

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES. RECONFIGURATION DE LA BARRIÈRE DE PEAGE DE MONTPELLIER 1 A GALLARGUES. SECURISATION DU FRONT ROCHEUX SURPLOMBANT LA STATION D'EPURATION AMPHITRIA (83). RENOVATION DES TUNNELS DE BRUXELLES. CORNICHE KENNEDY A MARSEILLE. RENOVATION EN BFUP A CATTENOM. PONT DE NORMANDIE. TRIBUNE SUD STADE SAINT-SYMPHORIEN A METZ. AUSCULTATION DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL. REMPLACEMENT VENTILATION TUNNEL DU FREJUS**

N° 960 JUIN 2020



RENOVATION  
DES TUNNELS  
DE BRUXELLES  
© EGIS

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE

# Liebherr parmi les chariots télescopiques.



## Pas seulement un design

- Entraînement hydrostatique en continu avec la plus grande force de traction et l'hydraulique de travail Liebherr la plus puissante
- Cabine « confort » pour une productivité optimale et une visibilité panoramique parfaite
- Compatible avec les systèmes de changement rapide d'autres constructeurs, pour une transition en douceur
- Disponible avec « Auto Power » et « Auto Hill Assist » pour des cycles de travail optimisés et un confort exceptionnel du conducteur

Liebherr-France SAS  
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287  
68005 Colmar Cedex  
Tel. : +33 3 89 21 30 30  
E-mail : [info.lfr@liebherr.com](mailto:info.lfr@liebherr.com)  
[www.facebook.com/LiebherrConstruction](http://www.facebook.com/LiebherrConstruction)  
[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# LIEBHERR

Directeur de la publication  
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction  
Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard  
Datry (Setec tpi), Olivier de Vriendt  
(Spie Batignolles), Philippe Gotteland  
(Fnfp), Florent Imbert (Razel-Bec),  
Romain Léonard (Demathieu Bard),  
Claude Le Quéré (Egis), Véronique  
Mauvissau (Ingerop), Stéphane Monleau  
(Soletanche Bachy), Jacques Robert  
(Arcadis), Solène Sapin (Bouygues  
Construction), Claude Servant (Eiffage tp),  
Philippe Vion (Vinci Construction Grands  
Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel  
Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction  
Monique Trancart (actualités),  
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

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

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

Publicité

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

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

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

Édition déléguée

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

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

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

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

Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0218 T 80259  
ISSN 0041-1906

## LES INFRASTRUCTURES DE DEMAIN



© DR

**A**u gré des développements économiques et des volontés politiques, le monde a des besoins colossaux en infrastructures : transports, énergie, eau et télécommunications pour ne citer que les principales. Ces besoins sont concentrés dans les pays en forte croissance, mais existent également dans les pays les plus développés, où les métropoles continuent de croître et où des territoires restent à desservir.

En France, dans le domaine des transports, nous vivons de tout temps au rythme haletant des grands projets d'infrastructures. Lignes à grande vitesse, autoroutes, aéroports, tunnels, métros, viaducs sont autant d'objets fascinants qui continuent de nous faire vibrer.

Mais ne nous y trompons pas, nos infrastructures de demain seront d'abord celles d'aujourd'hui.

En effet, nos réseaux sont déjà très développés, si bien que même un projet extraordinaire comme le Grand Paris Express ne représentera à terme "que" 10 % environ de l'infrastructure de transports en communs ferrés d'Île de France. Par ailleurs, les projets neufs se heurtent à l'implacable réalité de notre devoir de frugalité en matière d'impact environnemental. De même que la ville se repensera sur la ville, les infrastructures de transport seront "recyclées" pour accueillir une mobilité durable, décarbonée.

Ces derniers mois ont vu un inflexionnisme historique des politiques publiques. En juin 2018, dans l'élan des Assises de la Mobilité, le ministère des

transports publie un audit inquiétant sur l'état des routes nationales et des autoroutes non concédées - qu'il considère être le premier patrimoine de l'État avec une valeur estimée à 140 Md€, et décide de revoir durablement à la hausse les dépenses d'entretien. Plus tard, la Loi d'Orientation des Mobilités confirme une politique publique ambitieuse d'investissement dans l'entretien des réseaux existants, notamment pour le ferroviaire.

Des investissements sont requis, d'une part pour des raisons de sécurité des personnes, pour éviter des catastrophes et, d'autre part pour des raisons de bonne gestion. Si nous attendons, si nous acceptons une baisse du niveau de service, nous ferons ensuite face à des dépenses bien plus lourdes pour maintenir nos infrastructures qui atteignent déjà l'âge pour lequel elles ont été conçues. Espérons que ces intentions résisteront à la crise économique qui s'annonce.

En m'adressant à vous dans ces colonnes, je fais le vœu de voir se multiplier les numéros comme celui-ci. Que la filière "maintenance" des infrastructures continue de se structurer et d'attirer plus de talents pour faire face à ces grands défis. Que les infrastructures de demain, neuves ou renouvelées, soient maintenables en toute sécurité, sous exploitation, suivant un programme d'investissement optimisé.

Les gestionnaires d'infrastructures ont besoin d'un tissu industriel performant, de moyens et de visibilité sur le long terme pour mener des politiques de maintenance efficaces. En juin 2019, la mission d'information du sénat sur la sécurité des ponts - formée suite à l'effondrement du pont Morandi de Gênes en août 2018, fait le constat que 25 000 ponts en France nécessitent des travaux de réparation structurels. Ces ponts sont pour une grande partie sous gestion des collectivités locales, qui peinent à financer les investissements nécessaires pour leurs infrastructures les plus anciennes. Le même rapport souligne les vertus du modèle des concessions autoroutières françaises, fondé sur la sanctuarisation des dépenses d'entretien du patrimoine, des obligations contractuelles pénalisables et un contrôle technique intransigeant de l'État concédant.

**JULIEN CASTRES SAINT MARTIN**  
DIRECTEUR DÉLÉGUÉ PATRIMOINE DU GROUPE SANEF



# MAINTENANCE DES INFRA- STRUCTURES

TRAVAUX DE MAINTENANCE SUR LE BÂTIMENT D'UN REACTEUR NUCLEAIRE © QUEST AGRO



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC  
JEAN-LUC DABERT**

APRR/AREA -  
MAINTENIR LES INFRASTRUCTURES  
EN PRÉPARANT DEMAIN

**22 OUEST ACRO -  
TRAVAILLER SUR CORDES :  
UN MÉTIER D'ULTRA-PROFESSIONNELS**



30

**DÉCONSTRUCTION  
ET RECONFIGURATION  
DE LA BARRIÈRE DE PÉAGE  
DE MONTPELLIER 1**  
à Gallargues (30)



37

**SÉCURISATION DU FRONT  
ROCHEUX SURPLOMBANT  
LA STATION D'ÉPURATION  
AMPHITRIA DU CAP SICIÉ**  
à la Seyne-sur-Mer (83)



46

**LA RÉNOVATION  
DES TUNNELS  
DE BRUXELLES**



51

**RÉPARATION ET  
RENFORCEMENT DE  
LA CORNICHE KENNEDY**  
à Marseille



58

**RÉNOVATION EN BFUP  
À CATTENOM :  
20 ANS APRÈS**



64

**PONT DE NORMANDIE**  
Diagnostic en fatigue  
et instrumentation innovante  
du platelage métallique



72

**LA RECONSTRUCTION  
DE LA TRIBUNE SUD DU  
STADE SAINT-SYMPHORIEN**  
à Metz



78

**L'AUSCULTATION  
DES OUVRAGES  
DE GÉNIE CIVIL :  
UN PROJET**



84

**COMBINER  
REPLACEMENT  
DE LA VENTILATION  
ET EXPLOITATION**  
au tunnel du Fréjus



## ENTRE LA PLAGE DES CATALANS ET CELLES DU PRADO **50 ANS DANS LES EMBRUNS**

**Setec tpi** est maître d'œuvre de la réparation de la corniche Kennedy à Marseille, âgée de 50 ans et victime de lourdes pathologies de corrosion. Eiffage Génie civil, Gtm Sud, Freyssinet, Colas réalisent actuellement la 2<sup>e</sup> phase sur les 4 prévues. Au total 1 725 m de linéaire seront traités. La situation de l'ouvrage en encorbellement au-dessus de la mer pose d'ardus problèmes d'accès. On note l'usage de la préfabrication sur mesure, la mise en œuvre d'une protection cathodique par courant imposée (PCCI), un nouveau parapet en BFUP.

