmé Stéphane Aubarbier, président de Syntec Ingénierie aux 12<sup>e</sup> rencontres de la fédération, le 7 novembre à La Défense (Hauts-de-Seine). Elle a réalisé 40 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2012 dont 40 % à l'export. Les promesses d'investissements en Europe de 2018-2020 sont importantes et les maîtres d'ouvrage se tournent vers l'ingénierie. Les projets actuels portent plus sur la modernisation de l'existant et sur l'intégration de la demande de nouveaux usagers. Plus complexes, ils ont besoin d'ingénierie. Toutefois, les entreprises de taille intermédiaire plus locales rencontrent des difficultés économiques. »

Thème de ces rencontres : l'intelligence des réseaux en 9 tables rondes. L'une d'elles posait la question : la métropole innovante peut-elle se passer de grands réseaux ? Les grands réseaux des pays occidentaux sont remis en cause aujourd'hui. « Le système s'adapte peu à la diminution des consommations d'eau et d'électricité parce qu'il a été conçu pour leur expansion avec des recettes en augmentation », constate Sylvain Petitot, directeur de recherche d'Egis France. Les grands réseaux conviennent mal aux pays du Sud en forte croissance. Les alternatives ont gagné en crédibilité : récupération d'eau de pluie, autoproduction et récupération d'énergie, etc. »

### → Gares : hubs énergétiques

Les solutions locales constituent-elles un risque pour les grands réseaux ou viennent-elles les compléter ? La table ronde a donné deux exemples de complémentarité, la difficulté étant d'instaurer une cohabitation et une coopération entre acteurs. La SNCF propose de faire de

ses gares des hubs énergétiques, par exemple, celle de Versailles-Chantiers (Yvelines) dans le cadre du Grand Paris. À la gare TGV de Valence (Drôme), le freinage représente un potentiel de 1,2 GWh par an et le photovoltaïque, 3,8 GWh. « Il faut connaître les usages voisins de la gare », explique Lionel Taunay, chef du pôle conseils, énergétique, développement durable à la SNCF. Il pourrait y avoir échange d'énergie avec les autres utilisateurs du quartier. »

### → Immeuble autonome

Bouygues Construction, de son côté, imagine l'apport d'un bâtiment neuf dans un quartier sans impact sur les réseaux locaux. Le concept ABC (Autonomous Building for Citizens) à l'architecture conçue par Valode et Pistre, produit et stocke l'énergie pour 200 habitants aux

besoins réduits. « Il s'agit d'industrialiser ce type de bâtiment pour qu'il soit mieux fait d'origine et puisse évoluer », a expliqué Thierry Juif, chef de projet, pôle de compétence construction durable.

### En savoir plus avec le lien :

[www.syntec-ingenierie.fr/communication/evenements/meeting-2013/tables-rondes-2013/](http://www.syntec-ingenierie.fr/communication/evenements/meeting-2013/tables-rondes-2013/) ■



Cette voiture électrique se conduit avec ou sans conducteur.

© ANKA TECHNOLOGIES

## LE TRANSPORT GAGNE DES PRIX

Le véhicule électrique Link & Go d'Inria-Imara, a remporté le grand prix national de l'ingénierie organisé par le ministère de l'Écologie (MEDDE) et celui du Redressement productif avec Syntec Ingénierie. Cette voiture se conduit et se gare avec ou sans conducteur. Un bras robotisé branche la prise à la borne de rechargement. L'habitacle se transforme en salon quand elle roule de façon autonome.

L'équipe qui a conçu et construit le pont levant Chaban-Delmas de Bordeaux a reçu le prix aménagement construction. Le prix industrie et conseil en technologies a été attribué aux concepteurs de Cobra-text, textile de renforcement de matériaux composites en bambou.

Le prix du jury de l'ingénierie du futur a été attribué à l'École centrale de Nantes pour un réseau de transport tramway-voitures électriques avec un seul badge d'accès. Un élève d'Arts et Métiers Paristech a obtenu le prix du public pour une société d'exploitation d'un réseau automobile autonome avec laquelle l'usager passe contrat.

## VERSAILLES : EXTENSION DE LA STATION D'ÉPURATION PRÈS DU CHÂTEAU



© GOVIN SORELVINCI CONSTRUCTION FRANCE

La station du Carré de la Réunion se trouve dans le voisinage du château de Versailles (Yvelines).

La station d'épuration Le Carré de la Réunion près de Versailles (Yvelines) sera rénovée et agrandie pour 2015. Les travaux ont commencé en 2011 sur une usine datant de l'après-guerre, ayant connu une extension dans les années 1960 et une mise aux normes entre 1988 et 1995. Les deux premiers égouts remontent aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. Ils passaient sous le parc du château et convergeaient au Carré de la Réunion. Aujourd'hui, il s'agit de porter la capacité

de la station à 215 000 équivalents-habitants par jour par temps sec et 340 000 quand il pleut.

Le site étant situé dans l'environnement visuel du château de Versailles, les nouveaux aménagements sont limités en hauteur. À l'occasion de l'extension de 160 000 m<sup>2</sup>, le Syndicat mixte d'assainissement de la région Ouest de Versailles (Smarov), maître d'ouvrage, améliore les performances des traitements des eaux usées et de pluie.

L'agrandissement comprend un bassin d'orage enterré de 16 000 m<sup>3</sup> et un traitement biologique d'ultrafiltration par 135 000 m<sup>2</sup> de membranes. En cas de pluie exceptionnelle, la station sera hors d'eau. Une partie des eaux traitées pourra servir à l'arrosage et au nettoyage.

### → Production d'électricité

La digestion des boues est réhabilitée. Elle alimentera en biogaz une unité de cogénération dont la production d'électricité sera revendue sur le réseau. Un bâtiment sera consacré au séchage des boues, au traitement des sables et graisses issus de l'épuration et des produits extraits du curage du réseau.

Afin de résister à l'agression chimique des eaux usées, le béton utilisé dans la construction d'ouvrages contient un ciment de type CEM III/A 52,5 L LH CE PM-ES-CP1 NF fourni par Ciments Calcia à partir de son usine de Gargenville (Yvelines).

La réhabilitation du site a été confiée aux architectes Luc Weizmann et Xavier Constant.

La maîtrise d'œuvre revient à Artélia Travaux (groupement sous mandat de Vinci Construction France) et la réalisation du béton, à Qualibéton. ■

## CONFORT D'ÉTÉ PAR LES TUILES

Climatiser un bâtiment l'été peut se réaliser en repoussant le soleil à l'extérieur. Ainsi, un toit de tuiles à fort indice de réflexion solaire empêchera-t-il l'intérieur de surchauffer. C'est pourquoi la ville de Verneuil-sur-Seine (Yvelines) a choisi de couvrir la médiathèque qu'elle a installée dans un ancien corps de ferme de tuiles rustiques (Terreal) de couleur claire. Provenant de Normandie, cette tuile à l'ancienne a un indice de réflectance solaire de 31, ce qui est élevé. Ce choix contribue à l'obtention du label de haute qualité environnemental Leed\* de niveau platine, le meilleur.

\* Leed est accordé par l'US Green Building Council nord-américain.



© TERREAL

Ce corps de ferme a été transformé en médiathèque.

## CONFORTEMENT D'UNE DIGUE À BIARRITZ



© LE DOAIRE/GTS

Téléphérique et grue ont acheminé les matériaux et le matériel sur le chantier sans gêner les touristes.

GTS recourt à un téléphérique et à une grue pour refaire une digue à Biarritz (Pyrénées-Atlantiques) afin de ne pas perturber l'activité touristique. La digue de

Gamaritz, située au niveau du Plateau de l'Atalaye, protège l'entrée du port de pêcheurs. Soumise à la forte houle de cette côte, elle montrait d'importants signes de faiblesse en surface et en profondeur. Son classement en zone Natura 2000, site naturel rare et fragile, impose des mesures de protection de l'environnement tout en se préoccupant des aspects socio-économiques.

Le téléphérique de type blondin et la grue à tour de 30 m de haut alimentent le chantier en matériaux et matériel sans encombrer le sol. En cas de forte mer, ils peuvent remettre le matériel à l'abri. Le public circule sur un cheminement délimité et sécurisé.

### → Cavités à combler

Une fois le chantier ainsi organisé, GTS fait intervenir huit plongeurs de la société Romeuf pour conforter les assises. Ils combient avec du béton les 800 m<sup>3</sup> de cavités qui se sont formées. Au total, vingt personnes participent à ce stade de l'opération qui se termine en 2014.

Ensuite, une risberme constituée d'écailles préfabriquées en béton conçues par GTS, vient ceinturer la digue et la protéger des affouillements. ■



© LE DOAIRE/GTS

La digue est ceinturée d'écailles en béton.

## TERMINAL À CONTENEURS AU PORTUGAL

Un terminal à conteneurs va être construit dans le port de Leixoes au nord du Portugal dans le cadre du plan national stratégique 2011-2015. L'appel d'offres devait sortir fin 2013.

Les travaux, dont le montant pourrait atteindre 200 millions d'euros, doivent permettre au port d'accueillir des navires à tirant d'eau de 14 m avec deux quais d'accostage de 250 et 500 m de long et une aire de manutention et stockage de 16 hectares. La Banque européenne d'investissement est sollicitée pour participer au financement (source : Bulletin européen du Moniteur).

## PYRÉNÉES : TUNNEL DE 1 KM

Le percement du tunnel de la déviation Saint-Béat/Arlos (Haute-Garonne) s'est terminé en décembre. L'ouvrage, situé sur la RN 125 à quelques kilomètres de la frontière espagnole au sud de Saint-Gaudens et Montréjeau, fait partie de l'itinéraire Toulouse-Saragosse-Madrid par le Val d'Aran.

La Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Midi-Pyrénées a confié les travaux à Soletanche Bachy Tunnels et Soletanche Bachy France en groupement d'entreprises solidaires avec Guintoli et Pizzarotti.

Le tunnel mesure 1 020 m de long sur la déviation de 2 130 m. Le creusement avait commencé en avril dans un massif de marbre et de calcaires marmoréens, en rive droite de la Garonne qui prend sa source en Espagne. Les travaux de revêtement du tunnel et de creusement des 2 galeries de secours ont débuté en janvier 2014.

La tranche conditionnelle concernant les ouvrages de tête devra s'achever en 2015.



© PIERRE HOCH-SOLETANCHE BACHY

En décembre, a eu lieu la rencontre des deux attaques du percement.

## GRAND PARIS : LE PLATEAU DE SACLAY SORT DE TERRE



© FRANCIS SOLER

Le centre de recherche et développement d'EDF est en chantier.

Le Plateau de Saclay, pôle scientifique et technologique inscrit dans le projet du Grand Paris, prend forme. Le préfet de l'Essonne a créé une zone d'aménagement différé (Zad) par arrêté début octobre. L'Établissement public Paris-Saclay (EPPS) est titulaire du droit de préemption sur ces 40,6 hectares au Christ de Saclay.

La Zad permet la réalisation de projets d'intérêt général, empêche les mutations de terrains incontrôlées et stabilise la valeur foncière des biens. Elle vient compléter celle du sud du plateau créée en 2011.

Au Christ de Saclay seront installés un pôle d'échange multimodal avec la future gare CEA-Saint Aubin de la ligne 18 du Grand Paris Express, la gare routière dédiée à un transport en commun en site propre de Massy à Saclay en service en 2015 et les stationnements correspon-

dants. Le pôle d'échange est relié à la RN 118 et à la place du Christ de Saclay sous maîtrise d'ouvrage du Conseil général de l'Essonne.

L'opération d'intérêt national Paris-Saclay prend forme. Un centre de recherche et développement d'EDF de 50 000 m<sup>2</sup>, conçu par l'architecte Francis Soler, est déjà en chantier pour ouvrir en 2015. De plus, un terrain de 3,5 ha a été vendu à EDF/Sofilo par l'EPPS pour y construire un centre de formation de 26 000 m<sup>2</sup> à livrer en 2016. Avec le centre R&D, il constituera l'EDF Lab.

→ 20 000 stagiaires par an

Ainsi, la compagnie d'électricité s'implante-t-elle au milieu d'un vivier d'écoles supérieures (Polytechnique, Supélec, etc.). L'EDF Lab représente 400 millions d'euros d'investissement et accueillera, en 2015, 1 500 chercheurs et collaborateurs puis 20 000 stagiaires par an. ■

## QUATRE ÉQUIPES POUR LE NEUROSCIENCES

Quatre groupements sont retenus pour le concours d'architecture du bâtiment Neurosciences au CEA de Gif-sur-Yvette (Essonne), un immeuble de 17 112 m<sup>2</sup> sur le campus urbain de Paris-Saclay. Les projets seront examinés par des représentants du CEA, du CNRS, de l'Université Paris-Sud et de l'Établissement public de Paris-Saclay. Les équipes sont regroupées autour des architectes mandataires suivants :

- Henningson, Durham & Richardson International ;
- Vialet architecture ;
- Dietmar Feichtinger architectes ;
- Brunet Saunier architecture.

Résultats début 2014 pour une livraison en 2017.

## VINCI REMET 13 PRIX INNOVATION

Vinci a remis treize prix à des innovations conçues par son personnel dans le monde entier, fin novembre. Citons-en trois. Le wagon pousseur qui a remporté le grand prix a été imaginé par ETF-CST travaux ferroviaires (Eurovia). Il pousse des rails soudés de 404 m de long.

Il a été utilisé sur la 2<sup>e</sup> phase de la ligne à grande vitesse Est européenne en Moselle. Grâce à lui, la voie neuve est directement mise en place par tronçon de 400 m sans voie provisoire. En trois jours, 42 rails ont été mis en place et le procédé est plus sûr pour les ouvriers.

Le prix matériels et outils revient à un écarteur d'élingues pneumatique employé sur la LGV SEA Tours-Bordeaux par Coseva (Vinci Construction). Les poutres des ouvrages d'art sont mises en place

à la grue à l'aide d'élingues. Cette manœuvre est dangereuse vu le poids d'un brun (350 kg) et le mouvement pendulaire au décrochage. Au lieu d'un palonnier non réglable et lourd, l'équipe de chantier a opté pour un plus léger à armature coulissante munie de ressorts à gaz. La pose va plus vite. Le dispositif est déployé sur plusieurs lots de la SEA.

→ Rotation et basculeur

Enfin, le prix spécial outil ingénieux a été accordé au One shoot de Campenon Bernard Régions (Vinci Construction). Cet outil intervient sur une face d'un voile de béton et en pivotant travaille sur l'autre face. En effet, les trous de tige subsistant dans un voile après dépose d'un coffrage sont sollicités pour différentes tâches mais cela oblige les compagnons à accé-

der à la seconde face du voile pour introduire une tige filetée ou serrer un écrou. Le One shoot est une tige de 24 mm de diamètre sur 50 cm à 1 m selon les besoins, avec un basculeur à l'extrémité non filetée. Introduit dans le trou de tige d'un côté du voile, il se tourne pour déployer le basculeur qui va bloquer la tige de l'autre côté. ■



© GROUPE VINCI

Le One shoot facilite les fixations dans les trous de tige sur les deux faces d'un voile.

## RÉNOVATION D'UN HÔPITAL EN CENTRE-VILLE

La première phase de la rénovation de l'Hôpital des quatre villes à Saint-Cloud (Hauts-de-Seine) se terminera cet automne. Plusieurs raisons motivent ce grand chantier démarré fin novembre 2011 : l'inadaptation de certains locaux à la vie hospitalière actuelle et un agrandissement suite à la fusion avec l'Hôpital intercommunal de Sèvres décidée en 2004. L'hôpital, déjà en partie modernisé en 2000, comprenait encore un bâtiment remontant aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles jugé trop vétuste pour être conservé. Il a été détruit et reconstruit à l'identique avec des matériaux modernes. Par exemple, la toiture comprend une charpente en pré-mur (double mur préfabriqué en béton) et en bois, pour satisfaire aux exigences de sécurité incendie.

Sur les 15 000 m<sup>2</sup> existants, 3 500 ont été démolis et 8 500, reconstruits. Après travaux, l'établissement disposera de 20 000 m<sup>2</sup>. Dans une seconde phase jusqu'à mai 2015, la partie existante de l'hôpital sera rénovée. Les deux phases de travaux, estimés à 30 millions d'euros HT environ, ont été confiés à Spie SCGPM, entreprise générale mandataire<sup>(1)</sup>.

### → Escalier hélicoïdal en béton

« Nous avons maintenu l'idée d'une façade ancienne pour conserver l'aspect historique de la place de Silly avec la chapelle et avons voulu éviter un ensemble compact, » explique Olivier Joubert, architecte du cabinet de Michel Rémon lauréat du concours en 2008. Des terrasses paysagères et des éléments périphériques en pleins et creux (patio, pignons) allègent l'ensemble bâti sur la colline de Saint-Cloud. Un noyau central avec les ascenseurs a été recréé en limite du neuf et de l'ancien.

Un bel escalier hélicoïdal en béton dessert également les huit niveaux. Les planchers



La chapelle de l'hôpital est classée monument historique. D'où une reconstruction à l'ancienne du bâtiment voisin.

des différents corps de bâtiments ont été remis à niveau. Une cour intérieure de service (livraisons et pompiers) a été reconstituée.



Creusement du terrain pour agrandir l'hôpital et confortement du mur de soutènement de la parcelle. En haut à droite, en porte-à-faux, la passerelle de livraison du béton.

### → Reprise du mur de soutènement

Le sous-sol et le rez-de-chaussée ont gagné 800 m<sup>2</sup> en creusant la colline. Le terrain au pied du mur de soutènement de la route départementale qui surplombe l'hôpital a été décapé sur 2 m. Les fondations de ce mur ont donc été renforcées et sont confortées par celles du bâtiment reconstruit à proximité. Afin d'éviter la décompression du terrain et avant décapage, ont été plantés des ancrages de 12 m de long. Après décapage, le mur a été repris en sous-œuvre en créant 15 massifs de béton de 1,60 m de largeur par 1,25 m de hauteur, chapeautés par une poutre. Plus bas et à l'avant du mur, a été réalisée une paroi de soutènement discontinue avec des pieux de 720 mm de diamètre coulés à des profondeurs allant jusqu'à 13 m, associés à un second lit d'ancrage (tirants de 20 m) et à un voile de béton projeté de 25 cm d'épaisseur.

### → Dénivelé de 13 m

Ce chantier prend place sur une parcelle sans dégagement avec un dénivelé de 13 m. En haut, la route et la voie de chemin de fer ; en bas, une rue étroite et un quartier ancien fréquenté par nombre d'écoliers. L'hôpital fonctionne pendant le chantier. La livraison du béton a été installée en haut de la parcelle sur une passerelle en porte-à-faux accrochée au mur de soutènement. ■

<sup>(1)</sup> Maître d'ouvrage : Centre hospitalier des quatre villes ; assistant à maître d'ouvrage : Soderec (groupe Crédit Mutuel) ; maître d'œuvre : Agence Michel Rémon, architectes ; BET fluides et structures : SNC Lavalin ; BE acoustique : Altitia ; Entreprise générale mandataire : Spie SCGPM (groupe Spie Batignolles).

## BÉTON ET PATRIMOINE

La voirie du centre-ville de Moncontour (Côtes-d'Armor, 925 hab.) se marie désormais aux murs en pierres des maisons. Il s'agit d'un béton prêt à l'emploi type XF2 à forte granulométrie.

Le matériau a été produit par le négociant Point P de Saint-Brieuc qui a travaillé avec Lessard, carrier, pour la fourniture des granulats, et Marc SA pour la mise en œuvre.

Ce chantier a reçu le prix de l'intégration patrimoniale du concours Bétons d'aménagement et décoratifs organisé par le Syndicat national du béton prêt à l'emploi (SNBPE), récompense remise au Salon des maires et des collectivités locales fin novembre à Paris.

Ce concours est parrainé par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrirm) et par l'Association des techniciens territoriaux de France.



© SNBPE

Sol en béton à forte granulométrie à Moncontour (Côtes-d'Armor).

## CHAPELLE SAUVEGARDÉE

La chapelle de l'Hôpital des quatre villes à Saint-Cloud (voir ci-contre) était en très mauvais état. Elle a été construite sur ordre de Marie-Antoinette en 1788 par Richard Mique, architecte du Hameau de la Reine et de la chapelle du lycée Hoche à Versailles. Elle faisait déjà partie d'un hôpital.

L'édifice, classé monument historique, a d'abord été étayé pour supporter les travaux de démolition des bâtiments voisins. À peu près tout a été restauré : façade, charpente, couverture, voûtes, verrières, enduits, soubassement, etc. L'opération, confiée à H2O architectes, a coûté près de 500 000 euros TTC. La restauration de l'intérieur n'est pas programmée pour l'instant faute de financement.

## ERRATUM

Le numéro 902 SPÉCIAL STADES, dans sa rubrique « Trésors de nos archives », a publié le fac simile d'un article datant de 1995 concernant le NOUVEAU STADE CHARLETY. La présentation de cet article, page 109, comporte une erreur d'orthographe portant sur la raison sociale de l'entreprise BAUDIN CHATEAUNEUF et sur le patronyme de son fondateur Basile Baudin. Il faut bien lire « Baudin » et non « Beaudin ». Veuillez nous en excuser.

### BÉTON TRANSLUCIDE

Le béton Ilight de Ciments Calcia laisse passer la lumière. Utilisé sur 1900 m<sup>2</sup> de l'enveloppe du pavillon italien à l'Exposition universelle de 2010 à Shanghai (Chine), il n'est pas encore visible en France. L'aspect diaphane a été obtenu par le laboratoire de recherches d'Italcementi Group en incorporant de la résine et des adjuvants dans la matrice cimentaire. Ce béton convient pour des cloisons, des cages d'ascenseur, sols, escaliers, rambardes, etc.



Intérieur du pavillon italien de l'Exposition universelle de 2010.

© CIMENTS CALCIA

### AGENT DE MOUTURE NOUVELLE GÉNÉRATION

La gamme des agents de mouture Sikagrind s'enrichit d'une nouvelle série à base de polymères polycarboxyliques, molécules qui améliorent le processus du broyage. Rappelons que, dans le processus de fabrication de ciment, l'agent de mouture est introduit avec le clinker dans le broyeur afin d'obtenir de fines particules tout en accroissant la performance de l'outil de production. La nouvelle série des agents de mouture, baptisée 800 avec trois produits, a de meilleures performances que la gamme des 100 à 700, selon Sika. Elle accroît encore de 16% l'efficacité du broyage, assure une meilleure fluidité de la poudre et demande moins d'eau au moment de la fabrication du béton sans dégradation de la qualité.

## ROUTES : PRIX POUR DES MESURES EN FAVEUR DE LA BIODIVERSITÉ



© CC13

Tronçon de la RD 570 (Bouches-du-Rhône) avec au premier plan, une bande de 20 m de long, sonore, précédant la zone de 37 m de passage des chauve-souris.

La route départementale 570 (Bouches-du-Rhône) a été équipée d'un système sonore avertissant les chauve-souris de l'approche d'une voiture. Il s'agit d'un enrobé en béton bitumineux très mince (BBTM) 06 de classe de résistance C12 émettant un bruit dans des fréquences très basses - 15-22 kHz - sous le roulement d'un véhicule. Ce bruit n'est pas perceptible par l'être humain. Le Conseil général qui a conçu le système veut ainsi réduire les accidents en avertissant les chauve-souris qui ont l'habitude d'emprunter certains passages au-dessus des RD 570 et RD 572, en Camargue. Sur la RD 570, il a fait épandre un tel enrobé sur 20 m de chaussée en amont et en aval d'une zone

de traversée de 37 m (photo). Les espèces visées - le Grand Rhinolophe et le Murin à oreilles échanquées - sont protégées. La route représente une des plus grandes menaces pour elles. Elles traversent les axes routiers à des endroits bien identifiés, à 1,60 m de haut, trop bas pour éviter les collisions.

Après analyse des résultats de l'expérience, d'autres tronçons du département pourraient être traités. Cette invention a été primée par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrriim) à l'occasion du Salon des maires et des collectivités locales.

#### → Micro habitat sur pont

Six autres réalisations visant à préserver la biodiversité ont été récompensées. Parmi elles, citons également l'écopont conçu par la société d'autoroutes Escota. Il a été installé en 2013 à deux exemplaires dans le Var sur l'A57 à Pignans et sur l'A8 à Brignoles. Contrairement aux ponts à faune plus traditionnels, l'écopont

à haute fonctionnalité accueille toute la faune, de la grande à la petite, et en loge une partie sur place. Ainsi des andains de rochers, des pierres à crevasses peuvent-ils abriter des insectes, des reptiles, des petits rongeurs. Les plantations ont été choisies pour nourrir la petite faune résidente.

#### → Arceaux anti-intrusion

Afin que ces micro habitats ne soient pas détruits par le passage de vélos, motos ou tout engin motorisé, une série d'arceaux (brevetée) barre l'entrée du pont. L'observation par caméra et photos montre que cela ne gêne pas la faune qui saute par-dessus ou passe à travers, selon sa taille.

Enfin, signalons la méthode pour hiérarchiser les continuités écologiques à rétablir, conçue par la Direction interdépartementale des routes de l'Est avec le Centre d'études techniques de l'équipement de l'Est et l'Atelier des territoires/Ingerop. ■



© ESCOTA

Écopont emprunté par des cerfs, sangliers, chevreuils et où logent insectes, reptiles et petits rongeurs derrière une barrière d'arceaux.

## DÉTECTION DE RÉSEAU À DISTANCE

Le concept Plyval facilitant la détection en continu de canalisations enterrées a obtenu le prix de l'innovation du Salon des maires et des collectivités locales (novembre 2013) dans la catégorie BTP et voirie.

Il comprend un fil dit traceur à poser sur les canalisations avant enfouissement et relié à des bornes en surface sur lesquelles se branche l'appareil de détection. Une fois la tranchée refermée et si besoin, cet appareil en se raccordant sur la borne rend le fil actif (émission d'un signal électromagnétique).

Ainsi, depuis la surface, la profondeur et l'emplacement exact du réseau sont-ils déterminés.

Les bornes indiquent de quel réseau il s'agit. Le fil, de section rectangulaire, arbore la couleur du réseau qu'il accompagne (jaune : gaz ; bleu : eau, etc.).

#### → Grande précision

Le dispositif a une précision de repérage de classe A (à 40 cm près). Il est conforme à la norme NF S70-003 sur les travaux à proximité des réseaux<sup>(1)</sup>. Une interface GPS permet de géoréférencer et géolocaliser le réseau détecté. ■

<sup>(1)</sup> Voir Travaux n°899, septembre 2013, page 13.



© PLYMOUTH FRANÇAISE

Le système comprend un fil traceur sur canalisation et des bornes de raccordement pour les détecteurs.

## AGENDA

## ÉVÉNEMENTS

## • 19 AU 21 MARS

**Écobat, salon de l'éco-construction et de la performance énergétique**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.salon-ecobat.com

## • 25 ET 26 MARS

**Reconversion des friches urbaines polluées**

Lieu : Paris  
www.ademe.fr

## • 25 AU 29 MARS

**Symposium international sur les ponts en acier**

Lieu : Toronto (Canada)  
www.aisc.org

## • 9 AU 11 AVRIL

**Journées de la géothermie**

Lieu : Paris (Cité des sciences et de l'industrie)  
www.afpg.asso.fr

## • 14 AU 17 AVRIL

**Solutions Transport : de la recherche au développement**

Lieu : Paris (Cnit)  
www.traconference.eu

## • 15 MAI

**Assemblée générale de la FNTF**

Lieu : Paris  
www.fntf.fr

## • 11 AU 13 JUIN

**Salon Smart Grids**

Lieu : La Défense (Cnit)  
www.sgparis.fr

## FORMATIONS

## • 18 AU 20 MARS

**Urbanisme durable : démarche AEU2**

Lieu : Paris  
www.ademe.fr

## • 18 AU 21 MARS

**Méthodologie de montage de parcs éoliens en France et analyse globale des projets**

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

## • 19 AU 21 MARS

**Géotechnique et génie civil : ouvrages géotechniques**

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

## • 20 ET 21 MARS

**Intégrer le développement durable dans le pilotage d'une opération d'aménagement**

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

• 1<sup>er</sup> AVRIL

**Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (certification)**

Lieu : Paris  
www.lne.fr

## • 8 ET 9 AVRIL

**Contractualiser la performance énergétique avec les procédures de contrat global**

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

## • 8 AU 10 AVRIL

**Le métier de métrologue**

Lieu : Toulouse  
www.lne.fr

## • 9 AU 11 AVRIL

**Fondamentaux techniques des systèmes guidés urbains (transport)**

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

## • 9 AU 30 AVRIL

**Conception géotechnique des ouvrages et des routes**

Lieu : Paris  
http://www.metratech.net

## • 16 AU 30 AVRIL

**Management de projet d'infrastructure**

Lieu : Paris  
http://www.metratech.net

## • 2 AU 16 MAI

**L'étude d'impacts sur l'environnement : du cahier des charges à l'évaluation**

Lieu : Paris  
http://www.metratech.net

## • 12 MAI

**Réhabilitation énergétique : solutions techniques dans les bâtiments tertiaires**

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

## NOMINATIONS

**CAPEB** : Le conseil d'administration de la Confédération de l'artisanat et des petites entreprises a choisi Henry Halna du Fretay pour être secrétaire général. Il prend la suite de Jean-Claude Condou, retraité, en février.

**ÉCOLOGIE** : Depuis octobre, Francis Rol-Tanguy est à la tête du cabinet de Philippe Martin, ministre de l'Écologie, du Développement durable, et de l'Énergie. Gilles Ricono qu'il remplace, conseille désormais le premier ministre sur l'aménagement du territoire.

**FINANCES** : Denis Morin a été nommé directeur du budget au ministère des Finances. Il succède à Julien Dubertret.

**MEDEF** : Dorothée Pineau devient directrice générale adjointe de l'organisation patronale. Elle suivra quatre pôles : France 2020, sphère publique, entrepreneuriat et croissance, et droit de l'entreprise. Elle est également conseillère "orientation stratégique" auprès du président, Pierre Gattaz. Celui-ci a choisi Léonard Cox comme chef de cabinet.

**NGE** : Thierry Girard a été nommé directeur commercial international.

**RFF** : Jérôme Grand qui était directeur général adjoint du cabinet de Jacques Rapoport, président de RFF, en prend la direction.

**TPE** : Jeanne-Marie Prost, médiatrice nationale du crédit et présidente de l'Observatoire national du financement des entreprises, s'est vu confier une mission sur le financement des très petites entreprises (TPE) par Pierre Moscovici, ministre de l'Économie et des Finances.

**VEOLIA ENVIRONNEMENT** : Depuis le début de l'année 2014, Philippe Capron est directeur général adjoint chargé des finances et membre du comité exécutif.

# LE CHÂTEAU DE VERSAILLES PERPÉTUEL ET PRESTIGIEUX CHANTIER

## CATHERINE PÉGARD TIENT LA MAISON EN MAÎTRESSE AVISÉE

PROPOS RECUEILLIS PAR MICHEL MORGENTHALER



1  
© PHOTOTHÈQUE EPCMDNV

**Catherine Pégard, vous êtes unanimement reconnue comme une présidente particulièrement active de l'« Établissement Public du château, du musée et du domaine national de Versailles » que vous avez rejoint en 2011. Quelles sont vos missions les plus importantes ?**

Versailles a toujours été inscrit dans son temps. Dans ce début de siècle marqué par la communication et la médiatisation, ma principale mission est de l'ouvrir le plus largement possible au plus grand nombre en respectant l'histoire et l'identité. Pour cela, il faut poursuivre sans relâche la restauration et lui rendre vie en offrant au public de nouvelles façons de le découvrir.

**Louis XIV, Roi Soleil, était un bâtisseur. Il a construit pour asseoir son prestige et pour éblouir. La réussite est totale et durable. Aucune copie n'a surpassé l'original.**

**Comment s'organisaient, à l'époque, ce qu'on appelle aujourd'hui la « Maîtrise d'Ouvrage » et la « Maîtrise d'Œuvre » ?**

Le Maître d'ouvrage, c'est bien évidemment d'abord le roi.

Ensuite, pour le seconder, prend place le Surintendant des Bâtiments.

Les plus connus sous Louis XIV sont Colbert, Louvois, Mansart. Ce surin-

tendant dispose d'une administration étendue dont les fonctions allaient de celles de trésorier général à maître d'œuvre en passant par des ingénieurs, contrôleurs ou jardiniers.

La maîtrise d'œuvre est donc intégrée à cette Surintendance. Elle est multiple. La prééminence en son sein est donnée au premier architecte du Roi (Le Vau, d'Orbay, Mansart, de Cotte), grand ordonnateur.

Il est entouré par d'autres créateurs et artistes comme Lebrun, le plus connu des premiers peintres du roi, des jardiniers comme Le Nôtre ou encore des hydrauliciens comme Francine.

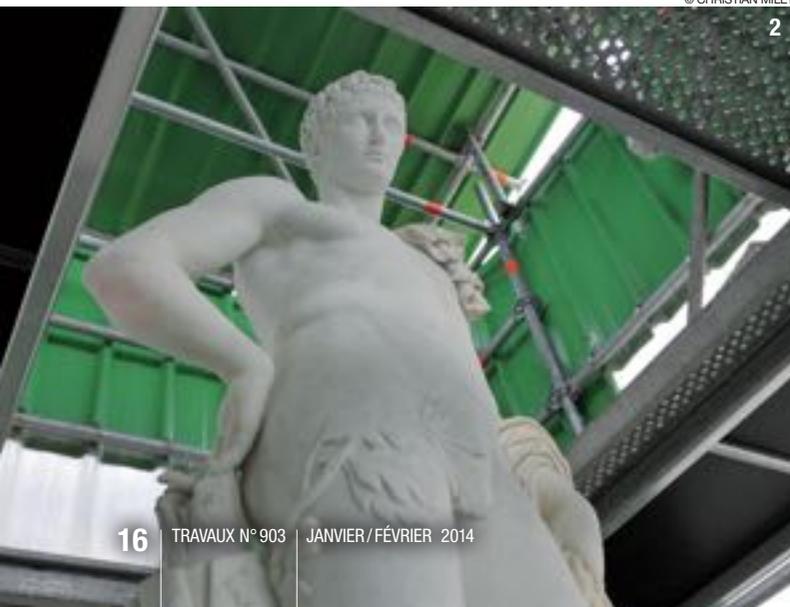
Cette organisation qui pourrait se rapprocher d'une structure moderne est néanmoins troublée par la confusion des genres induite par le choix de ses acteurs : ainsi, peut-on retrouver le surintendant comme premier architecte du roi et même entrepreneur (Mansart) et d'autres architectes de la surintendance ou des maîtres d'œuvres mal rémunérés comme entrepreneurs.

Elle peut être aussi compliquée par les relations privilégiées du roi avec certains de ses maîtres d'œuvre, qui rompt ainsi la chaîne de décisions, et souvent par l'absence de programmes, qui peuvent être remis en cause dans le moindre détail par le Roi.

Néanmoins, cette structure a su démontrer son efficacité malgré les caprices parfois onéreux du monarque et de son entourage.

© CHRISTIAN MILET

2



© CHRISTIAN MILET

3



1- Catherine Pégard.

2- Restauration de la statue Antinoüs du Belvédère par Le Gros (1686) - Rampe du Midi de Latone.

3- Dépose du groupe sculpté des Bains d'Apollon pour leur restauration et leur remplacement par une copie - Opération réalisée avec le soutien de la Versailles Foundation.

4- Camion quittant la Cour Royale dans le cadre des travaux effectués sur le Pavillon Dufour.

5- Détail de l'installation du Pavillon provisoire d'accueil des visiteurs réalisé avec le soutien du Groupe Vinci.

6- Restauration du plafond du Salon de l'Abondance - 1<sup>re</sup> salle du Grand Appartement du roi. Avec le soutien de l'entreprise Martell.



© DIDIER SAULNIER

**A-t-on gardé trace de grands entrepreneurs qui contractaient des marchés et traitaient des lots sous Louis XIV ? L'usage était-il de traiter à forfait, ou sur prix unitaires, ou en régie. Pratiquait-on le gré-à-gré, le concours, l'appel d'offres, le favoritisme ?**

L'allotissement était limité ; une douzaine de corps d'état était identifiée : maçons, charpentiers, couvreurs, menuisiers, plombiers, paveurs, serruriers, vitriers, marbriers...

Les entreprises aptes à répondre aux marchés publics étaient aussi en

nombre limité et devaient faire partie de corporations.

Certains noms qui ressortent d'ouvrages de référence comme entrepreneurs sont Villedo, Mazières, Bergeron ou Maistre pour la maçonnerie, Francine pour l'hydraulique, Mallet pour la charpente.

La règle de base de passation des marchés était l'adjudication au rabais. Sur la base de devis ou cahiers des charges élaborés par la Surintendance, l'appel d'offres était lancé après publicité placardée dans les rues et c'est à l'extinction du feu d'une chandelle que

l'entreprise proposant le meilleur prix, en fait « le plus gros rabais » devait être retenue.

Mais cette règle a été très souvent écartée pour recourir à la pratique du gré à gré.

Sur la base de prix fixés par l'administration dans le cadre des devis, l'entrepreneur était retenu pour ses compétences, ses capacités financières et ses relations avec les entrepreneurs relevant de la surintendance.

Encore une fois, la confusion des genres régnait, le maître maçon pouvant être aussi l'architecte du roi.

Ce n'était pas forcément une sinécure d'être choisi, les délais de paiement pouvant être particulièrement longs et élastiques.

Le contenu des prix était le plus souvent forfaitaire même si des « toisés » intervenaient en cours de réalisation pour conforter les paiements.

**Constructions de grande dimension, terrassements, voiries, tunnels, galeries souterraines, murs de soutènement, bassins, aqueducs, assainissement : avez-vous la perception qu'en termes de nature d'ouvrage les travaux publics sont bien présents au château et dans le domaine ?**

Lorsque je suis arrivée, j'ai découvert que Versailles était bien comme on le dit toujours un chantier permanent. Je vous épargnerai la litanie des corps de métier que je croise quotidiennement. Qu'en même temps, on restaure le Bassin de Latone et qu'on recrée l'aile Dufour en dit toute la diversité, dehors et dedans.

**Comment vos services techniques sont-ils organisés ?**

L'ensemble des services est organisé au sein de l'importante Direction du Patrimoine et des Jardins (DPJ), qui a en charge la maîtrise d'ouvrage des travaux et l'entretien du domaine et des bâtiments : un domaine de 1 000 hectares et 250 000 m<sup>2</sup> de planchers, répartis sur 110 bâtiments, sur lesquels cette direction veille avec une vigilance patrimoniale sourcilieuse.

Trois services travaillent en régie :

→ Les deux services des jardins, celui de Versailles et celui de Trianon, du parc et de Marly ;

→ Les services des fontaines qui gèrent l'entretien des équipements hydrauliques de Versailles (réseaux, ▷

© CHRISTIAN MILET

5



© CHRISTIAN MILET

6



bassins, fontaines...) et en assurent la « mise en eau » chaque année au printemps notamment pour les Grandes Eaux qui se poursuivent jusqu'à l'automne. Ce service gère en outre les installations hydrauliques de Saint-Cloud et de Marly ;

→ Deux services qui travaillent en tant que donneurs d'ordres auprès d'entreprises extérieures :

- Le service en charge de tous les équipements techniques (chauffages, électricité, courants forts, courant faibles...),
- Le service de la conservation architecturale, dirigé par un architecte urbaniste de l'État, qui pilote auprès d'entreprises extérieures des travaux d'entretien et de maintenance des éléments architecturaux.

Quatre Architectes en chef des Monuments Historiques ont la responsabilité des différentes parties du Domaine et se voient confier la théâtralisation des travaux les plus importants dans le cadre de contrats spécifiques de maîtrise d'œuvre.

La DPJ dispose, par ailleurs, de ses propres services supports :

- Service administratif et financier,
- Service des marchés,
- Service des plans.

La DPJ fait également appel à l'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers culturels (OPPIC) pour les opérations d'ordre fonctionnel les plus importantes.

### Quel est votre budget en BTP, neuf et réhabilitation ?

Le budget global de travaux de l'Établissement public de Versailles se scinde en plusieurs postes :

- L'un relève du schéma directeur pour les travaux et s'élève en moyenne chaque année à



7 © CHRISTIAN MILET

15 millions d'euros. Laissez-moi vous dire quelques mots de ce vaste programme, d'une durée de 20 ans, qu'est schéma directeur de travaux. Vous le savez, le Château de Versailles, classé en totalité monument historique, est une vitrine de l'histoire de France et un des monuments les plus visités de France. Mais ce palais est un édifice complexe résultant de multiples remaniements architecturaux, initiés au milieu du XVII<sup>e</sup>

siècle par Louis XIV et s'achevant par la dernière grande campagne globale de travaux réalisée par Louis-Philippe au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Dans le respect absolu du site, un vaste programme de mise en sécurité incendie et de mise en sûreté du domaine était nécessaire. Engagé en 2003, il s'accompagne d'un projet d'envergure de rénovation des réseaux techniques, afin de diminuer les risques potentiels d'exploitation de ce palais-musée

et d'en améliorer les conditions de conservation et d'accueil des visiteurs.

→ Un deuxième budget porte sur les travaux d'entretien dits « courants » du bâtiment et du domaine pour un montant annuel d'environ 10 millions d'euros.

→ Un dernier poste relève d'apports exceptionnels de mécènes. L'année 2013, consacrée à la célébration d'André Le Nôtre, a été particulièrement riche en ce domaine, car deux grands projets de travaux entièrement mécénés ont pu voir le jour dans les jardins : le Bosquet du Théâtre d'eau et le bassin de Latone. J'en remercie chaleureusement les mécènes et la direction des relations extérieures de notre Etablissement qui a la responsabilité d'entrer en contact avec les entreprises, les fondations, les particuliers qui, en France comme à l'étranger, manifestent leur passion pour le château de Versailles et leur souhait de soutenir la restauration du patrimoine exceptionnel dont nous avons la charge.

### Pouvez-vous donner quelques exemples de chantiers actuels ?

Je viens d'en évoquer deux qui font l'objet de mécénat.

Le Bosquet du Théâtre d'Eau va être recréé par des artistes d'aujourd'hui, Louis Benech et Jean-Michel Othoniel. Dialoguant avec Le Nôtre dans un langage qui rappelle de façon contemporaine l'histoire d'un roi disparu mais omniprésent, les deux artistes entrent ensemble dans ce qu'ils appellent la longue généalogie des métiers et des artistes de Versailles.

Dans la calligraphie des fontaines réalisées par Jean-Michel Othoniel, le roi danse sur la scène dessinée par



8 © DIDIER SAULNIER



9 © DIDIER SAULNIER

**7- Repavage de la Cour d'Honneur du Château de Versailles avec mise en place des dispositifs de passage de réseaux - Avec le soutien de l'entreprise Nexans.**

**8- Restauration du Bosquet du Théâtre d'Eau - Emprise d'un bassin.**

**9- Enlèvement de l'araignée du Bassin de Latone dans le cadre de sa restauration.**

**10- Restauration du Belvédère de Marie-Antoinette dans les jardins du Petit Trianon - Avec le soutien de la World Monuments Fund et du Groupe Vinci.**

**11- Restauration du Pavillon Dufour dans le cadre du Schéma Directeur de Travaux. Tranchée préparatoire à l'installation, dans la cour des Princes du futur accès du public.**

**12- Restauration du décor intérieur du Belvédère de Marie-Antoinette.**



10  
© CHRISTIAN MILET

le paysagiste Louis Benech. Le Bassin de Latone, œuvre centrale du jardin de Versailles, qui menaçait ruine, fait l'objet d'une restauration fondamentale et retrouvera l'été prochain tout son lustre et la magie de ses « effets » d'eau grâce à la mobilisation des métiers d'art, fontainiers, marbriers qui mettent tout leur savoir-faire au service de cet important chantier.

Par ailleurs, deux autres très importants chantiers sont actuellement menés dans le cadre du schéma directeur.

Le Pavillon Dufour fait l'objet d'un complet réaménagement destiné à améliorer et faciliter l'accueil de nos visiteurs. Après les contrôles de billets et passages sous portiques de sécurité, toute une série de services, du vestiaire, des sanitaires, à la consigne, en passant par les audioguides, les renseignements, un espace de restauration... tout sera rassemblé dans ce bâtiment apportant à la visite une logique de fonctionnement plus conforme aux besoins des quelques 7,8 millions de

visiteurs que nous recevons chaque année dans le château.

Enfin, les travaux de la terrasse du Parterre du Midi, qui démarrent en ce moment, permettront la création d'un local enterré sous la terrasse, d'environ 800 m<sup>2</sup> et 5 m de hauteur sous plafond.

Ce local, isolé du château et sécurisé, accueillera les centrales d'air permettant le chauffage et le contrôle de l'hygrométrie des bâtiments. À terme tous ces équipements irrigueront les

appartements de la Reine et du Dauphin situés au sud du corps central. Les travaux nécessaires dans ces espaces démarreront ensuite fin 2015.

**Journaliste devenue conseillère d'un président de la République, diriez-vous que vous êtes aussi une bâtisseuse ?**

Ce serait un contre-sens. Je suis d'abord ici pour préserver ce que les autres ont bâti et le faire vivre aujourd'hui.

**Peut-on découvrir encore quelque chose à Versailles ?**

Plus encore que vous ne croyez ! On cite toujours Victor Hugo qui disait que le Château de Versailles était le livre de l'Histoire de la France.

À nous d'en ouvrir les pages les plus méconnues ! Savez-vous qu'au Grand Trianon vous pourrez rencontrer Louis XIV qui en fut « l'architecte », Napoléon qui le meubla et même le Général de Gaulle qui décida d'en faire une résidence présidentielle pour recevoir ses hôtes étrangers ! Là encore mon objectif est d'ouvrir cet « autre » château à la visite.

Malheureusement, son état s'est beaucoup dégradé.

J'espère convaincre les « entrepreneurs » d'aujourd'hui - peut-être liront-ils ces lignes ! - de nous aider à le « sauver » pour mieux le montrer.

La diversité de Versailles et parfois l'urgence des restaurations qu'il réclame autorise bien des formes de soutien ! Elles vont en effet de l'adoption d'un arbre ou d'une statue du parc pour des particuliers amoureux de Versailles, jusqu'au mécénat ou à la mobilisation des compétences d'une entreprise, comme ce fut le cas quand l'entreprise Vinci devint le grand mécène de la Galerie des Glaces. □

© DIDIER SAULLNIER



11

© CHRISTIAN MILET



12

# CEMENTYS LA FIBRE OPTIQUE AU CŒUR DE LA « CIVIONIQUE »

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

« CIVIONIQUE ». LE NÉOLOGISME N'EST PAS ENCORE FAMILIER MAIS IL POURRAIT LE DEVENIR RAPIDEMENT DANS LE DOMAINE DU GÉNIE CIVIL, POUR CE QUI CONCERNE LES TECHNIQUES DE MESURE ET D'AUSCULTATION D'OUVRAGES PAR CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE. C'EST EN TOUT CAS L'OBJECTIF DE L'ÉQUIPE DE CEMENTYS, UNE PME FRANÇAISE D'UNE QUINZAINNE DE PERSONNES SPÉCIALISÉE DANS LA SURVEILLANCE ET L'EXPERTISE PRÉVENTIVE OU A POSTERIORI DES OUVRAGES ET DES RÉSEAUX D'INFRASTRUCTURES NOUVEAUX ET VIEILLISSANTS. ELLE BASE SON DÉVELOPPEMENT SUR CETTE NOUVELLE TECHNOLOGIE TRÈS LARGEMENT UTILISÉE AUX ÉTATS-UNIS MAIS ENCORE NAISSANTE EN FRANCE DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION.

L'entreprise a été fondée en 2008 par Vincent Lamour, son président-directeur général, ancien enseignant-chercheur de l'École Normale Supérieure de Cachan, qui été confronté dans cette activité antérieure à l'expertise et à l'instrumentation des ouvrages anciens. C'est dans ce cadre qu'il a identifié le besoin de lier l'instrumentation et l'expertise, deux activités complémentaires réalisées jusqu'à aujourd'hui de façon généralement dissociées.

« En France, explique Vincent Lamour, la préférence est plutôt de faire des simulations numériques que de procéder à des mesures. La simulation étant de développer des hypothèses et des modèles de comportement considérés alors comme la "vérité" alors que les mesures consistent à procéder sur le terrain à la mise en place de capteurs dont les résultats sont souvent surprenants ». Il s'agit là d'une approche plus anglo-saxonne que Vincent Lamour



© MARC MONTAGNON

s'est faite sienne à la suite d'une thèse de doctorat soutenue à l'université de Berkeley, en Californie.

#### INSTRUMENTATION + EXPERTISE

L'idée de Cementys repose sur cette approche : associer l'instrumentation et l'expertise afin de mieux surveiller les ouvrages.

**1- De gauche à droite : Christian Medrano, directeur du Pôle Développement commercial et partenariats et Vincent Lamour, président-directeur général de Cementys.**

Sur la base de cette double compétence, Cementys - nom qui fait référence à l'anglais « cement » (ciment) - a été amené très rapidement à travailler dans le Génie Civil nucléaire qui constitue aujourd'hui son cœur d'activité.

L'instrumentation permet de surveiller le vieillissement des infrastructures d'ouvrages et dans lequel s'inscrit cette PME en croissance régulière depuis sa création, notamment à l'international où elle travaille depuis deux ans. En 2013, elle a réalisé un chiffre d'affaires de 2 millions d'euros.

Société indépendante française, Cementys collabore aujourd'hui avec les majors de la construction (Bouygues, Vinci, Eiffage, Razel, ...) ainsi qu'avec les grands énergéticiens gestionnaires d'infrastructures (EdF, GDF Suez, Areva, Total, ...).

Son activité déborde largement le cadre de la France puisqu'elle intervient régulièrement dans plusieurs



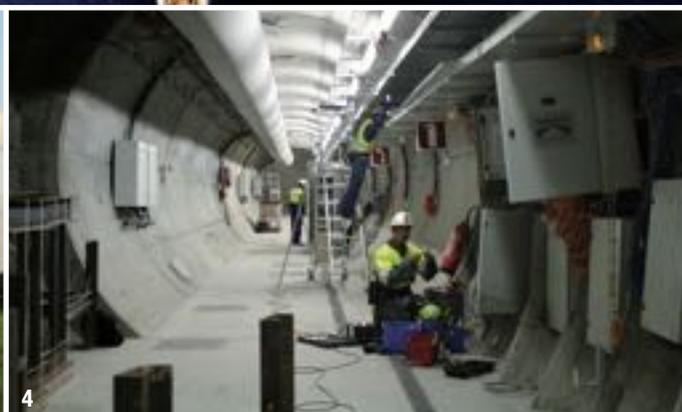
© CEMENTYS

2



© CEMENTYS

3



4

pays européens (Allemagne, Norvège, Russie) mais aussi en Arabie Saoudite et aux États-Unis, essentiellement au Texas, et ponctuellement, en Afrique et en Amérique du Sud.

Il faut savoir que les infrastructures de génie civil vieillissent lentement et que l'on possède en France un savoir-faire reconnu dans la gestion de ce patrimoine, tant en ce qui concerne le nucléaire que les barrages hydro-électriques, et qu'il est possible de l'exporter dans des pays qui se trouvent plus dans une politique de construction de nouvelles infrastructures que de gestion de celles existantes.

**2- Plateforme pétrolière offshore instrumentée.**

**3- Centrale nucléaire instrumentée avec des capteurs à corde vibrante.**

**4- Tunnel de stockage de déchets radioactifs.**

## L'INNOVATION COMME ADN DE LA SOCIÉTÉ

L'innovation constitue la règle autour de laquelle l'entreprise est structurée et qui dispose d'ailleurs du statut de "Jeune Entreprise Innovante". Elle emploie 5 docteurs-ingénieurs et consacre près de 30% de son chiffre d'affaires à la recherche et développement, à telle enseigne qu'elle lance entre 5 et 10 nouveaux produits par an.

« Nous sommes vraiment dans une activité de création de produits qui peuvent être des capteurs adaptés à la surveillance des ouvrages, précise Vincent Lamour, mais aussi des logi-

ciels pour interpréter les données de ces capteurs et de nouvelles méthodes d'auscultation non destructive ».

La société collabore activement sur ces sujets avec plusieurs organismes de recherche publique reconnus dans leur domaine : IRSTEA (ex-Cemagref) pour la surveillance des ouvrages hydrauliques, Telecom ParisTech pour les capteurs à fibre optique, l'INSA de Toulouse pour la durabilité des ouvrages en béton, l'IFSTTAR pour la surveillance des ponts. Au niveau des effectifs, l'équipe de Cementys est constituée de deux types de profil : d'une part des ingénieurs en génie civil, capables de dimensionner ▷



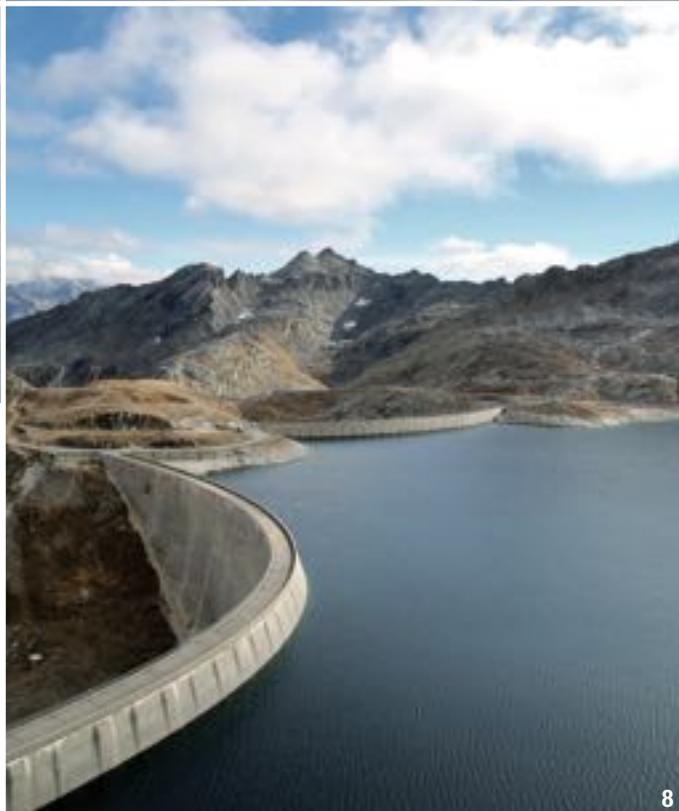
5



6



7



8

des ouvrages mais aussi de connaître les phénomènes de leur vieillissement, d'autre part, des spécialistes de l'instrumentation de formation physique, optique, mécanique, qui connaissent parfaitement les capteurs et les problématiques de métrologie.

« Sur ce point, poursuit Vincent Lamour, la France dispose d'un réel savoir-faire dans le domaine des capteurs durables. Elle est d'ailleurs le seul pays au monde à disposer d'un retour d'expérience de plus de 70 ans sur des capteurs en fonctionnement : en France nous avons des barrages, instrumentés depuis les années 30 avec des capteurs qui sont toujours en fonctionnement, une situation que l'on doit à EDF qui s'est souciée, dès leur construction, de la surveillance des ouvrages de son parc. Ceci constitue un atout très important ».

Il faut savoir que le marché des capteurs industriels est énorme mais qu'il concerne pour l'essentiel des capteurs électroniques, dont la durée de vie se situe autour de 5 à 10 ans. En France, nous disposons de capteurs conçus pour vieillir avec la structure qui est construite, en général pour une durée de 100 ans. Il faut donc que le capteur ait une espérance de vie identique à celle de la structure sur laquelle il est installé. De plus, les capteurs ne doivent pas comporter de dérive sur cette durée car les phénomènes de vieillissement observés sont très lents.

### CORDE VIBRANTE OU FIBRE OPTIQUE

« Il n'existe que deux technologies qui peuvent répondre à cette exigence, précise le P-DG de Cementys, qui en exclut par là-même l'électronique : soit celle des capteurs mécaniques, typiquement les capteurs à corde vibrante, initiée par André Coyne<sup>(1)</sup>, soit celle de la fibre optique, technologie répandue dans l'industrie du Pétrole et du Gaz ». Les premiers ont fait la preuve de leur efficacité.

Cementys en produit et dispose à cet effet d'un atelier spécifique qui fabrique également des capteurs sur mesure à corde vibrante. Leur technologie est non seulement connue mais reconnue et l'innovation dans ce domaine est relativement limitée.

« Il n'en est pas de même, poursuit Vincent Lamour, pour la technologie des capteurs à fibre optique qui utilise les seules propriétés de la lumière pour effectuer des mesures. Le retour d'expérience de cette technologie est de l'ordre de 25 ans mais il n'y a aucune raison physique pour que ces capteurs soient moins durables que les capteurs à corde vibrante ».

La révolution qui se fait jour est celle des capteurs à fibre optique répartis. Par exemple, une fibre optique installée sur des kilomètres de digue indique à intervalles réguliers - tous les décimètres si nécessaire - l'ensemble des

**5- Pont de Wadi Leban à Riyad en Arabie Saoudite, instrumenté à 100 % avec des capteurs à fibre optique.**

**6- Barrage du Pont du Roi en Saône-et-Loire.**

**7- Navire de production, de stockage et de déchargement de pétrole FPSO (Floating Production Storage and Offloading).**

**8- Les barrages sont l'un des domaines de surveillance sur lesquels interviennent Cementys.**

mouvements ou des incidents intervenant dans l'ouvrage, via la modification de la température et la déformation mécanique de la fibre : tassement de sol, fuite, intrusion...

Il s'agit à la fois d'un capteur et d'un moyen de localiser un événement. Ce type de capteur a été industrialisé dans l'industrie pétrolière par Schlumberger il y a une vingtaine d'années et arrive aujourd'hui dans le secteur du génie civil.

Les applications sont très nombreuses : elles concernent tous les ouvrages linéaires tels que les grands ouvrages d'art, digues, lignes ferroviaires, barrages, tunnels.

Cette technique est déjà utilisée au quotidien en détection d'incendie dans les tunnels : elle permet non seulement de détecter le feu mais de le localiser avec précision.



9



10



11



12

## UNE RUPTURE DANS L'INNOVATION

« Dans le milieu industriel de la mesure, cette technologie constitue vraiment une révolution, précise Vincent Lamour. Elle permet de passer de la mesure d'un capteur ponctuel à celle d'une mesure répartie sur l'ensemble de la longueur de l'ouvrage et ceci jusqu'à 80 kilomètres. En France, les acteurs maîtrisant cette technologie sont très peu nombreux ».

Elle induit une véritable rupture en innovation et permet d'ailleurs à Cementys de travailler en France, mais aussi à l'étranger sur de très nombreux projets de surveillance en Génie Civil : auscultation des digues le long du Rhône pour la CNR, surveillance du barrage de Songloulou au Cameroun, surveillance des stockages de déchets radioactifs pour l'ANDRA, auscultation d'infrastructures de voies navigables pour VNF, surveillance de pont autoroutier pour Cofiroute, surveillance de l'Arsenal de Brest...

La technique d'auscultation par fibre optique s'applique également dans les infrastructures de l'industrie du pétrole et du gaz.

Cementys travaille sur plusieurs projets de surveillance de structures Offshore pour le compte de Gaztransport et Technigaz (GTT) ou Total.

Il en est de même au niveau du pipeline de la SPMR (Société du Pipe Line

**9- Voie de chemin de fer avec des traverses instrumentées par des capteurs MicroLux®.**

**10- Digue en Hollande instrumentée pour la détection de fuite.**

**11- Pipeline équipé en fibre optique répartie pour la détection de fuite.**

**12- Dans les locaux de Cementys, l'un des postes de conception et de fabrication d'une centrale d'acquisition.**

de Méditerranée Rhône) qui chemine entre Fos-sur-Mer et la Suisse, via Lyon : Cementys a instrumenté par fibre optique un tronçon de ces installations dans les Alpes.

Pour RTE, Cementys contribue à la surveillance des lignes enterrées par fibre optique avec la technologie de mesure répartie.

Les pays dans lesquels Cementys travaille à l'exportation sont déjà nombreux.

Pour citer quelques unes des références significatives de l'entreprise : auscultation de tuyaux Bonna Sabla de grand diamètre en Égypte, de plusieurs barrages en Ukraine, instrumentation de deux ouvrages d'art en Arabie Saoudite dont celui de Wadi Laban, à Riyad, l'emblème du génie civil dans ce pays, équipé de haubans VSL.

## DES TRAVERSES DE CHEMIN DE FER « INTELLIGENTES »

Toujours avec cette technique, Cementys collabore avec la société Consolis en Europe (France, Norvège et Allemagne) sur des traverses de chemin de fer "intelligentes" en béton, instrumentées par capteurs à fibre optique, qui permettent une surveillance en temps réel de l'intégrité de l'infrastructure ferroviaire et, potentiellement, l'optimisation de sa maintenance.

À noter que ce brevet, développé en collaboration avec Sateba (groupe Consolis), industriel français fabricant de traverses de chemin de fer en béton et leader sur son marché en France et en Europe, a été couronné en 2013 par le prix "Fibre de l'innovation" dans la catégorie "industrie" décerné par le pôle Opticsvalley.

« Au Texas, en particulier, précise Vincent Lamour, où nous avons ouvert un bureau à Houston en 2013, Cementys mettra en place en 2014 un VIE (Volontariat International en Entreprise). Nos interventions depuis Houston concernent l'instrumentation par fibre optique des infrastructures de pétrole et de gaz, à terre et en mer, en particulier sur les pipelines et plateformes offshore ».

## PÉTROLE ET GAZ

Pour les nouvelles plateformes de recherche et d'exploitation qui sont en construction, essentiellement au Brésil ▷

## MESURE GÉOLOCALISÉE PAR FIBRE OPTIQUE

**La solution SensoLux® de Cementys permet de mesurer en continu la température et les déformations tous les mètres sur des distances kilométriques de fibre optique, avec mesure distribuée.**

**Les applications concernent la géodétection de fuites et intrusions sur réseaux d'eau et pétrole et gaz, la mesure de déformée d'ouvrages linéaires et réseaux (tunnels, voies ferrées, pipelines, conduites, routes), la géodétection de points chauds dans les lignes électriques.**

et en Afrique, Cementys fournit des capteurs qui permettent de surveiller l'intégrité des *risers*, c'est-à-dire des tubes sous-marins qui remontent le pétrole des profondeurs et qui sont soumis à la fatigue de la houle.

Toutes les infrastructures récentes et à venir de l'industrie pétrolière vont être tôt ou tard instrumentées et Cementys se positionne sur ce marché en particulier grâce à la fibre optique qui a l'avantage d'être anti-explosive, ce qui présente évidemment un intérêt indéniable dans les industries du pétrole mais aussi du gaz.

Les compétences de Cementys s'étendent de ce fait aux pipelines dont elle est capable de surveiller l'intégrité, y compris le vieillissement.

« Actuellement, indique Vincent Lamour, la plupart des pipelines sont inspectés via des robots racleurs poussés qui ont montré leurs limites, en particulier, lors de fuites lentes, car ils ne sont pas capables de détecter les fissures longitudinales. Ce que permet la fibre optique qui est, de plus, capable de localiser une fuite avec précision permettant de rapidement confiner une éventuelle pollution ».

Pour ses mêmes capacités, la fibre optique permet la surveillance structurelle précise des plateformes offshore tant au niveau des contraintes mécaniques que de la fatigue des aciers.

La surveillance de ce secteur est en pleine expansion car elle est la conséquence d'un effet retard constaté depuis la catastrophe pétrolière au large de la Louisiane dans le golfe du Mexique : le risque, et donc le coût de l'indemnisation éventuelle, devenant de plus en plus important, l'instrumentation se trouve justifiée, d'autant que s'ajoutent à ces deux éléments - risque et coût d'indemnisation - le coût de la perte d'exploitation.

Les capteurs permettent de minimiser les pertes d'exploitation, preuve en est la gestion courante des machines tournantes dans l'industrie (éolienne, pompes, moteur, générateurs...)

#### MONTÉE EN PUISSANCE DU « MONITORING »

Vincent Lamour insiste sur le fait que « le métier de Cementys ne se limite pas uniquement à mettre en place des capteurs. Il consiste à faire de la mesure utile qui est interprétée soit pour quantifier un risque, lorsque la structure présente des faiblesses, soit pour quantifier la cinétique de son vieillissement ».



© CEMENTYS

### CAPTEURS À RÉSEAUX DE BRAGG ET INTERROGATEURS À FIBRE OPTIQUE

Cementys développe une gamme complète de capteurs à réseaux de Bragg et interrogateurs à fibre optique :

- StrainLux® (jauge de contrainte),
- ThermoLux® (thermomètre),
- MicroLux® (extensomètre),
- AcceleroLux® (accéléromètre),
- InclinoLux® (inclinomètre),
- PressioLux® (sonde de pression),
- DeltaLux® (distancemètre),
- DynaLux® (cellule de force).

Ces capteurs à fibre optique présentent des caractéristiques propres : immunité électromagnétique (foudre), mesure ATEX intrinsèque, multiplexage, insensibilité aux bruits, grandes longueurs de câblage, faible intrusivité et robustesse, REX de 20 ans dans l'industrie.

Il illustre son propos par une analogie qu'il met en évidence entre le domaine médical et le monitoring des ouvrages : « en génie civil, l'habitude était de faire uniquement de l'auscultation, comme le faisait autrefois le médecin de famille. Grâce au monitoring, c'est-à-dire grâce à la surveillance continue des ouvrages, il est possible aujourd'hui de voir un état dans le temps, comme le permet aujourd'hui les nouvelles techniques médicales. Il donne beaucoup plus que l'auscultation ponctuelle. C'est un nouveau métier en génie civil ».

#### NAISSANCE DE LA « CIVIONIQUE »

Il en est ainsi de la "civionique", par analogie à l'avionique (surveillance des avions par capteurs), qui consiste à installer durablement des capteurs dans les ouvrages permettant de surveiller leur vieillissement et, plus généralement, leur bon fonctionnement.

En matière de "civionique", Cementys se considère comme un véritable porte-drapeau. Ce domaine constitue l'un des développements majeurs de l'entreprise : de la même manière qu'un avion sans capteur ne pourrait voler, un ouvrage tel que le pont de

13- DeltaLux®, capteur de déplacement à fibre optique de portées 50 mm, 100 mm et 200 mm.

14- MicroLux®, extensomètre à fibre optique, d'une portée de +/- 5 000 µm/m.

15- AcceleroLux®, accéléromètre à fibre optique, d'une portée de 10g.

16- InclinoLux®, inclinomètre à fibre optique d'une portée de +/-5°.

Wadi Laban, par exemple, se devait d'être instrumenté.

« D'autant que le coût d'un dispositif d'instrumentation est négligeable par rapport aux bénéfices engendrés (limitation de perte d'exploitation, optimisation de la maintenance et prolongation de durée de vie d'ouvrages), précise Vincent Lamour ; et en regard du coût global de construction et d'exploitation sur la durée de vie de l'ouvrage sur lequel il est installé : 50 ans minimum pour un pont, 60 ans pour une centrale nucléaire, 120 ans pour un centre d'entreposage de déchets radioactifs ».

L'entreprise développe également de nouvelles méthodes de mesure non-destructive pour évaluer des structures non instrumentées : l'une d'elles permet d'évaluer l'état de contrainte dans un ouvrage construit en béton, sans l'avoir instrumenté précédemment ; une autre consiste à mesurer des indicateurs de perméabilité *in situ*, ce qui apporte des informations utiles sur l'état réel des bétons d'un ouvrage. Chez Cementys, la "civionique" n'est pas seulement un mot nouveau regroupant des méthodes inédites de mesure : pour répondre au développement qu'elle lui permet de réaliser, l'entreprise a quitté début 2014, ses installations actuelles de Choisy-le-Roi où ses bureaux d'ingénierie, son atelier, sa manufacture de capteurs et son laboratoire d'étalonnage étaient plus qu'à l'étroit. Elle est établie désormais sur 1 500 m<sup>2</sup> sur le plateau de Saclay à Palaiseau dans des installations fonctionnelles à l'intérieur desquelles est regroupé l'ensemble de ses activités et, notamment, son laboratoire de "civionique". □

1- André Coyne, fondateur en 1947 avec Jean Bellier, du bureau d'études Coyne et Bellier, est l'inventeur du procédé d'auscultation des ouvrages par jauges à cordes vibrantes.

# PASSEZ VOTRE PUBLICITÉ DANS **TRAVAUX** POUR UN MAXIMUM D'IMPACT SUR LES ACTEURS DE LA PROFESSION DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VIADUC DE MILLAU © CEMM

## ■ NOTRE LECTORAT

**41 %** - Maîtres d'ouvrage, Maîtres d'œuvre, Bureaux d'études, Laboratoires de recherche, Architectes, Conseils généraux et régionaux, Collectivités locales et territoriales.

**5 %** - Enseignement.

**54 %** - Entreprises : Grands groupes / PME.

## ■ ÉDITEUR



Travaux est une publication de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) qui regroupe 20 Fédérations régionales et 17 syndicats professionnels des travaux publics.

## ■ DIFFUSION

**9 à 10** numéros par an, de 70 à 100 pages, diffusés par abonnement - distribution dans les manifestations professionnelles, mise à disposition du public dans les institutions officielles.

**Trage** : 2 000 exemplaires.

**Diffusion internationale** : 1 800 exemplaires.

## ■ LIGNE ÉDITORIALE

Travaux est un mensuel technique et professionnel qui s'adresse à tous les acteurs de la profession des travaux publics : entreprises, bureaux d'études, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, fabricants de matériel, chercheurs, étudiants, importateurs, exportateurs, etc. Les articles sont rédigés par des directeurs de projets, des ingénieurs et chefs d'opération, ainsi que par des autorités scientifiques. Chaque numéro comporte un éditorial signé par une personnalité et, le plus souvent une interview d'une autre personnalité et un reportage sur une entreprise ou un fournisseur indépendant. Plusieurs pages d'actualités et un calendrier des manifestations viennent compléter l'information.

## NOS TARIFS 2014

| Surface                     | Prix (HT)   | Format (L x H) |                       |
|-----------------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| 2 <sup>e</sup> couverture*  | 3 390 €     | 215 x 315 mm   |                       |
| 3 <sup>e</sup> couverture*  | 2 980 €     |                |                       |
| 4 <sup>e</sup> couverture*  | 3 660 €     |                |                       |
| Page*                       | 2 650 €     | 215 x 315 mm   |                       |
| 1/2 page                    | 1 630 €     | 185 x 121 mm   |                       |
| 1/4 page                    | 1 150 €     | 90,5 x 121 mm  |                       |
| Encart                      | Recto/Verso | 2 680 €        |                       |
|                             | 4 pages     | 4 110 €        | Nous consulter        |
| Publi rédactionnel          | 1 page      | 2 690 €        |                       |
|                             | 2 pages     | 5 315 €        | Nous consulter        |
| Répertoire des fournisseurs | Rubrique    | 102 €          | Par ligne/rubrique/an |
|                             | Module      | 235 €          | Par cm/colonne/an     |

\* Prévoir 5 mm de fond perdu sur les 4 côtés et ne pas mettre de texte ou logo à moins de 15 mm des bords gauche et droite

## ■ RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES

**Remise des éléments d'impression** : 5 semaines avant parution.

**Documents d'impression acceptés dans les formats** : PDF, JPEG, Photoshop EPS ou TIFF (sans compression) avec une définition de 300 dpi.

**Délai d'annulation** : 2 mois avant parution.

**Frais techniques (PAO)** : à la charge de l'annonceur. Nous pouvons nous charger de la réalisation de votre annonce avec les éléments que vous nous remettez. Ces travaux sont dans ce cas facturés en sus, avec la première parution. Forfait pour la modification d'une adresse, d'un numéro de téléphone, etc. : 63 € HT.

- **Dégressifs de surface** :
- - 2 à 4 pages : 6 %
- - 5 à 7 pages : 9 %
- - 8 à 10 pages : 12 %
- **Emplacement préférentiel** : + 15 %
- **Dégressifs d'insertions** :
- - 2 à 4 insertions : 3 %
- - 5 à 7 insertions : 6 %
- - 8 à 10 insertions : 9 %
- **Règlement** : 30 jours, à l'ordre de :
- ESI, 9 rue de Berri - 75008 Paris.
- **Conditions de vente sur demande.**

## VOTRE CONTACT

**Emmanuelle Hammaoui**, chef de publicité  
9, rue de Berri - 75008 Paris - France  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41 - Email : ehammaoui@fntp.fr



1

© PHOTOTHÈQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

# HÔTEL DIEU DE MARSEILLE RÉHABILITATION EN HÔTEL 5★

AUTEURS : ANTHONY BÉCHU, ARCHITECTE, AGENCE D'ARCHITECTURE ANTHONY BÉCHU -  
FRANÇOIS GARNIER, CHEF DE PROJETS, EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

**L'HÔTEL DIEU DE MARSEILLE, ANCIEN HÔPITAL FONDÉ AU XII<sup>e</sup> SIÈCLE, INSCRIT À L'INVENTAIRE SUPPLÉMENTAIRE DES MONUMENTS HISTORIQUES, A FAIT L'OBJET D'UNE RÉHABILITATION ET D'UNE TRANSFORMATION EN HÔTEL 5 ÉTOILES. DANS LE RESPECT D'UNE CERTIFICATION HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE, IL AURA FALLU PAS MOINS DE 3 ANNÉES D'ÉTUDES ET DE DIAGNOSTICS PUIS 3 ANNÉES DE TRAVAUX, EN SUIVANT DES PROTOCOLES D'INTERVENTION SPÉCIFIQUES TENANT COMPTE DES DIFFÉRENTES CONTRAINTES, POUR RÉALISER UN MAGNIFIQUE HÔTEL DE LUXE.**

Fondé au XII<sup>e</sup> siècle, l'Hôtel Dieu de Marseille était un ensemble de maisons étroites communicantes qui accueillait les indigents, les malades et les enfants abandonnés.

Cet édifice, inscrit à l'inventaire supplémentaire des Monuments Historiques pour ses façades principales, ses galeries extérieures, ses deux grands escaliers intérieurs et ses toitures fait

partie du patrimoine architectural et urbain de Marseille.

Le palace, situé au cœur du quartier du Panier a été aménagé dans le bâtiment construit au XVIII<sup>e</sup> siècle et dans une extension.

Son aboutissement permet ainsi à la Ville de se positionner comme une métropole euro-méditerranéenne. Réparti sur 8 niveaux, le bâtiment compte 180 chambres, 13 suites,

1 - Hôtel Dieu.

1 - Hôtel-Dieu  
(general hospital).

1 suite présidentielle de 157 m<sup>2</sup> ainsi qu'un centre de conférences composé d'une salle double de 400 m<sup>2</sup> et de 5 salles de réunions, une brasserie, un restaurant gastronomique, un lounge

bar, une piscine intérieure, une salle de fitness, un ensemble spa (spa/hammam/sauna/salles de massage) et un parking enterré de 57 places (figures 2 et 3).

La volonté des architectes est de conserver l'aspect structurel ancien du bâtiment, seule la décoration de l'hôtel s'attachera à donner une certaine modernité tout en marquant bien les textures anciennes.



2



3

© PHOTO THÉQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

© PHOTO THÉQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

Les prescriptions architecturales et techniques ont été établies dans le respect des standards du futur exploitant Intercontinental et dans une démarche Haute Qualité Environnementale.

L'hôtel, implanté au cœur de la ville, est adossé au plus vieux quartier de Marseille, Le Panier, sur un terrain à forte déclivité, ce qui lui assure une vue imprenable sur le Vieux Port et sur la basilique Notre Dame de La Garde.

**2- Espace culturel.**  
**3- Lounge bar.**

**2- Cultural space.**  
**3- Lounge bar.**

Le bâtiment est prévu pour accueillir des congrès et répondre aux besoins d'une clientèle haut de gamme avec les retombées économiques qui en découleront pour Marseille.

Le bâtiment a connu au fil des siècles des travaux d'entretien, de réparation et de restauration voire de reconstruction et comporte donc une multitude de structures différentes : plancher béton, hourdis brique, plancher bois, plancher

bois renforcé, plancher mixte. Il a donc fallu commencer par identifier les différentes strates de sa construction et de ses transformations en remontant jusqu'aux plans de la ville grecque. C'est cette lecture de l'objet qui a été la garante de sa stabilité pendant les travaux. L'analyse de l'équipe de conception a permis de montrer aux archéologues et à la municipalité que le projet d'hôtel respectait profondément l'histoire du bâtiment en intégrant toutes les caractéristiques de sa morphologie (figure 4).

En complément du projet de réhabilitation de l'Hôtel Dieu, un programme de 85 logements sur la même parcelle a été réalisé ainsi qu'un ouvrage d'art type pont visant à désenclaver la partie nord. Cet ouvrage d'art a, notamment, pour objectif de permettre aux habitants du quartier du Panier d'accéder plus facilement au Vieux Port.

## DESCRIPTION ET HISTORIQUE DU BÂTIMENT EXISTANT

### ORIGINE ET HISTOIRE DU BÂTIMENT

L'Hôtel Dieu a été fondé en 1188 par la Confrérie du Saint-Esprit sous le titre d'Hôpital du Saint Esprit. Devenu insalubre et trop petit malgré les agrandissements successifs effectués au XVII<sup>e</sup> siècle, une nouvelle construction est envisagée et les travaux commencent en 1753. Le vaste projet de l'intendant des bâtiments du Roi Jacques Hardouin Mansart de Sagonne n'est réalisé qu'en partie. Un siècle plus tard, seul le corps central de l'hôpital est terminé. Ce projet, qui ne comportait que de petits escaliers dans la partie déjà réalisée, est enrichi par l'architecte Esprit-Joseph Brun en 1781-82 avec la création des grands escaliers de pierre accédant aux étages.

En 1860, devant la nécessité de disposer d'un hôpital fonctionnel, l'architecte Félix Blanchet en propose une restructuration complète. Le bâtiment de Mansart sera en partie conservé, en partie démolit et en partie prolongé pour constituer un ensemble cohérent (figure 5).

Successor de Blanchet, l'architecte Nolau édifie les deux ailes sud du bâtiment hospitalier et transforme les mansardes du dernier niveau du corps principal. Démoli en 1861, le grand escalier ouest en pierre de taille de Beaucaire est reconstruit à l'identique (figure 6) et, simultanément, la partie sud est réaménagée selon les plans de l'architecte.

L'inauguration de l'ensemble des nouveaux bâtiments terminés en 1865, avec trois étages sur rez de-chaussée, aura lieu le 15 novembre 1866 par le maire Théodore Bernex.