(Voir article page 51).



© SETEC

## OUVRAGES ET RÉSEAU ROUTIERS : LENT REDRESSEMENT DES DÉPENSES

**L'État et les collectivités locales ont augmenté les dépenses consacrées aux routes et à leurs ouvrages. Les améliorations ne sont pas encore perceptibles, selon l'Observatoire national des routes.**



Pont sur la RD 168 dans le Gers, avant et après reconstruction des parapets maçonnés, rejointement des pierres de voûtes, piquage de l'enduit au ciment et réalisation d'un enduit à la chaux, et étanchéité supérieure.

Les dépenses de voirie, hors investissement, continuent leur redressement amorcé en 2017 par rapport à la baisse de 2013 à 2016. L'Observatoire national de la route (ONR) l'a constaté dans son 3<sup>e</sup> rapport sur les données de 2018, publié fin 2019.

Les dépenses de fonctionnement, hors personnel, se situent toutefois encore à moins de 6 milliards d'euros quand 2013 les dépassait. L'investissement courant (hors travaux neufs), tombé autour de 5 milliards en 2016, remonte à près de 8 en 2018. C'est encore loin des 11 milliards de 2013<sup>(1)</sup>.

Ces données sont citées dans le 3<sup>e</sup> rapport de l'ONR géré par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrirm). L'observatoire a été mis sur pied en 2016 par l'État, l'Assemblée

des départements de France, l'Assemblée des Communautés de France, avec Routes de France et le Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures (Strres). Le Cerema et l'Ifsttar sont associés au pilotage.

→ **Le réseau se dégrade encore**

Plus d'argent n'a pas stoppé la dégradation du réseau. « Au regard des données rassemblées, quelques constats ont pu être précisés sans qu'il soit possible à ce stade d'établir les corrélations entre l'évolution de l'état du patrimoine routier et celle des moyens qui lui sont consacrés, » souligne le rapport. Il faudra plusieurs années pour en voir le résultat, selon l'ONR.

L'état du réseau routier national non concédé baisse doucement : 51,5% du

linéaire en bon état en 2018, 51,8% en 2017 et 52,1% du linéaire en 2016. Cette diminution suit une tendance de long terme.

L'état du réseau de routes départementales apparaît stable, autour de 54% (55% en 2017). L'échantillon est de 28 départements contre 17 (2<sup>e</sup> rapport ONR).

→ **Plus de 14 000 km en métropoles**

Les 5 métropoles prises en compte pour 14 216 km dans le 3<sup>e</sup> rapport, déclarent en bon état 44% seulement de leur linéaire, notamment à cause des voies les plus circulées (réseau structurant). Pas de données dans le 2<sup>e</sup> rapport. L'observatoire a également enquêté sur les ouvrages d'art, ponts et murs de soutènement. Toutes les familles sont jugées en moins bon état qu'en 2017.

Il a rassemblé des chiffres sur la moitié des 125 000 ponts relevant de gestionnaires publics : 63 437 dont 12 172 de l'État, 48 455 des départements et 2 810 de 5 métropoles.

→ **Structure altérée :**

**chiffres stables**

Sur le réseau national non concédé, il estime que 69,5% des ponts étaient en bon état structurel en 2018 à rapprocher des 70,3% de 2017. La part des ponts dont la structure est altérée avec nécessité de réparer et, dans certains cas, de réduire la capacité portante, reste stable à 6,6% (1,1% pour les pires).

Ceux des départements attestent d'une baisse plus marquée de leur état avec 59,6% en bon état en 2018 contre 62,4% en 2017, sachant que ces pourcentages s'appuient sur 37 502 ponts en 2018 et 35 722 l'année précédente. Même stabilité du nombre de ponts à structure altérée que ceux de l'État, mais ici à 8,8%.

→ **13% des murs**

**sont problématiques**

L'état des murs de soutènement est stable à 60,9% de ceux de l'État et 65% des départementaux. La part des problématiques tourne autour de 13% dans les deux cas.

L'analyse porte sur 24 827 murs, soit la moitié du patrimoine public (56 000), dont 18 815 relevant des départements et 6 012 de l'État.

[www.idrirm.com/publications/](http://www.idrirm.com/publications/) ■

<sup>(1)</sup> Source : Direction générale des finances publiques.

## MURS ET VOIRIE COMMUNALE : EN SAVOIR PLUS

Les murs de soutènement - 70 773 dont 60 400 aux mains des départements -, sont mal connus des collectivités qui les gèrent.

Selon l'Observatoire national de la route qui a collecté des chiffres sur un petit tiers des murs départementaux, « les méthodes de gestion sont sous-appliquées, notamment du fait de l'apparition plus tardive de ces méthodologies (l'opération mise en œuvre en 2006 contre 1995 pour les ponts). Moins du quart des départements indiquent clairement visiter

leurs murs, chaque année, précise-t-il, a minima ceux en mauvais état. Près de 38% le font en moyenne tous les 3 à 9 ans. »

→ **Éclairer les choix politiques**

Le lien entre entretien et état des murs sera donc à affiner pour répondre à l'objectif de l'observatoire : « objectiver l'état réel des réseaux routiers et l'impact prévisible des choix technico-financiers pour assurer leur maintenance afin d'éclairer les choix de politiques publiques possibles. »

L'État met à disposition ses données sur les dépenses publiques de voirie. Les départements, métropoles et groupements de communes participent à l'observatoire sur déclaration. Leur nombre augmente.

Dans le rapport de l'ONR sur 2018, 65 départements ont participé contre 57 en 2017. Tous n'ont pas correctement répondu à toutes les questions : 50-54 départements pour les moyens financiers et 56 pour l'état du patrimoine. Huit métropoles ont répondu mais

entre 3 et 7 selon les questions et les périodes.

→ **Observer 673 000 km**

Le plus gros chantier à venir pour l'Idrirm qui pilote l'ONR, consiste à observer la voirie communale - 673 000 km - à travers les communautés de communes et les agglomérations. Il aimerait constituer un échantillon d'une centaine sur les 1 200 existantes. Douze seulement ont contribué au 3<sup>e</sup> rapport<sup>(1)</sup>. ■

<sup>(1)</sup> Cf. étude ADCF, avril 2018 et Travaux n°948, janvier-février 2019, page 9.

## LES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS S'ADAPTENT À LA CRISE SANITAIRE



Renforcement urgent de talus ferroviaire, chantier test pour de nouvelles méthodes de travail.

Le 17 mars 2020 restera dans les mémoires. « *Ce fut très brutal*, confiait Didier Nabaffa qui dirige les Ets Nabaffa<sup>(1)</sup>. *Il a fallu organiser l'arrêt des chantiers en une demi-journée.* »

Les organisations professionnelles se sont tout de suite mises au travail avec le gouvernement. Le guide de sécurité sanitaire de l'OPPBT est sorti le 2 avril, soit à peine trois semaines plus tard. « *Ces deux derniers mois ont été très intenses*, témoigne Loïc Taulemesse, directeur général de Spie Batignolles Malet, *à la mi-mai. Nous avons été soumis à des directives au jour le jour, nous avons travaillé avec la FNTP et il y a eu des évolutions.* »

Dès le 25 mars, NGE a repris le confortement d'un talus ferroviaire à Sèvres (Hauts-de-Seine) et la ligne de train a pu être remise en service début mai. Ce chantier et un autre sur la RN 116 près de Perpignan (Pyrénées-Orientales) ont servi à mettre au point de nouvelles méthodes de travail en parallèle des discussions avec les ministères et ont donné confiance au personnel. Les entreprises que nous avons contac-

tées en mai, annonçaient une reprise progressive des chantiers depuis avril et une activité à 80-90 %, à la mi-mai. La FNTP, à travers ses adhérents, était plus prudente avec 40 % en moyenne de reprise, 60 % prévus à fin mai, 75 % fin juin, et 90 % fin juillet.