#### ZONES INSCRITES ET TRAVAUX À RÉALISER SUR CES ZONES

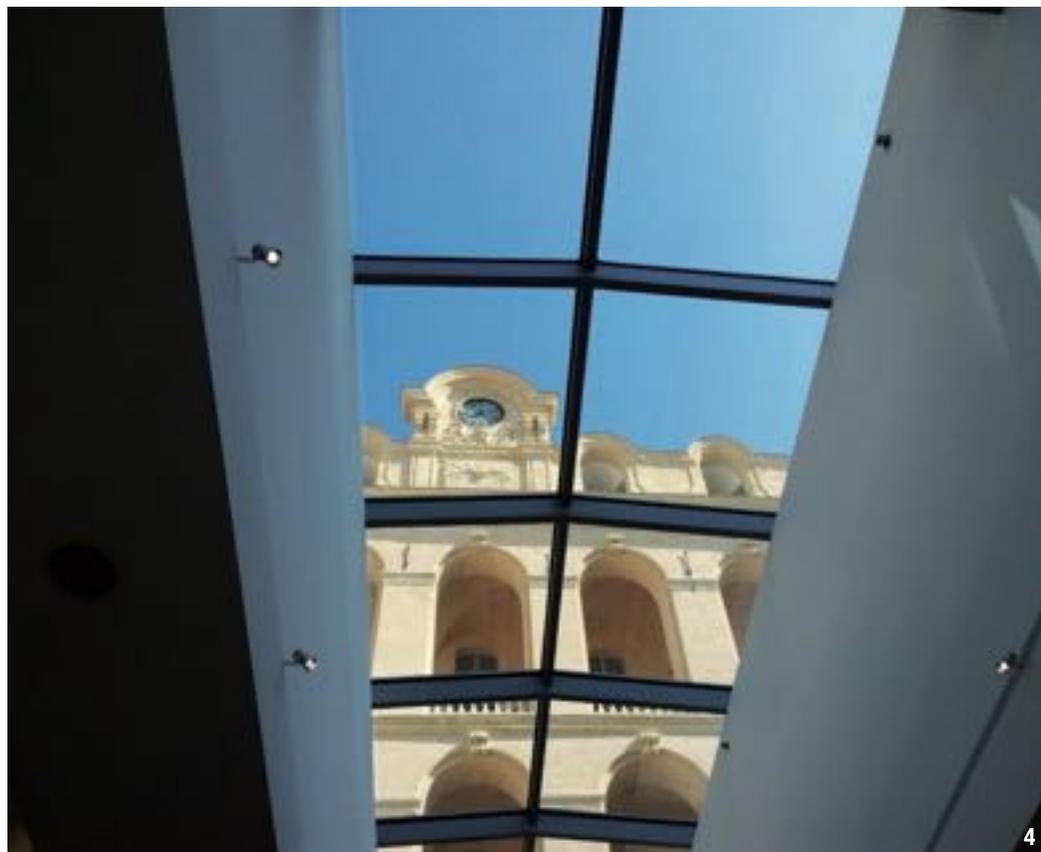
Un tel monument nécessitait, avant toute intervention, que les architectes mènent une étude historique approfondie. Fortes de cette étude, les agences A. Béchu, mandataire, et Tangram retissent le lien avec la ville rompu depuis que l'hôpital avait fermé son territoire. La rue de la Roquette, supprimée lors du percement de la rue Méry et la construction des immeubles la bordant est restituée ; elle permet de relier la place Bargemon à la rue des Belles Écuelles et rend le quartier du Panier de nouveau accessible depuis le Vieux-Port.

Un ensemble de logements dans la morphologie et la typologie des bâtiments alentour vient s'installer le long de ces deux rues et assure, par ses textures d'enduits colorés, le lien indispensable entre ce vieux quartier historique de Marseille et la grande place rénovée. Derrière le bâtiment et en vis-à-vis des nouveaux logements, l'aile décentrée se retourne en patio et se raccorde au bâtiment le long de la montée du Saint-Esprit.

Les deux grands escaliers de l'axe dessiné par l'architecte Franck Hamoutène cinq ans plus tôt lors de l'extension de l'Hôtel de Ville (Équerre d'argent 2006) sont prolongés par un escalier jardiné raccordant l'histoire et les nouveaux aménagements urbains. Ainsi restitué, l'axe central du bâtiment ancien devient la voie d'accès à l'hôtel libérant au pied la terrasse et cette vaste esplanade qui accueille l'entrée de l'hôtel et son parvis.

Grâce à l'analyse historique, les architectes ont pu définir les parties classées à préserver et à restaurer. Avec l'Architecte des Bâtiments de France Gilles Bouillon, l'agence A. Béchu a mis en place une méthode de restauration des façades, des toitures et des parties protégées. Ils ont mené ensemble des phases alternatives d'étalement indispensables à ce type de restauration pour protéger le bâtiment et ont retrouvé l'origine et la provenance de toutes les pierres de façades et du grand escalier.

L'optimisation de la conception énergétique et la prise en compte des exigences de haute qualité environnementale ont guidé la conception archi-



4

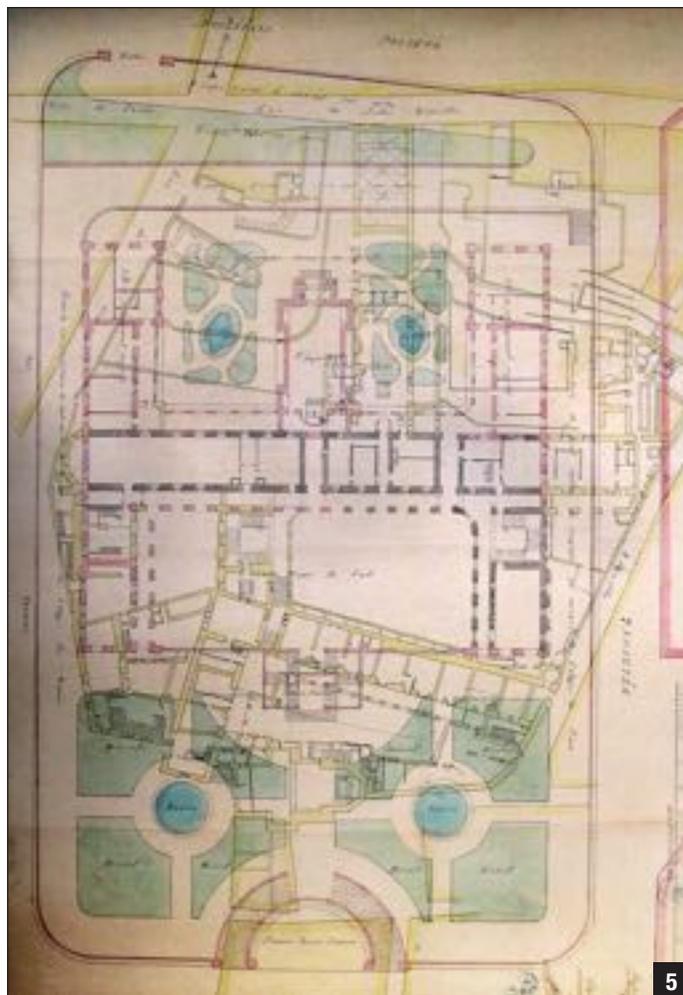
© PHOTO THÉO EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

**4- Allier l'ancien avec le moderne.**

**5- Plan de 1861 de Felix Blanchet. Ce plan montre en rouge les parties à construire, en jaune celles à démolir, en noir celles existantes, dont notamment les constructions du XV<sup>e</sup> siècle.**

**4- Combining the old and the modern.**

**5- 1861 drawing by Felix Blanchet. This drawing shows in red the parts to be built, in yellow those to be demolished, and in black the existing parts, including, in particular, 15th century constructions.**



5



6

© PHOTOTHÈQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

tecurale du projet tant dans le respect du patrimoine que dans le choix des matériaux et la valorisation du bâtiment. L'hôtel a obtenu la certification NF bâtiments tertiaires démarche HQE.

Les architectes et le Bureau d'Études ont ainsi défini un cadre permettant d'intégrer les exigences de haute qualité environnementale liées à la construction et au fonctionnement du nouvel InterContinental.

L'hôtel vient se glisser dans les espaces de l'Hôtel Dieu restauré et valorisé de sorte que la lecture de l'histoire devienne le paysage intérieur et l'architecture une découverte permanente.

### FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES

Une mission visant à inventorier et déterminer les traces du passé a été menée par l'Institut National de Recherches Archéologiques Préventives en préalable du démarrage des travaux. Ces recherches ont permis de mettre à nu de nombreux objets et vestiges datant pour certains du néolithique (figure 8).

### CONTRAINTES STRUCTURELLES DU PROJET ET CONSÉQUENCES

Avant de définir les travaux et méthodologies à mettre en œuvre et compte tenu des remaniements continus des

**6- Escaliers monumentaux inscrits à l'ISMH.**

**7- Un compagnon œuvrant à l'atelier de taille de pierre sur site.**

**6- Monumental stairways registered on the supplementary list of Historical Monuments.**

**7- A craftsman working in the stone cutting workshop on site.**

bâtiments, il a été nécessaire de faire un état le plus exhaustif et le plus complet du bâtiment. C'est pourquoi, en complément des sondages réglementaires sur les pollutions du site (amiante, plomb, parasite, géotechniques, etc.), des campagnes de sondages sur les structures et sur les fondations ont été menées.

Plus de 200 investigations ont été effectuées pour identifier les structures porteuses du bâtiment puis, pour en déterminer la composition, les caractéristiques géométriques, leur résistance au feu, leur capacité portante et les

sujétions à prendre en compte pour leur modification éventuelle.

Ces sondages ont permis d'appréhender au mieux les travaux à réaliser et d'en minimiser les risques.

### STRUCTURE EXISTANTE DU BÂTIMENT CONSERVÉ

#### Fondations existantes

Les assises des fondations existantes ont été découvertes à des niveaux assez proches de ceux des niveaux des planchers bas (entre 0,30 m et 2,30 m de profondeur).

Dans la plupart des cas, les fondations des murs épais en pierre de taille ne présentent aucun débord.

Les murs sont descendus jusqu'au substratum sans modification de leur géométrie.

#### Planchers existants

Les niveaux d'origine du bâtiment sont définis par les altimétries des coursives extérieures qui sont inscrites et sont espacées d'environ 6 m.

Les planchers sont de diverses natures suivant les zones et les périodes durant lesquelles ils ont été construits.

Les types de planchers suivants ont notamment été reconnus :

→ Planchers hourdis appuyés par l'intermédiaire des poutres et poutrelles en béton armé sur des poteaux en béton armé ;

© PHOTOTHÈQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE



7

- Plancher hourdis avec une structure en bois ;
- Plancher en bois appuyé sur des poutres de bois renforcées par des poutres treillis métalliques, (figure 9) ;
- Poutres et poutrelles métalliques support d'un plancher hourdis en briquettes creuses ;
- Planchers en bois, (figure 10) ;
- Conservation de voûtes à certains emplacements, traversées par les poteaux de la superstructure qui descendent jusqu'aux fondations ;
- Plancher constitué de voûtes en plein cintre maçonnées qui seront conservées.

Ces différentes constitutions ont notamment été découvertes sur des niveaux différents sur une même zone, montrant l'évolution et la restructuration en fonction des besoins de l'époque.

**Les murs existants**

Les épaisseurs des murs sont variables sur la hauteur du bâtiment. Elles sont d'environ 0,6 m au dernier étage, 1 m à 1,20 m aux niveaux intermédiaires et de 1 m à 2 m au rez-de-chaussée. La nature des murs de l'hôtel Dieu est très hétérogène :

- En pierre de taille,
- En pierre de type « poudingue »,
- En briques,
- En agglomérés de béton.

Les murs conservés dans le cadre du projet sont essentiellement en pierre de



© PHOTOThÉQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

type « poudingue » au rez-de-chaussée, en pierre rose et en pierre de taille maçonnée dans les étages et sur les façades.

Les carottages ont mis en évidence des constitutions de murs épais très différentes les unes des autres avec par endroit la présence d'ancien béton et des valeurs de résistance à la compression très hétérogènes et faibles, de l'ordre de 10 MPa.

**TRAVAUX SUR LA STRUCTURE**

La définition de la nouvelle structure a fait l'objet d'une étude spécifique visant, notamment, à prendre en comp-

**8- Fouilles archéologiques sur jardin sud Hôtel Dieu.**

**9- Planchers existants.**

**10- Planchers existants.**

**8- Archaeological excavations in the southern garden, Hôtel Dieu.**

**9- Existing floors.**

**10- Existing floors.**

te l'ensemble des contraintes du projet et de l'existant :

- Éviter de modifier les descentes de charge sur les parties conservées ;
- Assurer une épaisseur faible de sa composition en veillant à maintenir les hauteurs sous plafonds exigées par les contraintes d'un projet hôtelier de luxe, mais en assurant une masse suffisante pour garantir les performances acoustiques ;
- Intégrer les nouveaux porteurs selon les plans d'aménagement, en s'adaptant à l'espace disponible et en répondant aux contraintes dimensionnelles des locaux ;
- Assurer un coût cohérent de construction de l'ouvrage ;
- Garantir une mise en œuvre aisée compte tenu des conditions d'accès au site difficiles et de la manutention difficile dans le bâtiment en raison de l'impossibilité d'intervenir depuis la toiture. Cela a permis de définir les principes structurels suivants :

**Structures neuves dans l'existant**

Les investigations géotechniques ont mis en évidence sous les terrains de couverture le substratum stampien, qui prend en grande partie la forme de marne très compacte avec circulation d'eau.

De ce fait, les fondations des nouveaux porteurs sont de type semelles



© PHOTOThÉQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE



11



12



13



14

superficielles ancrées dans les marnes compactes (y compris pour le bâtiment existant) avec des nécessités d'approfondissement des fondations existantes pour permettre de créer un plancher bas à un niveau inférieur de celui existant.

Les planchers neufs dans les niveaux d'hébergement sont réalisés en plancher collaborant de 0,16 m d'épaisseur posé sur une structure poteaux/poutres métalliques.

Les structures porteuses ont été intégrées dans les cloisons en placoplâtre afin de permettre de gagner de l'espace et d'optimiser la distribution.

Cette disposition a nécessité la mise en place d'une étude spécifique lors de la conception et de l'exécution, visant, notamment, à mettre en œuvre des Profilés Reconstitués Soudés pour réduire les dimensions des éléments structurels.

Au niveau R+1 où la hauteur sous dalle était la plus importante, ont été mis en œuvre des Profilés Reconstitués Soudés de 1,20 m de hauteur sur 12 m de long pour permettre de reprendre les charges des niveaux supérieurs et donner de la flexibilité dans l'aménagement des espaces nobles.

**11- Réalisation de la nouvelle structure avec conservation de l'ancienne avant sa suppression. Les poteaux existants seront moisés.**

**12- Projection de béton sur paroi et démarrage des fondations du bâtiment neuf.**

**13- Démolition d'un bâtiment à la pince de démolition.**

**14- Démolition du parvis.**

**11- Construction of the new structure while keeping the old one before its removal. The existing columns will be sandwiched.**

**12- Shotcreting on wall and start of foundations of the new building.**

**13- Demolition of a building by demolition grab.**

**14- Demolition of the square.**

### Conservation de structures existantes

En complément et majoritairement sur les ailes est et ouest les hauteurs sous faux plafonds et entre dalles importantes ont permis de conserver les planchers existants grâce à la mise en place des renforcements dans les plenums. Les planchers et structures porteuses ont été renforcés, notamment, selon les cas, par la mise en œuvre de :

- Dalles de compression dont l'épaisseur était contrainte par celle du remplissage existant.

- Poutres métalliques en acier S235 entre poutre existante dans les zones où le plancher est de type hourdis sur poutres et poutrelles métalliques. Ces poutres permettent de « soulager » les poutres métalliques existantes. Elles sont appuyées sur les façades intérieures grâce à des empochements. La reprise des réactions des poutres métalliques est assurée par des sommiers de répartition en béton armé.

- Poutres métalliques en acier S235 qui viendront moisser les poutres principales et secondaires en bois. Elles sont toujours appuyées sur les façades intérieures grâce à des empochements.
- Profilés métalliques du commerce

de type UPN qui viennent moisser les poutres principales en béton armé, (figure 11).

### Structure de l'extension

L'extension au nord permet d'agrandir la surface du projet d'environ 7 000 m<sup>2</sup>. Elle est implantée à l'arrière du bâtiment existant et permet d'accueillir, dans les combles des locaux techniques, dans les étages les chambres de l'hôtel, et au sous-sol le parking.

Cette extension a été réalisée entièrement en béton armé avec des voiles porteurs.

Le terrain présentant une forte déclivité en versant sud (le terrain naturel varie entre 34 NGF au nord et 26 NGF au sud), cette extension a nécessité la réalisation d'ouvrages de soutènement importants.

L'accès à l'arrière du site étant très difficile et les rues étroites, le type de paroi retenu pour l'opération a été celui de la paroi micro berlinoise.

La hauteur du soutènement étant par endroit supérieure à 14 mètres, la mise en place de tirants et/ou butons provisoires a été indispensable.

Les micropieux ont été réalisés depuis la rue jusque sous le fond de fouille. ▷

Le voile en béton armé a été mis en œuvre par projection au fur et à mesure de l'avancement des travaux de terrassement (figure 12).

### MÉTHODOLOGIE D'INTERVENTION

Après les travaux de curage, désamiantage, déplombage et dépollution, les travaux ont pu démarrer par :

→ La démolition des bâtiments extérieurs non conservés avec sciage préalable pour les désolidariser des éléments conservés et éviter toute transmission de vibration (figures 13 & 14) ;

→ La réalisation de l'ouvrage d'art permettant de désenclaver la partie nord ainsi que d'un passage enterré traversant le bâtiment principal ;

→ La réalisation des parois micro berlinoises au nord du site et la réalisation des terrassements généraux ;

→ La création des extensions ;

→ La réalisation des travaux dans les bâtiments existants.

Près de 16 500 m<sup>2</sup> de plancher seront démolis et reconstruits selon une méthodologie par passes alternées et un phasage spécifiquement élaborés en concertation avec les Architectes des Bâtiments de France afin de garantir à la fois la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage et la pérennité des éléments inscrits. La méthodologie visait à conserver les éléments de contreventement pour maintenir la stabilité des murs de façades. Pour ce faire, une zone de plancher ne devait être démolie qu'après que les planchers neufs étaient créés.



15 © PHOTO THÉQUE EGIS BÂTIMENTS MÉDITERRANÉE

Les ouvertures des façades conservées ont été étrépillonnées durant les travaux.

Des étaiments étaient mis en œuvre au droit des baies à créer et des voûtes, pour une démolition partielle ou une reprise des planchers partiellement démolis.

En fonction de la zone et des travaux de renforcement ou de démolition/reconstruction, la méthodologie employée était différente. Il y avait 12 procédures différentes correspondant chacune à une zone du bâtiment.

La méthodologie classique peut être résumée selon le principe ci-dessous :

→ Etrépillonnage des façades ;

→ Démolition du plancher bas du rez-de-chaussée ;

→ Réalisation des reprises en sous œuvre des façades et/ou des murs conservés ;

**15- Réalisation des reprises en sous-œuvre.**

**16- Réalisation d'un plancher avec PRS et conservation des porteurs existants.**

**17- Réalisation de la structure et d'un plancher.**

**15- Underpinning work.**

**16- Execution of a floor with built-up girder, keeping the existing loadbearers.**

**17- Execution of the structure and a floor.**

→ Terrassements du rez-de-chaussée jusqu'au niveau de plateforme du projet ;

→ Réalisation des fondations des nouveaux porteurs verticaux ;

→ Démolitions des planchers aux niveaux intermédiaires (autres que les planchers dits historiques correspondant aux altimétries des coursives extérieures) avec conservation des porteurs verticaux. Au préalable, une vérification au flambement des poteaux a été effectuée (création d'une double hauteur de portée). La mise en place de contreventement complémentaire ou la conservation de certains éléments horizontaux s'est avérée nécessaire sur certaines zones ;

→ Construction des porteurs verticaux et des planchers intermédiaires démolis en partant du rez-de-chaussée ;

→ Mise en œuvre de croix de Saint André (palées de stabilité verticales) entre les poteaux au fur et à mesure de l'avancement ;

→ Démolition du dernier plancher haut historique et reconstruction (plancher du R+7) ;

→ Démolition et reconstruction du plancher historique intermédiaire haut (plancher du R+5) ;

→ Démolition et reconstruction du plancher historique intermédiaire bas (plancher du R+3) ;

→ Démolition et reconstruction du plancher historique bas (plancher du R+1) ;

→ Dépose des étrépillonnages des façades ;

→ Démarrage des corps d'états techniques et de second œuvre.



16



17

Les reprises en sous-œuvre nécessaires pour les passages de gaines seront réalisées par des cadres en béton armé et nécessiteront des interventions en deux passes par demi-épaisseur sur les murs d'épaisseur importante (figure 15).

### CONTRAINTES DU PARTI TECHNIQUE DU PROJET ET CONSÉQUENCES

Les prestations des corps d'états techniques n'étaient pas spécifiquement complexes. Elles étaient même plutôt classiques (figure 18).

Leur difficulté résidait dans l'intégration de ces équipements et dans la gestion de la synthèse pour garantir les contraintes du projet par rapport à des éléments existants ainsi que la prise en compte des éléments inscrits.

Compte tenu de l'espace disponible, des hauteurs de faux plafonds nécessaires et des longueurs de distribution

pour l'ensemble des besoins techniques, le choix a été fait de multiplier les locaux techniques et de les répartir sur l'ensemble du projet pour réduire les distances entre la production et les

**18- Équipement technique d'une suite (Chauffage / Ventilation / Climatisation, sprinkler, alimentation éclairage et détection incendie).**

**18- Technical equipment of a suite (heating / ventilation / air conditioning / sprinkler / power supply / lighting / fire detection).**

terminaux et minimiser l'impact sur les emprises dans les plenums ou dans les gaines techniques.

Malgré tout, les locaux techniques particulièrement bruyants (groupes froids, groupes électrogènes, CTA, etc.) ont été écartés des zones nobles pour diminuer le risque de nuisance acoustique.

Le traitement du désenfumage a nécessité la mise en place de locaux extérieurs au niveau des combles avec la mise en place de grilles spécifiques dites « ciels de toits » sur la couverture. La mise en œuvre de tels ouvrages a fait

l'objet de prototypes soumis à la validation des Architectes des Bâtiments de France.

### CONCLUSION

La réhabilitation de l'Hôtel Dieu à Marseille s'inscrit dans la catégorie des projets complexes par la nécessité de faire du « sur mesure » en mettant en œuvre des techniques et des méthodologies spécifiquement adaptées au bâtiment existant dans un environnement urbain très contraint et aux objectifs du projet. □



### PRINCIPALES QUANTITÉS

- 23 300 m<sup>2</sup> sur 8 niveaux
- 194 chambres de 32 à 157 m<sup>2</sup>
- 1 restaurant gastronomique de 100 m<sup>2</sup>, 1 cuisine de 1 000 m<sup>2</sup>, 1 bar, 1 brasserie, 1 zone spa-hammam de 1 100 m<sup>2</sup>, 1 piscine, 1 salle de fitness de 130 m<sup>2</sup>, 2 salles de conférences de 200 m<sup>2</sup>, 1 espace culturel de 110 m<sup>2</sup>, 5 salles de réunions modulables de 40 m<sup>2</sup>, un parking enterré de 57 places.
- Planchers intérieurs démolis : 16 500 m<sup>2</sup>
- Planchers neufs : 28 500 m<sup>2</sup>
- Surface de plancher bâtiments démolis : 11 000 m<sup>2</sup>
- Parois micro-berlinoise : 1 900 m<sup>2</sup> (de 5 m et 14 m de hauteur)

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**INVESTISSEUR :** Axa

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Altarea Cogedim

**MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION ET BUREAU D'ÉTUDES CONCEPTION :** Egis Bâtiments Méditerranée

**ARCHITECTES :** Béchu / Tangram

**DÉCORATEURS :** Agence Nuel / Tangram / Volume ABC

**ENTREPRISES :**

• **Entreprise Générale :** Eiffage Construction Provence

• **Entreprise de démolition :** Stpr

• **Travaux des lots techniques :** Eiffage Thermie / Eiffage Énergie

• **Travaux de façades :** Vivian

### ABSTRACT

#### HÔTEL-DIEU DE MARSEILLE (GENERAL HOSPITAL): RENOVATION AS A 5-STAR HOTEL

ANTHONY BÉCHU, ARCHITECTURE ANTHONY BÉCHU - FRANÇOIS GARNIER, EGIS

The "Hôtel-Dieu" of Marseille, a former general hospital founded in the 12th century, registered on the supplementary list of Historical Monuments, has undergone renovation and conversion into a 5-star hotel. Three years of studies and diagnosis were needed, followed by three years of work to construct a magnificent luxury hotel with HQE (High Quality of Environment) certification. Archaeological excavations, sloping land, an ancient urban environment, a complex existing structure resulting from several conversion and extension operations over the centuries with heterogeneous materials and processes, conservation of the listed monument parts: there was no lack of difficulties on which the architects and builders exercised their talents to construct 28,500 m<sup>2</sup> of new floor space. □

#### HOTEL DIEU DE MARSELLA: REHABILITACIÓN EN HOTEL 5\*

ANTHONY BÉCHU, ARCHITECTURE ANTHONY BÉCHU - FRANÇOIS GARNIER, EGIS

El Hotel Dieu de Marsella, antiguo hospital fundado en el siglo XII, inscrito en el inventario suplementario de los Monumentos Históricos, se ha rehabilitado y transformado en hotel 5\*. Se necesitaron 3 años de estudios y diagnósticos y, después, 3 años de obras para realizar un magnífico hotel de lujo certificado Alta Calidad Medioambiental. Excavaciones arqueológicas, terreno en pendiente, antiguo medio urbano, estructura existente compleja resultante de varias transformaciones y ampliaciones a lo largo de los siglos con materiales y procedimientos heterogéneos y conservación de las partes clasificadas: las dificultades eran múltiples y los arquitectos y constructores tuvieron que aportar todo su talento para realizar 28.500 m<sup>2</sup> de suelos nuevos. □

# RÉFECTION INNOVANTE POUR LE PONT-RAIL DE SURY-LE-COMTAL

AUTEURS : GUILLAUME PERRIN, PRÉSIDENT, BATTAGLINO SAS - SYLVAIN GIUSTI, DIRECTEUR DE TRAVAUX, BATTAGLINO SAS

AU CŒUR DE LA PLAINE DU FOREZ, LE PONT-RAIL DE SURY-LE-COMTAL, QUI ASSURE LA LIAISON FERROVIAIRE ENTRE CLERMONT-FERRAND ET SAINT-JUST, A FAIT L'OBJET DE TRAVAUX DE RÉNOVATION. À CETTE OCCASION, DEUX MÉTHODES DE DÉCAPAGE INNOVANTES ET ÉCO-DURABLES ONT ÉTÉ MISES EN PLACE : LE PROCÉDÉ D'INDUCTION ET LE NETTOYAGE CRYOGÉNIQUE. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE.



© BATTAGLINO SAS

## CONTEXTE

### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE D'ART

Mis en service en 1927, le pont-rail de Sury-le-Comtal permet de franchir le cours d'eau La Mare, un des affluents de la Loire. Il s'agit d'un pont à poutres sous voies à âmes pleines composé

d'une travée unique d'une portée de 27,53 m et d'un gabarit minimal de 4,25 m au-dessus du chemin (figures 1 & 2).

La dernière mise en peinture de l'ouvrage remonte à 1983, avec application d'une peinture glycérophthalique sur les faces extérieures du tablier,

**1- Vue de dessous du pont-rail existant.**

**1- Bottom view of the existing rail bridge.**

et d'une peinture bitumineuse à l'intérieur.

Par la suite, des travaux d'étanchéité ont été exécutés en 2010 au niveau de la partie supérieure du pont, lesquels ont nécessité la dépose de la voie afin de mettre en œuvre un complexe d'étanchéité à base de résine.



2



3

**2- Vue du pont-rail depuis la voie.**

**3- Vue de l'ossature métallique avant intervention.**

**2- View of the rail bridge from the track.**

**3- View of the steel frame before the work.**

dans un bon état général. La présence de corrosion, au niveau des zones ayant souffert d'un manque d'étanchéité, a justifié la mise en œuvre d'une réfection des peintures (figure 3).

D'autre part, l'ossature métallique du pont-rail était recouverte d'une couche d'oxyde discontinue nommée calamine. Ce dépôt, en tant qu'entité différente de l'acier, est physiquement instable et constitue une barrière protectrice seulement s'il recouvre l'intégralité de la surface métallique. À l'inverse, dès lors que la couche n'est pas continue, la condensation peut attaquer l'acier et engendrer sa corrosion. La nature instable de la calamine pouvant conduire à des décollements et à la rupture des revêtements, il était préférable de la retirer.

### CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Certaines contraintes sont inhérentes à la nature même du pont-rail. En effet, l'intervention des entreprises ne doit pas interférer avec l'activité ferroviaire de la ligne Clermont - Saint-Just.

Par conséquent, des dispositions ont été prises afin de garantir simultanément la sécurité des équipes d'intervention et la sécurité des agents pouvant potentiellement circuler aux abords immédiats des zones de travaux.

Dans ce cadre, deux sources de dangers ont été identifiées : d'une part, le passage des trains empruntant cette ligne de chemin de fer et, d'autre part, la composition des anciennes peintures. Dans le premier cas, il a été admis que la circulation ferroviaire génère une zone dangereuse étendue sur 1,50 m de part et d'autre de la voie ferrée. Ainsi, des précautions relatives à la mise en place d'une signalétique et à l'utilisation du matériel à proximité des voies ont été définies.

Quant à la deuxième source de dan-

ger, la présence de plomb, dans les peintures situées sur les faces visibles des poutres soutenant l'ouvrage, et la présence de peintures amiantées, couvrant 280 m<sup>2</sup> de surface au niveau des faces intérieures des quatre longerons, ont été détectées grâce à des analyses réalisées sur des échantillons représentatifs. Les mesures réglementaires ont alors été prises de façon à protéger les équipes et l'environnement (figure 4). En outre, le cadre naturel au sein duquel ont eu lieu les travaux constitue également une contrainte. Le pont-rail étant situé en surplomb d'une rivière, l'intervention ne devait générer, conformément à la loi sur l'eau, aucune pollution pouvant se disperser dans l'air, le sol ou l'eau.

### ÉTUDES PRÉALABLES IDENTIFICATION DES RISQUES ET SOLUTIONS APPORTÉES

Afin de pouvoir intervenir dans ce milieu contraint sans mettre en péril la santé des opérateurs et sans risquer de contaminer l'environnement naturel, des dispositifs de sécurité doivent être mis en place.

Face à un degré d'empoussièrement de niveau 1, il est impératif de réaliser le retrait dans un espace confiné. Après chaque intervention dans cette zone, les opérateurs doivent passer par un sas de décontamination. Naturellement, un ensemble d'Équipements de Protection Individuelle est également mis à disposition des opérateurs.

D'autre part, un extracteur à filtration absolue dédié au traitement de l'air, a été installé. Dans un souci de confort, il a été décidé de renouveler six fois le volume d'air, au lieu des quatre fois réglementaires.

Enfin, concernant les dangers liés à l'utilisation d'un échafaudage, le choix du décapage par induction a supprimé les risques de surcharge compte tenu du fait que cette technique n'engendre qu'une faible quantité de déchets, comme nous pourrions le voir par la suite.

### RÉSULTAT ESCOMPTÉ

#### Décapage

La préparation de surface joue un rôle majeur dans la détermination de la valeur protectrice d'un revêtement. Opérée dans les règles de l'art, elle garantit la bonne tenue du système anticorrosion ainsi qu'une réelle efficacité de protection. En effet, les meilleures peintures peuvent donner de bien piètres résultats si elles sont appliquées sur un support mal préparé. ▷

### NÉCESSITÉ DES TRAVAUX

L'ossature métallique de l'ouvrage ainsi que les garde-corps nécessitaient une rénovation des peintures compte tenu de leur état. De plus, il fallait procéder à un calfeutrage des foisonnements afin de garantir l'étanchéité de ces derniers. L'aspect esthétique n'a pas eu un rôle

déterminant dans le fait de procéder à la réfection de l'ancienne peinture. C'est bien la présence d'oxydation qui a rendu essentielle la mise en œuvre de cet entretien. En effet, on estime qu'il faut procéder à la maintenance de ce type de structure métallique tous les 25 à 30 ans afin de conserver l'ouvrage

L'ossature métallique du pont exige donc un décapage par induction suivi d'un brossage mécanique au degré de soin ST3. Quant aux garde-corps, le degré de soin ST2 doit être obtenu. En présence du maître d'ouvrage, un contrôle est alors effectué au terme du décapage, afin d'apprécier et valider la qualité de la préparation de surface. Enfin, un ultime contrôle préalable à la mise en peinture sera opéré une fois le dépoussiérage terminé.

#### Mise en peinture

Avant de procéder à l'application d'une peinture, diverses mesures doivent être effectuées afin de répondre aux conditions d'application rigoureuses : relevé du taux d'hygrométrie, relevé de la température ambiante et de celle du support, détermination du point de rosée en deçà duquel se produit le phénomène de condensation. Au cours de la phase d'exécution, deux contrôles des épaisseurs humides sont ainsi réalisés ; un premier au niveau de la couche primaire puis un second au niveau de la couche de finition.

Quant à l'ossature, une fois le degré de soin ST3 atteint, il s'agit d'appliquer au pistolet AIRLESS un primaire époxydique à haut extrait sec sur 180 µm d'épaisseur, puis, sur 80 µm, une finition à base de résine acrylique réticulée par un isocyanate aliphatique, soit une épaisseur sèche totale de 260 µm.

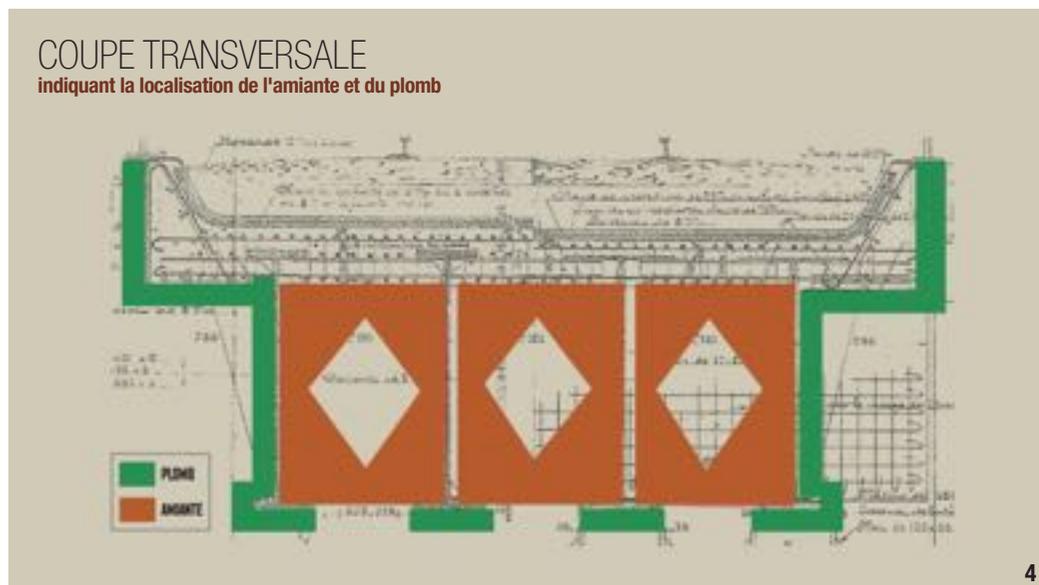
Concernant les garde-corps, une fois le degré de soin ST2 atteint, il faut appliquer, à deux reprises et sur 80 µm une peinture glycérophtalique monocouche, soit un total de 160 µm d'épaisseur sèche.

Il faut également procéder au masticage des entrefers en utilisant un mastic époxydique élastique.

Plusieurs éléments font l'objet d'une attention toute particulière. Ainsi, il faut constamment examiner l'aspect du film de peinture, son homogénéité et l'évolution de son épaisseur.

#### DÉROULEMENT DU CHANTIER

La durée du chantier est de 90 jours, dont 30 jours pour la phase de préparation de chantier, puis 60 jours consacrés à l'exécution des travaux. Un minimum de 10 contrôles pour le plomb et de 7 contrôles pour l'amiante sont effectués en amont, en cours, et en aval de la période de réfection des peintures afin de s'assurer que cette dernière n'ait eu aucune incidence ni sur la santé des opérateurs, ni sur l'environnement. La phase de retrait des anciennes peintures doit s'articuler en deux temps : premièrement le déca-



4

© BATTAGLINO SAS

page des peintures au plomb, deuxièmement celui des peintures amiantées. Enfin, il faut procéder à l'application des nouvelles peintures.

#### Phase de préparation du chantier

De façon classique, une signalétique appropriée a été mise en place afin de baliser tant les lieux d'intervention que les lieux de stockage ponctuel. D'autre part, le chemin d'accès au chantier (dit chemin de Maraîche) a été fermé au public.

La note de calculs fournie par l'entreprise Arnoldt Échafaudages, a permis de justifier la stabilité de l'échafaudage destiné aux travaux. La présence d'un ruisseau situé en contrebas a nécessité que l'ossature de l'échafaudage soit suspendue (figures 5 & 6).

#### 4- Coupe transversale indiquant la localisation de l'amiante et du plomb.

#### 5- Vue de l'échafaudage suspendu sous le pont-rail.

#### 4- Cross section showing the location of asbestos and lead.

#### 5- View of the suspended scaffolding under the rail bridge.

Afin d'assurer un niveau de sécurité optimum, la surcharge d'exploitation a été calculée en partant du principe que le décapage serait réalisé par sablage, c'est-à-dire sans prendre en compte le fait que le poids des déchets serait moindre grâce à la mise en œuvre du procédé d'induction. D'autre part, les calculs doivent tenir compte du fait que l'échafaudage est enveloppé d'un film thermo-rétractable lors de la phase de confinement, ce qui contraindrait l'ensemble de la structure à subir une forte prise au vent. Il a donc été indispensable de raidir cette dernière au moyen de contreventements. Le confinement a, comme prévu, été installé autour de l'échafaudage. Étant donné que le procédé d'induction



5

© ARNHOLDT



© ARNHOLDT  
6

a été utilisé, la phase de décapage n'a généré qu'une quantité infime de poussières. En effet, une fois décollée, la peinture a simplement été raclée au riflard. De surcroît, la zone amiantée a été isolée du reste du confinement par le biais de bâches thermoformées, dispositif garantissant une bonne étanchéité (figure 7). Avant même de commencer les travaux de réfection, un essai de convenance a été réalisé afin d'offrir au maître d'ouvrage un aperçu concret du résultat escompté.

### MISE EN ŒUVRE DES PROCÉDÉS DE DÉCAPAGE

*La technique déjà éprouvée de l'induction a été utilisée pour décapier l'ensemble de l'ouvrage. À titre plus expérimental, l'entreprise Battaglino a fait appel à la société Ecocryo afin de mesurer l'efficacité de la cryogénie sur des surfaces habituellement traitées par sablage ou grenailage.*

### PRÉPARATION DE SURFACES VIA LA MÉTHODE D'INDUCTION Matériel utilisé : matériel Plasto-color et choix d'une tête d'induction de 20 cm.

Le procédé d'induction possède des avantages indéniables.

Premièrement, il permet un décapage rapide. Il faut bien reconnaître que la projection d'abrasif décape plus efficacement que l'induction ; cependant,

**6- Vue des échafaudages depuis la rive.**

**7- Échafaudages avec confinement et sas de décontamination.**

**6- View of scaffoldings from the bank.**

**7- Scaffoldings with confinement and decontamination lock chamber.**

si l'on envisage l'induction sous un angle logistique, en termes de durée, de complexité d'installation du matériel et, a posteriori, de nettoyage des déchets, on remarque que la technique traditionnelle du sablage n'est pas aussi performante.

Deuxièmement, cette technique n'a pas créé de déchet superflu. Décollée par la chaleur puis raclée au riflard, seule la peinture restait à récupérer. Compte tenu du fait que la méthode d'induction ne consiste pas à projeter un quelconque abrasif contre les surfaces à traiter, aucune poussière n'émane du décapage ce qui constitue également un point positif.

Enfin, ce procédé fait peu de bruit comparé au sablage, au grenailage et à

la cryogénie comme on le verra ultérieurement (figure 8).

Néanmoins, la technique de l'induction a également ses limites. Par exemple, il faut bien considérer le danger de surchauffe que peut entraîner l'utilisation d'une tête d'induction. Si la tête reste un instant de trop à proximité d'une surface métallique peu épaisse, cette dernière monte en température et risque de se déformer de manière permanente. Manipuler cet appareil requiert donc une certaine adresse car il est nécessaire de trouver un compromis adéquat entre la vitesse de déplacement de la tête et sa puissance thermique. D'autre part, cette technique limite fortement les zones d'intervention. En effet, le principe physique de l'induction contraint l'opérateur à placer la tête d'induction à une distance maximale de 5 mm par rapport à la surface à traiter, ce qui devient problématique lorsqu'il s'agit de décapier des espaces exigus ou en relief (recoins, rivets). Il faut bien avoir à l'esprit qu'à Sury-le-Comtal les supports se prêtaient bien à la technique de l'induction car, malgré la présence de rivets, les surfaces à traiter étaient planes.

### ESSAI DE NETTOYAGE CRYOGÉNIQUE

Après quelques essais rapides mais concluants réalisés en atelier, le nettoyage par cryogénie a été testé en grandeur nature sur les anciennes peintures du pont-rail (figure 9).

En soi la technique consiste à pulvériser de la glace carbonique avoisinant les -80°C sur la zone à nettoyer.

La vitesse de pulvérisation alliée au choc thermique et à l'énergie libérée par la sublimation du CO<sub>2</sub>, permet de décapier efficacement des surfaces encrassées. Cependant, la technique est-elle suffisamment performante pour pouvoir procéder au décapage de peintures extérieures ?

La cryogénie a un atout commun avec l'induction : elle ne génère pas de déchet annexe. On note que, contrairement à l'induction, la méthode cryogénique fait refroidir la surface traitée. Cependant, de nombreux inconvénients demeurent pour que cette technique puisse être couramment utilisée sur un chantier de cette ampleur.

Tout d'abord, la cryogénie reste extrêmement bruyante, ce qui est un point négatif par rapport à l'induction. De plus, la projection de glace carbonique génère un nuage carbonique blanchâtre qui réduit énormément la visibilité. Sur ce point l'induction conserve l'avantage. ▷

© BATTAGLINO SAS



7

En outre, pulvériser de la glace carbonique fait augmenter le taux de gaz carbonique dans l'air ce qui, à terme, peut se révéler dangereux pour la santé des opérateurs. Le fait de renouveler six fois le volume d'air par heure a permis de parer à cet inconvénient. De plus, la projection de la glace carbonique entraîne une baisse de la température ambiante. Il est donc peu indiqué d'utiliser cette méthode sur des chantiers ayant lieu en hiver, étant donné que son principe de fonctionnement rendrait obsolètes les chauffages d'appoint. D'autre part, le nettoyage cryogénique alourdit nécessairement la logistique globale du chantier. En effet, il implique que soit géré l'approvisionnement en glace carbonique de l'appareil, qui doit être rechargé régulièrement. Cela suppose également l'installation d'un lieu de stockage réfrigéré.

Il faut enfin observer que cette méthode manque véritablement d'efficacité. En effet, il faut environ cinq minutes pour décaper une surface de la taille d'une main. Les opérateurs et les responsables de chantier n'ont pas été convaincus par ce résultat.

Particulièrement efficace dans le secteur alimentaire, le nettoyage cryogénique en est malheureusement resté à l'état d'expérience sur ce chantier mais il était tout de même très enrichissant d'essayer de s'approprier une technique innovante de décapage.

## CONCLUSION

S'il est possible aujourd'hui d'appliquer des peintures anticorrosives efficaces sur une durée d'environ 30 ans, alors qu'en 1980 la maintenance avait lieu tous les 15 ans, il faut bien prendre conscience du chemin parcouru, des progrès réalisés quant aux techniques de mise en peinture et à la qualité des produits utilisés. En effet, on a pu voir que la mise en œuvre d'un système



8



9

© BATTAGLINO SAS

**8- Décapage par induction des peintures contenant du plomb.**

**9- Test de décapage par cryogénie en atelier.**

**8- Induction stripping of paints containing lead.**

**9- Cryogenic stripping test in workshop.**

de protection requiert un savoir-faire, un suivi régulier des phases du chantier, ainsi que l'utilisation d'un matériel de qualité. Les compétences sont importantes, mais il faut faire preuve d'inventivité. L'utilisation d'un matériel de nettoyage à une activité de décapage en est la preuve. Toutefois, il faut nuancer la réussite du processus qui s'est avéré concluant lors de sa mise en œuvre en atelier mais qui n'a pas

fait l'unanimité sur le chantier de Sury-le-Comtal. Pour le moment, la cryogénie ne dispose donc pas d'arguments suffisants, notamment en terme d'efficacité, pour supplanter des techniques traditionnelles que sont le sablage et le grenailage, ou à des techniques plus modernes comme l'induction. Cependant, des méthodes semblables à la cryogénie seront sûrement amenées à se développer afin de pouvoir intervenir dans des milieux fragiles dont

les surfaces, difficiles d'accès, ne se prêtent pas à l'utilisation de l'induction (sections métalliques complexes par exemple).

On comprend donc que la filière de la peinture anticorrosion est soumise à une réglementation toujours plus exigeante et à des configurations d'intervention complexes qui engagent les entreprises à faire preuve d'adaptabilité, à se moderniser dans le but de fournir une qualité de prestation optimale. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE GÉNÉRALE : SNCF Territoire de Production Sud Est**

**ASSISTANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE/COORDONNATEUR SPS : Systra**

**ENTREPRISE : Battaglino SAS**

## PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR AMIANTE ET PLOMB : Société C.D.I.M.**

**ÉCHAFAUDAGES : Arnholdt**

**CONFINEMENT : Green Cap**

**FOURNISSEUR PEINTURE : Maestria**

**TRAITEMENT DES DÉCHETS : Buty Déchets Spéciaux**

## ABSTRACT

### INNOVATIVE REVAMPING FOR THE SURY-LE-COMTAL RAIL BRIDGE

GUILLAUME PERRIN, BATTAGLINO SAS - SYLVAIN GIUSTI, BATTAGLINO SAS

**As a logical follow-on from the waterproofing work performed in 2010, the steel frame of the Sury-le-Comtal rail bridge recently underwent renovation work. The methods used to strip the existing paintwork were based on a very innovative approach. Conventional techniques based on abrasive spraying were exceptionally abandoned in favour of new processes: induction and cryogenics. These two techniques, antagonistic from the thermal viewpoint, nevertheless have a common advantage: they generate no additional wastes. But in terms of efficiency, ease of use and logistics, do they keep their promises? □**

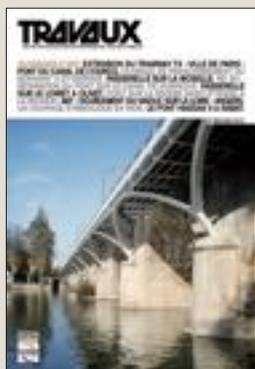
### INNOVADORA REPARACIÓN PARA EL PUENTE DE FERROCARRIL DE SURY LE COMTAL

GUILLAUME PERRIN, BATTAGLINO SAS - SYLVAIN GIUSTI, BATTAGLINO SAS

**En la lógica continuación de las obras de estanqueidad realizadas en 2010, la armadura metálica del Puente de ferrocarril de Sury le Comtal ha sido recientemente objeto de obras de restauración. Los métodos utilizados para decapar las antiguas pinturas constituyeron claramente un procedimiento innovador. Las técnicas tradicionales de proyección de abrasivo se abandonaron excepcionalmente a favor de nuevos procedimientos: la inducción y la criogenia. Antagonistas desde el punto de vista térmico, estas dos técnicas presentan, no obstante, una ventaja común: no generan residuos anexos. Pero, ¿cumplen sus promesas en términos de eficacia, facilidad de utilización y logística? □**

# COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE TRAVAUX

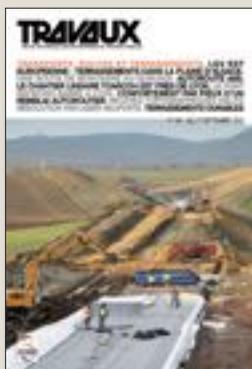
REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS



888 - OUVRAGES D'ART



889 - SOLS & FONDATIONS



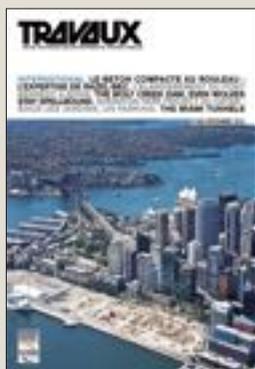
890 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



891 - PATRIMOINE & RÉHABILITATION



892 - LGV RHIN-RHÔNE



893 - INTERNATIONAL



894 - TRAVAUX SOUTERRAINS



895 - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX



896 - OUVRAGES D'ART



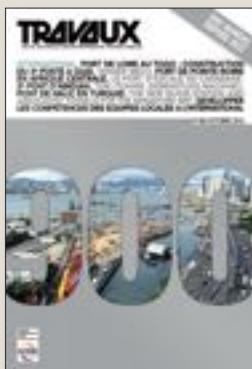
897 - SOLS & FONDATIONS



898 - SPÉCIAL BÉTONS



899 - VILLE DURABLE - ÉNERGIES NON POLLUANTES



900 - INTERNATIONAL



901 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



902 - STADES

## BON DE COMMANDE

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) :

- 888 x \_\_\_     889 x \_\_\_     890 x \_\_\_  
 891 x \_\_\_     892 x \_\_\_     893 x \_\_\_  
 894 x \_\_\_     895 x \_\_\_     896 x \_\_\_  
 897 x \_\_\_     898 x \_\_\_     899 x \_\_\_  
 900 x \_\_\_     901 x \_\_\_     902 x \_\_\_

Soit un montant total de :

\_\_\_\_\_ numéros x 25 € = \_\_\_\_\_ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 25 € à 20 € l'unité. Pour plus de 100 numéros commandés le prix est de 17 € l'unité. Pour les auteurs de la revue le prix est de 15 € l'unité.)

**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 ESI

**ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de ESI**

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



© CEDRIC HELSLY

# ILLSEE - CONFORTEMENT D'UN BARRAGE EN HAUTE MONTAGNE SUISSE, CANTON DU VALAIS

AUTEUR : TOBIAS MESCHENMÖSER, DIRECTEUR ADJOINT, SIF-GROUTBOR (FILIALE SUISSE DE SOLETANCHE-BACHY)

**LE BARRAGE D'ILLSEE DANS LE VALAIS SUISSE, CONSTRUIT EN 1923, A ÉTÉ L'OBJET D'IMPORTANTS TRAVAUX DE CONFORTEMENT ET DE PROTECTION AFIN D'AUGMENTER SA RÉSISTANCE AU SÉISME ET À L'ALTÉRATION DU BÉTON PAR ALCALI-RÉACTION. DES TIRANTS VERTICAUX PRÉCONTRAINS D'UNE CAPACITÉ EXCEPTIONNELLE, DES TIRANTS PASSIFS, DES DRAINS FORÉS EN PIED ET UN VOILE DE BÉTON PROJETÉ ANCRÉ SUR LE PAREMENT AVAL ONT ÉTÉ RÉALISÉS PENDANT LES 3 DERNIÈRES ANNÉES.**

Dans le cadre de la mise aux normes sismiques des barrages suisses, le mur d'Illsee, construit en 1923, a subi entre 2011 et 2013 d'importants travaux

d'assainissement. but : faire résister ce barrage à un tremblement de terre qui peut se produire tous les 10 000 ans (exigence également applicable aux centrales nucléaires) et réduire les

effets de la réaction chimique de gonflement due à l'alcali-réaction dans le béton du barrage. La longueur du couronnement du barrage est de 270 m et le mur, à sa hauteur maximale, mesure

25 m. 24 000 m<sup>3</sup> de béton retiennent ainsi jusqu'à 6 600 000 m<sup>3</sup> d'eau de la rivière d'Illbach. Le mur est ancré dans du rocher constitué essentiellement de quartzite et de micaschiste.



1



2

© SIF-GROUTBOR



3

© CEDRIC HELSLY

## SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

Le site du chantier se trouve à 2 350 m d'altitude dans les Alpes valaisannes, au-dessus de Chandolin dans le Val d'Anniviers, et à environ 30 km au nord du fameux Cervin. L'accès n'était possible que par blondin et par téléphérique de chantier (figure 2), par hélicoptère ou encore à pied.

En raison des conditions climatiques qui imposaient des interruptions hivernales entre octobre et mai, les travaux s'éten-  
daient sur trois années.

Le barrage se trouve sur le territoire d'un alpage de vaches d'Herens - une race bovine connue pour les « combats de reines » organisés en Valais au printemps, avec la finale cantonale se déroulant au mois de mai de chaque année.

## CONTRAT

SIF-GROUTBOR a été mandaté par le consortium PraderLosinger - Evéquo - Dénériaz - Imboden pour réaliser tous les travaux spéciaux sur ce chantier alpin :  
→ Mise en place des tirants précon-

**1- Barrage et lac d'Illsee, août 2012.**

**2- Arrivé du téléphérique sur le chantier - avec le comité d'accueil.**

**3- Forage de tirants depuis le nouveau couronnement du barrage.**

**1- Illsee dam and lake, August 2012.**

**2- Arrival of the cable car on the construction site - with the welcoming committee.**

**3- Drilling tie rods from the new dam crest.**

- traints verticaux depuis le couronnement du barrage ;
- Scellement de tirants passifs verticaux type GEWI 50 dans le béton du barrage, également depuis le couronnement ;
- Réalisation de forages drainants depuis le pied aval du barrage avec une foreuse portable ;
- Assainissement du béton de surface du barrage du côté aval avec du béton projeté armé et ancré.
- Réalisation des tirants actifs et passifs depuis la nouvelle couronne,
- Forages de drainage au pied aval du barrage,
- Achèvement des travaux de sciage.

### 2013 :

- Assainissement du béton (béton projeté armé contre le mur du côté aval, y compris clouage dans le mur existant).

## LES ÉTAPES DE TRAVAUX

### Les travaux s'étendaient sur 3 ans :

#### 2011 :

- Tirants d'essai,
- Démolition de l'ancienne couronne du barrage et réalisation de la nouvelle couronne sur la partie droite du mur,
- Début des sciages verticaux traversant le mur.

#### 2012 :

- Finition de la poutre de couronnement sur la partie courbée du barrage,

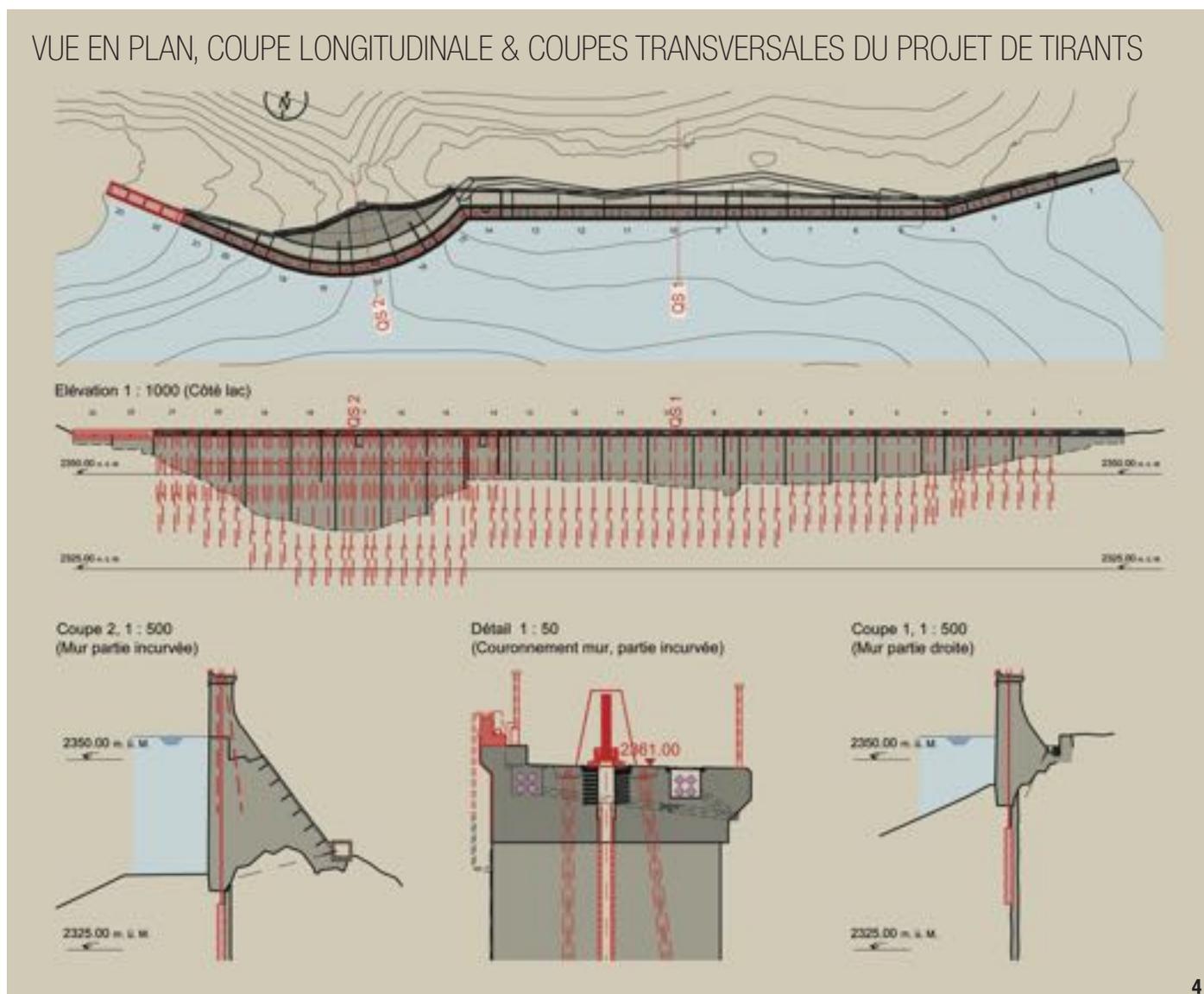
## CONFORTEMENT CONTRE LES SÉISMES PAR TIRANTS PRÉCONTRAINTS

SIF-GROUTBOR a réalisé 67 tirants précontraints permanents (figure 3), de capacité atteignant 7254 kN et de longueur variant entre 20 et 40 m.

Ils traversent le barrage du haut en bas et s'ancrent sur une longueur d'au moins 10 m dans le rocher sous-jacent. Leur fonction consiste à presser le barrage contre le rocher et à augmenter ainsi la stabilité du mur en cas de tremblement de terre.

La mise en œuvre de tirants permanents d'une telle capacité était une première en Suisse et a nécessité ▷

## VUE EN PLAN, COUPE LONGITUDINALE & COUPES TRANSVERSALES DU PROJET DE TIRANTS



4

© ARFESSA / AXPO



5

© SIF-GROUTBOR



6

© CÉDRIC HELSLY

4- Vue en plan, coupe longitudinale & coupes transversales du projet de tirants.

5- Vérin pour mise en tension des tirants.

6- Transport des tirants par hélicoptère.

4- Plan view, longitudinal section and cross sections of the tie rod project.

5- Jack for tensioning the tie rods.

6- Transport of tie rods by helicopter.

une homologation spéciale de l'EMPA (*Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de la recherche*).

Les efforts des têtes d'ancrage sont repris par la nouvelle poutre de couronnement en béton fortement armé. Cette poutre a été réalisée par le groupement

mandataire après la démolition de l'ancienne structure en tête du barrage. Dans la partie courbée du mur, des tirants passifs de 18 m de long ont été mis en œuvre pour le confortement du béton vis-à-vis des efforts en tête des ancrages actifs, et pour solidariser la

partie supérieure du mur avec sa partie inférieure (le barrage a été rehaussé de 7 m en 1945). Le système statique de la partie incurvée du mur était ainsi changé en mur poids.

La figure 4 présente l'ensemble de ces dispositifs.



7

© CÉDRIC HELSLY



8

**7- Depuis le premier-plan vers l'arrière-plan : tirants posés / échafaudages pour la pose des tirants suivants / foreuse C4 pour l'alésage des pré-forages / foreuse GM 600 en train de réaliser un préforage.**  
**8- Mise en place des tirants pesant jusqu'à 1,5 t.**

**7- From foreground to background: installed tie rods / scaffolding for placing the following tie rods / C4 driller for boring preliminary drill holes / GM 600 driller in the process of performing preliminary drilling.**  
**8- Installation of tie rods weighing up to 1.5 tonnes.**

### LES TIRANTS D'ESSAI

En 2011, 3 tirants d'essai ont été réalisés à proximité du barrage. Leurs caractéristiques correspondaient aux tirants de la partie courbée du mur, c'est-à-dire aux tirants les plus sollicités. Leur longueur libre était de 15 m et leur longueur de scellement était de 10 m.

Les tirants ont été testés en 10 paliers jusqu'à la charge  $P_{pv} = 5615$  kN. La charge a pu être maintenue pendant 60 minutes pour chacun des trois tirants (résultats dans le tableau 1).

Les essais étaient concluants et le dimensionnement des tirants de l'ouvrage a été ainsi confirmé.

Les essais de traction ont été réalisés avec un vérin de 1 500 kN (figure 5 et tableau 2).

### LES CARACTÉRISTIQUES DES TIRANTS

**Les caractéristiques des tirants d'essai et des tirants de l'ouvrage sont résumées dans le tableau 3.**

### MISE EN ŒUVRE DES TIRANTS

La partie la plus exigeante des travaux consistait à mettre en place des tirants de 17 torons dans des forages de diamètre 185 mm, et des tirants de 26 torons dans des forages de diamètre 250 mm. Les forages devaient respecter une déviation maximale de 1 % par rapport à la longueur du forage ▷

(donc inférieure à 40 cm à 40 m de profondeur).

Les tirants étaient assemblés sur le col d'Ilsee à 2 500 m d'altitude. Depuis cette place d'assemblage, les hélicoptères de type Écureuil, K-MAX ou Superpuma transportaient les tirants au barrage (figure 6) à environ 1 km de distance.

Le poids maximal à lever par les hélicoptères était de 1,5 t.

**Le procédé d'exécution était le suivant (figure 7) :**

- 1- Forage tubé de diamètre 125 mm, jusqu'à 1 à 3 m au-dessous de la côte du pied de tirant (ceci pour éviter que le tirant ne touche le fond en cas de déblais restant dans le forage),
- 2- Mesure de la verticalité avec une sonde type Multismart,
- 3- Inspection de forage par caméra (un forage sur quatre),
- 4- Essais d'eau (mesure de la perméabilité du béton et du rocher),
- 5- Traitement du béton et du rocher par injection de consolidation en cas de perméabilité supérieure à 5 litres par minute et par bar,
- 6- Reforage en cas d'injection de consolidation,
- 7- Alésage au diamètre final : 185 mm dans la partie droite du mur et 250 mm dans la partie courbée,
- 8- Pose des tirants : 2 à 4 à la fois (figure 8),
- 9- Injections et réinjections.  
 Au plus tôt 10 jours après la dernière réinjection, chaque tirant a été testé et bloqué à 60 % de sa capacité.



9 © SIF-GROUTBOR

**9- Échafaudage pour l'assainissement du béton du côté aval.**

**9- Scaffolding for cleaning the concrete on the downstream side.**

**TABLEAU 1 : RÉSULTATS DES ESSAIS DE TRACTION POUR LES TIRANTS D'ESSAI**

| Résultats des essais (valeurs pour la charge finale $P_{pv}$ ) |                 |
|--|-----------------|
| Déplacement permanent $\Delta l_{bl}$                          | 12 à 16 mm      |
| Déplacement élastique $\Delta l_{el}$                          | 108 à 113 mm    |
| Taux de fluage $k$   | 1,9 à 2,4 mm    |
| Longueur libre théorique $L_{tr}$                              | 15 m            |
| Longueur libre effective $L_r$                                 | 17,44 à 17,64 m |

**TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DU VÉRIN POUR LA MISE EN TENSION DES TIRANTS**

| Caractéristiques du vérin |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| Type                      | ZPE-980                 |
| Section du piston         | 165 230 mm <sup>2</sup> |
| Longueur de travail $l_p$ | 1,70 m                  |

**TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES DES TIRANTS**

| Tirants d'essai (3 u) et tirants dans la partie courbée du mur (30 u) :<br>$R_{1,k} = 7254 \text{ kN}$   |   |
|--|---|
| Type   | 6-27/26, 26 torons, protection contre la corrosion K1 (tirant permanent)  |
| Section d'acier  | 26 x 150 mm <sup>2</sup> => 3 900 mm <sup>2</sup>   |
| Qualité d'acier (valeurs caractéristiques)   | Limite d'écoulement $f_{p0,1k} = 1600 \text{ N/mm}^2$<br>Résistance à la traction $f_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$<br>Module d'élasticité $E_p = 195\,000 \text{ N/mm}^2$ |
| Dimensions   | Longueur libre : 15 à 30 m<br>Longueur de scellement : 10 m<br>Diamètre de la gaine ondulée : 203 mm  |
| Tirants dans la partie droite du mur (37 u) :<br>$R_{1,k} = 3162 \text{ kN}$   |   |
| Type   | 5 - 19/17, 17 torons, protection contre la corrosion K1 (tirant permanent)  |
| Section d'acier  | 17 x 100 mm <sup>2</sup> => 1 700 mm <sup>2</sup>   |
| Qualité d'acier (valeurs caractéristiques)   | Limite d'écoulement $f_{p0,1k} = 1600 \text{ N/mm}^2$<br>Résistance à la traction $f_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$<br>Module d'élasticité $E_p = 195\,000 \text{ N/mm}^2$ |
| Dimensions   | Longueur libre : 10 à 20 m<br>Longueur de scellement : 10 m<br>Diamètre de la gaine ondulée : 203 mm  |
| Les tirants d'ouvrage de 17 torons ont été testés à 2 372 kN et bloqués à 1 897 kN. Pour les tirants de 26 torons la charge d'épreuve $P_p$ était de 4 200 kN et la force de blocage $P_0$ de 3 360 kN |   |



© SIF-GROUTBOR

## ASSAINISSEMENT GÉNÉRAL

Du côté aval, des forages de drainage ont été effectués pour réduire la pression d'eau au pied du barrage.

La mise en œuvre d'un voile en béton projeté armé et ancré dans le mur existant permettait de remettre en état la surface du béton du côté aval (figure 9). Des sciages verticaux traversant le mur ont été exécutés pour réduire les contraintes dans le béton dues au gonflement par l'alcali-réaction.

Grâce à ces travaux, le barrage d'Illsee est aujourd'hui conforme aux normes sismiques et satisfait aux exigences vis-à-vis du gel-dégel et des eaux de crues. Le béton projeté de résistance C30/37 a été appliqué par voie sèche (figure 10). Le voile, d'une épaisseur de 15 cm, est armé d'un treillis métallique et ancré dans le barrage par des tirants passifs d'une longueur unitaire de 1,50 m.

**10- Mise en œuvre du béton projeté.**

**11- Remplissage du silo à béton avec le mélange sec arrivant par blondin dans des big-bags.**

**10- Shotcreting.  
11- Filling the concrete silo with the dry mix arriving by cable-way in Big Bags.**

Le mélange sec du béton (FIXIT 528) a été livré dans des big-bags de 1 t et versé directement depuis le blondin dans le silo sur place (figure 11). □

## LES INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Argessa AG, CH - Turtmann

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Axpo AG, CH - Baden

**ENTREPRISE :** Groupement d'entreprises Arge Illsee-Ledi : Praderlosinger, Evequoz, Deneriaz, Imboden

**FOURNISSEUR DE TIRANTS :** VSL, CH - SUubingen

**TRAVAUX SPÉCIAUX :** SIF-GROUTBOR

## TRAVAUX RÉALISÉS PAR SIF-GROUTBOR

**FORAGES D'INJECTION :** 67 u, 2 100 m

**TIRANTS PRÉCONTRAINTS :** 67 u, 2 100 m, plus 3 tirants d'essai

**TIRANTS PASSIFS VERTICAUX :** 91 u, 1638 m

**FORAGES DE DRAINAGE :** 65 u, 600 m

**BÉTON PROJETÉ :** 665 m<sup>2</sup>

## ABSTRACT

### ILLSEE - CONSOLIDATION OF A DAM AT HIGH ALTITUDE IN THE SWISS MOUNTAINS, LE VALAIS CANTON

TOBIAS MESCHENMOSER, SIF-GROUTBOR (SOLETANCHE-BACHY)

The Illsee dam in the Swiss canton of Le Valais, built in 1923, underwent major consolidation and protection works in order to increase its resistance to earthquakes and damage to the concrete by alkali-aggregate reaction. 67 prestressed vertical tie rods, passive tie rods, drains drilled at the base and a shotcrete shear wall anchored on the downstream cladding were executed between 2011 and 2013. Due to their exceptional capacity of 7254 kN, which is a first in Switzerland, the prestressed tie rods required a special certification from the EMPA (Swiss federal laboratory for materials testing and research). Helicopters had to be used to transport them on site at an altitude of 2500 m. □

### ILLSEE - REFUERZO DE UNA PRESA EN LA ALTA MONTAÑA SUIZA, CANTÓN DE VALAIS

TOBIAS MESCHENMOSER, SIF-GROUTBOR (SOLETANCHE-BACHY)

La presa del Illsee en el Valais suizo, construida en 1923, se ha sometido a importantes obras de refuerzo y protección para aumentar su resistencia a los seísmos y a la alteración del hormigón por álcali reacción. Entre 2011 y 2013 se realizaron 67 tirantes verticales pretensados, tirantes pasivos, drenajes perforados en la base y un velo de hormigón proyectado anclado en el paramento aguas abajo. Debido a su excepcional capacidad de 7.254 kN que constituye una primicia en Suiza, los tirantes pretensados necesitaron una homologación especial del EMPA (Laboratorio federal de ensayos de materiales e investigación). Fue necesario recurrir a helicópteros para transportarlos a pie de obra a 2.500 m de altitud. □



© CEDRIC HELSLY

# TUNNEL DE ROCHE, RÉNOVATION DU TUNNEL FERROVIAIRE

AUTEUR : ROBIN BETEND, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

**1868 EST LA DATE DE CONSTRUCTION DE CE TUNNEL FERROVIAIRE SITUÉ DANS L'ALLIER SUR LA COMMUNE DE BELLENAVES. UN SIÈCLE ET DEMI PLUS TARD, IL EST TEMPS DE RÉNOVER LA STRUCTURE VIEILLISSANTE ET ENDOMMAGÉE. SOLUTIONS MISES EN ŒUVRE : RÉALISATION D'UNE COQUE BOULONNÉE EN BÉTON PROJETÉ ARMÉ, ASSOCIÉE À L'INJECTION DE L'EXTRADOS.**

## CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Le Plan Rail Auvergne (PRA) est un grand projet ferroviaire visant à remettre en état et à moderniser plusieurs lignes SNCF dans le centre de la France.

Dans le cadre de ce PRA, Soletanche Bachy France a acquis le marché du tunnel de Roche, situé sur la ligne reliant Commentry à Gannat dans l'Allier. Il s'agit de rénover cet ancien ouvrage à voie unique non électrifiée dont le revêtement abîmé est composé de moellons en piédroits et de briques en voûte et piédroits. La galerie a déjà fait l'objet d'un certain nombre de réparations par application ponctuelle de

béton projeté ou de mortier aux endroits les plus altérés à l'époque.

L'ouvrage mesure 444 mètres de long et présente une section en fer à cheval de 25 m<sup>2</sup>.

Un délai de 6 mois est prévu pour préparer le chantier, protéger les voies, réaliser les travaux de rénovation et remettre en service le tunnel.

Le chantier a respecté ce programme en démarrant mi-juin 2013 et en rendant la voie ferrée opérationnelle le 25 novembre 2013.

## PRÉPARATION

Pour la réalisation des travaux, trois solutions ont été étudiées afin de tra-

vailer sur les voies. Tout d'abord, enlever les rails et traverses, ensuite utiliser un train-travaux, ou enfin, protéger les voies en posant un remblai par-dessus. Cette dernière solution a été retenue pour son aspect économique et plus fonctionnel que le train-travaux.

De plus, le marché imposait de laisser la possibilité à un train de passer sur les voies, sous 24 h, ce qui rendait impossible l'enlèvement des voies.

Les voies ont été remblayées et protégées selon le croquis de la figure 1. Dans le cas du passage d'un train, l'idée était d'enlever les bandes de caoutchouc et la légère épaisseur de remblai déposée sur les rails,

puis de découper le géotextile sur la longueur du rail. Le train aurait alors seulement laissé une empreinte sur les plaques de styrodur.

## LES TRAVAUX

Les principaux travaux consistent :

→ D'une part, à purger les parements en briques et moellons, injecter les vides présents derrière les maçonneries et drainer les venues d'eau par des captages ponctuels ;

→ D'autre part, à renforcer la structure par 246 m (soit 2 490 m<sup>2</sup>) de chemisage au moyen d'une coque en béton projeté armée et boulonnée par environ 2 400 boulons.



## LE CONFINEMENT

Pour des raisons évidentes de sécurité, la première opération effectuée dans la continuité du rabotage consiste à confiner le parement par projection de béton.

Une couche de 3 cm de béton projeté non fibré est mise en œuvre par voie sèche (voir paragraphe sur le bétonnage). Cette première projection permet de sécuriser le parement vis-à-vis d'une chute de maçonnerie et d'avoir un support propre pour procéder à la phase d'implantation qui nécessite beaucoup de rigueur (implantation des plots, des injections, des boulons, des drains, des captages, etc.).

## L'INJECTION DE L'EXTRADOS

Lors d'anciennes campagnes de reconnaissance, des vides ont été détectés derrière la maçonnerie et nécessitent d'être comblés. Au total, 18 zones présentant des vides d'épaisseur variable sont à traiter. Le tableau 2 indique le positionnement de ces vides à combler. Afin de réaliser les injections de collage de l'extrados, une foreuse sur pneus de type MiniPantofore a été mise en place dans la galerie. Cette machine à fonctionnement thermique ou électrique est équipée d'un bras de forage doté d'une cinématique permettant de réaliser des auréoles complètes de forages sans changer de mise en station.

Le coulis d'injection est mis en œuvre à l'aide de forages de 51 mm de diamètre et à environ 1 m de profondeur

(pour dépasser la maçonnerie). Le maillage de la perforation autour d'un vide détecté est le suivant :

→ Pour un vide détecté en voûte

(figure 4) :

15 forages centrés autour du vide sont réalisés. Ces forages sont espacés de 2 m longitudinalement et de 1,15 m verticalement en quinconce.

→ Pour un vide détecté en piédroit

(figure 5) :

7 forages sont répartis autour du vide, avec le même espacement que pour les vides en voûte.

Le coulis mis en œuvre est un coulis de bentonite ciment présentant un C/E de 0,55. Il est fabriqué manuellement dans un malaxeur à haute turbulence. Le ciment utilisé est du CEMIII/B 42,5 PM-ES et la bentonite est de la CV15.

La composition du coulis a été élaborée sur un chantier similaire afin de répondre aux exigences de la SNCF (chantier des Roches de Condrieu).

La formulation retenue par m<sup>3</sup> est la suivante :

→ 460 kg de ciment ;

→ 20 kg de bentonite ;

→ 835 l d'eau.

Caractéristiques théoriques :

→ Rapport C/E : 0,55 ;

→ Rc à 7 jours : 2,5 MPa ;

→ Rc à 28 jours : 5 MPa.

Les injections démarrent par les lignes de forage les plus basses pour remonter vers la clé de voûte. Les pertes de charges entre la centrale d'injection et le point d'injection sont mesurées au début de chaque poste et au démarrage d'une nouvelle pompe. Initialement, il était prévu de déplacer la

centrale d'injection dans le tunnel pour limiter les pertes de charges. Toutefois, au vu du gabarit réduit de la galerie, il a été décidé de positionner la centrale à l'entrée et de réaliser les injections à partir de cet endroit. Une perte de charge de 6,8 bars a ainsi été mesurée à une distance de 350 m.

Les critères d'arrêt des injections sont :

→ Une montée en pression de 2 bars ;

→ Une résurgence de coulis par le forage voisin (la vanne sera alors fermée) ;

→ Un volume de 500 litres passé dans un forage.

Les travaux d'injection de collage de l'extrados auront duré 20 jours en un poste.

Une centaine de m<sup>3</sup> de coulis auront été nécessaires pour combler les vides derrière les maçonneries.

### 4- Implantation des injections en voûte.

### 5- Implantation des injections en piédroit.

### 4- Cement grouting on the roof.

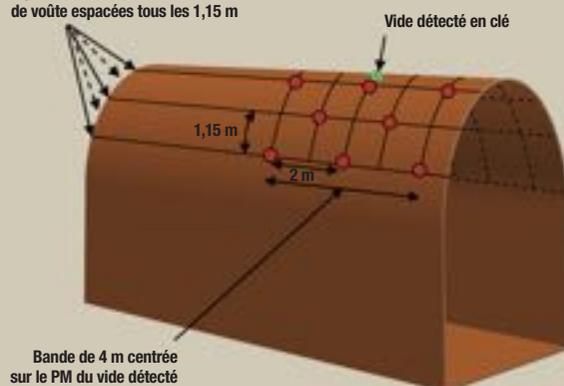
### 5- Cement grouting on the side wall.