### → Manque de masques

Le manque de masques a été fortement ressenti par ceux qui ont voulu reprendre. Chez Vinci, ils doivent être portés en permanence sur le chantier Eole<sup>(1)</sup> parallèlement à de nombreuses dispositions pour que les ouvriers ne se retrouvent pas côte à côte.

« *Les compagnons peuvent communiquer par talky-walky*, indique Jean Bernardet, directeur général de NGE. *Un engin de levage est utilisé là où deux personnes portaient une charge, les bases vie sont plus grandes, le personnel travaille par roulement, il est logé à l'hôtel en chambre individuelle. Avec la reprise, il faut généraliser l'apprentissage des nouvelles méthodes de travail.* »

### → Quel partage des surcoûts ?

Du personnel spécifique est chargé de l'accueil de ceux qui reprennent, du rap-

pel quotidien des consignes, de fournir masques, gel, etc.

À ces coûts supplémentaires, s'ajoutent l'immobilisation des machines (sans production) et le fait que chaque tâche prend plus de temps qu'avant. Pourrait-il y avoir un partage des surcoûts avec les maîtres d'ouvrage ? « *C'est négocié au cas par cas, chacun a sa propre vision*, » note M. Bernardet qui estime que SNCF Réseau, Orange ou la Société du Grand Paris sont « *à l'écoute* ». La perte de productivité est en cours d'évaluation.

Après la remontée en production, se pose la question des commandes en période de crise économique et des appels d'offres. L'État est appelé par le secteur à se montrer exemplaire et les collectivités locales à ne pas repousser les investissements.

### → Vigilance partagée

Les difficultés peuvent être bénéfiques. « *La synergie entre les salariés s'est renforcée pendant cette période, les équipes sont très soudées*, apprécie M. Bernardet. *La vigilance partagée, levier de prévention en temps normal, s'est accrue.* » ■

<sup>(1)</sup> Entretiens ou vidéos pour le site Prévention BTP.

## PISTE CYCLABLE TEMPORAIRE

Des mesures prises pendant le confinement vont peut-être perdurer au-delà. Toulouse (Haute-Garonne) expérimente les pistes cyclables temporaires depuis le 23 avril et aimerait les pérenniser si le test est concluant. Sur l'avenue Étienne Billières à deux fois deux voies, un marquage au sol jaune réserve la voie de droite aux cyclistes, dans chaque sens de circulation. Le Cerema vient de publier un guide sur ce thème et n'y voit aucune opposition juridique. Selon lui, c'est « à tort que les nombreuses infrastructures cyclables ont été interdites aux cyclistes au motif qu'elles ne serviraient que pour faire du sport ou se promener. »

Il est plus facile de garder la distance de sécurité sanitaire en vélo que dans un transport en commun. De plus, la circulation automobile avait baissé de 60-90 % pendant le confinement (17 mars-11 mai). Des villes à l'étranger ont montré l'exemple : Berlin (Allemagne), Bogota (Colombie), Oakland (Californie). Reste à savoir si la circulation automobile reprendra le niveau d'avant ou non.

[https://actu.fr/occitanie; www.cerema.fr/fr/actualites/amenagements-cyclables-temporaires-confinement-quelles](https://actu.fr/occitanie;www.cerema.fr/fr/actualites/amenagements-cyclables-temporaires-confinement-quelles).



À Toulouse (Haute-Garonne), la piste cyclable temporaire occupe la largeur d'une voie automobile.

## POUR UN ÉOLIEN MIEUX ACCEPTÉ

Passer de 16,6 GW de puissance éolienne installée fin 2019 à plus de 26 en 2023 et 40 en 2028, selon la Programmation pluriannuelle de l'énergie, ne sera possible qu'en améliorant leur acceptation. Le ministère de la Transition écologique et solidaire a réuni le groupe de travail "pour un développement harmonieux de l'éolien", en décembre, et publié des mesures en ce sens. Citons la création d'un groupe sur la répartition des projets sur le territoire, une meilleure prise en compte de leur impact sur le paysage au travers de bonnes pratiques et l'évaluation des zones de développement de l'éolien. Est admis le principe d'une obligation d'excavation totale des fondations en fin de vie. Un meilleur recyclage des composants, notamment des pâles, est en discussion avec la filière.

Des dispositifs de balisage nocturne, moins gênants, seront mis au point pour début 2021. Un protocole "indiscutable" de mesure du bruit des éoliennes sera élaboré.

## PONTS, MURS, TALUS : BESOINS EN PERSONNEL

Le rapport d'évaluation des besoins en personnel et de formation en rénovation des ponts, des murs et des talus routiers, dans le public et le privé, commandé au Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), était prévu pour sortir en juillet.

Cette « montée en puissance des capacités » est la condition pour pérenniser et renforcer la surveillance des ouvrages, détecter les pathologies, entretenir et réparer, en vue de leur sécurité.

[www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr](http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr)

## LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE PUBLIÉE EN AVRIL



Dans trois ans et demi, 3,4 millions de logements seront raccordés à un réseau de chaleur. Ici, chaufferie Croix-Rouge du réseau de Reims (Marne).

La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour 2023 et 2028 est parue le 23 avril. Elle fixe des objectifs d'économies d'énergie, de production et d'utilisation d'énergie "décarbonée". Le Syndicat des énergies renouvelables s'en félicite tout en s'inquiétant du respect du calendrier à cause du ralentissement économique lié au virus Covid-19. Il plaide pour une accélération des procédures administratives des projets en cours. La PPE paraît en même temps que la stratégie nationale bas carbone (SNBC) dont elle est un des outils. En effet, consommer moins d'énergie notamment les fossiles (pétrole, gaz), contribue à émettre moins de gaz à effet de serre (GES) considérés comme responsable du réchauffement climatique. La SNBC vise la neutralité carbone, c'est-à-dire l'équilibre entre les émissions par combustion, par exemple, de carburant, et les compensations (captage-stockage de carbone naturel ou artificiel) ou les évitements par des déplacements moins nombreux, le recours à des énergies moins émettrices dont les renouvelables et le nucléaire, etc.

La SNBC et la PPE ont toutes les deux été introduites par la loi de transition énergétique pour la croissance verte de 2015<sup>(1)</sup>. La Stratégie, parue en 2018, a été ajustée à la loi énergie-climat de 2019<sup>(2)</sup>.

### → Long processus

La première PPE date de 2016. Elle a été révisée, exceptionnellement en 2018, avant de l'être tous les cinq ans. La 2e PPE, celle qui nous concerne actuellement, couvre 2019-2023 et sera suivie par celle de 2024-2028, déjà prédéfinie. La 2e révision, lancée en 2017, est le résultat d'un long processus de négociation et de consultation, terminé en février 2020.

### → Énergies fossiles : -23%

Voici les principaux objectifs de la 2e PPE. La consommation finale d'énergie devra avoir baissé de 7,6% en 2023 par rapport à 2012 (-16,5% en 2028). Parallèlement, le recours aux énergies fossiles devra se réduire de 20% en 2023 (35% en 2028).

Les émissions de GES dues à la combustion d'énergie se seront réduites de 14% en 2023, cette fois par rapport à 2016,

et de 30% en 2028. Ramenées à celles de 1990, la baisse serait respectivement de 27% et 40%.