TABLEAU 2 :

| PM  | Position                                     | Épaisseur du vide (m) |
|-----|--|-----------------------|
| 90  | 0  | 0,60                  |
| 110 | 0  | 0,10                  |
| 120 | 0  | 0,10                  |
| 240 | 2 m à droite par rapport à l'axe de la voûte | 0,12                  |
| 270 | 0  | 0,09                  |
| 299 | 0  | 0,40                  |
| 300 | 0  | 0,07                  |
| 300 | 2 m à droite par rapport à l'axe de la voûte | 0,07                  |
| 315 | 2 m à droite par rapport à l'axe de la voûte | 0,11                  |
| 330 | 0  | 0,08                  |
| 340 | 0  | 0,25                  |
| 350 | 5 m à gauche par rapport à l'axe de la voûte | 0,65                  |
| 360 | 0  | 0,16                  |
| 370 | 0  | 0,20                  |
| 375 | 5 m à gauche par rapport à l'axe de la voûte | 0,20                  |
| 380 | 0  | 0,07                  |
| 390 | 2 m à droite par rapport à l'axe de la voûte | 0,06                  |
| 430 | 0  | 0,07                  |

## IMPLANTATION DES INJECTIONS EN VOÛTE

6 génératrices réparties sur les 8 m de voûte espacées tous les 1,15 m

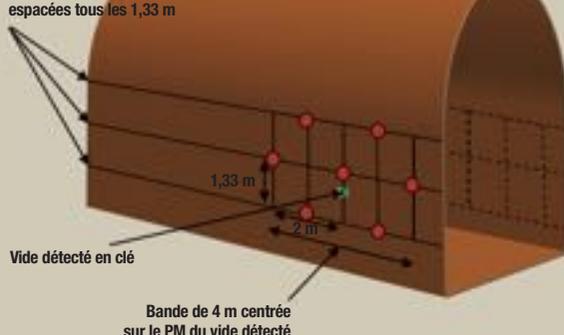


4

© SOLETANCHE BACHY

## IMPLANTATION DES INJECTIONS EN PIÉDROIT

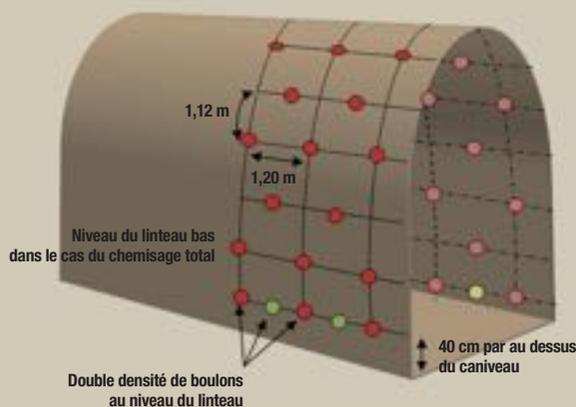
3 génératrices réparties sur les 2,65 m de piédroit espacées tous les 1,33 m



5

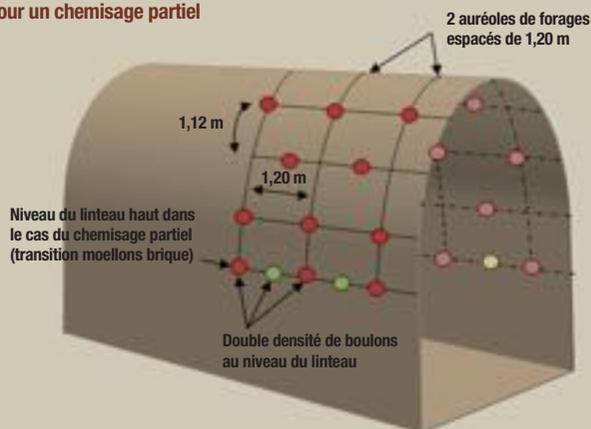
© SOLETANCHE BACHY

## IMPLANTATION DES BOULONS pour un chemisage total



6

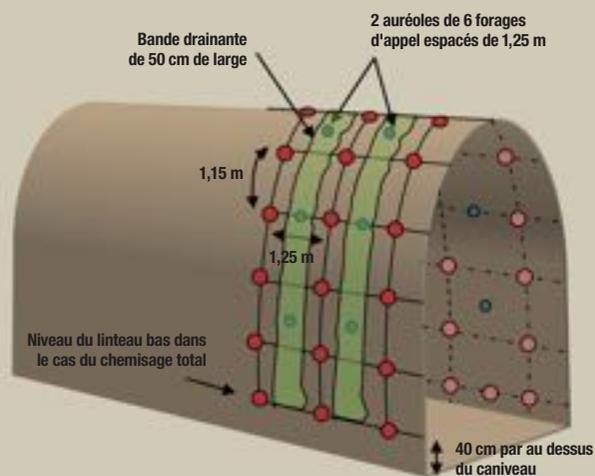
## IMPLANTATION DES BOULONS pour un chemisage partiel



7

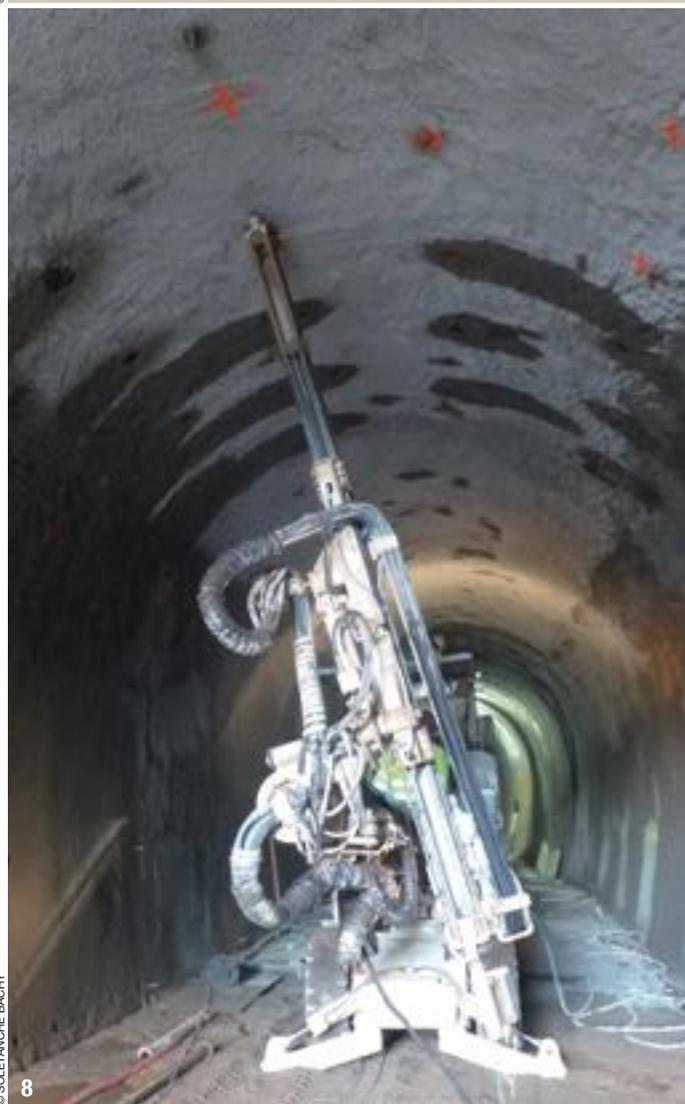
## PRINCIPE DU DRAINAGE

Implantation des forages d'appel dans le cas du chemisage total



9

© SOLETANCHE BACHY



8

### LE BOULONNAGE

Le boulonnage a pour objectif d'ancrer la coque en béton armé dans le terrain encaissant le tunnel. Les auréoles de boulonnage sont espacées de 1,20 m et contiennent 12 boulons pour le che-

misage partiel (figure 7), et 8 boulons pour le chemisage total (figure 6). Le maillage est de 1,12 m par 1,20 m. Sur une même auréole, les boulons sont réalisés en quinconce afin d'éviter l'effet de « prédécoupage ».

**6- Implantation des boulons pour un chemisage total.**

**7- Implantation des boulons pour un chemisage partiel.**

**8- Foreuse.**

**9- Principe du drainage.**

**6- Installing bolts for complete lining.**

**7- Installing bolts for partial lining.**

**8- Drilling machine.**

**9- Drainage schematic.**

Les forages sont réalisés au moyen d'une machine identique à celle utilisée pour les injections (figure 8). Celle-ci est équipée d'un enregistreur de paramètres de forage qui suit les paramètres suivants :

- Vitesse d'avancement,
- Poussée sur l'outil,
- Pression du fluide.

Les ancrages sont des barres d'acier de diamètre 20 mm et de longueur 2 m, scellées au mortier dans des forages de 51 mm de diamètre. La perforation se fait en roto-percussion avec frappe en tête. Le fluide de forage utilisé est l'eau, ce qui permet de limiter les émanations de poussière, toujours problématiques lors des travaux en galerie.

L'exécution des 2 390 boulons (forage, équipement et scellement) aura duré 45 jours en deux postes (6 h à 22 h). ▷

## RÉALISATION DU DRAINAGE DE LA COQUE

La rénovation de la coque du tunnel inclut un drainage des eaux qui tendent à percoler au travers du béton de la coque. Ce drainage consiste à collecter l'eau sur toute la périphérie du tunnel et à la conduire jusqu'aux caniveaux situés à la base des piédroits.

Dans les zones concernées par le chemisage, des auréoles de forages d'appel sont réparties tous les 1,20 m en quinconce des boulons, afin de ne pas superposer les nappes drainantes et les boulons.

Ces auréoles contiennent 6 forages dans le cas du chemisage total et 4 forages dans le cas du chemisage partiel. La figure 9 montre l'implantation dans le cas du chemisage total (identique en chemisage partiel).

Les forages d'appel sont exécutés par la même méthode que celle utilisée pour les boulons ; seul le diamètre change (76 mm).

Le forage est ensuite équipé d'un tube PVC crépiné sur toute sa longueur. Tous les forages d'appel d'une même auréole sont ensuite reliés par une nappe drainante de 50 cm de largeur de type DeltaMS ou Enkadrain.



10

© SOLETANCHE BACHY

Ce complexe (forage d'appel + nappe drainante) est mis en œuvre sur toute la section du tunnel, d'un linteau à l'autre, et passant derrière ces derniers afin d'acheminer l'eau jusqu'au caniveau.

## RÉALISATION DU FERRAILLAGE

Lorsque tous les forages et drainages sont réalisés, les nappes de treillis soudé sont mises en place (figures 10 et 11).

Ces dernières sont de type ST 25C de 6 m par 2,4 m, avec un maillage de 15 x 15 cm et un fil de 7 mm.

**10- Mise en place du ferrailage.**

**11- Coque partielle avec linteaux coulés en attente de projection finale.**

**10- Placing reinforcing bars.**

**11- Partial shell with cast lintels pending final shotcreting.**

Les plaques mesurant 6 m de long, un plot est recouvert par 6 nappes de treillis soudé mises en place dans le sens de la longueur.

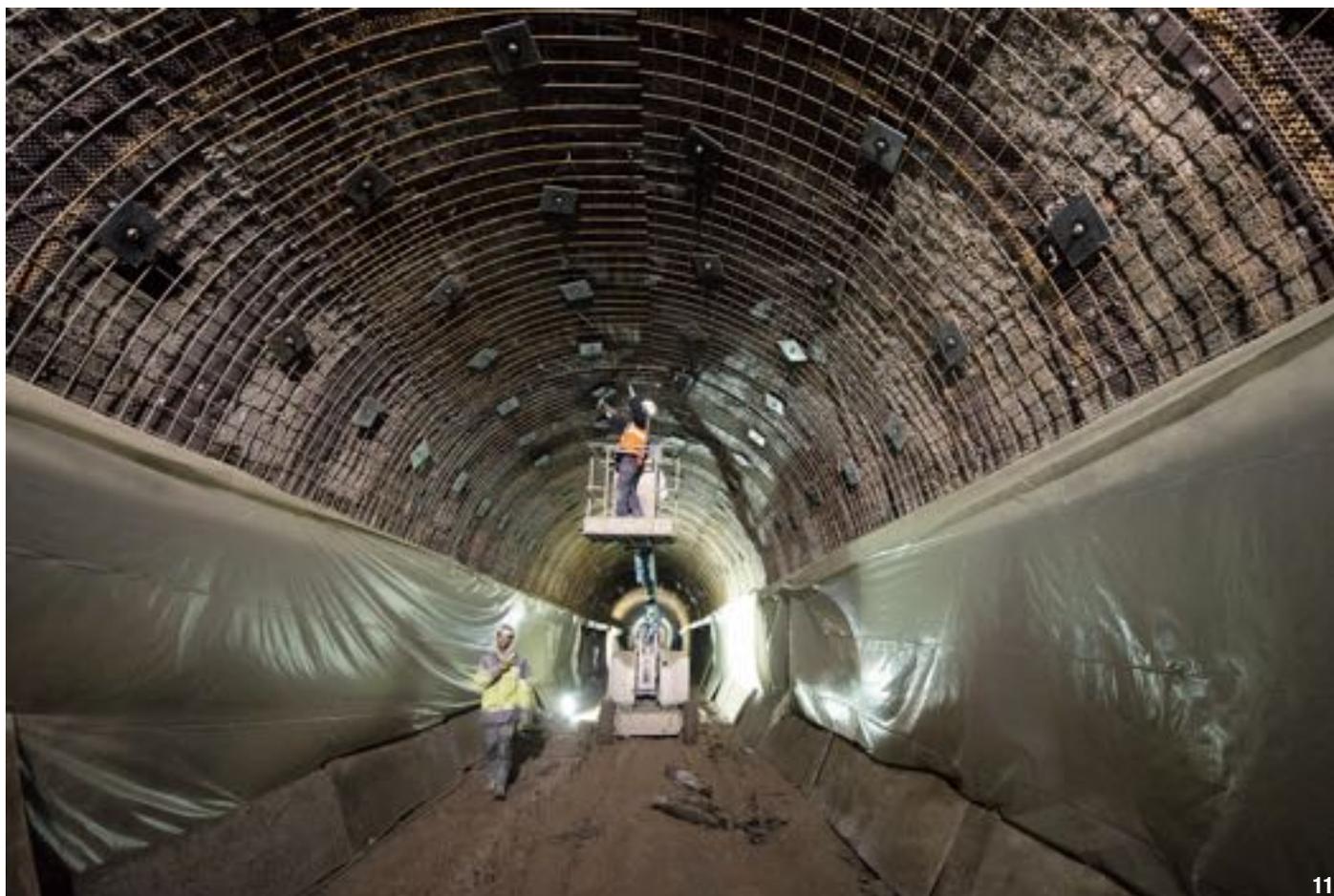
Les plots travaillant comme des anneaux indépendants, séparés par des joints de dilatation, il n'y a donc pas de recouvrement longitudinal entre les plots. Le recouvrement entre plaques n'est alors que vertical et il est au minimum de 28 cm, étant donné qu'il doit être de 39 fois le diamètre du fil (7 mm) selon le dimensionnement.

Une fois les nappes mises en place, elles sont bloquées à l'aide de platines d'un centimètre d'épaisseur et d'écrous.

## LE BÉTON PROJETÉ

Le béton projeté est divisé en 2 couches distinctes. Tout d'abord, une couche de confinement de 3 cm d'épaisseur réalisée après le rabotage (voir paragraphe confinement).

Une fois les ancrages, drains et ferrailage réalisés, on vient projeter une épaisseur de 7 cm (béton de remplissage), soit une coque de 10 cm d'épaisseur au total. La projection des 7 cm de béton de remplissage se fait en deux étapes. Une première projection de 4 cm permet de remplir l'es-



11

© CÉDRIC HELSLY



12

© CÉDRIC HELSLY

pace entre le parement et les nappes de treillis.

Puis une seconde projection de 3 cm assure l'enrobage du treillis et la finition de la coque.

Les conditions d'accès et d'installation ont imposé le montage de la centrale à béton à un peu plus de 150 m de l'entrée du tunnel.

Cette centrale est composée de 4 silos de 19 m<sup>3</sup> de béton sec, d'une cuve à eau de 32 m<sup>3</sup>, de deux pompes à projeter (longue distance) et de 3 compresseurs.

La distance entre les pompes à projeter et la sortie du tunnel dépasse les 600 mètres.

L'ensemble des conduites à béton à dû être monté en conduite métallique afin de supporter l'usure que provoque la

circulation du béton sur cette grande distance, et cela 24 h sur 24 pendant plusieurs semaines.

Le béton est projeté par voie sèche et humidifié au niveau de la lance (figure 12). Le projeteur travaille, soit depuis le sol (pour les piédroits), soit depuis une nacelle pour les projections en voûte.

Une bonne ventilation est primordiale pour lutter contre la poussière générée par la projection de béton.

Une fois les plots terminés, des joints sont réalisés en venant effectuer un trait à la scie entre les plots.

Les 1 250 t de béton nécessaires auront été projetées en 50 jours travaillés 24h/24 (3 postes). □

**12- Projection du béton.**

**12- Shotcreting.**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Réseau Ferré de France (RFF)

**MAÎTRE D'OUVRAGE MANDATÉ :** SCET

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Setec Ferroviaire

**ENTREPRISE TITULAIRE DU MARCHÉ :** Soletanche Bachy France

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**2 490 m<sup>2</sup> rénovés**

**2 390 boulons**

**990 drains**

**12 t de treillis soudés**

**1 250 t de béton projeté**

## ABSTRACT

### RENOVATION OF A RAIL TUNNEL BUILT IN 1868: THE ROCHE TUNNEL

ROBIN BETEND, SOLETANCHE BACHY

**The Roche tunnel, built in 1868, is a railway structure located in the Auvergne region in central France. One-and-a-half centuries later, it is time to renovate the damaged, ageing structure. The works involve installing a new shell over 2490 m<sup>2</sup>. After planing and spraying a first layer of concrete, cement grouting was first performed on the interstices detected at the rear of the masonry by means of short drill holes. Then, anchor bolts and drains were installed. After installing draining strips and reinforcing bars, the new shell was executed by the dry shotcreting technique. The works took place between June and November 2013. □**

### RENOVACIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO CONSTRUIDO EN 1868: EL TÚNEL DE ROCHE

ROBIN BETEND, SOLETANCHE BACHY

**Construido en 1868, el túnel de Roche es una estructura ferroviaria situada en Auvernia, en el centro de Francia. Siglo y medio después, ha llegado el momento de renovar la estructura envejecida y deteriorada. Las obras consisten en instalar un nuevo revestimiento en 2.490 m<sup>2</sup>. Después de un cepillado y la proyección de una primera capa de hormigón, procedimos, en primer lugar, a la inyección de los espacios huecos detectados detrás de la mampostería por medio de perforaciones cortas. A continuación, se perforaron pernos de anclaje y drenajes. Después de instalar bandas drenantes y armaduras, se realizó el nuevo revestimiento mediante la técnica de hormigón proyectado por vía seca. Las obras se llevaron a cabo entre junio y noviembre de 2013. □**



© EIFFAGE SÉNÉGAL

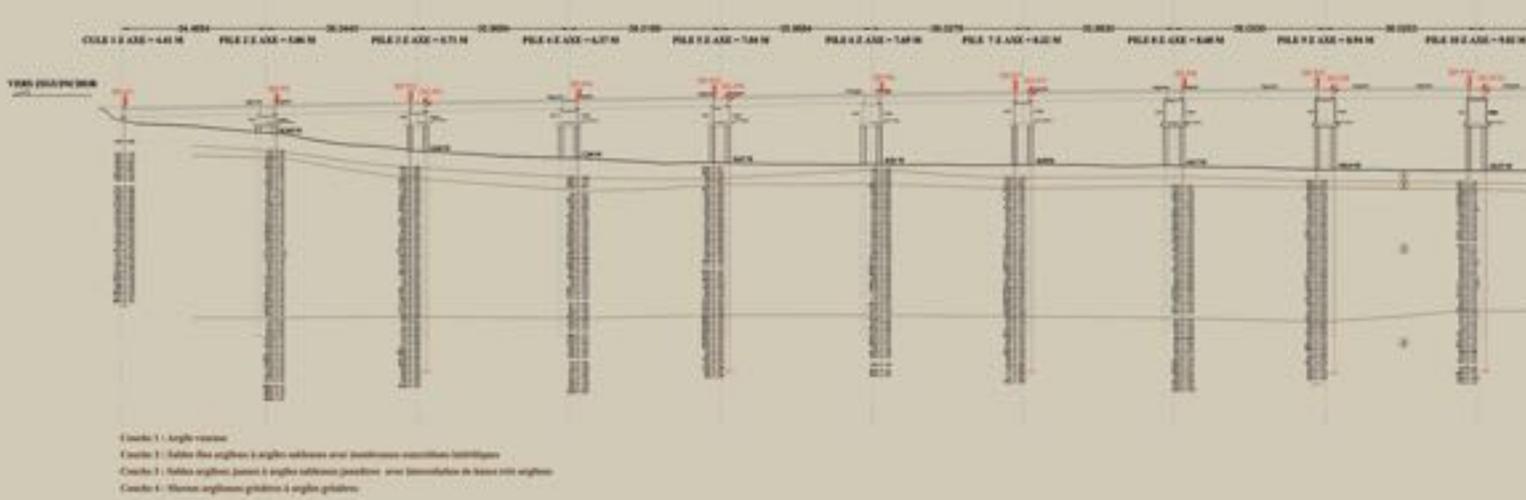
# TRAVAUX DE RÉHABILITATION DU PONT ÉMILE BADIANE DE ZIGUINCHOR

AUTEURS : SAMUEL DEMOLLIENS, CHEF DU SERVICE TRAVAUX MARITIMES, EIFFAGE SÉNÉGAL - DAOU DA SECK, DIRECTEUR DES TRAVAUX, EIFFAGE SÉNÉGAL - FRANÇOIS-BAPTISTE CARTIAUX, RESPONSABLE DES ÉTUDES, SERVICE TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, EIFFAGE TP

CONSTRUIT FIN DES ANNÉES 70, LE PONT ÉMILE BADIANE PERMET À LA ROUTE TRANSFRICAINE DAKAR-LAGOS DE FRANCHIR LE FLEUVE CASAMANCE À ZIGUINCHOR AU SÉNÉGAL. D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 640 M, L'OUVRAGE COMPORTE 18 TRAVÉES INDÉPENDANTES. LA PATHOLOGIE CONCERNE LES PILES EN BÉTON ARMÉ AVEC DES DÉSORDRES MAJEURS AFFECTANT LES PIEUX DE FONDATION. LA RÉHABILITATION DE L'OUVRAGE COMPREND DES TRAVAUX DE REPRISE DES PILES ET SEMELLES, AINSI QUE DES TRAVAUX DE SÉCURISATION D'URGENCE CONSISTANT EN UN CHEMISAGE EN BÉTON ARMÉ DES PIEUX DANS LEUR PARTIE IMMERGÉE.

© TERRASOL

## PROFIL EN LONG





3  
© EIFFAGE SÉNÉGAL

### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont Émile Badiane est un ouvrage de 640 m de longueur totale, dont les appuis sont fondés chacun sur 4 pieux en béton armé avec tube métallique laissé en place. Le tablier est constitué de poutres en « T » isostatiques en béton précontraint par post-tension, reliées par une dalle supérieure en béton armé. Le pont est à deux voies de circulation pour une largeur roulable de 6,50 m. Il comprend deux trottoirs de largeur 1 m. Les 18 travées isostatiques sont de portée 32,40 m (longueur totale des poutres 32,80 m). La distance d'axe à axe entre deux appuis est de 36 m (figure 2). Les appuis en béton armé sont constitués de :  
 → 4 pieux immergés de 1 m de diamètre avec tube laissé en place, fondés dans le substratum argileux à 45 m de profondeur environ, sous une importante épaisseur de sables et limons de faibles caractéristiques.

- 1- Vue aérienne du pont Émile Badiane.
- 2- Profil en long.
- 3- Photographies des désordres.

- 1- Aerial view of Émile Badiane Bridge.
- 2- Longitudinal profile.
- 3- Photographs of the damage.

- Une semelle affleurante au niveau du fleuve, de dimensions 6 m x 7,20 m et de 0,80 m d'épaisseur.
- 2 murs support de hauteur variable, constitués de 4 colonnes de 0,80 m x 0,50 m reliées par des voiles de 0,30 m d'épaisseur.
- Un chevêtre constitué d'une dalle

basse de 0,50 m d'épaisseur qui coiffe les murs supports, de voiles de 0,20 m d'épaisseur et d'une dalle de couverture de 0,20 m d'épaisseur également.

### LES DÉSDORDRES OBSERVÉS

Le pont Émile Badiane a été construit entre 1976 et 1978 par le groupement Casamance, consortium sénégal-italien, dans le cadre d'un programme de construction de cinq ponts similaires dans la région à cette époque. Ces cinq ouvrages subissent un vieillissement prématuré avec des désordres comparables de fissuration et d'éclatement des bétons, sans doute liés à des défauts de mise en œuvre à la construction. Le cas du pont Émile Badiane de Ziguinchor est particulièrement critique : dès 2005, une inspection visuelle par plongeurs diagnostique d'importantes cavités dans les pieux, allant jusqu'à la disparition partielle de l'un d'entre eux

et menaçant gravement la stabilité de l'ouvrage.

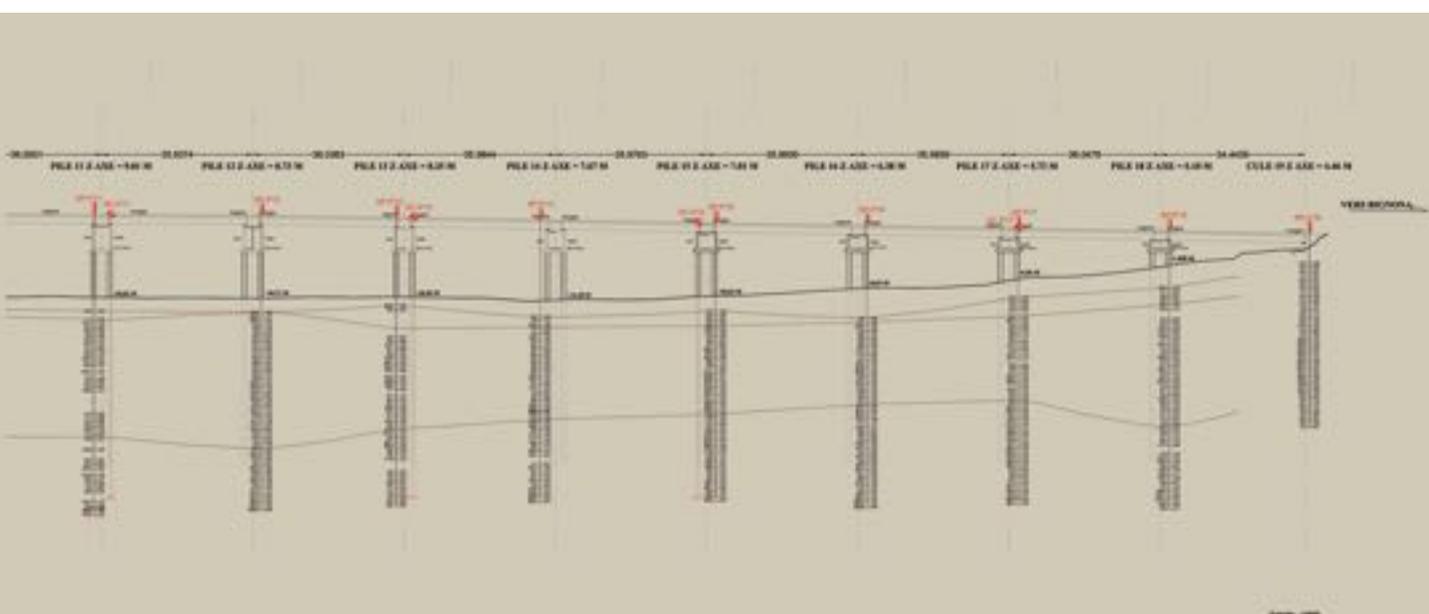
Une autre inspection visuelle détaillée des pieux existants réalisée en 2010 fait apparaître de nombreux désordres dans la partie immergée visible des pieux des appuis P3 à P10 : béton dégradé avec armatures apparentes sur une douzaine de pieux, dans des proportions plus ou moins graves.

Les appuis P9 et P10 présentent des défauts particulièrement graves : l'un des pieux de P9 a totalement disparu sur une hauteur de 8 m tandis que le pieu opposé présente une fissure profonde.

L'un des pieux de P10 est réduit en partie basse à un moignon de 0,15 m de diamètre environ sur une hauteur de 0,40 m.

Les observations réalisées sur la partie visible des pieux ne permettent pas de conclure sur l'absence de désordres dans leur partie enterrée, même pour les pieux apparemment sains. En effet, les désordres sont manifestement dus à des défauts lors du bétonnage des pieux, qui peuvent également avoir eu lieu dans leur partie enterrée.

C'est pourquoi la seule manière de garantir une tenue correcte de l'ouvrage à long terme serait de réaliser des fondations nouvelles sur pieux neufs dont la qualité est maîtrisable. Les parties émergées des appuis sont particulièrement dégradées : le béton des semelles et du bas des murs a disparu jusqu'aux armatures, qui sont très corrodées quand elles n'ont pas disparu également (figure 3). ▷





## MÉTHODE PAR RÉFLEXION

Essai méthode par réflexion  
NF 94-160-2  
Pile n° : 10  
Pieu n° : 3



5- Méthode par réflexion.  
6- Plan d'exécution d'un chemisage.

5- Reflection method.  
6- Working drawing of a lining.

L'analyse croisée des inspections des pieux révèle une situation alarmante dans leur partie immergée non enterrée, avec de nombreuses cavités importantes, et allant jusqu'à la disparition d'un tronçon de 9 m sur un des 4 pieux de la pile P9. Il apparaît urgent de reconstruire le pieu manquant et de réaliser les chemisages des pieux sur un linéaire cumulé de 278 m, au lieu des 37 m initialement prévus au contrat.

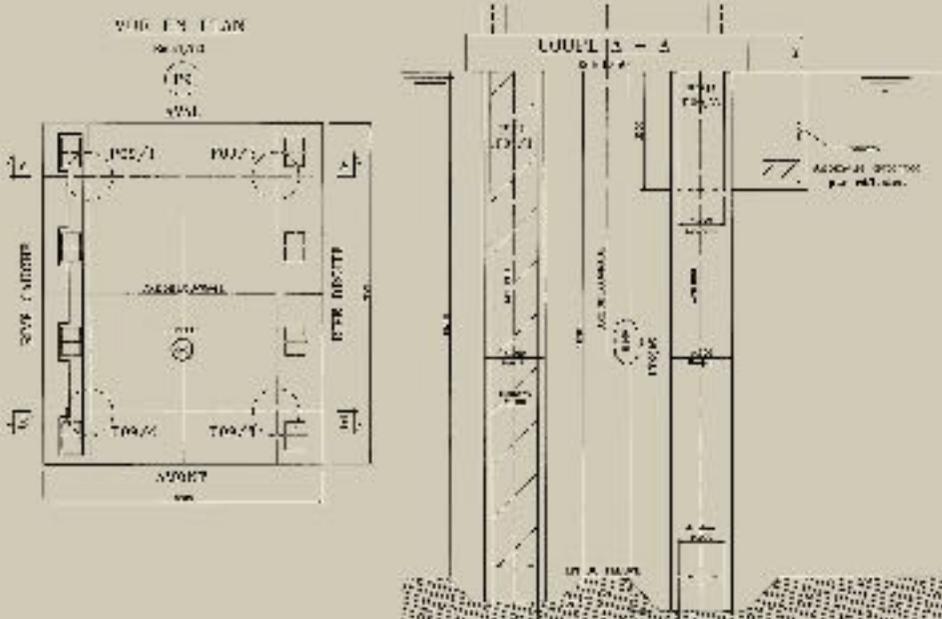
### TRAVAUX D'URGENCE - SÉCURISATION DES PIEUX EXISTANTS

Les travaux de sécurisation ont débuté par le pieu le plus critique, disparu partiellement sur la pile centrale P9. Une équipe de scaphandriers a été mobilisée pour ces travaux spéciaux, comprenant le dégagement du moignon semi-enterré du pieu dans le lit majeur du fleuve, la pose des armatures et des coffrages, puis le coulage du micro-béton afin de reconstruire la fondation (figure 6).

L'équipe dispose pour son intervention d'un container de plongée équipé (compresseurs, com-box, narguilés, monitoring, outillage) posé sur une barge accostée à la pile. Le courant (de l'ordre de 4 nœuds) et la faible visibilité rendent difficiles les travaux d'assemblage des cages d'armatures pré-façonnées et des viroles de coffrages métalliques (figures 7a & 7b).

Le micro-béton C30/37, incluant ciment maritime PM-ES et superplastifiant, est fabriqué au niveau de la base chantier, directement dans les camions autobétonnières de capacité 4 m<sup>3</sup>. Ces merlots acheminent alors le béton sur le tablier du pont, dont la circulation est alternée. Le micro-béton est ensuite pompé de bas en haut dans le coffrage, au travers des vannes disposées tous les mètres. La montée du micro-béton est contrôlée par les événements, qui sont refermés une fois que la partie supérieure du béton délavé a été évacuée.

## PLAN D'EXÉCUTION D'UN CHEMISAGE



© EIFFAGE SÉNÉGAL

© EIFFAGE SÉNÉGAL



7a



7b

© EIFFAGE SÉNÉGAL

Les travaux des chemisages de 1,3 m de diamètre des parties endommagées des autres pieux sont réalisés suivant le même procédé.

#### TRAVAUX DE RÉPARATION DES APPUIS

Les désordres relevés sont concentrés au niveau des semelles et en partie basse des voiles d'appui. Le traitement est réalisé sur la totalité des surfaces jusqu'à une hauteur d'élévation des voiles de 2,5 m. Au-delà, les éventuelles fissurations ou éclatement des bétons sont traités ponctuellement.

Après avoir installé des échafaudages constitués de tubes et de colliers à partir du tablier du pont, l'entreprise a procédé à la démolition du béton carbonaté, au remplacement et à la passivation des aciers corrodés, puis a utilisé la technique de projection du micro-béton par voie mouillée.

Les produits utilisés pour la fabrication du micro-béton projeté sont essentiellement constitués de liants hydrauliques, de sable, de gravier et de résines de synthèse. Une surépaisseur de 5 cm a été ajoutée par rapport aux dimensions initiales des semelles et voiles d'élévation afin de respecter la conformité des enrobages. Les parties dégradées qui ont été reprises sont protégées par un enduit à base de ciments spéciaux, de charges minérales et d'adjuvants, le tout formant une jupe en béton hydrofugé.

#### VÉRINAGE DES TRAVÉES ET REMPLACEMENT DES APPAREILS D'APPUI

L'instabilité des appuis, objet des travaux de la phase de sécurisation, n'a pas été sans conséquence sur les

interfaces reliant le tablier et les fondations. Il a donc fallu reconstituer les bossages existants et remplacer les appareils d'appui en néoprène fretté selon un mode opératoire combinant des moyens de manutention par nacelle pour faciliter l'accès aux points d'appui

et le bétonnage des nouveaux bossages avec du mortier prêt à l'emploi de très haute performance.

La contrainte majeure reste le vérinage des travées et l'exécution des travaux sans interruption prolongée de la circulation.

Le vérinage et le remplacement des appareils d'appui a été réalisé ligne par ligne à l'aide de 6 vérins par ligne. Les calages temporaires de sécurité ont permis de ne pas interrompre le trafic. La mise en place des calages pour les vérins hydrauliques et des calages



8

7a & 7b- Poste de plongée.  
 8- Réparation d'un voile.  
 9- Vérinage du pont.

7a & 7b- Diving station.  
 8- Repair of a shear wall.  
 9- Jacking the bridge.



9

© EIFFAGE SÉNÉGAL



© EIFFAGE SÉNÉGAL  
10

temporaires de sécurité à l'arrière des appareils d'appui existants a permis de reconstituer à l'avance les bossages. Un relevé altimétrique avant et après les opérations de vérinage a permis de respecter le calage du tablier. Les vérins reprennent la charge du tablier progressivement et permettent de lever une extrémité du tablier d'environ 10 à 20 mm pour permettre la reconstruction des bossages et la pose de l'appui en néoprène fretté.

#### AUTRES TRAVAUX CONFORTATIFS

Les éléments du tablier (trottoirs, garde-corps, revêtement de chaussée, joints de chaussée) ont fait l'objet d'une reprise à l'identique. L'entreprise a cependant apporté des améliorations dans le choix des matériaux constitutifs.

#### 10- Reprise du revêtement de chaussée.

#### 10- Repair of the pavement surfacing.

On pourra citer le changement des joints mécaniques des travées existantes, qui étaient inopérants car étant mal positionnés, par des joints plus souples de type WR50, ainsi que la reprise du revêtement de chaussée existant en bicouche par un béton bitumineux dense du type BB 0/8 de 4 cm d'épaisseur. À ce jour le confort de la circulation sur l'ouvrage est fortement apprécié par les usagers. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- 278 m** de pieux sécurisés (chemisages Ø 1300)
- 2 723 m<sup>2</sup>** de réparations et restaurations des semelles et des murs d'appui
- 144 u** d'appareils d'appuis remplacés après vérinage des travées
- 4 480 m<sup>2</sup>** de reprise du revêtement de chaussée y compris remplacement des joints
- 1 280 m** de remplacement des garde-corps et réparation des trottoirs

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Agence des Travaux et de Gestion des Routes
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** Aecom-Tecsult
- ENTREPRISE :** Eiffage Sénégal
- BUREAUX D'ÉTUDE :** Service Technique Ouvrages d'Art (Eiffage TP), Terrasol (Setec)

#### ABSTRACT

### RENOVATION WORK ON EMILE BADIANE BRIDGE IN ZIGUINCHOR

S. DEMOLLIENS, EIFFAGE - D. SECK, EIFFAGE - F.-B. CARTIAUX, EIFFAGE TP

**The Émile Badiane Bridge, built at the end of the 1970s, enables the trans-African Dakar-Lagos road to cross the Casamance River at Ziguinchor in Senegal. Of total length 640 m, the bridge has 18 independent spans. The deck is formed of post-tensioning prestressed concrete beams, and rests on piers formed by two reinforced concrete shear walls fixed on a foundation slab supported by four piles of dia. 1000 mm. The pathology of the structure concerns in particular the reinforced concrete piers, on which numerous concrete cracks and spalling can be seen, as well as major damage affecting the foundation piles. The renovation of the structure involves repair work on the piers and foundation slabs, and emergency work to improve safety, involving the execution of a reinforced concrete lining for the immersed part of the piles. □**

### OBRAS DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE EMILE BADIANE DE ZIGUINCHOR

S. DEMOLLIENS, EIFFAGE - D. SECK, EIFFAGE - F.-B. CARTIAUX, EIFFAGE TP

**Construido a finales de los años 1970, el puente Émile Badiane permite que la carretera transafricana Dakar Lagos cruce el río Casamanza en Ziguinchor, Senegal. Con una longitud total de 640 m, la estructura consta de 18 tramos independientes. El tablero está formado por vigas de hormigón pretensado por postensado apoyado sobre pilares constituidos por dos velos de hormigón armado empotradas en una zapata asentada sobre 4 pilotes de Ø 1.000. La patología de la estructura afecta más especialmente a los pilares de hormigón armado que presentan numerosas grietas y fracturas del hormigón, así como importantes alteraciones que afectan a los pilotes de cimentación. La rehabilitación de la estructura implica obras de recuperación de los pilares y zapatas, así como obras urgentes para reforzar la seguridad, que consisten en realizar un revestimiento de hormigón armado de los pilotes en su parte sumergida. □**



© PHOTOTHÈQUE PRADEAU MORIN

# « LE CARRÉ RICHAUD »

## 1 RUE RICHAUD - 78000 VERSAILLES

AUTEURS : FRÉDÉRIC LETOFFE, CHEF D'AGENCE, PRADEAU & MORIN - JEAN-PIERRE FRAYSSINET, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, PRADEAU & MORIN - AMÉLIE SANSON, CONDUCTEUR DE TRAVAUX JUNIOR, PRADEAU & MORIN

**LE PROJET CONCERNE LA RÉHABILITATION ET LA RESTRUCTURATION DU BÂTIMENT HISTORIQUE DE L'ANCIEN HÔPITAL RICHAUD, IMPLANTÉ DANS LE CENTRE-VILLE DE VERSAILLES. IL EST CONSTITUÉ DE QUATRE CORPS DE BÂTIMENT AVEC UNE CHAPELLE ET S'INSCRIT AUTOUR D'UNE COUR CENTRALE TRAVERSÉE PAR UNE GALERIE SOUTERRAINE. LE BÂTIMENT PRINCIPAL EXISTANT EST DESTINÉ À L'AMÉNAGEMENT DE LOGEMENTS AINSI QU'À LA CRÉATION DE TROIS ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC ET DE LOCAUX DESTINÉS À L'EXERCICE DE PROFESSIONS LIBÉRALES.**

### HISTORIQUE

L'origine de l'établissement hospitalier sur ce site remonte à 1707, date à laquelle Louis Blouin, conseiller et premier valet de chambre ordinaire du Roi, intendant des châteaux, parcs et domaines et dépendances de Versailles, l'acquiert pour le compte de Louis XIV. L'ancien hôpital Richaud, sous une apparence et remarquable homogénéité, a fait l'objet de nombreuses campagnes de travaux successives qui se

sont étalées sur près de 80 ans, depuis le début de sa construction dans les années 1781, jusqu'à son achèvement en 1859.

Cette belle unité tient au fait que le projet initial, conçu par l'architecte Charles-François Darnaudin, a pour ainsi dire toujours été respecté avec une grande fidélité.

Après le transfert des activités hospitalières sur un autre site (nouvel hôpital Mignot), l'ancien hôpital traverse une

**1- Le Carré Richaud.**

**1- Le Carré Richaud.**

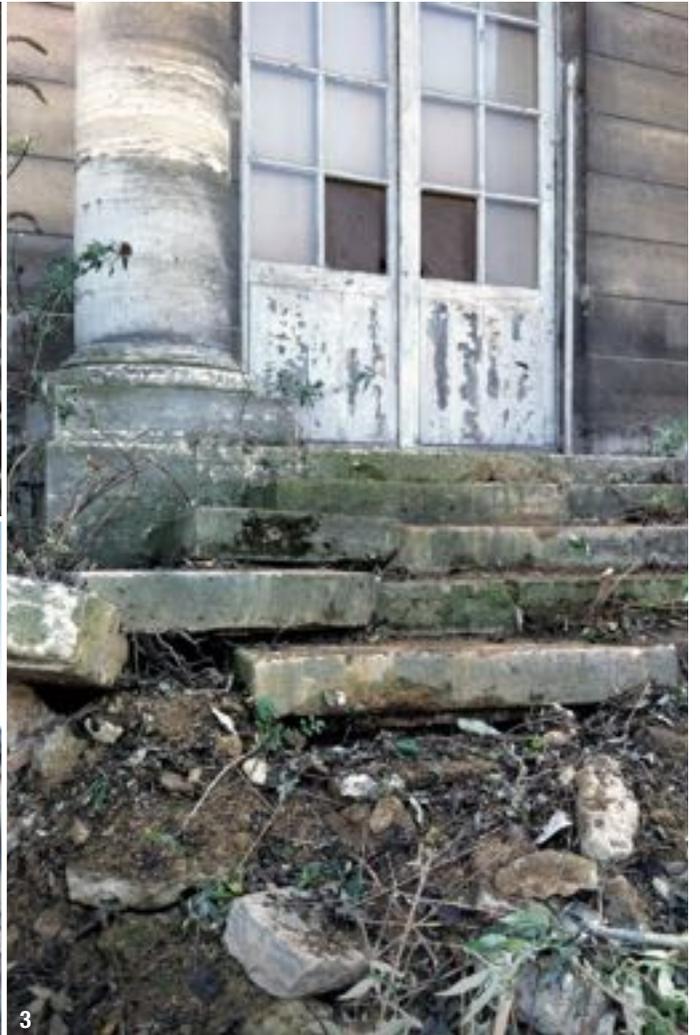
période d'incertitudes qui malheureusement aboutit non seulement à des dégradations rapides de ce patrimoine exceptionnel mais surtout à des

destructions regrettables, survenues notamment à la suite de plusieurs incendies - dont le dernier s'est déclaré en octobre 2009 - ayant ravagé à la fois une grande partie des toitures de l'aile occidentale ainsi que la moitié de celles de l'aile basse méridionale.

Rappelons ici que la chapelle, les façades et les toitures du quadrilatère historique ont été classées au titre des Monuments Historiques le 22 juillet 1980.



2



3



4

## PROJET

Le site de l'ancien hôpital Richaud a été depuis peu cédé par la ville de Versailles à la Société Le Carré Richaud qui est à l'origine d'un vaste et ambitieux programme de reconversion des bâtiments historiques et de construction d'immeubles de logements. Celui-ci, placé sous l'égide et le contrôle de la Ville, va permettre de requalifier et de redynamiser une zone urbaine majeure de Versailles, située entre le quartier de la gare Versailles Rive Droite et le quartier Notre-Dame.

Dans les grandes lignes, le projet global de reconversion et de restructuration du site comprend :

→ La démolition intégrale des bâtiments annexes et contigus ne présentant aucune valeur patrimoniale, et leur remplacement par des immeubles neufs aux endroits actuels des bâtiments de la maternité.

→ La restauration et la restructuration des espaces intérieurs considérés comme remarquables, à savoir, les deux grandes cages d'escalier des bâtiments dénommés B et D, l'ancien

**2- Taille de corniche en pierre.**

**3- Escalier Bâtiment B avant travaux.**

**4- Bâtiment B face nord après travaux.**

**2- Cutting a stone cornice.**

**3- Building B stairway before works.**

**4- Building B North side after works.**

Oratoire des soeurs ainsi que certaines coursives en articulation avec les escaliers précités et celles du bâtiment A.

→ L'aménagement et la reconversion des espaces intérieurs en logements, supposant la création de nouvelles distributions verticales, en complément des escaliers monumentaux.

→ La restauration et la modification des clôtures, à la fois donnant sur le boulevard de la Reine et sur la rue Richaud, dans l'objectif notamment d'assurer une plus grande transparence de l'ensemble patrimonial depuis le boulevard de la Reine.

→ L'ouverture large au public des espaces extérieurs y compris la cour intérieure de l'ancien hôpital, avec la création d'allées piétonnes longeant les flancs ouest et est du quadrilatère historique.

Ainsi le projet envisagé prévoit de redonner à l'enveloppe architecturale du quadrilatère historique son unité et son harmonie perdues au fil de plusieurs décennies d'indigence.

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'unité et l'harmonie générale de l'ordonnance des façades voulues par Darnaudin devaient absolument être retrouvées. Après des décennies d'indigence ou de réparations sommaires opérées dans l'urgence, les façades apparaissaient fort disparates et pour certaines d'entre elles dans un état très dégradé.

En préalable à toute proposition d'intervention, il était incontournable de déterminer les différents matériaux en œuvre d'autant que certains ouvrages étaient partiellement ou complètement masqués. Il a été parfois nécessaire de réaliser des sondages destructifs pour s'assurer des systèmes constructifs en présence, notamment pour les linteaux et piédroits des baies.

La restauration proprement dite des façades, qu'elles soient en pierre de taille ou en maçonneries enduites, a été réalisée sur la base des trois niveaux d'intervention définis d'après le diagnostic de leur état sanitaire, à savoir : **1- Interventions mineures** : ce niveau correspond à des ouvrages en bon état qui ne nécessitent qu'un nettoyage simple, des rejointoiements partiels et des reprises ponctuelles (reprise d'enduits en raccord, refichage de fissures et reconstitution de manques et/ou d'épaufrures au mortier de ragréage sur la pierre). Les parties concernées par ce niveau sont le plus souvent les parties courantes des façades. ▷

**2- Interventions intermédiaires :** ce niveau est proposé pour les ouvrages en pierre de taille dans un état médiocre, généralement les soubassements, impliquant une reprise des pierres à hauteur de 30% de la surface totale et un rejointoiement beaucoup plus conséquent que pour le premier niveau.

**3- Interventions majeures :** ce sont les zones en très mauvais état impliquant un remplacement complet des parements en pierre et une réfection à neuf des enduits.

### PRÉSENTATIONS DES TRAVAUX SUR FAÇADES

Plusieurs lots sont de la responsabilité de notre entreprise pour la restauration de façades du Carré Richaud.

Les travaux du lot 9 **restauration des façades - maçonnerie et pierre de taille** comprennent :

→ Les études, dessins d'exécution appelés calepins d'appareil qui localisent chaque pierres sur la façade, indique sa nature et son remplacement si nécessaire.

→ Les échafaudages nécessaires aux travaux sur 10 000 m<sup>2</sup> de façade, avec un montage planifié en 6 phases sur les 16 mois de travaux.



© PHOTOTHÈQUE PRADEAU MORIN

→ Le nettoyage des 10 000 m<sup>2</sup> de façade par hydrogommage. Le procédé « microfinage humide » à basse pression permet le nettoyage de toutes surfaces sans aggraver les supports. Un compresseur d'air (volume à partir de 5 000 l/mn et d'une pression de 7 bars) fournit à une cuve de 140 l munie d'un réducteur de pression, un air asséché au moyen d'un refroidisseur/déshumidificateur. L'air permet de véhiculer le granulats vers la buse à une pression réglable entre

1,5 à 3,5 bars avec une longueur de tuyauterie allant de 20 à 80 m. Le matériel est équipé d'une poignée de commande à distance montée sur la tuyauterie.

→ La fourniture, la taille et la pose de 120 m<sup>3</sup> de pierre neuve dans le respect des natures de pierre existantes et des règles de l'art. Les pierres proviennent du bassin carrier parisien de la région de l'Oise pour la Pierre de St-Maximin et de l'Aisne pour la Pierre de St-Pierre Aigle (figure 2).

**5- Réalisation de coulis dans maçonnerie de moellons.**

**6- Réalisation de coulis de maçonnerie et mise en place d'une armature pour l'enduit plâtre et chaux.**

**7- Bâtiment B façade est en cour de badigeonnage.**

**8- Sculpture avant restauration.**

**9- Sculpture après restauration.**

**5- Grouting in quarry stone masonry.**

**6- Masonry grouting and installing a reinforcing strip for the plaster and lime rendering.**

**7- Building B eastern facade undergoing whitewashing.**

**8- Sculpture before restoration.**

**9- Sculpture after restoration.**



© PHOTOTHÈQUE PRADEAU MORIN

© PHOTOTHÈQUE PRADEAU MORIN



Le dernier Lot en charge de la façade est le Lot 11 **restauration des décors sculptés** qui comprend :

→ La fourniture, la taille et la pose de pierre neuve pour réparation des sculptures altérées en pierre de St-Leu et Pierre de Méry (Oise). Suivant la méthodologie suivante : tracé de la partie de sculpture à reprendre, prise de cotes du bloc capable de pierre, débit du morceau de pierre, épannelage de la pierre et sculpture finale.

→ La consolidation des parties de sculptures desquamées et dégradées (figures 8 et 9).

→ La reprise des parties lacunaires par ragréage au mortier pierre par sciottage au disque dans l'axe des joints afin de ne pas abîmer la pierre. Traçage des raccords, découpe de la pierre et piochage manuel. Dépoussiérage des supports, humidification et application d'un mortier à base de chaux hydraulique teinté dans la masse en fonction des couleurs de pierres concernées. Mise en place de clous en laiton reliés par du fil laiton de façon à créer une armature. Les joints se trouvant au milieu des raccords ont été recoupés de façon à avoir la continuité des joints.

→ La réalisation d'une patine d'harmonisation entre les parties neuves et les parties anciennes à base de chaux et de pigment naturel en plusieurs passes de façon à obtenir un résultat homogène.

### UN CHANTIER LOGISTIQUE **RÉALISATION DU CALEPIN**

La réalisation du calepin (figure 10) se fait après le nettoyage de la façade. En effet le calepin est établi dès la fin du montage de l'échafaudage afin de repérer l'ensemble des pierres altérées. Ensuite le calepin est affiné et



12

© PHOTO THÉQUE PRADEAU MORIN

les détails des pierres sont étudiés un par un en accord avec l'Architecte en Chef des Monuments Historiques.

### **INTERCONNEXION AVEC LES AUTRES CORPS D'ÉTAT**

Durant toute la durée des travaux les charpentiers puis les couvreurs ont utilisé l'échafaudage mis en place pour la restauration des façades. Cela a amené une coactivité sur les mêmes zones de travail nécessitant une étude particulière sur la coordination entre les différents corps d'états.

De plus l'interface avec les menuiseries extérieures a demandé une précision d'exécution toute particulière quant à l'aplomb et au niveau sur la découpe

**12- Façade D avant travaux.**

**13- Échantillons de badigeons.**

**14- Essai de badigeon sur une travée complète.**

**12- Facade D before works.**

**13- Whitewash samples.**

**14- Trial whitewash on a complete span.**

des feuillures d'encastrement des fenêtres - figure 11).

### **RÉALISATION D'ESSAIS POUR APPROBATION**

Chaque teinte de joint, de badigeon, et type de pierres doit d'être validée par l'Architecte en Chef des Monuments Historique, c'est pour cette raison que plusieurs essais de badigeons ont été proposés pour l'ensemble des façades (figures 13 et 14).

### **APPROVISIONNEMENT DES PIERRES**

Certaines pierres étant très lourdes et volumineuses (entre 500 kg et 1 500 kg), l'approvisionnement des



13



14

© PHOTO THÉQUE PRADEAU MORIN



© PHOTO THÉO PRADEAU MORIN

15

pierres sur l'échafaudage s'est fait à l'aide d'une grue automotrice. La contrainte était de prévoir ces interventions en fonction de l'avancement des travaux et de gérer la préparation des pierres en amont. Les autres pierres étant acheminées jusqu'à leur place définitive par la

**15- Façade D après travaux.**

**15- Facade D after works.**

sapine à l'aide d'un treuil. De plus un atelier de taille de pierre a été monté en pied de l'échafaudage pour une gestion journalière des besoins en pierre.

**UNE DIMENSION HISTORIQUE**  
Procéder à la restauration de ce patrimoine historique a permis de partici-

per à la sauvegarde de notre héritage architectural. Partir d'un bâtiment en mauvais état et lui faire retrouver son prestige d'antan nous rapproche de ces bâtisseurs qui ont sculpté ce paysage historique urbain que nous connaissons aujourd'hui (figures 12 et 15). □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**120 m<sup>3</sup>** de pierre

**10 000 m<sup>2</sup>** d'échafaudage et de nettoyage de façade

**3 305 m<sup>2</sup>** de reprise de maçonnerie

**3 305 m<sup>2</sup>** d'enduit plâtre et chaux et de badigeon

Coût de l'opération pour la restauration des façades : 3 100 000 € HT

Délai d'exécution : 16 mois

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** SCI Le Carré Richaud

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Architecte en Chef des Monuments Historiques, cabinet 2BDM et Wilmotte et associés SA

**ENTREPRISE EN CHARGE DES LOT 9 - 10 ET 11 :**

Eiffage Construction Île-de-France Équipements et Patrimoine - Ets Pradeau & Morin

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :** Eiffage Construction IDF Résidentiel et Fonctionnel

## ABSTRACT

### "LE CARRE RICHAUD" 1 RUE RICHAUD - 78000 VERSAILLES

PRADEAU & MORIN : FRÉDÉRIC LETOFFE - JEAN-PIERRE FRAYSSINET - AMÉLIE SANSON

**This project concerns the renovation and structural re-engineering of the historic building of the old Richaud Hospital, located in the Versailles city centre. It consists of four buildings with a chapel and is located around a central courtyard crossed by an underground gallery. The existing main building is earmarked for the development of housing units and for the creation of three public buildings and premises intended for professional activities. This project requires the restoration of around 10,000 m<sup>2</sup> of facade, including work in new stones (120 m<sup>3</sup>) and the execution of masonry and plaster and lime rendering (3,305 m<sup>2</sup>). □**

### "LE CARRE RICHAUD" 1 RUE RICHAUD - 78000 VERSAILLES

PRADEAU & MORIN : FRÉDÉRIC LETOFFE - JEAN-PIERRE FRAYSSINET - AMÉLIE SANSON

**El proyecto se refiere a la rehabilitación y reestructuración del edificio histórico del antiguo hospital Richaud, situado en el centro urbano de Versailles. Está constituido por cuatro edificios con una capilla que rodean un patio central atravesado por una galería subterránea. El edificio principal existente está destinado al acondicionamiento de viviendas, así como a la creación de tres establecimientos que reciben público y locales destinados al ejercicio de profesiones liberales. Este proyecto requiere la restauración de cerca de 10.000 m<sup>2</sup> de fachada que incluyen obras con piedras nuevas (120 m<sup>3</sup>), así como la realización de mampostería y enlucido de yeso y cal (3.305 m<sup>2</sup>). □**

# RENFORCEMENT DU VIADUC DU LOING SUR L'AUTOROUTE A6

AUTEURS : JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGES D'ART, APRR - FARID SAIFI, CHEF DE PROJET, EGIS JMI PARIS  
ALAIN SIMON, RESPONSABLE PÔLE OUVRAGES SPÉCIAUX, EIFFAGE TP-STOA - BENOIT LALAUDE, DIRECTEUR VIA PONTIS, EIFFAGE TP

LE VIADUC DU LOING, DE TYPE VIPP, SITUÉ SUR L'AUTOROUTE A6 À HAUTEUR DE NEMOURS, A FAIT L'OBJET D'INVESTIGATIONS EN VUE DE VÉRIFIER LA CAPACITÉ PORTANTE DE SES DEUX TABLIERS. CELA A CONDUIT À UN RENFORCEMENT PASSIF LONGITUDINAL DES POUTRES PAR LAMELLES DE CARBONE, À UN RENFORCEMENT ACTIF ET PASSIF DES ABOUTS DE POUTRES AINSI QU'À LA DÉMOLITION/RECONSTRUCTION DU MUR GARDE-GRÈVE CÔTÉ PARIS, ET ENFIN AU CHANGEMENT DES APPAREILS D'APPUI ET DES JOINTS DE CHAUSSÉE. LE TOUT EN SEULEMENT 2 FOIS 3 SEMAINES.



1

© APRR

## PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est constitué de deux tabliers à 6 travées de 32,50 m. Sa longueur totale est de 195 m pour une largeur de 15,60 m par tablier. Son profil longitudinal présente une pente constante de 2 % vers Paris. Il a été construit en 1963-1964 par l'Entreprise Boussiron

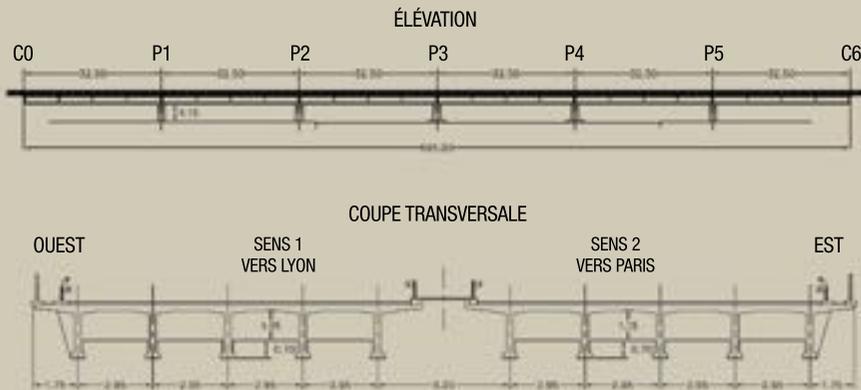
et permet à l'autoroute A6 de franchir la rivière Le Loing (qui est navigable), un chemin rural et un chemin de halage (figure 1). Chaque tablier comporte 3 voies de circulation supportées par 5 poutres (figure 2), reliées transversalement par 5 entretoises dont 3 intermédiaires et 2 sur appuis. Les poutres centrales sont précontraintes longitudi-

**1 - Vue générale de l'ouvrage avant travaux.**

**1 - General view of the structure before the works.**

nalement (procédé BBR) par 4 câbles 30 Ø 7 ancrés en about de poutre et 2 câbles 21 Ø 7 relevés au niveau du hourdis supérieur, respectivement par 4 câbles 30 Ø 7 et 2 câbles 18 Ø 7 pour les poutres de rives. Transversalement, chaque hourdis supérieur est précontraint par un câble 18 Ø 7 au pas de 1,05 m et toutes les entre-

## ÉLÉVATION ET COUPE TRANSVERSALE



© DR 2

toises sont également précontraintes. Les piles sont de type « marteau ». Les fûts cylindriques sont précontraints verticalement par 4 câbles 30 Ø 7 et les chevêtres précontraints horizontalement par 15 câbles 30 Ø 7. Les culées, composées d'un chevêtre et d'un mur garde-grève, sont fondées sur des pieux inclinés. L'ouvrage n'est pas muni de dalle de transition à ses extrémités. Les travées, indépendantes à la mise en service de l'ouvrage, ont été attelées sur appuis à deux reprises : en 1987, par ajout de barres Ø 36 aujourd'hui démontées, puis en 2004, par réalisation de dallettes de continuité.

### DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE - ÉTAT STRUCTURAL AVANT RÉPARATION

Dans le cadre de la campagne d'évaluation du parc des VIPP, APRR a engagé une série d'études et d'investigations en vue de vérifier la capacité portante de cet ouvrage et d'identifier les éventuels travaux de renforcement nécessaires. Cette phase de diagnostic a permis de mettre en évidence deux

#### 2- Élévation et coupe transversale.

3- Relevé réalisé en janvier 2013.

4- Sous face d'une travée après les travaux de renforcement par lamelles de carbone SikaCarbodur.

2- Elevation view and cross section.

3- Survey carried out in January 2013.

4- Underside of a span after the strengthening works with SikaCarbodur thin carbon plates.

problématiques principales à traiter : quelques non-conformités réglementaires de la structure vis-à-vis du BPEL 91 révisé 99, et un cheminement significatif du tablier sens 2, vers Paris (figure 3).

### RECALCUL – NON-CONFORMITÉS RÉGLEMENTAIRES

Un recalcul effectué en 2007 a révélé deux insuffisances au niveau des poutres : d'une part un déficit en armatures verticales assurant la transmission de la bielle d'about, et d'autre part une contrainte de traction à l'État Limite de Service rare pouvant atteindre 5 MPa en flexion longitudinale à mi-travée, pour une limite réglementaire de 2,70 MPa.

Compte-tenu de l'absence de pathologie correspondant à ces insuffisances (pas de fissuration), APRR a organisé des investigations complémentaires en vue d'approfondir la connaissance de l'état réel de l'ouvrage :

- Des sondages au marteau de tous les talons de poutres ;
- Des clichés gammagraphiques ;

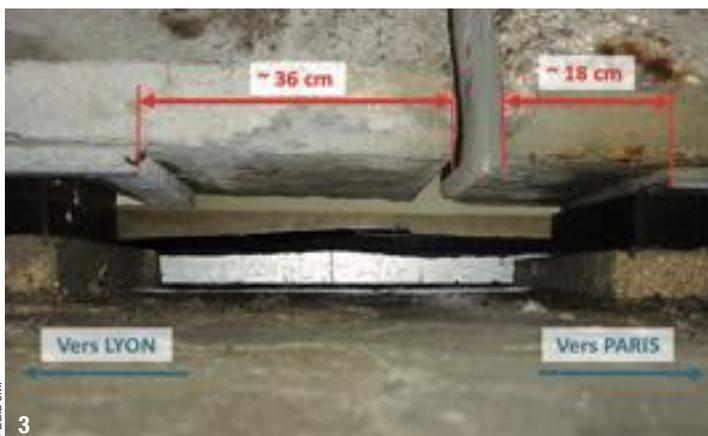
- La réalisation de 4 fenêtres autour de gaines de précontraintes dans le talon des poutres ;
- L'analyse chimique d'échantillons de béton prélevés sur l'ouvrage ;
- La mesure de tension résiduelle des câbles de précontrainte par la méthode de l'arbalète ;
- Un essai de chargement de chaque travée.

Cette campagne a permis de préciser un certain nombre d'hypothèses influant sur les résultats du recalcul. En particulier l'état du béton des poutres était relativement sain (profondeur de carbonatation faible, pas d'ions chlorure détectés), de même que celui des câbles de précontrainte (les fenêtres pratiquées et les clichés de gammagraphie ont montré un bon état de conservation des fils de précontrainte et de leur protection).

Les mesures à l'arbalète (dont les résultats étaient homogènes entre eux) ont montré que la tension moyenne des fils de précontrainte testés était de l'ordre de 15 % supérieure à celle prise en compte dans le recalcul.

En termes de réponse structurelle, les essais de chargement ont montré un comportement globalement linéaire et élastique du tablier, aucune anomalie n'ayant été constatée. Par ailleurs, une raideur significative a été observée au niveau des dallettes d'attelage, avec transmission partielle des moments entre travées.

Le recalcul a alors été repris en 2009 en prenant en compte ces nouvelles hypothèses et la contrainte en fibre inférieure des poutres à l'ELS rare est passée de -5 MPa à -3 MPa. L'ouvrage n'étant toujours pas réglementaire, APRR a décidé d'entreprendre les études et travaux nécessaires à la mise en conformité de l'ouvrage par un renforcement structurel passif par matériaux composite. ▶



© EGIS JMI 3

4

Au stade Projet, le tablier de l'ouvrage a fait l'objet d'un nouveau recalcul réglementaire par Egis JMI.

Ce calcul a permis de confirmer le diagnostic de l'ouvrage et de préciser les renforcements à prévoir :

**En flexion longitudinale**

Le principe de réparation retenu a été le suivant :

- **Sections vérifiées en classe I :** pas de décompression, aucun renforcement nécessaire ;
- **Sections vérifiées en classe II :** renforcement passif par lamelles de carbone en vue du respect du critère de non fragilité du BPEL (figure 4) ;
- **Sections vérifiées en classe III :** renforcement passif par lamelles de carbone en vue de respecter les critères de vérification à l'ELU.

**Aux abouts des poutres**

Le recalcul a mis en évidence une insuffisance des armatures verticales de l'ordre 10 cm<sup>2</sup>/m vis-à-vis des critères de vérification de la bielle d'about selon l'annexe 4 du BPEL. La solution retenue a été le renforcement par collage de bandes verticales en tissu de carbone.

**Vis-à-vis de l'équilibre du coin inférieur**

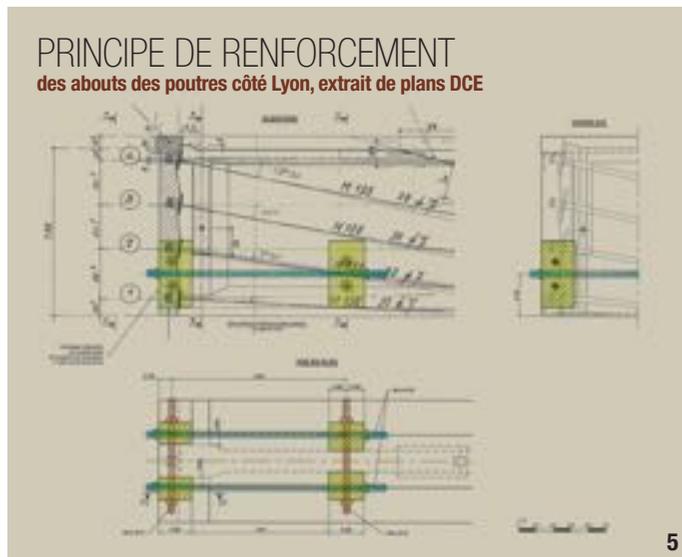
Jusqu'en 2012 les calculs avaient été effectués sur la base des cotes théoriques du dossier d'ouvrage sans tenir compte du cheminement du tablier. Dans cette configuration, les armatures existantes dans les poutres étaient suffisantes pour assurer l'équilibre du coin inférieur des abouts. C'est la raison pour laquelle le tablier sens 1 n'a pas été renforcé.

Pour le sens 2, étant donné le cheminement du tablier (qui sera abordé au chapitre suivant), les armatures existantes sont devenues insuffisantes au niveau des abouts situés côté Lyon. Compte-tenu des difficultés de disposer et surtout d'ancrer correctement les armatures passives (ou tissus de carbone), il a été décidé de retenir une solution de renforcement par barres actives (figure 5).

**LE CHEMINEMENT DU TABLIER SENS 2**

La surveillance périodique de l'ouvrage a mis en évidence un problème de cheminement du tablier sens 2 (figure 3), vers Paris, et dès 2004 l'ouvrage a fait l'objet de travaux :

- Changement des appareils d'appui et décalage des bossages supérieurs vers le sud ;
- Réfection des joints de chaussée



avec création d'un corbeau côté Lyon et rabotage du corbeau du mur garde-grève côté Paris.

Ces travaux n'ont pas stoppé le cheminement, qui s'est largement poursuivi. Avant les travaux de l'été 2013, le tablier se trouvait en butée contre le mur garde-grève côté Paris. Cette situation avait pour conséquences :

- La fermeture du joint de chaussée côté Paris et une ouverture anormalement grande du joint côté Lyon ;

→ L'échappement partiel des appuis néoprènes de l'emprise des bossages supérieurs (figure 3) ;

→ La diminution de la distance entre l'about des poutres côté Lyon et les appuis (figure 3).

Pour diagnostiquer ce phénomène, APRR a mis en place un suivi des déplacements du tablier sens 2.

L'instrumentation a été réalisée à l'aide de capteurs avec acquisition autonome de mesures toutes les heures.

Parallèlement, des sondes de température ont été mises en place à proximité des capteurs. Les mesures se sont déroulées sur la période de juin à novembre 2009. Elles ont mis en évidence la mise en butée du tablier sens 2 côté nord à une température constante, en écartant l'hypothèse d'un mouvement de la culée. Cependant ces investigations n'ont pas permis d'identifier la cause du cheminement du tablier sur ses appuis. En effet, la pente longitudinale de 2% de Lyon vers Paris est faible pour expliquer ce phénomène. Le freinage des poids lourds sur le tablier de l'ouvrage avant la bretelle de sortie Fontainebleau située à moins de 200 m du viaduc du Loing est évoqué comme cause probable de ce cheminement. Au stade Projet un relevé géométrique exhaustif de l'ensemble des appuis du viaduc sens 2, a été réalisé en janvier 2013 par Egis JMI. Il a permis d'établir un état point zéro précis des déplacements du tablier, dont les valeurs ne sont pas mesurées d'un appui à l'autre. Compte-tenu de la position de l'ouvrage et afin de résoudre ce problème de cheminement deux solutions étaient envisageables :

- 1-** Recaler le tablier en le « poussant » vers le sud ;



**5- Principe de renforcement des abouts des poutres côté Lyon, extrait de plans DCE.**

**6- Repérage des tabliers sens 1/2.**

**7- La distorsion du nouvel appareil d'appui constatée le 19/11/2013 témoigne d'un comportement normal des appuis après les travaux.**

**5- Schematic of strengthening of the beam end pieces on the Lyon side, excerpted from tender document drawings.**

**6- Identification of decks, directions 1/2.**

**7- The distortion of the new support system discovered on 19/11/2013 illustrates normal behaviour of the supports after works.**



8 © DF

**2-** Laisser le tablier en place et modifier la position des appuis.

La solution 2 a été retenue au terme de la phase Projet, prévoyant ainsi un recalage des appuis en laissant le tablier à sa place et en munissant les nouveaux appareils d'appui sur piles de dispositifs anti-cheminement.

La solution de poussage a été écartée car, outre les difficultés techniques de sa mise œuvre et son impact sur l'exploitation, elle ne permettait pas de recentrer le tablier sur toutes les lignes d'appui et de revenir à la situation d'origine de l'ouvrage à sa mise en service. Finalement les opérations consistent en :

→ Un renforcement des abouts de poutre côté Lyon pour assurer l'équilibre du coin ;

→ Un vérinage du tablier pour démolir et reconstituer les bossages supérieurs et certains bossages inférieurs ;

→ Une mise en place d'appuis néoprènes munis de dispositifs anti-cheminement sur toutes les piles et d'appuis néoprènes munis de plaque de glissement sur culées ;

→ Une démolition et une reconstruction du mur garde-grève côté Paris en vue recréer un vide suffisant pour le fonctionnement normal du nouveau joint de chaussée ;

→ La réalisation d'un corbeau sur le mur garde-grève côté Lyon pour réduire l'espace entre le mur garde-grève existant et l'about du tablier.

Dans cette nouvelle configuration, le point « neutre » des déplacements du tablier se trouve à nouveau à proximité de la pile P3.

Le schéma statique de l'ouvrage reste inchangé.

**ÉTUDES D'EXÉCUTION**

Les études d'exécution relatives aux différents travaux de renforcement de l'ouvrage ont été menées par le STOA, bureau d'études intégré d'Eiffage TP. Le renforcement en flexion longitudinale des cinq poutres de chaque travée, a été réalisé au moyen de lamelles pultrudées SikaCarbodur M1214 (composite dont le module de déformation est de 210 GPa), pour satisfaire les critères de la classe II du BPEL.

Après vérification des limites réglementaires pour les contraintes normales, le calcul des sections nécessaires, inspiré du BPEL pour les armatures et transposé aux matériaux composites dans l'avis technique du procédé, a été conduit en considérant un taux de travail admissible de 500 MPa en traction dans les lamelles.

Enfin, comme pour un projet de béton armé, une épure d'arrêt des bandes de composite a été tracée pour chaque famille de poutres (centrales ou en rives), de façon à déterminer en chaque section le nombre de bandes

et de couches superposées (2 couches maxi) à mettre en œuvre (figure 4).

Le recours à des composites a également été nécessaire aux extrémités des poutres, afin de pallier ici un déficit d'armatures verticales assurant la transmission de la bielle d'about.

Des bandes de composite carbone-époxy stratifié in-situ C-Sheet 240 (tissu présentant un grammage de 400 g/m<sup>2</sup>) ont été mises en œuvre verticalement de part et d'autre des âmes des poutres.

Leur dimensionnement a été conduit selon le BPEL pour la détermination des sollicitations et des sections d'aciers nécessaires, complété par les recommandations de l'AFGC sur les matériaux composites (figure 8) et l'avis technique du procédé, pour prendre en compte le cumul armatures passives/bandes de composites ainsi que la détermination des longueurs d'ancrage des bandes.

Toujours aux extrémités des poutres, mais cette fois uniquement côté point haut du tablier Lyon-Paris, une précontrainte longitudinale additionnelle par barres a été dimensionnée pour compenser le déficit d'armatures passives horizontales existantes en partie basse des poutres.

L'effort à apporter par cette précontrainte était de 18,4 t pour les poutres de rives, et de 15,8 t pour les poutres centrales. Des barres Macalloy Ø 26,5 ont été retenues, à raison d'une barre disposée symétriquement de part et d'autre de chaque poutre. ▷

**8- Recommandations de l'AFGC.**

**9- Hydrodémolition d'un about de poutre du tablier sens 2.**

**10- Cellule de force.**

**11- Démolition partielle du mur garde-grève de la culée Nord sens 2.**

**8- Recommendations of the French civil engineering association (AFGC).**

**9- Hydrodemolition of a beam end piece on the deck, direction 2.**

**10- Load cell.**

**11- Partial demolition of the northern abutment wall, direction 2.**



© EGIS JMI 9



© EGIS JMI 11



© EIFFAGE TP

10



12



13



14



15

FIGURES 12, 13 & 15 © VIA PONTIS - FIGURE 14 © EGIS JMI

Le transfert de l'effort, depuis les barres jusqu'à la poutre concernée, s'opère via des massifs en béton armé cloués à travers l'âme de la poutre et dans lesquels sont ancrées les barres longitudinales (figure 5). Il est à noter que le projet prévoyait la démolition partielle du béton de cachetage avant la réalisation des massifs d'about. En fait il s'est avéré que le béton de cachetage avait une très bonne résistance et cette opération a été effectuée à l'aide de la technique d'hydrodémolition (figure 9) afin de ne pas endommager les têtes d'ancrage des câbles existants, procédé BBR.

Le clouage des massifs, en béton C40/50 coulé en place, est assuré par des paires de barres Macalloy Ø 32 tendues à 0,5 f<sub>tg</sub>. La reprise de l'effort longitudinal est alors justifiée par le coefficient de frottement à l'interface massif/âme des poutres. Conformément à la norme NF P 95-104 et compte-tenu du mode de traitement de cette interface, un coefficient  $\varphi = 0,75$  a été retenu.

En raison de la très faible longueur des barres de précontrainte, en particulier de celle des clous Ø 32, les pertes de tension sont inévitablement importantes. Pour vérifier sur site que

ces pertes restaient bien en deçà du calcul théorique qui a été conduit, un certain nombre de barres ont été équipées de cellules de force type Glötzl (figure 10).

Outre les opérations classiques de vérinage, de reprise de bossages et de changement des appareils d'appuis, les études ont également porté sur la conception d'un nouveau mur garde-grève à substituer à celui en place au niveau de la culée en point bas du tablier Lyon-Paris. Ce dernier était en effet en butée contre le mur. Compte-tenu des exigences à respecter en termes de délai d'intervention, une solution recourant au maximum à la préfabrication et au minimum aux travaux sur site, a été retenue. Le principe a été de libérer le déplacement du tablier en procédant par sciage de l'ancien mur garde-grève, uniquement au niveau des parties en contact (figure 11). Des échancrures ont donc été réalisées dans l'encombrement de l'âme de chacune des 5 poutres précontraintes et un sciage horizontal a permis de libérer le hourdis supérieur. Ce nouveau mur a été préfabriqué en 5 tronçons, qui ont été scellés contre l'ancien (l'interface ayant été enduite de Sikadur 30 colle à la spatule cran-

**12- Échafaudages sous le tablier.**

**13- Mise en œuvre des lamelles composites en sous face d'une poutre.**

**14- Contrôle de la mise en œuvre des lamelles par thermographie infrarouge.**

**15- Mise en tension des barres de précontrainte.**

**12- Scaffolding under the deck.**

**13- Execution of thin composite plate on the underside of a beam.**

**14- Check on execution of the plates by infrared thermal imaging.**

**15- Tensioning of prestressing bars.**

tée) entre les échancrures, au moyen de barres HA scellées à la résine. Pour gagner un maximum de temps, les tronçons préfabriqués présentaient déjà en réservation tous les trous pour le scellement des barres. Entre ces tronçons munis d'aciers en attente, des bandes verticales de clavage ont été bétonnées sur place avec un béton C40/50, pour conférer son monolithisme au nouveau garde-grève. Enfin, la partie supérieure des éléments préfabriqués était aménagée pour recevoir le joint de chaussée Maurer.

Cette conception a permis de réaliser l'ensemble des opérations en une seule coupure de l'autoroute de moins de 4 jours, en 92 heures exactement.