La consommation de chaleur d'origine renouvelable (biomasse, récupération, géothermie) montera à 196 TWh en 2023 (154 TWh en 2017) et à 218-247 TWh en 2028.

### → Électricité renouvelable : +50% en 2023

La puissance installée d'électricité renouvelable aura cru de 50% en 2023 par rapport à 2017 pour atteindre 73,5 GW et doublé en 2028 (101-113 GW). Autres chiffres à atteindre en 2023 : 200 000 installations solaires photovoltaïques en auto consommation, 3,4 millions de logements raccordés à un réseau de chaleur (2,4 en 2017, Fedene), 9,5 millions chauffés au bois (installations labellisées), 1,2 million de voitures électriques et 20 000 camions roulant au gaz, 2,5 millions de logements rénovés (isolation). D'ici 2028, la PPE devrait créer 440 000 emplois. ■

<sup>(1)</sup> Loi n°2015-992 du 17 août 2015.

<sup>(2)</sup> Loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019.

# PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ  
PRÉVOYANCE  
ASSURANCES  
ÉPARGNE  
RETRAITE  
VACANCES  
ACTION SOCIALE



**PRO BTP**  
GROUPE

**PLAN 2025 D'EGIS**

À l'occasion de l'annonce des résultats 2019, Egis a précisé son plan stratégique pour 2025, basé sur deux priorités. L'urgence climatique l'amène à proposer des solutions bas carbone à ses clients, à rendre systématiques les préconisations en faveur de l'environnement en phases chantier et exploitation, et à réduire sa propre empreinte carbone. Le développement numérique, 2<sup>de</sup> priorité, se poursuit en interne avec une montée en compétences de tous les métiers. « D'ici fin 2020, 90 % du chiffre d'affaires de la maîtrise d'œuvre de conception de nos projets sera réalisée sous Bim, » écrivait en avril le groupe qui emploie près de 15 800 personnes. Le capital est détenu à 25 % par des cadres partenaires et des salariés français, 75 % étant entre les mains de la Caisse des dépôts. Le groupe a réalisé un chiffre d'affaires de 1,22 milliard d'euros en 2019 (+7,9 %) dont 64 % à l'international. Près des trois quarts sont générés par l'ingénierie, le reste émane de l'exploitation routière et aéroportuaire, de l'énergie et des services à la mobilité (gestion d'abonnés d'autoroute, par exemple).

**10<sup>e</sup> CONCOURS ROUGERIE**

Ingénieurs, architectes et designers, qu'ils soient étudiants ou professionnels, ont jusqu'au 30 septembre pour concourir aux différents prix de la fondation Jacques Rougerie\*. Les concurrents se présenteront, de préférence, en équipe pluridisciplinaire. Le 10<sup>e</sup> concours international d'architecture couronnera des projets biomimétiques - à l'image de la nature - pour les océans, l'Espace et le littoral, avec au centre, les êtres humains. Il s'agit d'imaginer la vie de demain sur Terre avec la montée des océans ou dans l'Espace.

\* Prix 2019 dans les actualités de Travaux 959, avril-mai 2020.

**LES TRAVAUX DE LA LIGNE À GRANDE VITESSE LONDRES-BIRMINGHAM DÉMARRENT**



Vue de la future gare TGV de Curzon Street à Birmingham (Angleterre).

Les travaux de la 1<sup>re</sup> phase de la ligne à grande vitesse n°2, 215 km entre Londres et Birmingham (Angleterre), démarrent cette année. Le feu vert de la construction - études d'exécution et construction - a été donné le 15 avril par le ministère des Transports britannique. Quatre groupements travaillent sur le projet : Skanska Costain Strabag (SCS) Railways et trois joint-ventures, Align, EKFB et BBV. La plupart des partenaires était impliquée dans la conception et le développement, lancés en 2017.

**→ Participations françaises**

Align réunit Bouygues Travaux Publics, Sir Robert McAlpine et VolkerFitzpatrick. Ces entreprises ont cinq ans et demi pour

réaliser 21,6 km au nord de Londres. Leur lot (C1) inclut le viaduc de Colne Valley (3,4 km), les tunnels de Chilterns (2 fois 15,75 km). Le marché se monte à 1,8 milliard d'euros dont 1,1 pour l'entreprise française.

EKFB regroupe Eiffage (35 %), Kier (35 %), Bam Nuttall (15 %) et Ferrovial Agroman (15 %). Cette joint-venture travaille sur les lots C2 et C3 de la LGV, soit 80 km. Le tronçon comprend 15 viaducs, 5 km de tranchées couvertes, 22 km de rétablissements routiers et 67 ouvrages de franchissement. Le contrat, conception et réalisation, s'élève à 2,6 milliards d'euros. Bam Nuttall et Ferrovial Agroman, qui ont rejoint EKFB récemment,

sont, par ailleurs, majoritaires dans la joint-venture Fusion, chargée des travaux préparatoires de la section centrale de cette LGV.

Vinci figure aux côtés de Balfour Beatty à part égale dans BBV, attributaire de 90 km avant Birmingham. Appartiennent aux lots N1 et N2 : 51 viaducs et structures en caissons (14 km au total), plus de 150 passages supérieurs ou inférieurs, 7,5 km de tunnel bitube, 30 km de linéaire en déblai et 33, en remblai, 4 franchissements autoroutiers et 6 interconnexions avec le réseau ferré existant. Durée du chantier : un peu plus de six ans. Montant du contrat BBV : 5,75 milliards d'euros.

**→ Ouverture en 2031**

La LGV n°2, High speed 2 (HS2), va diviser par deux la durée des trajets entre Londres et Birmingham. En phase 2, seront réalisées les branches vers Manchester et Leeds, soit 336 km, ainsi que les connexions au réseau existant. Vingt-cinq gares seront desservies. HS2 Ltd, société publique de projet, a récemment estimé son coût à 120 milliards d'euros (106 milliards de livres). Le ministère des Transports espère une ouverture en 2031 pour le tronçon Londres-Birmingham, sans arrêt, et 2033 pour le reste.

[www.hs2.org.uk](http://www.hs2.org.uk) ■

**UNE GARE RENAÎT**

Le site de l'ancienne gare de Curzon Street à Birmingham (Angleterre) va donner naissance à une gare TGV. Le hall de 1838 de Philip Hardwick, reconnaissable à son fronton et ses piliers, est conservé au sud du quartier complètement réaménagé.

La gare de Curzon Street a été une gare de voyageurs de 1838 à 1854, année où elle est devenue gare de marchandises, fermée en 1966. En effet, en 1846, les deux compagnies de chemin de fer présentes à Birmingham, Grand Junction Railway et London and Birmingham Railway, avaient fusionné puis décidé de déplacer la gare voyageurs à New Street.

**→ Place de retournement**

Le site de Curzon Street Station a été

redécouvert lors des premiers coups de pioche de la future gare TGV. Soixante-dix archéologues de Mola Headland Infrastructure ont mis au jour une place de retournement des trains et des fondations de bâtiments détruits en 1860-1870 pour accueillir les marchandises. Ils ont également fouillé l'ancien cimetière de Park Street, en fonctionnement de 1810 à 1873. Squelettes, objets les accompagnant, plaques avec les noms, ont été recueillis. Le National Trust's Heritage et l'Église d'Angleterre sont parties prenantes.

**En savoir plus :**

[http://railaroundbirmingham.co.uk/Stations/curzon\\_street.ph](http://railaroundbirmingham.co.uk/Stations/curzon_street.ph) ■



Traces des fondations de l'ancienne gare Curzon Street à Birmingham, mises au jour sur le chantier de la future gare TGV.

## EIFFAGE INVESTIT DANS LES MICRO CENTRALES HYDRAULIQUES



La centrale hydroélectrique du Caty (Tarn) sera en travaux de fin 2020 à début 2021.

Eiffage Concessions a acquis neuf micro centrales hydroélectriques, auprès d'un propriétaire privé, et en crée une nouvelle, dans le Sud-Ouest, a-t-il annoncé en septembre dernier. Sept donnent lieu à travaux de 2020 à 2022.

La centrale de 400 kW à Terrasson-Lavilledieu (Dordogne) à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de Brive-la-Gaillarde (Corrèze), sur la rive gauche de la Vézère, a été reprise telle quelle fin 2019. Sur la rive droite dans la même

commune, un équipement de 500 kW verra le jour en 2022.

### → Six centrales sur l'Agout

Une 2<sup>de</sup> centrale ne nécessite pas d'intervention, celle de Teyssode (Tarn) sur l'Agout, au nord-ouest de Castres, d'une puissance de 1 550 kW.

Cinq autres sites acquis par Eiffage se trouvent sur l'Agout toujours dans le département du Tarn : Brazis et Le Caty à Fiac, au sud de Teyssode, le premier maintenu à 400 kW, le second passant de 400 kW à 500 en 2020-2021 ; la

centrale de Viterbe au sud de Fiac, 250 kW, est rehaussée à 500 kW en 2022 ; celle de Saint-Paul-Cap-de-Joux, encore plus au sud sur l'Agout, progresse de 400 kW à 500, en 2021-2022 ; celle de Saix, au sud-ouest de Castres, fait un saut de 150 à 500 kW en 2021-2022 aussi.

Dans le Gers, la mise en service de la centrale existante des Barthères à Izotges, à l'est de Riscle, de 400 kW sur l'Adour, n'était pas encore définie en mai.

Enfin, dans le nord de la Charente, la centrale de Chabanais sur la Vienne gagnera 250 kW pour atteindre les 500 en 2022.

### → 25 millions d'euros de travaux

À travers ce rachat et cette création de centrales micro hydrauliques, Eiffage poursuit sa diversification dans les énergies renouvelables. La mise en conformité, la rénovation et l'augmentation de puissance sont confiées à Eiffage Énergie Systèmes (métiers énergie du groupe), mandataire, cotraitant avec Eiffage Génie Civil, et qui hérite de l'exploitation et de la maintenance. Les principaux travaux sont planifiés sur trois ans pour un montant estimé à 25 millions d'euros. ■

## EXTENSION DE RÉSEAU DE VAPEUR AU HAVRE

La mise en service de l'extension du réseau de vapeur de la Société d'économie mixte pour l'élimination des déchets industriels (Semedi) dans la zone industrialo-portuaire du Havre (Seine-Maritime) aura lieu cet automne au lieu de juin, crise sanitaire oblige. Ce réseau de 5 km gagne 3,2 km. Il desservira 3 industriels en plus des 5 déjà reliés. La vapeur provient de l'usine d'incinération de déchets dangereux de Sandouville. L'équipement de traitement thermique des déchets monte à 950-1 000°C. Les gaz produits doivent être refroidis avant d'être traités à leur tour. À ce stade, sont produites de l'électricité pour l'usine et de la vapeur à 230°C (265 000 tonnes/an). Le réseau et l'usine sont exploités par Sedibex.

L'extension de 3,2 km est entièrement enterrée avec dix chambres de visite alors que la partie existante est en aérien. La conduite est enfermée dans une double enveloppe constituée d'un isolant et d'une lame d'air mise au vide. Elle mesure 700 mm de diamètre au total et est posée à une profondeur entre 80 cm et 3 m.

### Coût des travaux :

8,5 millions d'euros dont 1,4 versé par l'Ademe (fonds chaleur) et 0,6 par le Feder. La région Normandie et la communauté urbaine Le Havre Seine Métropole favorisent la valorisation de chaleur fatale industrielle.



La vapeur provient de l'usine de traitement de déchets de Sandouville.

## ÆVIA : MARQUE D'EIFFAGE GÉNIE CIVIL

Les activités d'équipement, d'entretien, de réparation et de renforcement d'ouvrages d'Eiffage Génie Civil sont regroupées sous la marque Ævia, depuis octobre 2019\*.

Sont ainsi réunies les équipes de l'entité béton fibré ultra-hautes performances (BSI), de Via-Pontis et Resirep (travaux), d'Etic, spécialisée en haute technologie pour ouvrages d'art et de TSV, pour le vérinage et le ripage d'ouvrages.

\* Voir aussi Travaux n°957, janvier-février 2020, pp 53-57.

**DIALOGUE VOITURE-ROUTE**

Le projet européen Infrastructure digitale de demain (Indid) auquel la France participe, démarré en 2019, a reçu plus de 10 millions d'euros de subvention (50% du budget), de la Commission européenne, dans le cadre du Mécanisme pour l'interconnexion en Europe. Il se clôt en 2023.

Il s'agit de développer et de tester sur de nouveaux sites une infrastructure complète en transport intelligent coopératif, c'est-à-dire, qui dialogue avec les véhicules. Ceux-ci pourraient envoyer des informations, par exemple, sur l'état de la chaussée, celui de la circulation, etc. La qualité de cette connexion doit encore être améliorée. Y travaillent 24 partenaires dont Bordeaux INP (Enseirb-Matmeca) sur des prototypes de voitures connectées avec la 5G. Le Cerema est responsable d'un système composé des véhicules, d'unités en bord de route, d'équipements du gestionnaire et du standard européen d'échanges de données sur le trafic routier.



La communication voiture-infrastructure peut être améliorée.

© MT

**NOUVELLES RÈGLES TIRANTS D'ANCRAGE**

Les recommandations TA95 sur les tirants d'ancrage ont été révisées pour être en conformité avec les normes européennes.

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique a publié, en avril, les Règles professionnelles TA2020, le changement de nom témoignant de l'obtention du label Agence qualité construction.

**FONTE DU PERMAFROST ET INFRASTRUCTURES**

« 3282 glaciers rocheux ont été repérés dans les Alpes françaises dont un millier en Savoie, » informe Stéphane Roudnitska, ingénieur risques naturels gravitaires de montages, au service de Restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts, suite à un inventaire (2011-2018) pour le ministère de la Transition écologique et solidaire<sup>(1)</sup>. « Un glacier rocheux est un mélange de débris rocheux et de glace qui s'étire lentement, se met à fluer sous l'influence de la gravité, de la pente, précise M. Roudnitska. Au-dessus de 0°C, il perd sa glace, son front se couche, il s'affaisse. Une fois qu'il a perdu toute son eau, il devient un éboulis sec. »

Les changements internes peuvent mener à des catastrophes. Le 14 août 2015, suite à la canicule et à un orage, le front du glacier rocheux du col du Lou (Lanslevillard, Savoie) en versant nord à 2 900-2 700 m, s'est rompu en deux endroits. Les laves torrentielles ont rejoint le torrent Arcelle. La buse vers l'Arc s'étant bouchée, elles ont déboulé jusqu'en fond de vallée, coupant la RD902 et inondant des équipements.

En 2019, les travaux de remise en état ont coûté 2 millions d'euros HT<sup>(2)</sup>.

« Nous avons constaté une relative augmentation des dommages depuis trente ans, en particulier sur les terrains riches en glace, » précise Pierre-Allain Duveillard, post-doctorant au laboratoire Edytem (CNRS/Université Savoie-Mont-Blanc)<sup>(3)</sup>. Le permafrost, sol gelé à moins de 0°C au moins deux ans de suite et contenant de la glace (glacier rocheux) ou non, est déstabilisé par le réchauffement climatique. Il couvre 700 km<sup>2</sup> dans les Alpes françaises. 947 éléments d'infrastructures sont construits sur ce type de terrains, dont 74% de composants de remontée mécanique. 15% sont à risque fort de déstabilisation et danger pour des personnes ou des lieux, au cas où le permafrost se dégrade.