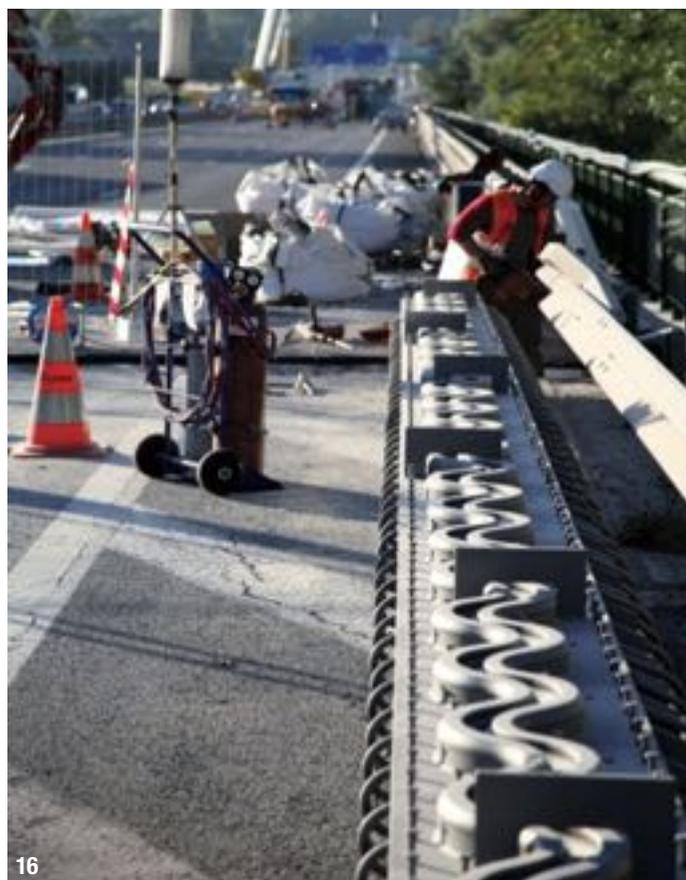
## DÉROULEMENT DES TRAVAUX

La période de préparation de l'opération a démarré début juillet 2013. Elle a consisté à caler le planning de l'opération en deux périodes de 3 semaines. Durant cette période de moins de 2 mois, l'ensemble des documents d'études a été établi : notes de calculs, plans d'exécution, agréments des produits et procédures d'exécution de l'ensemble des prestations à réaliser. Toujours pendant cette période de pré-

paration, les moyens d'accès par échafaudages suspendus en sous face de la totalité des trois travées situées sur le Loing (figure 12) qui ont été posés au mois d'août par anticipation, ont été validés afin de pouvoir démarrer les travaux dès le 3 septembre 2013. En parallèle, des relevés in situ ont été lancés pour caler la géométrie des joints ainsi que les épaisseurs de revêtement de chaussées. Durant les 3 premières semaines (de 4 jours car pendant les week-ends la circulation devait être rétablie à 2x3 voies) de septembre, plus de 2 km de renforcements en matériaux composites en sous face de poutres, dans le sens 1 ont été mis en œuvre (figure 13) alors que la circulation était basculée en sens 2. Les travaux de collage des lamelles composite ont fait l'objet d'un contrôle exhaustif assuré par le CEBTP en tant que contrôleur extérieur pour le compte d'APRR. Ce contrôle a été réalisé par thermographie infrarouge (figure 14). En parallèle, 120 massifs de précontrainte ont été réalisés en enchaînant des travaux d'hydrodémolition, de préparation de surface, de reconnaissance radar, de ferrailage, de coffrage et de coulage de béton à prise rapide, ainsi que des travaux de mise en tension des barres, sens 2 (figure 15).

La réalisation de l'ensemble de ces tâches a permis d'attaquer la deuxième phase de renforcement dès le basculement de sens de circulation le 23 septembre 2013 (semaine 39). Cette semaine fut la plus cruciale de l'opération, du fait de l'activité intense du chantier. Jour et nuit, des équipes sont intervenues simultanément sur les postes suivants :

→ Renforcement en matériaux composites sur plus de 2 km en sous face de poutres, sens 2 ;



16  
© EGIS JMI

**16- Réfection du joint de chaussée côté Paris après réalisation du nouveau mur garde-grève.**

**16- Repair of the pavement joint on the Paris side after completion of the new abutment wall.**

→ Travaux de préparation et vérinage de l'ouvrage ;  
→ Dépose des joints existants et création d'un joint type Maurer côté Lyon ;  
→ Démolition et reconstruction du garde grève côté Paris (figure 16).  
Il convient de noter que les travaux ne pouvaient se dérouler qu'entre le lundi 12h et le vendredi 8h. Pour valider et assurer le bon déroulement des opérations, Via Pontis a mobilisé des moyens très importants en matériel et personnel de manière à respecter ces contraintes d'exploitation. La coopération intelligente de l'ensemble des acteurs présents sur le chantier a permis de relever le challenge de rendre l'ouvrage aux usagers de l'A6 semaine 41 comme initialement prévu au planning du marché. À l'issue de cette période critique, les travaux de finition situés sous l'ouvrage ont pu alors être entrepris (des travaux de vérinage et de changement d'appareils d'appuis sur 2 culées ont été également réalisés après la semaine 41 sous circulation). Dans le délai imparti à fort enjeux techniques et commerciaux, cette opération d'envergure fut très délicate à réaliser. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** APRR - Direction Régionale Paris, et le Service Viabilité/sécurité District du Gâtinais d'APRR, pour les aspects liés à l'exploitation en phase travaux

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Egis Structures & Environnement / Egis JMI

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Via Pontis / Eiffage TP

**BUREAU D'ÉTUDES D'ENTREPRISE :** Eiffage TP - Service Technique Ouvrages d'Art

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR DES BÉTONS ET MISE EN ŒUVRE DES LAMELLES ET TISSUS DE CARBONE :** CEBTP - agence d'Orléans

## ABSTRACT

### STRENGTHENING THE LOING VIADUCT OVER THE A6 MOTORWAY

JEAN-PHILIPPE MARION, APRR - FARID SAIFI, EGIS JMI PARIS - ALAIN SIMON, EIFFAGE TP-STOA - BENOIT LALAUDE, EIFFAGE TP

**Due to the sensitive nature of viaducts with independent prestressed beam spans, the Loing viaduct, located on the A6 motorway at the level of Nemours, underwent a series of investigations in order to check the load-bearing capacity of its two decks. These investigations led to passive longitudinal strengthening of the beams with thin carbon plates, active and passive reinforcement of the beam end pieces, demolition/reconstruction of the abutment wall on the Paris side, and finally a change of pavement support systems and joints. The major challenge of the project was to perform these works in two times 3 weeks by a lane deviation on the A6 motorway with reopening as a three-lane dual-carriageway during each weekend. □**

### REFUERZO DEL VIADUCTO DEL RÍO LOING EN LA AUTOPISTA A6

JEAN-PHILIPPE MARION, APRR - FARID SAIFI, EGIS JMI PARIS - ALAIN SIMON, EIFFAGE TP-STOA - BENOIT LALAUDE, EIFFAGE TP

**Debido al carácter sensible de las estructuras de tipo VIPP (viaductos de tramos independientes de vigas pretensadas), el viaducto del río Loing, situado en la autopista A6 a la altura de Nemours, ha sido objeto de una serie de investigaciones para verificar la capacidad portante de sus dos tableros. Estas investigaciones llevaron al refuerzo pasivo longitudinal de las vigas con láminas de carbono, al refuerzo activo y pasivo de los extremos de las vigas, a la demolición/reconstrucción del muro de contención por el lado de París y, finalmente, al cambio de los aparatos de apoyo y juntas de dilatación. El mayor reto del proyecto era la realización de estas obras en 2 veces 3 semanas por derivación de circulación a la autopista A6 con reapertura de 2x3 carriles los fines de semana. □**



# TRAMWAY DE TOULOUSE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DES OUVRAGES DU PONT SAINT-MICHEL

AUTEURS : SAMY AMMAR ET YANNICK PALACIN, RESPONSABLES TRAVAUX, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE - VSL FRANCE -  
CYRIL COTTEY, CHEF DE PROJET OUVRAGE D'ART, BUREAU D'ÉTUDES COGECI

DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE LIGNE DE TRAMWAY GARONNE À TOULOUSE, LES ÉQUIPES DE VSL FRANCE (BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE) ASSOCIÉES AU BUREAU D'ÉTUDES COGECI ONT RÉALISÉ LES TRAVAUX D'AMÉNAGEMENTS DU PONT SAINT-MICHEL SUR LA GARONNE POUR LE COMPTE DE LA SMAT (SOCIÉTÉ DE MOBILITÉ DE L'AGGLOMÉRATION TOULOUSAINNE) EN VUE DE PERMETTRE À CET OUVRAGE DE RECEVOIR LES FUTURES RAMES DU TRAMWAY. CES TRAVAUX SONT L'ILLUSTRATION DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES EMPLOYÉES EN RÉPARATION ET RENFORCEMENT D'OUVRAGES ANCIENS.

## PRÉSENTATION DU PROJET

### UN ENJEU DE MOBILITÉ POUR LES TOULOUSAINS

La ligne Garonne prolonge le tramway T1 de l'agglomération toulousaine. Elle permet de relier le quartier Saint Cyprien au Grand Rond et dessert les quartiers Croix de Pierre, avenue de Muret, Fer-à-Cheval (non desservis

par le métro). Elle offre de nouvelles connexions, en particulier avec la ligne B du métro à la station Palais de Justice, permettant ainsi à terme de connecter le centre ville à l'aéroport de Blagnac. Ce projet est la première réalisation d'une extension du réseau de transports en commun en site propre. Il sera complété dans les prochaines années par de futures lignes reliant des

1 - Vue  
générale du  
pont Saint-Michel.

1 - General  
view of Saint-  
Michel Bridge.

quartiers en création ou en rénovation. La ligne emprunte les ouvrages de franchissement de la Garonne qui sont au nombre de cinq. D'une longueur de 3,8 km environ, cette ligne desservira 8 stations, à une vitesse moyenne de 20 km/h. Les travaux ont commencé en 2011. La mise en service est programmée pour le printemps 2014 (figure 2).

2- Tracé de la ligne T1.  
3a, 3b & 3c- Voirie sur l'ouvrage.  
4- Vue générale des travaux de renforcements et des échafaudages.

2- Route of line T1.  
3a, 3b & 3c- Road on the bridge.  
4- General view of strengthening works and scaffolding.



© SMAT

2

## L'ADAPTATION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA GARONNE

Le pont Saint-Michel est composé de 5 ouvrages :

- Les OA1 et 5 de type voûtes en maçonneries, élargies latéralement par des voûtes en béton armé ;
- Les OA3 et 4 de type VIPP, d'une portée de 36 m ;
- L'OA2, constitué par la succession de 5 ponts à béquilles de 65 m de long, en béton précontraint.

Ce dernier, initialement construit en

1890, a fait l'objet d'importants travaux d'élargissement menés de 1958 à 1964.

Ces ouvrages étaient initialement destinés à un trafic routier urbain. Le chantier de transport en commun a nécessité des aménagements de surface et une mise à niveau des ouvrages.

Les travaux ont été réalisés en plusieurs phases de manière à maintenir la circulation pendant le chantier.

Sur l'extrados, le profil en travers a été totalement modifié pour permettre le passage des 6 voies routières d'origine

au projet actuel comprenant un trottoir aval, une piste cyclable, une voie routière aval, la plateforme du tramway, une voie routière amont, un trottoir amont. Ces travaux ont été opérés en 3 phases sans interruption de la circulation. Les ouvrages maçonnés ont été renforcés par des dalles en béton. Les garde corps, le complexe d'étanchéité et le revêtement ont été remplacés (figures 3a, 3b et 3c).

En intrados, d'importants travaux de réparation et de renforcement ont été réalisés sur les trois ouvrages en béton

précontraint (figure 4). Ces travaux ont été menés en 2 phases :

**1-** Lors d'une première phase, le remplacement des appareils d'appui a été opéré sur l'ouvrage à béquilles avec la mise en place d'appuis glissants en travée, de bielles sur les poutres de rive et d'appuis anti-soulèvement sur les culées. Les fondations des ouvrages ont été auscultées et les réparations ont été effectuées. Les parements béton ont été ragréés.

**2-** En seconde phase, les travaux ont consisté à renforcer les poutres des trois ouvrages en béton précontraint pour supporter les surcharges supplémentaires apportées notamment par la plateforme de tramway. Le renforcement a été effectué par des câbles de précontrainte extérieure et des matériaux composites, mis en œuvre par les équipes spécialisées de VSL France, marque exploitée par BYTPRF et certifiée ASQPE. Les câbles sont venus soutenir les poutres pour accroître leur résistance à la flexion. Ils ont été ancrés sur des massifs en béton eux-mêmes cloués par des barres précontraintes aux extrémités des poutres. Les renforcements composites ont permis de reprendre les efforts complémentaires sur la structure existante et de compenser le déficit d'armatures passives dans les poutres renforcées.



© BYTPRF

3a

3b

© BYTPRF

3c

4

## LES ÉTUDES D'EXÉCUTION LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Les études d'exécution du renforcement du pont Saint-Michel ont été réalisées avec les hypothèses suivantes :

- Règlement de calcul appliqué : règles Eurocodes ;
- Charges considérées pour le recalcul de la flexion longitudinale de l'ouvrage :
  - fascicule 61 titre II (système de charge civile A1, Bc, et charges de trottoir associées) par application de la note d'information du Setra n°35 de mai 2012 « Méthodes courantes d'évaluation structurale des ouvrages existants » ;
  - charges de tramway CITADIS 302 et CITADIS 402 ;
- Étude de clouage des massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle : norme NFP 95-104 ;
- Étude de diffusion : guide du Setra « Diffusion des efforts concentrés » de novembre 2006 ;
- Étude des renforcements carbonés : Recommandations provisoires de l'AFGC « Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites » de février 2011.

## LES MODÈLES DE CALCUL UTILISÉS

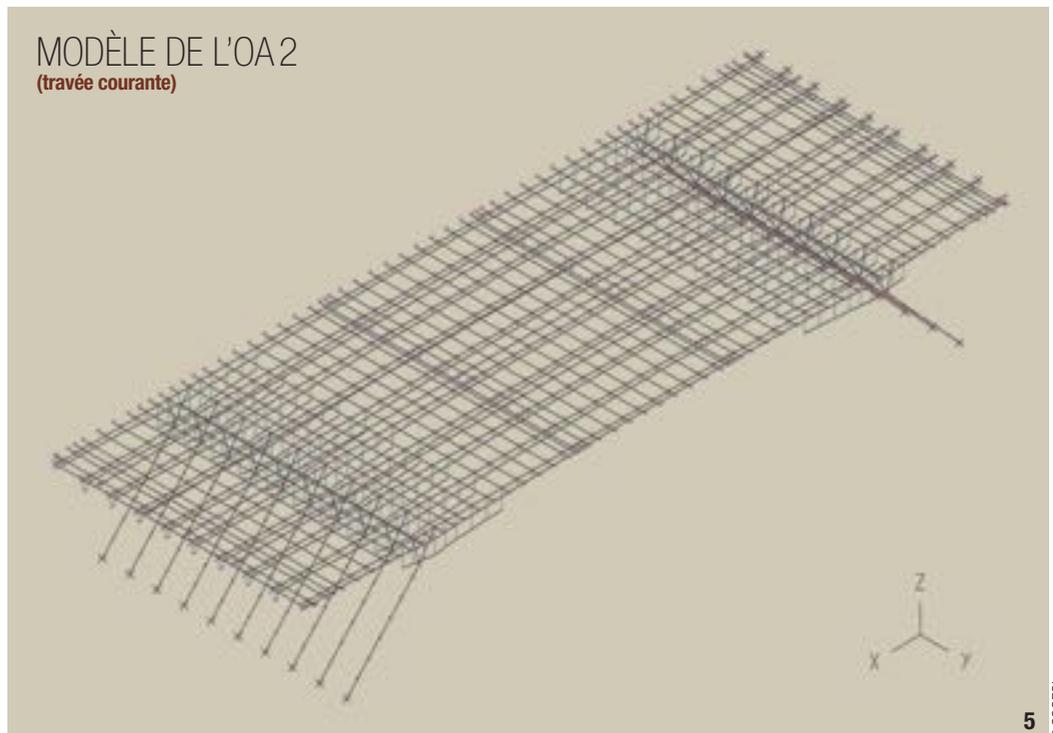
### Modèles généraux 3D ST1 :

Les études du pont Saint-Michel ont été conduites à l'aide de deux modélisations 3D « en grillage de poutres » réalisées sur le logiciel ST1 :

- Un modèle traduisant le comportement d'une travée courante de l'ouvrage OA2 (pont à béquilles) ;
- Un modèle traduisant le comportement des ouvrages OA3 et OA4 (ponts VIPP).

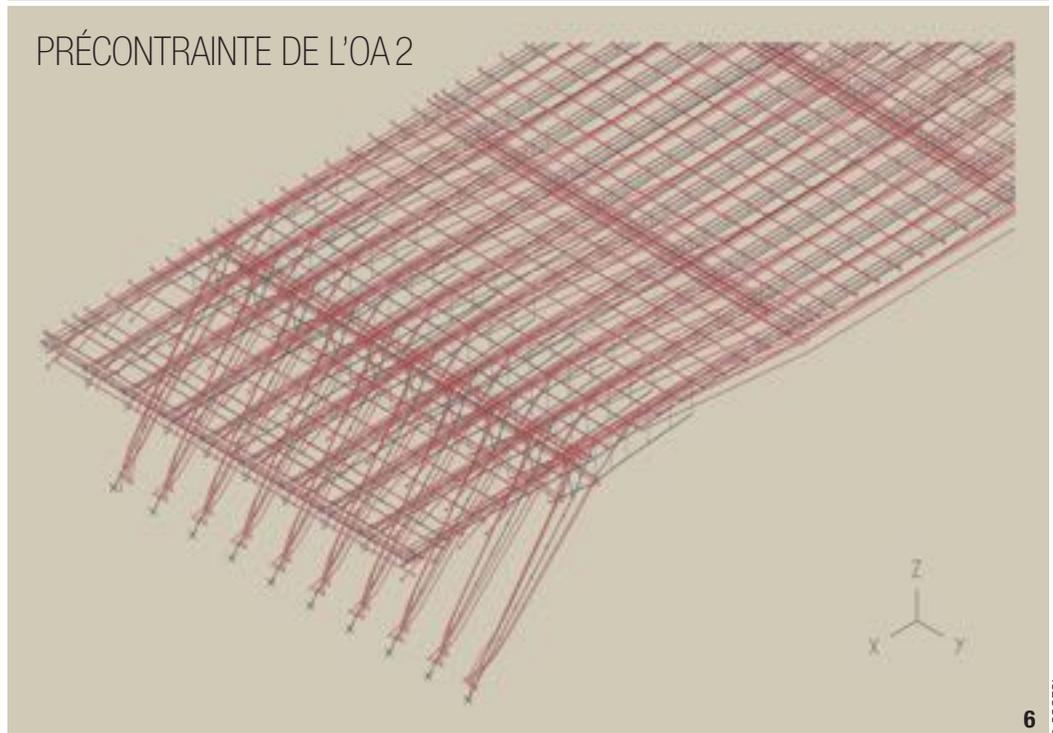
Le principe de la modélisation en grillage de poutres consiste à traduire au moyen d'une série de barres longitudinales chacune des 10 poutres (et béquilles associées pour l'OA2) et de relier ces barres longitudinales au moyen d'un réseau de barres transversales traduisant le comportement du hourdis.

Ce type de modélisation, assez lourd à mettre en œuvre, présente l'avantage d'avoir directement la bonne répartition transversale des charges sur les différentes poutres de l'ouvrage, assurée d'une part par le hourdis et d'autre part par les entretoises transversales, tout en préservant l'intérêt et les fonctionnalités d'un logiciel à barres comme ST1 (définition précise de la précontrainte, génération automatique des charges



5

© COGECI



6

© COGECI

roulantes, phasage de construction, gestion des enveloppes, fluage scientifique...).

L'intégralité du câblage de précontrainte existante a été modélisée dans ST1 :

- Précontrainte longitudinale des poutres ;
- Précontrainte verticale dans les béquilles ;
- Précontrainte transversale dans le hourdis ;
- Précontrainte transversale dans les entretoises.

### 5- Modèle de l'OA2 (travée courante).

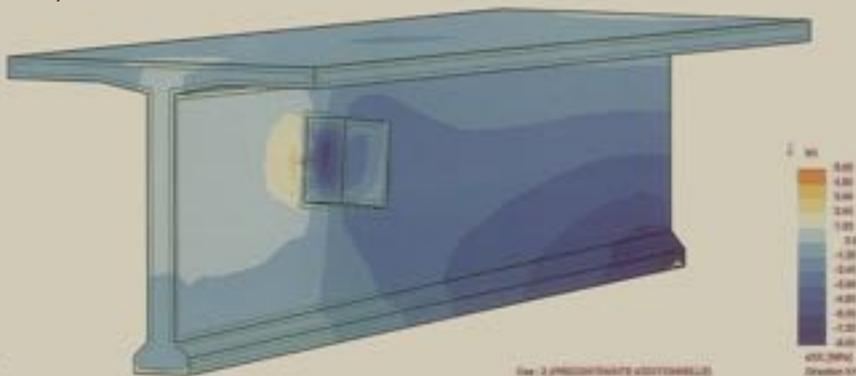
### 6- Précontrainte de l'OA2.

### 5- Model of structure 2 (main span).

### 6- Prestressing of structure 2.

Pour traduire le plus fidèlement possible l'état de contrainte dans les poutres, la tension des câbles existants considérée dans le modèle de calcul a été calée sur la tension réelle de ces câbles, mesurée par des essais in situ (essais à l'arbalète). La modélisation du câblage a été complétée par la précontrainte additionnelle extérieure projetée. Le phasage de construction d'époque a également été intégré dans le modèle de calcul du fait des spécificités de réalisation suivantes et de leurs impacts

## CONTRAINTES NORMALES DANS UNE POUTRE COURANTE DE L'OA 2 (zone des massifs)



© COGECI

7

7- Contraintes normales dans une poutre courante de l'OA 2 (zone des massifs).

8- Exemple de répartition des bandes V2C® sur la poutre n°2 de l'OA 2.

9- Déviateurs OA 3 et OA 4.

7- Normal stresses in a standard beam of structure 2 (foundation region).

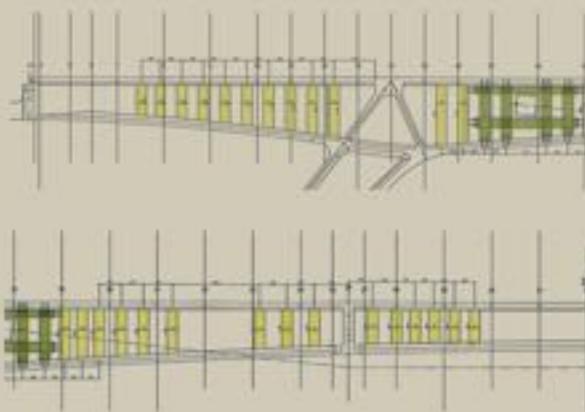
8- Example of distribution of V2C® strips on beam No. 2 of structure 2.

9- Deviator structures 3 and 4.

sur la distribution des contraintes dans l'ouvrage : (phasage de l'OA2) :

- Construction des 5 béquilles droites du côté amont ;
- Construction des 5 béquilles gauches du côté amont ;
- Construction des 5 béquilles droites du côté aval ;
- Construction des 5 béquilles gauches du côté aval ;
- Construction des 5 poutres du côté amont et mise en tension de 3 câbles de précontrainte sur 7 ;

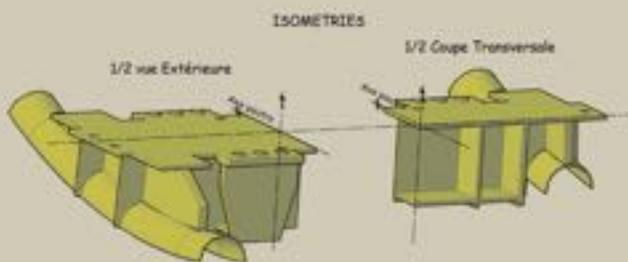
## EXEMPLE DE RÉPARTITION DES BANDES V2C® SUR LA POUTRE N°2 DE L'OA 2



© COGECI

8

## DÉVIATEURS OA 3 ET OA 4



© BYTPRF

9

- Construction des 5 poutres du côté aval et mise en tension de 3 câbles de précontrainte sur 7 ;
- Construction des entretoises et des hourdis entre poutres ;
- Mise en tension du reste des câbles de précontrainte des poutres ;
- Mise en tension de la précontrainte des béquilles ;
- Mise en tension de la précontrainte transversale (entretoises et hourdis). Les effets différés du béton ont été considérés dans l'analyse : retrait,

relaxation de la précontrainte, fluage du béton calculé selon une approche scientifique permettant une vérification à différents moments de la vie de l'ouvrage (avant réparation, lors des différentes phases de construction et au temps infini) (figures 5 et 6).

### Modèle local ROBOT 3D :

Une modélisation en éléments finis volumiques a été réalisée sous le logiciel ROBOT pour l'étude des zones d'ancrages de la précontrainte. L'étude se limite à la modélisation d'une seule

poutre avec sa table, la longueur de poutre modélisée est de 6 m (2 m avant le massif en direction de l'about et 4 m derrière le massif en direction de la mi-travée). Ce modèle a notamment permis de déterminer plus finement les longueurs de régularisation des efforts de précontrainte additionnelle à l'arrière des massifs et de compléter les vérifications d'équilibre général de diffusion conduites de manière analytique selon le guide du Setra « Diffusion des efforts concentrés » de novembre 2006 (figure 7).

## LES ÉTUDES DE FLEXION LONGITUDINALE

Les études de flexion longitudinale ont été conduites à l'aide des résultats suivants du modèle ST1 :

- Contraintes normales dans les poutres à l'ELS, pour établir la comparaison avec les valeurs limites réglementaires ;
- Contraintes de cisaillement dans les poutres à l'ELS, pour établir la vérification de la non fissuration des âmes selon les principes de vérification de l'annexe QQ de l'EN 1992-2. Ces vérifications ont conduit à la validation de la précontrainte additionnelle extérieure prévue au projet : soit 2 câbles 4T15S par poutre.

## LES ÉTUDES DE RENFORCEMENT EN TISSU DE FIBRES DE CARBONE

Des renforcements en tissu de fibres de carbone ont été mis en œuvre sur les poutres de l'ouvrage dans les zones suivantes :

- À proximité immédiate des massifs d'ancrages : ces renforts sont destinés à pallier le manque d'armatures verticales de diffusion et d'armatures horizontales d'entraînement sous l'effet des efforts localisés de la précontrainte additionnelle ;
- En zone courante des poutres : ces renforts sont destinés à pallier le manque d'armatures d'effort tranchant des poutres (cadres) sous l'effet de la flexion générale.

L'étude des renforcements en tissu de fibres carbone a été conduite selon les recommandations provisoires du guide AFGC de février 2011. Le dimensionnement des bandes a été réalisé pour chaque poutre et pour chaque section d'étude le long des poutres (64 sections par poutre pour l'OA2), permettant ainsi d'optimiser grandement les travaux de renforcement. Cette analyse fine a ainsi pu être mise en œuvre grâce à l'utilisation d'un outil de calcul spécifiquement développé par COGECI pour cette affaire (figure 8).

## L'ÉTUDE DES DÉVIATEURS

L'étude des déviateurs métalliques a été réalisée à l'aide d'une modélisation 3D sous Robot (figure 9).

La conception de ceux-ci a été optimisée de manière à :

- Concentrer la réaction verticale du câble sous l'entretoise ;
- Limiter la longueur de la zone d'appui courbe du câble de manière à supprimer les dispositifs de raidissage associés ;
- Utiliser un seul profilé transversal afin de limiter au maximum le poids des pièces et ainsi faciliter leur mise en place, tout en conservant un profil de poutre en caisson travaillant bien à la torsion ;
- Aménager dans la platine 2 zones d'appuis distinctes sous la poutre permettant d'équilibrer efficacement les effets de décollement de la platine.

## LES TRAVAUX DE RENFORCEMENT DES TABLIERS

### LES ACCÈS EN SOUS FACE

Si les phases de réparation des bétons et de remplacement des appareils d'appuis ont pu être réalisées par interventions ponctuelles de nacelle motorisée à déport négatif, ou par la mise en place d'échafaudages suspendus au droit des appuis en console, il n'en a pas été de même avec la phase de renforcement.

En effet, des échafaudages suspendus ont été disposés sur l'ensemble des ouvrages, permettant ainsi d'organiser la réalisation des travaux de renforcement par cycle ininterrompu et de respecter les différentes dates liées aux essais du tramway (figure 10).

Pour chacun des ouvrages, le même principe a donc été décliné :



10

10- Vue générale des échafaudages depuis l'amont.

11- Déviateurs métalliques.

12- Massif d'ancrage.

10- General view of scaffoldings from upstream.

11- Steel deviators.

12- Anchoring foundation.

→ Une recette, dédiée à la réception des matériaux et des éléments d'échafaudages ;

→ Une course, dédiée à la circulation des personnels, matériaux, et matériel ;

→ Des ramifications, permettant l'accès aux différentes zones de travaux sous l'ouvrage.

Ainsi, près de 700 tonnes d'échafaudages ont été mises en œuvre pour mener à bien ces travaux.

Ces ouvrages provisoires, de catégorie 1, ont fortement mobilisé les COP (Chargé des Ouvrages Provisoires) de l'entreprise et ont nécessité une vigilance accrue des équipes et un contrôle quotidien rigoureux.

### LES REPÉRAGES RADAR

Préalablement aux travaux, pour chacune des zones concernées, une campagne de repérage par radar a été réalisée afin de localiser l'ensemble des aciers passifs de l'ouvrage et des les gaines de précontrainte, potentiellement en conflit avec les différents per-

cements ou carottages à réaliser. En fonction du résultat de ces repérages, des modifications ont été apportées au positionnement des massifs, ou au positionnement des forages.

### LA PRÉCONTRAÎTE EXTÉRIEURE

La précontrainte longitudinale extérieure est assurée par la mise en œuvre de 2 câbles 4T15S gainés graissés par poutre, injectés au coulis de ciment Superstresscem (triple protection).

Le système de précontrainte utilisée est le système VSL type GC 6-4. Les gaines PEHD sont mises en œuvre sur l'ensemble de chaque travée et assemblées par manchons électro soudables. La déviation des câbles est assurée par des déviateurs métalliques, disposés au droit des entretoises. Le contact entre les déviateurs et la sous face des poutres est assurée par la réalisation d'un matage au mortier haute performance (figure 11). À chacune des extrémités des câbles des capots sont disposés et injectés à la cire pétrolière, permettant ainsi des interventions ulté-

rieures. Chaque paire de câbles est ancrée sur les poutres par des massifs en béton (Micro Béton C40/50) cloués par l'intermédiaire de 4 barres de précontrainte de diamètre 36 mm, tendues à environ 70 tonnes. Des coffrages en aluminium, alliant robustesse et légèreté, ont été spécialement conçus pour la réalisation de ces massifs (figure 12).

### LES RENFORCEMENTS COMPOSITES

Ces renforcements sont constitués de bandes de fibres de carbone et sont mises en œuvre selon le procédé V2C<sup>®</sup> exploité par VSL France.

Différentes zones ont été renforcées :

- La zone autour des massifs d'ancrage de la précontrainte additionnelle pour permettre une bonne diffusion des efforts de la précontrainte additionnelle à l'ouvrage ;
- Les zones en console et entre bécquille et entretoise pour pallier l'insuffisance de résistance de l'ouvrage vis-à-vis de l'effort tranchant de flexion générale.



11



12

Pour ce faire, les équipes ont été organisées en cycle afin d'optimiser les cadences de mise en œuvre et de limiter l'exposition du chantier aux aléas climatiques de fin d'année (par anticipation de la date de fin de ces renforcements).

## LES REMPLACEMENTS DES APPUIS

L'ensemble des opérations de remplacement des appuis s'est effectué sans interruption de la circulation routière. Le remplacement des appuis courants s'est effectué par phases successives :

- Calage à l'aide de vérins ;
- Hydrodémolition des zones d'appuis ;
- Retrait et mise en place des nouveaux néoprènes ;
- Matage au mortier de résine.

Des appuis de rive ont été créés par un système de bielles permettant de reprendre les efforts descendants et ascendants sur les consoles des poutres, reconstituant ainsi l'enchevêtrement des appuis courants.

Au niveau des culées, un dispositif d'appui anti-soulèvement a été mis en place. Il est constitué de potences en profilés métalliques fixés dans le chevet de la culée et de deux appuis en néoprène dans des « bottes » métalliques, cloués dans les âmes de la poutre.

Le dispositif permet les déplacements longitudinaux de la poutre ainsi que les rotations. Il est facilement démontable. En gardant l'esprit de l'existant, le dimensionnement et les dispositions techniques ont été adaptés à la réalité

des efforts et des contraintes à supporter.

## AUTRES TRAVAUX RÉPARATION DES CULÉES CREUSES

Sur les ouvrages OA1, OA3, OA4 et OA5, ont été créées des ouvertures équipées de portes métalliques pour accéder aux culées creuses non accessibles auparavant.

Les réparations en sous-face de plafond ont été réalisées à l'aide d'un mortier projeté par voie humide et des ventilations ont été ajoutées pour éviter la propagation des phénomènes d'altération sur ces parties d'ouvrage.

## RÉPARATIONS DES APPUIS IMMERGÉS

Les perrés immergés des OA3 et OA4 ainsi que la pile P3 de l'OA2 ont nécessité des travaux de pérennisation consistant à combler les affouillements et à installer un dispositif de protection. Pour ce faire, des rideaux de palplanches ont été fichés à l'aide de guides flottants permettant un remplissage en béton immergé avant recépage des rideaux.

## SUPERSTRUCTURES DE L'OUVRAGE

Les joints de l'ouvrage existant de type hiatus ont tous été remplacés par des joints de chaussée GTA B2000 plus des joints de plate-forme et trottoirs type JS PARK permettant un soufflé de 30 à 65 mm. La nouvelle chape d'étanchéité est assurée par une feuille bitumineuse auto-protégée

revêtue d'un micro-enrobé de teinte rouge d'épaisseur 25 mm constituant le complexe NOVAPLAST. Cette étanchéité a été réalisée après rabotage de l'existant et mise en œuvre de BBTM de reprofilage selon les pentes souhaitées. La chaussée définitive, constituée de

béton bitumineux BBSG de 70 mm d'épaisseur, a ensuite été réalisée sur la protection de l'étanchéité. Les garde-corps ont été remplacés à l'identique. L'ensemble des travaux de superstructures a été réalisé en exploitation par 1/2 chaussée. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PRÉCONTRAINTÉ LONGITUDINALE : 24 t**

**PRÉCONTRAINTÉ PAR BARRES : 560 barres de diamètre 36 mm**

**INJECTION DE FISSURES : 540 m**

**REMPLACEMENT DES APPAREILS APPUIS : 28 appuis courants, 4 bielles, 12 appuis anti-soulèvement**

**QUANTITÉ D'ÉCHAFAUDAGE EN PLACE SIMULTANÉMENT : 700 t**

**GARDE CORPS : 1 000 m**

**ÉTANCHÉITÉ ET COUCHE DE ROULEMENT : 8 860 m<sup>2</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : SMAT (Société de Mobilité de l'Agglomération Toulousaine)**

**PROPRIÉTAIRE ET GESTIONNAIRE : CUTM (Communauté Urbaine Toulouse Métropole)**

**MAÎTRISES D'ŒUVRE : Systra et Setec**

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR DES ÉTUDES ET DES TRAVAUX DE RENFORCEMENT : Arcadis**

**ASSISTANT AU MAÎTRE D'OUVRAGE : CETE du Sud-Ouest**

**ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bouygues TP Régions France - VSL France**

PRINCIPAUX SOUS TRAITANT

**BUREAU D'ÉTUDES : Cogeci**

**ÉCHAFAUDAGES : Peri**

**HYDRODÉCAPAGE : Technique Haute Pression**

## ABSTRACT

### TOULOUSE TRAMWAY: STRUCTURAL REPAIR AND STRENGTHENING OF SAINT-MICHEL BRIDGE

SAMY AMMAR ET YANNICK PALACIN, BOUYGUES TP / VSL - CYRIL COTTEY, COGECI

**The 3.8 km extension of line T1 of the tramway in the Toulouse urban area crosses the Garonne River on an existing bridge, Saint Michel Bridge, itself formed of five structures:**

> 2 structures with masonry arches laterally enlarged by reinforced concrete arches;

> 2 viaducts with independent prestressed beam spans, of span length 36 m;

> 1 structure consisting of five prestressed concrete portal bridges 65 m long. The upgrading, widening and strengthening works were preceded by studies making use of modelling. They were performed while maintaining traffic and involved the use of a whole range of processes for renovation of old structures: replacement of supports, strengthening with carbon fibre fabric, radar locating, external prestressing, repair of above-ground and immersed masonry, waterproofing and pavement. □

### TRANVÍA DE TOULOUSE: REPARACIÓN Y REFUERZO DE LAS ESTRUCTURAS DEL PUENTE SAINT-MICHEL

SAMY AMMAR ET YANNICK PALACIN, BOUYGUES TP / VSL - CYRIL COTTEY, COGECI

**La prolongación de 3,8 km de la línea T1 del tranvía de la aglomeración de Toulouse cruza el río Garona por una estructura existente, el puente Saint Michel que, a su vez, está formado por 5 estructuras:**

> 2 estructuras de bóvedas de mampostería ampliadas lateralmente con bóvedas de hormigón armado,

> 2 viaductos con tramos independientes de vigas pretensadas, con una luz de 36 m,

> 1 estructura constituida por 5 puentes pórtico de 65 m de longitud de hormigón pretensado.

Previamente a las obras de nivelación, ampliación y refuerzo se llevaron a cabo estudios recurriendo a la modelización. Se realizaron manteniendo el tráfico y dieron lugar a la aplicación de una panoplia de procedimientos de rehabilitación de antiguas estructuras: sustitución de apoyos, refuerzo con tejido de fibra de carbono, localización radar, pretensado exterior, reparación de mampostería aérea y sumergida, estanqueidad y calzada. □



1  
© EGIS

# ÉLARGISSEMENT DE L'AUTOROUTE A63 RENFORCEMENT DU VIADUC SUR L'ADOUR

AUTEURS : AMANDINE CHAMBOSSÉ, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, EGIS JMI - FRÉDÉRIC MENUÉL, DIRECTEUR DU BUREAU D'ÉTUDES, EGIS JMI PARIS

**LE VIADUC SUR L'ADOUR EST UN OUVRAGE CAISSON BÉTON PRÉCONTRAIT CONSTRUIT AU DÉBUT DES ANNÉES 80. DANS LE CADRE DE TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT, L'OUVRAGE D'ORIGINE A ÉTÉ DOUBLÉ PAR UN BIPOUTRE, IL NE PORTE PLUS QU'UN SENS DE CIRCULATION. LE VIADUC A FAIT L'OBJET DE RENFORCEMENTS LOURDS POUR RÉPONDRE À SES NOUVELLES CONDITIONS D'UTILISATION ET AUX EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES ACTUELLES.**

La réhabilitation du viaduc sur l'Adour s'établit dans le cadre du projet d'aménagement à 2x3 voies de l'autoroute A63 entre Biarritz (à la frontière espagnole) et Ondres (au nord de Bayonne). La première phase des travaux sur la partie nord du tronçon (tronçon d'une vingtaine de km entre Biarritz et Ondres) a démarré en 2008 pour s'achever en 2013, avec le franchissement de l'Adour à Bayonne.