**→ Facteurs naturels et humains**

Pour éviter la catastrophe, l'approche doit se baser sur le phénomène naturel et sur l'humain. Les concepteurs du Funitel de Thorens (Haute-Savoie) à 2 825 m, avaient bien pensé à implanter un pylône hors du glacier rocheux. Pourtant, cinq ans après sa construction, en 2016, le pylône a basculé. Des infiltrations d'eau en amont

avaient lessivé les matériaux. Raisons : le décapage d'une pente pour une piste de ski et une piste de 4x4 déneigée, associés à de fortes précipitations.

Peu de gestionnaires de sites à risque avéré ont une stratégie pro-active pour remédier au risque sur le long terme (surveillance, réduction de l'apport de chaleur dans le sous-sol).

En ce qui concerne les glaciers rocheux, les observateurs suivent l'évolution des bourrelets, sillons, crevasses. Outils à disposition : photos aériennes, télédétection de déplacement, visite sur le terrain avec relevés, suivi par GPS sur des blocs repères, drone, levés Lidar, capteurs, etc.

**→ Plan de prévention 2020-2023**

Les recherches, la surveillance et les actions de prévention se poursuivent notamment grâce au Plan d'action pour la prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire 2020-2023 (MTES). ■

<sup>(1)</sup> Conférence par internet, organisée par Indura, le 30 avril.

<sup>(2)</sup> Syndicat du Pays de Maurienne ; analyse et laves : RTM, IUGA/Edytem /ADRGT ; maîtrise d'œuvre : Alp'études-RTM ; travaux : Gravier TP.

<sup>(3)</sup> Financement Ferec. Cf. Travaux n°955, novembre 2019, page 10.



© PCHIM/MODANE

Les laves expulsées par le glacier rocheux du col du Lou (2 800 m, Savoie) se sont répandues jusque dans la vallée, à Val-Cenis, en août 2015.

## STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ GRÂCE À L'HYDROGÈNE



Le poste d'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz a été mis en route le 20 février.

L'utilisation de l'hydrogène (H<sub>2</sub>) pour stocker de l'électricité prend plusieurs formes. Le démonstrateur Jupiter 1000 à Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône) en est un exemple relativement sophistiqué<sup>(1)</sup>. Sur la partie de cette installation qui fonctionne depuis le 20 février, GRTgaz injecte de l'hydrogène dans son réseau de gaz, à une concentration de 2-6%. En amont de ce poste, la Compagnie nationale du Rhône aura fourni de l'électricité renouvelable - solaire, éolienne, hydraulique - qui, par électrolyse d'eau, produit du H<sub>2</sub>.

Pour le moment, l'équipement baptisé Jupiter 1000 s'arrête là. Reste à mettre en œuvre, d'ici fin 2020, la partie méthanisation, c'est-à-dire la combinaison de l'hydrogène avec du CO<sub>2</sub> pour former du CH<sub>4</sub> (méthane) qui, lui aussi, pourra intégrer le réseau de GRTgaz. Le CO<sub>2</sub> est

alors récupéré sur les fumées d'Ascométal, à moins de 2 km. Il est possible de contourner la méthanisation et d'envoyer directement l'hydrogène dans le réseau.

### → 30 millions d'euros

Le projet a démarré en 2015 (partenariat et financement). Les études d'ingénierie ont eu lieu en 2016-2017, la production d'hydrogène a démarré en novembre 2019.

Jupiter 1000 coûte 30 millions d'euros payés à 40% par GRTgaz et à 30% par Teréga (ex-TIGF), distributeur de gaz dans le Sud-Ouest.

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur contribue financièrement aux côtés de l'État (investissements d'avenir) et du Feder (Union européenne). Elle cherche à valoriser et à stocker le CO<sub>2</sub> de ses industries et dispose de 1 123 MW de puissance électrique solaire.

L'eau se transforme en hydrogène à travers deux électrolyseurs de McPhy Energy : un PEM à membrane et un de technologie alcaline.

Le captage de CO<sub>2</sub> est assuré par une unité de Leroux & Lotz. Khimod Alcen (ex-Atmostat Alcen) fournit le réacteur de méthanisation dont les performances sont caractérisées par le CEA.

### → Créer une filière industrielle

Le démonstrateur est installé à Fos-sur-Mer, dans la pépinière d'entreprises Innovex sur la plate-forme de recherche et développement Plicto.

Destiné à faire émerger une filière industrielle, il pourra produire 200 Nm<sup>3</sup>/h d'hydrogène, grâce à 1 MW électrique, et 25 Nm<sup>3</sup>/h de méthane de synthèse. ■

<sup>(1)</sup> Voir aussi projet Grhyd, actualité de Travaux n°959, avril-mai 2020.

## COMBIEN COÛTENT LES RENOUVELABLES

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie a publié sa 2<sup>e</sup> étude sur le prix de revient des énergies renouvelables\* sur le territoire français, en janvier.

En matière d'électricité, l'éolien terrestre et les centrales photovoltaïques au sol sont les plus économiques avec, respectivement, un coût de production de 50-71 euros/MWh et de 45-81 euros/MWh (2018).

La petite hydroélectricité, entre 100 kW et 10 MW, peut être très intéressante à 32 euros/MWh mais peut aussi, selon les caractéristiques des lieux, grimper à 149 euros/MWh.

La chaleur renouvelable est souvent moins chère à produire que l'électricité, notamment en récupération. Par exemple, la géothermie profonde (haute température) se situe à 15-55 euros/MWh et la récupération de chaleur sur process industriel, à 15-29 euros/MWh.

Le gaz est à 54 euros/MWh (chaudière > 3 MW).

\* En coût total actualisé (Levelized Cost of Energy).



L'éolien terrestre est parmi les moins chères des renouvelables. Ici, parc des Taillades en Lozère (2019).

## PILE À COMBUSTIBLE À CAYENNE (GUYANE)

La Guyane ne fait pas les choses à moitié quand elle s'intéresse à l'hydrogène. À l'automne 2019, la région a lancé un appel d'offres pour la mise en œuvre d'une production de ce gaz à partir d'électricité solaire qui puisse être répliquée dans des communes isolées. L'équipement produit d'abord de l'hydrogène à partir d'eau et d'électricité solaire (électrolyse). L'hydrogène est stocké. À la demande, il fabriquera de

l'électricité grâce à une pile à combustible installée à l'Université de Guyane, à Cayenne. Il coûte 500 000 euros environ.

Il comprend également un récupérateur de chaleur et un groupe froid destinés à la climatisation. « L'objectif est d'exploiter tous les flux d'énergie possibles et d'étudier le comportement d'un tel équipement en milieu tropical humide, » précise Laurent Linguet, porteur du projet à l'uni-

versité de Guyane, dans *Ademe & vous*, n°130, novembre 2019.

### → Deux thèses financées

Le dispositif reçoit 728 000 euros de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, montant qui inclut le financement de deux thèses : une sur la rentabilité du système par l'Institut national polytechnique de Toulouse et l'autre sur le développement d'un outil de gestion par l'université de Guyane. ■

## REMBLAIS ROUTIERS

Le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement a publié en avril des Recommandations pour le diagnostic et le suivi des remblais routiers.

Les 76 pages sont téléchargeables gratuitement sur le site du Cerema.



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe plus de **8 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **270 000 salariés**.