Au niveau du fleuve, un viaduc en béton précontraint permet le franchissement simultané de voiries locales, de la voie ferrée Bayonne-Toulouse et de l'Adour, par l'autoroute A63 (figure 2).

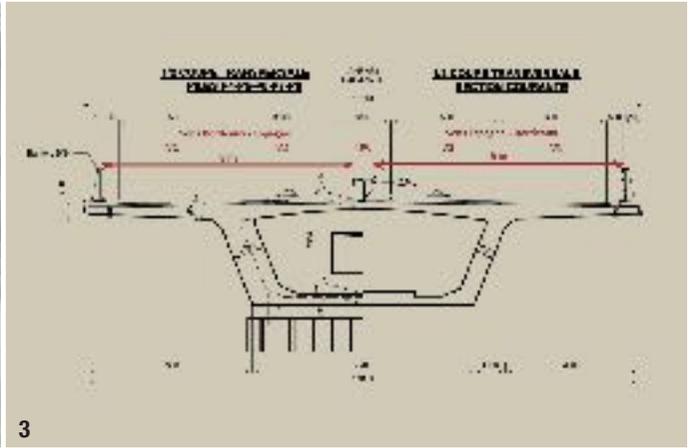
Le viaduc sur l'Adour porte à l'origine 2x2 voies de circulation (figure 3). L'élargissement du tronçon implique le doublement du viaduc existant par un ouvrage neuf : à terme, l'ouvrage de doublement portera les 3 voies du

**1- Le viaduc sur l'Adour après aménagement à 2x3 voies (ouvrage de doublement en arrière-plan).**

**1- The viaduct over the Adour after development as a three-lane dual-carriageway road (doubling structure in the background).**

sens de circulation Bordeaux-Espagne alors que l'ouvrage existant portera le sens Espagne-Bordeaux (figure 4). L'ouvrage de doublement est un bipoutre mixte construit sur le même schéma de travées que le viaduc existant. Il a été mis en service en juin 2011.

L'ensemble de la circulation a donc pu être basculé sur ce nouvel ouvrage pour permettre la réhabilitation et l'aménagement du viaduc existant.



## DESCRIPTION ET HISTORIQUE DU VIADUC EXISTANT

Le viaduc sur l'Adour a été construit entre 1978 et 1980 par l'entreprise Dragages et Travaux Publics (revue TRAVAUX n°539 de janvier 1980).

En plus du fleuve, il permet à l'autoroute de franchir une voirie locale, la voie ferrée Bayonne-Toulouse et l'ex RD4 en rive gauche et une voie communale en rive droite. La longueur totale de l'ouvrage de 470,5 m se répartit en 9 travées : 36,5 m - 3x36 m - 4x72,5 m - 36 m (figure 5).

Le tablier est constitué par une poutre mono-caisson en béton précontraint, de hauteur constante et égale à 3,30 m (élançement 1/22<sup>e</sup>). La section extérieure du caisson est constante mais, par variation de la section intérieure, on distingue deux sections : une section courante et une section sur appuis pour

**2- Le viaduc existant sur l'Adour (avant aménagement).**

**3- Coupes transversales type du caisson existant.**

**4- Coupe transversale type après doublement.**

**5- Coupe longitudinale synthétique.**

**2- The existing viaduct over the Adour (before improvement).**

**3- Standard cross sections of the existing box frame.**

**4- Standard cross section after doubling.**

**5- Synthetic longitudinal section.**

laquelle les âmes et le hourdis inférieur sont plus épais (sur 12 m de part et d'autre des piles P4 à P8 qui portent les travées principales).

L'ouvrage a été mis en place par poussages successifs de la rive gauche vers la rive droite, avec un avant-bec métallique. Des palées provisoires ont été installées pour le franchissement des travées de 72,5 m au-dessus du fleuve. La précontrainte longitudinale du tablier est composée d'unités 12T15. On peut distinguer 3 familles de câbles :

- La précontrainte de poussage constituée de câbles rectilignes au niveau des hourdis supérieur et inférieur, cette précontrainte n'a pas été détendue à l'issue du poussage ;
- Deux familles de câbles de continuité ;
- Une précontrainte additionnelle extérieure, avec des câbles éclisses en partie inférieure des travées princi-

pales, cette précontrainte a été mise en place dès la fin de la construction de l'ouvrage pour compenser des pertes de précontrainte (frottement) plus élevées que celles estimées.

Le tablier prend appuis sur des fûts de section prismatique avec des hauteurs variant entre 6,3 m à 8,6 m. Les piles sont fondées sur pieux, avec des pieux béton forés de 1,37 m de diamètre pour les appuis à terre et avec des pieux béton de diamètre 1,70 m avec gaine métallique pour les appuis en rivière. Les pieux présentent des longueurs de l'ordre de 25 à 30 m, sauf en rive droite où ils sont plus courts (10 à 15 m).

## MODIFICATIONS DES CONDITIONS D'UTILISATION ET CONSÉQUENCES

### MODIFICATION DU PROFIL FONCTIONNEL

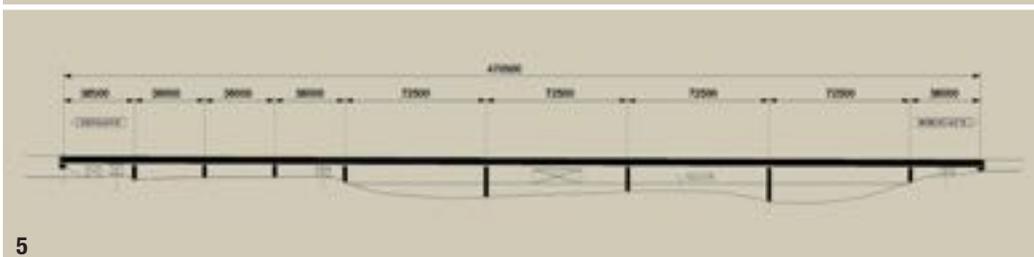
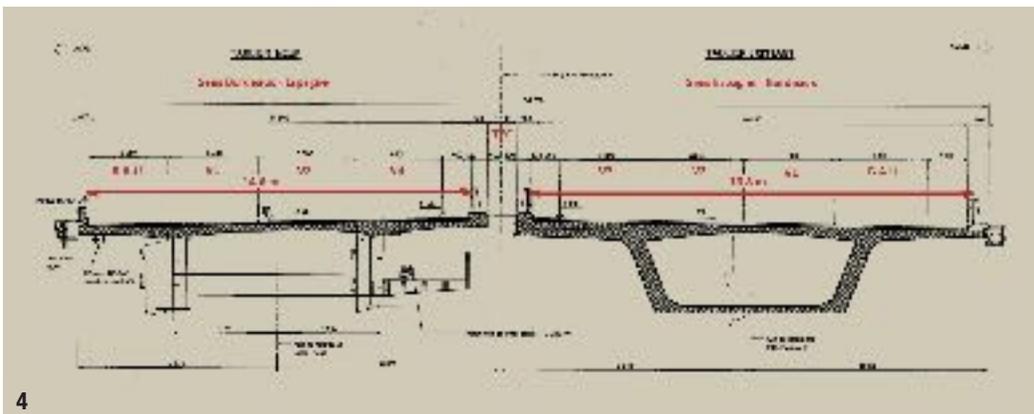
Le doublement du caisson par un nouveau viaduc a pour conséquence une modification du profil en travers fonctionnel de l'ouvrage existant.

À l'origine, l'ouvrage a été conçu pour porter un TPC supposé inamovible : le tablier de l'ouvrage présente, avant réhabilitation, une largeur utile de 2x8 m, il supporte une chaussée bidirectionnelle (2 voies de 3,50 m dans chaque sens de circulation) avec un séparateur central (figure 3).

Dans sa configuration finale, le profil en travers du tablier comprend une unique largeur utile de 16,80 m (3 voies de 3,50 m + 1 bretelle de 3,50 m) (figure 4).

Initialement, avec deux largeurs utiles de 8 m séparées par un TPC supposé inamovible, le fascicule 61 définit que chacune des deux chaussées recueille 2 voies réglementaires.

Avec une nouvelle largeur utile de 16,80 m, le fascicule 61 conduit à considérer une unique largeur chargeable avec 5 voies réglementaires. ▷



Le changement du profil en travers fonctionnel de l'ouvrage entre l'état initial et l'état final modifie son schéma de chargement, et a donc pour conséquence :

- L'augmentation de la largeur chargeable ;
- L'augmentation du nombre de voies de circulation réglementaires ;
- Un plus grand excentrement possible des charges roulantes.

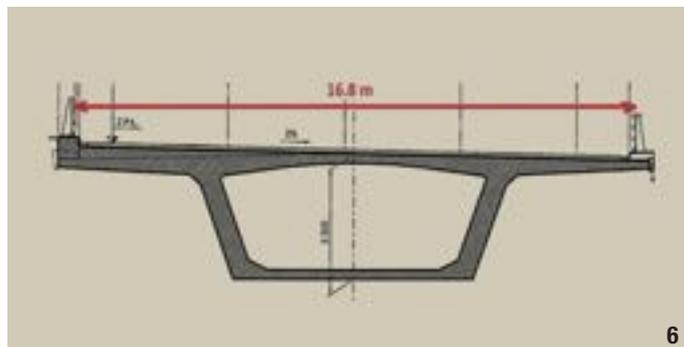
## RÉTABLISSEMENT DU DEVERS

Étant donné que la nouvelle vocation de l'ouvrage est de porter un unique sens de circulation à l'issue des travaux de doublement, les voies rapides ne peuvent rester à contre-dévers pour des raisons de sécurité et le profil en toit initial est rectifié pour conduire à un dévers unique constant et égal à 2%. Pour cela, l'application d'un renformis en béton léger armé d'épaisseur variable a été prévue sur la demi-largeur de 8,9 m du tablier (figure 6). Les conditions d'utilisation finales du pont (mais également, dans une moindre mesure, les insuffisances initiales de la précontrainte existante) ont conduit à prévoir des travaux importants de réhabilitation et de renforcement de l'ouvrage.

Ces travaux de renforcement ont consisté à renforcer le tablier par une précontrainte longitudinale extérieure au béton.

L'augmentation des descentes de charges sur appuis a conduit à devoir renforcer les fondations de certains appuis (P1 à P4), par l'ajout de barrettes additionnelles.

Le changement des appareils d'appui a également été nécessaire. Pour les opérations de vérinage, des entretoises ont été créées sur les appuis où elles étaient inexistantes et renforcées sur les autres appuis.



## PRINCIPES DE RÉHABILITATION ET RENFORCEMENT

### RENFORCEMENT DU CAISSON PAR PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE

Les recalculs de l'état initial du tablier (avant modifications) ont mis en évidence des contraintes de traction non admissibles vis-à-vis de la classe II du BPEL, à mi-portée des différentes travées et au niveau des appuis : avant réhabilitation, l'ouvrage est décomprimé aux ELS fréquents et les contraintes de traction à mi-portée des travées principales et sur appuis sont respectivement de l'ordre de 3,8 et 3,2 MPa aux ELS rares.

La prise en compte de l'accroissement des charges permanentes dû à la création d'un renformis mais également l'augmentation du nombre de voies de calculs, ont conduit à des effets de flexion majorés par rapport à ceux déterminés initialement : jusqu'à atteindre respectivement 4,7 et 5,2 MPa de contraintes de traction en travées et sur appuis aux ELS rares. Afin de ramener l'ouvrage à des niveaux de sollicitations conformes à la classe II du BPEL, il a été nécessaire de mettre en œuvre une précontrainte additionnelle constituée de grosses

unités 31 T15S développant une puissance de 3 700 t, complétée par des câbles éclisses 4 et 7 T15S. Ainsi, les contraintes normales de traction ont été ramenées à des valeurs maximales ELS rares de l'ordre de 1,3 MPa en travée et 2,3 MPa sur appuis.

La précontrainte principale, constituée d'un ensemble de 2x3 câbles 31 T15S (figure 7), a été choisie rectiligne, ce qui permet de s'affranchir de la présence de déviateurs et d'annuler les

effets hyperstatiques indésirables d'un câblage ondulé. Ce choix s'avère être le plus économique.

Cette précontrainte principale, quasiment centrée dans le caisson, s'étend sur une longueur de l'ordre de 350 m, incluant les 4 travées principales.

Elle est complétée par des câbles 7 T15S en partie inférieure des travées principales et par des câbles 4 T15S au niveau des travées de rive (figure 8). Le principe de précontrainte retenu est celui d'une précontrainte remplaçable par câbles extérieurs à torons, contenus à l'intérieur de gaines PEHD injectées à la cire industrielle.

La précontrainte a été ancrée au niveau de massifs béton armé cloués au niveau des âmes du caisson par l'intermédiaire de barres précontraintes de 32 mm de diamètre pour l'ancrage des unités 4 T15S et de 50 mm de diamètre pour l'ancrage de la précontrainte 7 T15S et 31 T15S.

Le clouage et l'adhérence du massif d'ancrage sur l'âme de la poutre nécessite au préalable une préparation de surface afin d'obtenir une certaine rugosité nécessaire à la transmission des efforts par frottement à l'interface. Cette préparation de surface s'est faite par hydrodécapage à haute pression. Ainsi, la transmission de l'effort est assurée en dimensionnant une précontrainte de clouage de l'ordre de deux fois l'effort à ancrer.

Pour l'ancrage de la précontrainte principale 31 T15S et afin d'assurer les vérifications vis-à-vis des effets d'entraînement, il n'a pas été possible d'ancrer l'ensemble de la précontrainte au niveau d'une même section : une paire de câbles 31 T15S a été prolongée au-delà de la zone d'ancrage des deux premières paires afin d'assurer une compression suffisante à l'arrière de la première zone d'ancrage.

**6- Coupe transversale avec correction du dévers.**

**7- Massif d'ancrage 2 x 31 T15S.**

**8- Massif d'ancrage 4 T15S.**

**6- Cross section with slant correction.**

**7- Anchoring foundation 2 x 31 T15S.**

**8- Anchoring foundation 4 T15S.**





## RENFORMIS SUR EXTRADOS

Le profil de l'extrados a été corrigé par l'intermédiaire d'un renformis en béton d'épaisseur variable de 0 cm sur l'axe de l'ouvrage à environ 35 cm au bord de l'encorbellement, afin de rétablir un dévers unique à 2%. Le renformis a été réalisé en béton léger de densité 1,8 t/m<sup>3</sup> afin de limiter l'augmentation des charges permanentes sur l'ouvrage (hors zone d'ancrage BN4 où un béton à 2,5 t/m<sup>3</sup> a été conservé).

Le béton du renformis est mis en œuvre sur la surface de l'extrados du tablier après une préparation de surface de type repiquage (hydrodécapage). Au niveau de la zone centrale, le hourdis existant est hydrodémoli pour réaliser une engravure dans laquelle viendra s'encastrent le renformis (figure 9).

Par ailleurs, le renformis est solidarisé à l'existant par un ensemble d'aciers scellés, ces aciers scellés ont été mis en place par groupes dans des niches réalisées à l'hydrodémolition (figure 10). Le renformis est armé pour reprendre les effets de la flexion transversale. Longitudinalement, il n'a pas été consi-

**9- Engrèvement du renformis au niveau de l'axe de l'extrados.**

**10- Renformis - Aciers scellés.**

**11- Renforcement de la zone de vérinage.**

**12- Entretoises créées sur piles P1 à P3.**

**9- Aggradation of the concrete haunch on the centreline of the upper surface.**

**10- Concrete haunch - Embedded steels.**

**11- Strengthening the jacking region.**

**12- Braces created on piers P1 to P3.**

déré comme participant à la flexion longitudinale générale (bien qu'il ait été solidarisé à l'existant comme tel).

## VÉRINAGE ET CHANGEMENT DES APPAREILS D'APPUIS

Les appareils d'appui initiaux (appareils néoprène sur P4 à P6 et néoprène + plaque de glissement sur les autres appuis sauf sur P7 et P8 équipés d'appareils d'appui à pot glissants) ont été remplacés et redimensionnés afin de pouvoir répondre aux nouvelles descentes de charges. Dans l'objectif de limiter et répartir les efforts horizontaux sur les appuis en rivière, il a été placé des appareils d'appui néoprène de grande dimension (1,2x1,2 m) sur les piles P4 à P8. Les autres piles ont été équipées d'appareils d'appui à pot libres longitudinalement.

À l'origine, l'ouvrage n'a pas été conçu pour être vérinable. Des adaptations et renforcements ont été nécessaires au niveau des entretoises et des têtes de piles pour permettre le vérinage depuis les sommiers d'appuis. La descente de charge verticale au niveau des appuis

principaux est de l'ordre de 3 000 t (ouvrage à vide avant réalisation du renformis).

Le vérinage a été effectué depuis les sommiers des piles, entre les zones d'appuis définitives. Les têtes de piles ont été renforcées avec la réalisation d'un bossage ferrillé et la mise en place de barres transversales étant donné que le sommier n'était pas ferrillé pour reprendre des sollicitations de diffusion des efforts concentrés au niveau de la zone de vérinage (figure 11).

La conception initiale de l'ouvrage n'avait pas intégré d'entretoises au niveau des appuis des petites travées (piles P1 à P3 et culées). Des renforts en béton armé ont été créés à l'intérieur du caisson du tablier, rapportés à la structure existante, afin de permettre le transfert des charges de vérinage vers les âmes du caisson (figure 12). Ces massifs ont été solidarisés à l'existant par précontrainte transversale pour les massifs des piles et par aciers scellés au niveau des culées où les descentes de charges étaient plus faibles. ▶



Au niveau des appuis des travées principales, des diaphragmes existent mais ne permettent pas d'assurer le vérinage de l'ouvrage et le transfert des charges. Afin d'assurer la transmission des cisaillements, ces diaphragmes ont dû faire l'objet d'un renforcement par une mise en précontrainte transversale avec des barres de clouage  $\phi 50$ .

Ces barres sont internes au diaphragme mais également de part et d'autre du massif. Au niveau du tirant supérieur, les renforts ont été complétés par la mise en œuvre de lamelles et tissus de matériaux composite carbone (figure 13).

### RENFORCEMENT DES FONDATIONS

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, l'ouvrage, dans sa configuration finale réhabilitée, présente des descentes de charges sur les appuis qui sont plus importantes que celles que l'on peut déterminer initialement :

- Le poids propre de l'ouvrage est majoré, notamment avec l'ajout du renformis, de la précontrainte additionnelle et de ses blocs d'ancrage ;
- L'ouvrage portera une voie régle-

mentaire de circulation supplémentaire avec la suppression du TPC inamovible à l'origine.

L'ensemble des données (sous-estimation des descentes de charges initiales, chargement de l'ouvrage lors de sa réhabilitation mais également données géotechniques complémentaires réalisées dans le cadre du doublement de l'ouvrage) a permis de conclure à des fondations insuffisantes en regard des descentes de charges sur certains appuis.

Les appuis P1 à P4 en rive gauche sont concernés par la mise en œuvre d'un renforcement de leurs fondations profondes. En rive droite, les pieux sont ancrés au niveau d'un substratum, ce qui a permis d'avoir une réserve suffisante vis-à-vis de la majoration des descentes de charges. En rivière, les appuis ont été dimensionnés à l'origine pour reprendre un choc de bateau significatif, et il n'a pas été nécessaire de les renforcer.

#### Barrettes additionnelles

Les fondations existantes ont été renforcées par la mise en œuvre de fondations profondes additionnelles (figures 14a & 14b).

Des barrettes de type paroi moulée dans le sol, de dimensions 2,8 m par 0,8 m, et de 26 m de longueur, ont été mises en place aux extrémités amont et aval de la semelle existante, pour les appuis P1 à P4.

Les barrettes présentent des dimensions en plan suffisantes pour apporter une rigidité équivalente à celle des pieux en place. Pour un fonctionnement optimal des fondations additionnelles,

elles ont dû être solidarisiées à l'existant lorsque l'ouvrage présentait un état de chargement minimal, c'est-à-dire lorsque l'ouvrage est à vide, délesté d'un maximum de superstructures. Ainsi, l'apport des charges de superstructures et des surcharges routières, ainsi que l'apport des nouvelles charges suite à la réhabilitation (renformis, précontrainte additionnelle) se répartissent entre les anciennes et les nouvelles fondations profondes.

L'objectif a été de limiter le niveau de charge dans les pieux existants au niveau avant réhabilitation de l'ouvrage. Deux barrettes additionnelles ont été mises en œuvre de part et d'autre de chacune des semelles des appuis P1 à P3 (soit un total de 4 barrettes additionnelles par appui) et une unique barrette de part et d'autre de la semelle de la pile P4 (soit un total de 2 barrettes additionnelles pour l'appui P4).

#### Semelles additionnelles

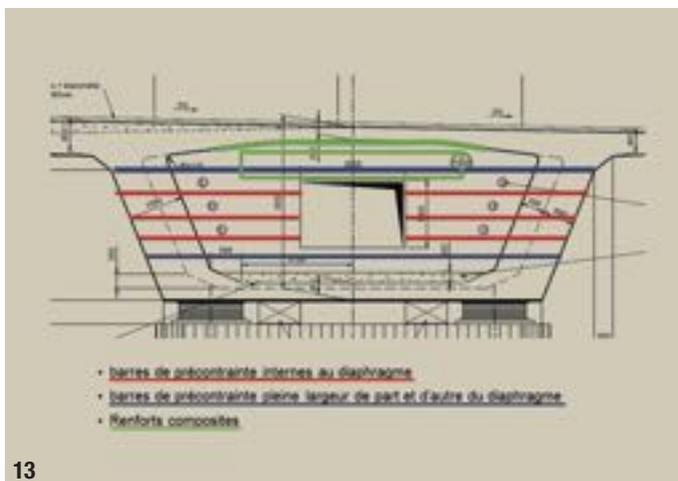
Les barrettes additionnelles ont été coiffées de semelles additionnelles (semelle additionnelle amont et semelle additionnelle aval) liaisonnées à la semelle existante par l'intermédiaire d'une mise en précontrainte :

### 13- Principe de renforcement diaphragmes existants.

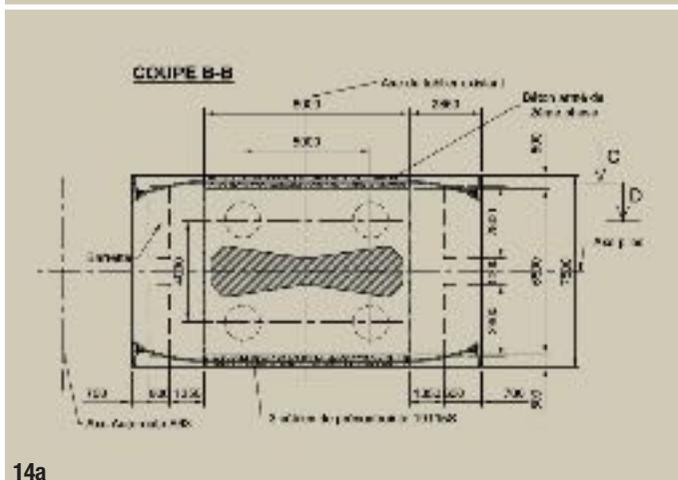
### 14a & 14b- Principe de renforcement fondations P1.

### 13- Schematic of strengthening of existing crosspieces.

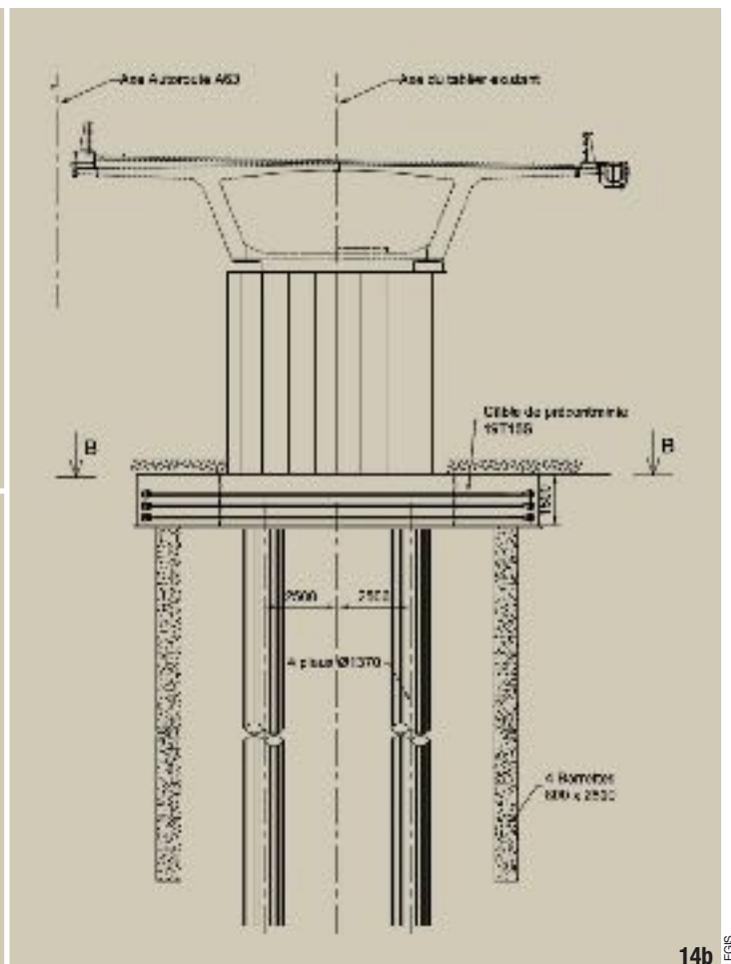
### 14a & 14b- schematic of strengthening of P1 foundations.



13



14a



14b

un ensemble de 3 câbles de précontrainte 19 T15S situé à chaque extrémité des massifs additionnels permet de venir clouer ces nouvelles semelles sur la semelle existante.

Le rapport entre l'effort à reprendre parallèle au plan de reprise (efforts normaux dans les barrettes) et l'effort de précontrainte normal au plan de reprise est de l'ordre de 0,5 (tout coefficient de sécurité compris). Ce coefficient de 0,5 correspond à des éléments en béton coulé directement sur le béton existant soigneusement repiqué.

Afin de limiter les interventions sur l'existant, les câbles de précontrainte ne traversent pas la semelle en place mais la longent de part et d'autre. Cette précontrainte a ensuite été protégée par la mise en œuvre d'un béton de 2<sup>e</sup> phase, sur sa longueur libre, parallèlement à la semelle existante.

**15- Hydrofraise.**

**15- Hydrofraise.**



© EGIS

15

### Mise en œuvre

La méthode de réalisation de ces fondations additionnelles doit permettre de garantir l'intégrité des pieux existants et des sols en place mais également de travailler dans des espaces limités (gabarit limité sous l'ouvrage). Il a été décidé d'employer une machine de forage de type hydrofraise pour ces travaux sensibles (figure 15) : l'hydrofraise, par une attaque du terrain par outils tournants et une circulation inverse d'amenée de la boue et d'extraction des déblais, évite les risques de décompression et de déstabilisation des sols en place.

L'outillage des hydrofraises permet également de conserver une verticalité quasi parfaite du forage, évitant ainsi toute réduction de distance avec les pieux existants.

### CONCLUSION

La réhabilitation du viaduc sur l'Adour et son adaptation à un nouvel usage (mise à 2x3 voies de l'A63) a conduit à intervenir sur les différentes parties de l'ouvrage, du tablier aux fondations en passant par les appareils d'appui. L'ensemble des travaux a été réalisé en moins d'une année, avec un phasage particulier et serré pour tenir compte des multiples tâches à réaliser en parallèle et des interactions entre les travaux de renforcement des fondations et du tablier (clavage des fondations lorsque le tablier était déchargé au maximum). Les conditions d'exploitation de l'ouvrage avec une obligation de maintien / restitution de la circulation autoroutière en période estivale ont constitué la contrainte majeure de ce chantier. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- De l'ordre de 360 m de fondations profondes (barrettes 2,8 x 0,8 m)
- De l'ordre de 80 tonnes d'aciers de précontrainte (31,7 et 4 T15S) au niveau du tablier et de l'ordre de 8 tonnes au niveau des fondations (19 T15S)
- Près de 600 barres de précontrainte transversale (barres  $\phi 32$  et  $\phi 50$ ) pour les massifs d'ancrage de la précontrainte et les entretoises de vérinage
- Près de 800 m<sup>3</sup> de béton sur l'extrados, avec près de 30 000 aciers scellés

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** ASF

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Egis JMI

**ENTREPRISES :**

- Travaux du tablier : Bouygues TP, VSL
- Travaux de fondations : Soletanche Bachy, Freyssinet

### ABSTRACT

## ENLARGEMENT OF THE A63 MOTORWAY - STRENGTHENING THE VIADUCT OVER THE ADOUR

AMANDINE CHAMBOSSE, EGIS JMI - FRÉDÉRIC MENUEL, EGIS JMI

The viaduct over the Adour is a box structure in prestressed concrete, built in the early 1980s. As part of enlargement works, the original structure was doubled by a double girder, and now carries traffic in only one direction. The viaduct underwent major strengthening to meet its new operating conditions and current regulatory requirements:

- > Single slant correction of the original roof profile (concrete haunch);
- > Deck strengthening by additional prestressing;
- > Replacement of support systems after restoration of jacking braces;
- > Strengthening foundations with additional rods. □

## AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA A63 - REFUERZO DEL VIADUCTO SOBRE EL RÍO ADUR

AMANDINE CHAMBOSSE, EGIS JMI - FRÉDÉRIC MENUEL, EGIS JMI

El viaducto sobre el río Adur es una estructura cajón de hormigón pretensado, construida a comienzos de los años 80. En el marco de obras de ampliación, la estructura original se duplicó con una doble viga, con un único sentido de circulación. El viaducto ha sido objeto de importantes refuerzos para responder a las nuevas condiciones de utilización y las actuales exigencias reglamentarias:

- > Rectificación en pendiente única del perfil inicial en cubierta (regruessamiento hormigón),
- > Refuerzo del tablero por pretensado adicional,
- > Sustitución de los aparatos de apoyo después de reconstitución de distanciadores de elevación con cilindros hidráulicos,
- > Refuerzo de los cimientos con barras adicionales. □

# RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

## MATERIEL DE TERRASSEMENT



AMMANN France - 21 Les Moulins Parc  
 27550 rue de la Zéline - 94046 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28 - Fax 01 30 69 83 39  
 Email : info@ammann-group.com  
[www.ammann-group.com](http://www.ammann-group.com)



BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT  
 Numéro Indigo  
**0 825 08 43 81**



PLUS DE 350 MACHINES ET  
 700 ÉQUIPEMENTS en TP, PL,  
 Levage et Manutention  
 T : 00 33 (0)3 23 04 00 68  
 F : 00 33 (0)3 23 68 33 80  
 Mail : sodineg@wanadoo.fr  
 DEPOTS 02 ET 74

### ■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

**BOBCAT EUROPE**  
 J. Huysmanslaan 59 B  
 1651 Lot - Belgique  
 Tél. 00 32 2 371 68 11  
 Fax 00 32 2 371 69 00

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ MINI-PELLE

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT

**ONE - TP.COM**  
 1 Place du 8 Mai 1945  
 60119 Neuville Bosc  
 Tél. 01 30 37 06 26  
 Fax 01 34 40 01 44

## MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

### ■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**  
 ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Eguillette  
 BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône  
 95056 Cergy-Pontoise Cedex  
 Tél. 01 39 09 32 22  
 Fax 01 39 09 32 49

### ■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

### ■ CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LOADER)

**VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS**  
 37, avenue Georges Politzer - BP 117  
 78192 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28  
 Fax 01 30 69 83 39  
[www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

## MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION



**Coffrages et Etaisements**  
**PERI S.A.S.**  
 Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière  
 77109 Meaux cedex  
 Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50  
[peri.sas@peri.fr](mailto:peri.sas@peri.fr)  
[www.peri.fr](http://www.peri.fr)

## MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES



AMMANN France - 21 Les Moulins Parc  
 27550 rue de la Zéline - 94046 Trappes Cedex  
 Tél. 01 30 69 28 28 - Fax 01 30 69 83 39  
 Email : info@ammann-group.com  
[www.ammann-group.com](http://www.ammann-group.com)



2, avenue du Général de Gaulle  
 91170 VIRY CHATILLON  
 Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60  
[www.bomag.com](http://www.bomag.com)



**WIRTGEN FRANCE**  
**WIRTGEN**  
 Fraiseuses sur roues et sur chenilles  
 Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol  
 Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface  
 Outils au carbure Betek/Sitek  
**VÖGELE**  
 Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs  
**HAMM**  
 Rouleaux tandem vibrants  
 Compacteurs à pneus  
 Compacteurs monocylindre vibrants  
**KLEEMANN**  
 Installations de concassage mobiles et fixes / cribles  
 Distributeur exclusif pour la France des épandeurs  
 de liants pulvérulents  
**STREUMASTER série SW**  
**WIRTGEN FRANCE**  
 BP 31633 - 7, rue Marc Seguin  
 95696 Goussainville Cedex  
 Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49  
 E-mail : [contact@wirtgen.fr](mailto:contact@wirtgen.fr)  
[www.wirtgen.fr](http://www.wirtgen.fr)

### METALLIANCE

ZI de la Saule - BP 111  
 71304 Montceau Cedex  
 Tél. 03 85 57 01 34  
 Fax 03 85 57 88 73

### ■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

**RABAUD**  
 Bellevue - 85110 Sainte-Cécile  
 Tél. : 02 51 48 51 58  
 Fax 02 51 40 22 97  
[www.rabaud.com](http://www.rabaud.com)  
[info@rabaud.com](mailto:info@rabaud.com)

## MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

### ■ TRAVAUX SOUTERRAINS



Tél. 01 41 42 06 30  
 Fax 01 41 42 06 31  
[www.miretopo.com](http://www.miretopo.com)

### ■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE



Bureau d'Etude  
 Bathymétrie - Topographie  
 Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages  
 Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27  
[www.bathys.fr](http://www.bathys.fr) - [contact@bathys.fr](mailto:contact@bathys.fr)

**CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.**

**MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE**

**■ POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE**

**SOTRES**

Parc Européen des entreprises  
BP 80072 - Rue Richard Wagner  
63200 RIOM  
Tél. 04 73 15 36 00  
Fax 04 73 15 36 20

**■ INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE**

**GRAVEL**

1 Chemin de Villers à Combault  
94420 Le Plessis Trevisé  
Tél. 01 45 94 59 53  
Fax 01 45 94 59 83

**MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES**

**■ PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE**

**LEDUC T.P**

1, rue de Folenrue  
27202 VERNON cedex  
Tél. 02 32 51 74 97  
Fax 02 32 51 57 18

**MATERIEL DE SONDRAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION**

**■ DÉSABLEUR DE BOUES**

**SOTRES**

Parc Européen des entreprises  
BP 80072 - Rue Richard Wagner  
63200 RIOM  
Tél. 04 73 15 36 00  
Fax 04 73 15 36 20

**■ SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION**

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

**■ POMPES À BOUES**

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

**■ PRESSE D'INJECTION**

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette - BP 7181  
Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

**MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS**

**■ TRANCHEUSE**

**MARAIS CONTRACTING SERVICES**

1, rue Pierre et Marie Curie  
ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20  
49430 DURTAL  
Tél. 02 41 96 16 90  
Fax 02 41 96 16 99

**MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS**

**METALLIANCE**

ZI de la Saule  
BP 111  
71304 Montceau Cedex  
Tél. 03 85 57 01 34  
Fax 03 85 57 88 73

**■ BERLINE**

**PATRY SA**

24, rue du 8 mai 1945  
95340 Persan  
Tél. 01 39 37 45 45  
Fax 01 39 37 45 44  
www.patry.fr

**TECHNICRIBLE**

Zone industrielle  
81150 LAGRAVE  
Tél. 05 63 81 41 57  
Fax 05 63 81 41 56

**■ LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE**

**PATRY SA**

24, rue du 8 mai 1945  
95340 Persan  
Tél. 01 39 37 45 45  
Fax 01 39 37 45 44  
www.patry.fr

**■ MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)**

**METALLIANCE**

ZI de la Saule  
BP 111  
71304 Montceau Cedex  
Tél. 03 85 57 01 34  
Fax 03 85 57 88 73

**■ ENGIN DE BOULONNAGE**

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette  
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

**■ ENGIN DE FORATION**

**ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA**

ZI du Vert Galant  
2, av. de l'Eguillette  
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône  
95056 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. 01 39 09 32 22  
Fax 01 39 09 32 49

**MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE**

**BUREAU ETUDES**

**MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE**

**SDMO INDUSTRIE**

12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241  
29272 Brest cedex  
Tél. 02 98 41 41 41  
Fax 02 98 41 13 10

# MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUTS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ :

EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr

## MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

## MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

## MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

## MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

## MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

## MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ELÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

## MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDEUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDEUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDEUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

## MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

## MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

## MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

## BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

## MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

## MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION

- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

## MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

## MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÈSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE



NOTRE TALENT  
DÉFIE LE TEMPS

STRRES

Le STRRES est le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures.

Il rassemble 60 entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Le STRRES est adhérent de la FNTF.

Retrouvez sur **www.strres.org** :

Les guides



Pour mieux connaître et appliquer les règles de l'art en matière de réparation et de renforcement d'ouvrages, **consultez ou téléchargez gratuitement 12 guides techniques du STRRES.**

Les entreprises



Trouver une entreprise **par domaine d'activité, par région et/ou par identification professionnelle.**

SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX  
DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES  
3 rue de Berri 75008 Paris • Tél. : 01 44 13 31 82 • Fax : 01 44 13 32 44 •  
strres@strres.org • [www.strres.org](http://www.strres.org)

ABS • ADS ouvrages d'art • AFGC • AGTP • ARREBA • ATS • AXIMUM • BASF CC France • BAUDIN-CHATEAUNEUF • BEC • BEKAERT France • BERTHOLD SA • BTPS • CHANTIERS MODERNES SUD • COFEX Ile-de-France • COFEX LITTORAL • COFEX RÉGIONS • COLAS RAIL • CTICM • CROBAM • DEMATHIEU ET BARD • ECM • EGM TNC • EIFFAGE TP/ Département GCN • EIFFEL CONSTRUCTION MÉTALLIQUE • ENTREPRISE BONNET • ETANDEX • ETPO • EUROVIA BÉTON • FAURE SILVA • FAYAT • HOLCIM • FREYSSINET France • FREYSSINET International & Cie • GAUTHIER • GTS/Département ELITE • LAFARGE • LETESSIER • MAPEI • MCCF • NOUVETRA • OUEST ACRO SA • PAGEL SAS • PAREXLENKO • PERRIER SAS • POA • RAZEL • RCA • RENOFORS • RESINA • RESIREP • SNC • RICHERT • SAINT GOBAIN WEBER France • SARL ROMOEUF • SEFI-INTRAFOR • SIKA • SIRCO TRAVAUX SPÉCIAUX • SNCTP • SOFRARES • SOLETANCHE BACHY • SOTEM • SORREBA TECHNOLOGIE • SOTRAIB EAU • SPIE BATIGNOLLES TECHNOLOGIES • STPL • TEMSOL • TSV • VIA PONTIS • VINCI CONSTRUCTION France • VSL France

STRRES



NOTRE TALENT  
DÉFIE LE TEMPS



BUILD ON US

[www.soletanche-bachy.com](http://www.soletanche-bachy.com)

→ Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, **Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles** : elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.



Réhabilitation Emissaire Sud 2<sup>e</sup> Branche (SIAAP) | FRANCE |



**SOLETANCHE BACHY**