### Nos coordonnées :

#### · Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

#### · Par Internet : [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)

#### · Par mail : sur [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr), lien [ecrire un e-mail](#)

#### · Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.09.00



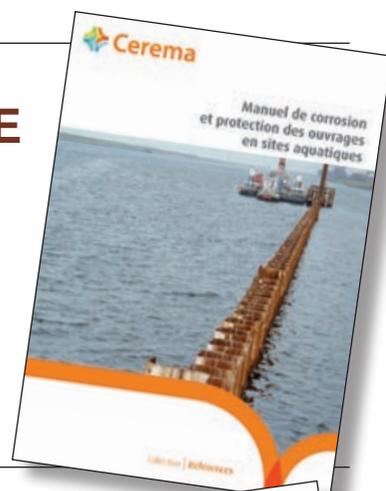
## PROTECTION DES OUVRAGES EN SITE AQUATIQUE

La prise en compte de la corrosion sur quatre ouvrages métalliques est détaillée à la fin du *Manuel de corrosion et protection des ouvrages en sites aquatiques* du Cerema, paru le 6 mars (100 pages). Il s'agit de la remise en état du quai de

l'Escaut et de l'écluse du Watier dans le port de Dunkerque (Nord), de la réfection de la protection du pont-canal de Briare (Loiret) et de l'identification de la corrosion du quai des Tellines dans le port de Marseille-Fos (Bouches-du-Rhône). Le manuel aide à comprendre cette

source de dégradation d'ouvrages en milieu aquatique ou salin. Il propose des méthodes de surveillance et d'évaluation du phénomène avant de rappeler comment s'en protéger.

[www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique](http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique) ■



## GUIDE INTERNATIONAL SUR LES DIGUES

Près de 1500 pages et 250 euros, ou gratuit par téléchargement, les lecteurs ont le choix pour s'approprier le *Guide international des digues*. L'ouvrage publié par le Cerema fin 2019 est la traduction française de l'*International levee handbook*, sorti en 2013.

À l'origine de ce pavé, en 2008, des organismes de France (Cerema, Irstea),

Allemagne, Irlande, Pays-Bas, Royaume-Uni, États-Unis.

L'approche est basée sur le risque. Les outils de connaissance de l'état des digues existantes, leur entretien, l'inspection, l'évaluation et l'attribution du risque, la gestion de crise, sont présentés avant la conception d'une digue et sa construction. Les auteurs soulignent que ces ouvrages,

sollicités rarement mais par des événements extrêmes, peuvent donner « une fausse impression de sécurité au niveau de la protection qu'elles sont susceptibles de fournir ». Leurs structures, complexes, peuvent se détériorer si elles ne sont pas entretenues.

[www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique](http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique) ■



## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

*Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu.*

#### • 6 AU 9 SEPTEMBRE

**Eurogeo 7, conférence européenne géosynthétiques**

Lieu : Varsovie (Pologne)  
<https://eurogeo7.org>

#### • 7 ET 8 SEPTEMBRE

**4<sup>e</sup> assises de l'économie circulaire**

Lieu : Paris (Maison de la chimie)  
[www.assises-economie-circulaire.ademe.fr](http://www.assises-economie-circulaire.ademe.fr)

#### • 10 ET 11 SEPTEMBRE

**Reconvertir les friches polluées**

Lieu : Paris (Palais des congrès)  
[www.reconversion-friches.ademe.fr](http://www.reconversion-friches.ademe.fr)

#### • 29 ET 30 SEPTEMBRE

**10<sup>e</sup> assises Port du futur**

Lieu : Paris (FNTP)  
[www.portdufutur.fr](http://www.portdufutur.fr)

#### • 6 AU 9 OCTOBRE

**Congrès de la Sim**

Lieu : Angers (Maine-et-Loire)  
[www.lasim.org](http://www.lasim.org)

#### • 7 ET 8 OCTOBRE

**Bim World**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
[www.bim-w.com](http://www.bim-w.com)

#### • 7 AU 9 OCTOBRE

**Culture et génie civil**

Lieu : Wrocław (Pologne)  
[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

#### • 2 ET 3 NOVEMBRE

**10<sup>e</sup> journées géotechnique et géologie de l'ingénieur**

Lieu : Lyon  
<https://jngg2020.sciencesconf.org>

#### • 9 ET 10 NOVEMBRE

**Analyse du risque en infrastructures**

Lieu : Séoul (Corée du Sud)  
[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

#### • 10 NOVEMBRE

**6<sup>e</sup> colloque national photovoltaïque**

Lieu : Paris (Unesco)  
[www.colloque-PV.fr](http://www.colloque-PV.fr)

#### • 1<sup>er</sup> AU 4 DÉCEMBRE

**Pollutec**

Lieu : Lyon  
[www.pollutec.com](http://www.pollutec.com)

#### • 8 AU 10 DÉCEMBRE

**Transport sédimentaire : rivières et barrages réservoirs**

Lieu : EDF Lab à Saclay (Essonne) et à Chatou (Yvelines)  
[www.barrages-cfbr.eu/Colloque-2020-Transport-sedimentaire.html](http://www.barrages-cfbr.eu/Colloque-2020-Transport-sedimentaire.html)

#### • 3 AU 5 FÉVRIER 2021

**Technologies de résilience pour infrastructures durables**

Lieu : Christchurch (Nouvelle-Zélande)  
[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

### NOMINATIONS

#### EGIS :

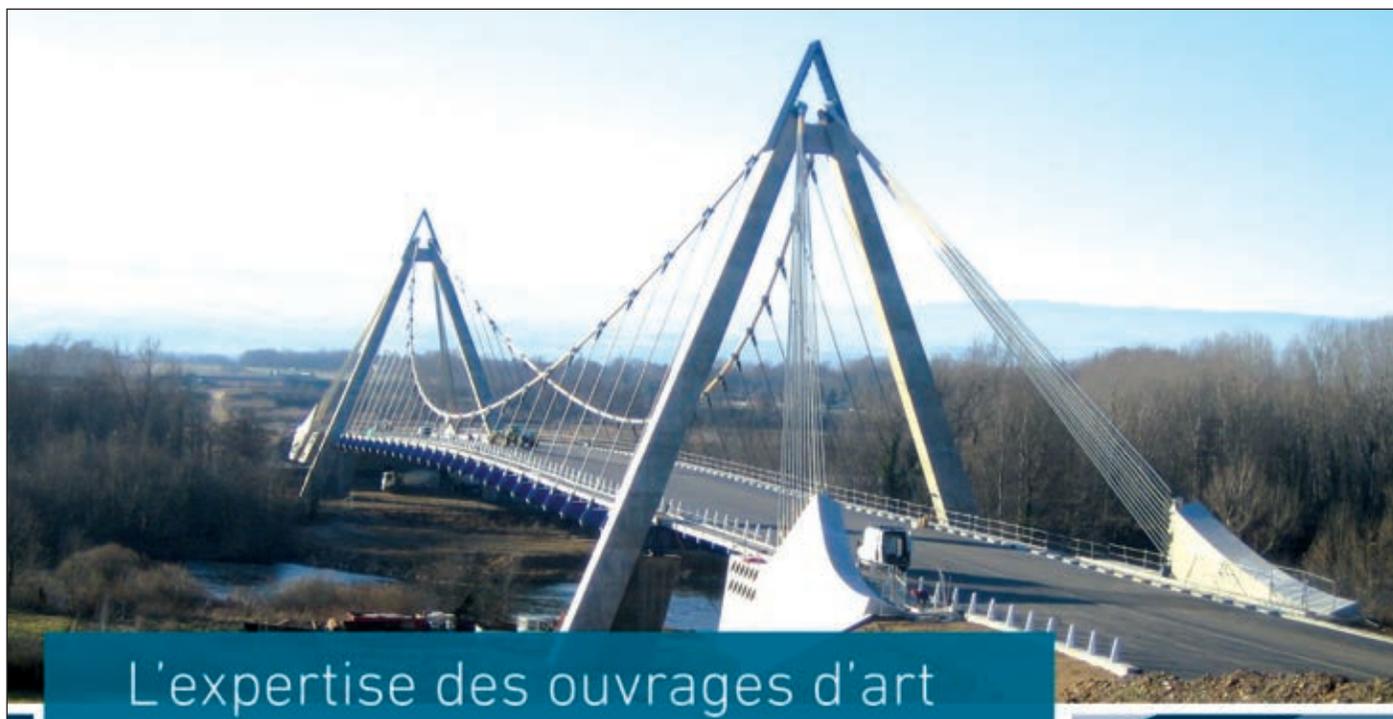
Laurent Germain remplace, à la direction générale, Nicolas Jachiet, PDG qui part à la retraite en octobre. Paul-Marie Chavanne, administrateur, est proposé par la Caisse des dépôts pour être président non exécutif du conseil d'administration d'Egis.

#### EIFFAGE CONSTRUCTION :

David Lebot a été nommé directeur de la région Nord-Est, suite à la scission en deux de la région Grand-Est. Jacques Delaine est directeur de la région Est.

#### FRANCE ÉNERGIE ÉOLIENNE :

Nicolas Wolff a remplacé Olivier Perot à la présidence de l'association qui représente la filière éolienne en France.



L'expertise des ouvrages d'art

- Maîtrise d'œuvre conception et réalisation
- Assistance à maîtrise d'ouvrage
- Suivi et expertise du patrimoine
- Instrumentation et surveillance



APRR/AREA

# MAINTENIR LES INFRASTRUCTURES EN PRÉPARANT DEMAIN

Le groupe APRR gère les autoroutes des réseaux APRR et AREA dans l'est de la France qui lui ont été concédés par l'État. Qualité des infrastructures, déplacements fluides en toute sécurité, prestations et innovations au service des voyages, développement économique et attractivité des territoires. Les 3500 collaborateurs du groupe APRR anticipent les besoins des clients et développent des projets qui répondent aux nouveaux enjeux de la mobilité : diminution de l'empreinte carbone, lutte contre le bruit, intermodalité, écomobilité... politique d'aménagement durable... : APRR s'engage. **Entretien avec Jean-Luc Dabert, conseiller technique infrastructures du groupe APRR.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



JEAN-LUC DABERT, CONSEILLER TECHNIQUE INFRASTRUCTURES DU GROUPE APRR, PRÉSENTE LA POLITIQUE GÉNÉRALE DU GROUPE EN MATIÈRE DE GESTION ET D'ENTRETIEN DES OUVRAGES D'INFRASTRUCTURES.

**En introduction, juste pour rappeler brièvement l'histoire de APRR/AREA, quelques mots sur les dates significatives du groupe ?**

La société APRR est née en 1961 avec la création de la Société de l'Autoroute Paris-Lyon (SAPL) et a ouvert son premier tronçon autoroutier de 90 km

en 1963 entre Auxerre et Beaune, la liaison complète entre Paris et Lyon - 455 km - a été mise en service en 1970. La Société des autoroutes Rhône-Alpes (AREA) est créée en 1971 pour réaliser le réseau autoroutier alpin. En 1975, la SAPL est devenue SAPRR (Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône).

FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © APRR - FIGURE 3 © EIFFAGE



## JEAN-LUC DABERT : PARCOURS

Jean-Luc Dabert est titulaire d'une Maîtrise Sciences et Techniques Géotechnique de l'Université Scientifique de Grenoble ainsi que d'un doctorat de 3<sup>e</sup> cycle " Génie Civil " de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA).

Entre 1987 et 2000, il œuvre à Scetauroute (aujourd'hui Egis) comme ingénieur études puis chef de projet conception des autoroutes A5 Sens-Troyes-Chaumont et A19 Sens-Courtenay, et chef de division études puis travaux de construction de l'autoroute A77 Dordives-Cosne-sur-Loire. De 2000 à 2013, Jean-Luc Dabert anime une équipe d'experts internes "infrastructure environnement matériels" à la Direction de l'Exploitation des autoroutes APRR. Il est notamment responsable maîtrise d'ouvrage et gestion du patrimoine routier, chargé de la définition des politiques de gestion, de la proposition de plans pluriannuels, de l'animation des référents métier au sein de la direction technique.

En 2016, il devient chef de département "Chaussées Ouvrage d'art" du groupe APRR.

Depuis 2019, Jean-Luc Dabert est conseiller technique "infrastructures" pour l'ensemble du groupe APRR.

Parmi ses missions, la représentation du groupe APRR dans diverses instances nationales et auprès des grands groupes de travaux et d'ingénierie occupe une part importante.

Il fait partie des groupes opérationnels Ouvrages d'art et Chaussées de l'ASFA (Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes) et préside le comité "génie civil" de l'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité). Depuis début 2020, il fait partie des 4 représentants français au Comité Ponts du PIARC (Association mondiale de la route).

Jean-Luc Dabert anime également, au sein du groupe APRR, l'ensemble des expérimentations réalisées en infrastructures sur le réseau en service. Il est ainsi en contact avec les entreprises et les bureaux d'ingénierie routière pour tester de nouveaux produits ou procédés permettant d'améliorer l'efficacité de la société, la prise en compte de la démarche bas carbone et de la transition écologique et énergétique tant au niveau des coûts globaux que de la performance.

En 2006, le groupe APRR (composé des sociétés APRR et AREA) a été racheté par un consortium composé d'Eiffage et de Macquarie.

APRR est exploitant et gestionnaire d'un patrimoine autoroutier qui appartient à l'État et qui lui est confié par concession pour en assurer, entre autres, l'entretien et la gestion.

Depuis 2019, le réseau est géré par une direction d'exploitation avec trois directions régionales réparties sur le réseau APRR et une direction AREA. L'exploitation de proximité est assurée par 19 districts et 8 agences-péage.

### Comment la gestion du patrimoine est-elle organisée au sein du groupe APRR ?

Au sein du groupe APRR, la gestion et l'entretien du patrimoine infrastructures est confiée à la Direction Infrastructures Patrimoine Environnement, dirigée par Philippe Giguet.

Les règles de gestion de notre patrimoine s'appuient sur plusieurs niveaux dont la connaissance constitue l'élément prépondérant et en constitue le socle.

Cette connaissance passe d'abord par un inventaire qualifié par domaine (chaussées, ponts, bassins de traitement, écrans et merlons phoniques, ...) : situation des ouvrages, caractéristiques principales.

Un deuxième niveau très important de la connaissance est la surveillance. Ce dispositif comprend des visites annuelles de tous les ouvrages effectués par les districts, des auscultations ou inspections programmées sur des cycles de 3 à 6 ans pour la plupart des ouvrages et réalisées par des bureaux spécialisés. Pour les visites de district, le groupe APRR a développé des outils de collecte numérisés dits Numa facilitant

1- Jean-Luc Dabert, conseiller technique infrastructures du groupe APRR.

2- Chantier de rénovation de la couche de roulement avec basculement de la circulation.

3- Chantier Eiffage près d'Albertville.

4- Aménagement de l'A71 en 2x3 voies sur 7 km entre le péage de Gerzat et l'A75.

5- Travaux à Genay sur l'autoroute A46.

tant le repérage géographique et l'enregistrement.

Cette connaissance est mise à jour régulièrement, et plus particulièrement lors de la réalisation des travaux et des opérations de surveillance annuelle sur l'ensemble du réseau.

Pour gérer toutes ces informations, APRR s'appuie depuis de nombreuses années sur un système de gestion propre qui lui permet d'enregistrer l'ensemble des éléments de connaissance afin d'évaluer en tous points l'état des ouvrages.

Le troisième niveau concerne la qualification de l'état des ouvrages et des

structures par rapport à des seuils de niveaux d'usage. Cette qualification constitue une aide aux décisions soit de surveillance renforcée, soit de travaux. Cette qualification conduit au calcul annuel d'indicateurs de performance dans le cadre de nos obligations contractuelles avec l'État. Ils concernent essentiellement les ouvrages d'art et les chaussées, et sont calculés à partir des résultats d'inspection ou d'auscultation. Afin de répondre au mieux à tous ces besoins, notre système de gestion est organisé en deux parties : une base statique liée à la connaissance, au suivi et à la qualification, géoréférencés dans un système d'information géographique, une autre base gestionnaire et prédictive que nous sommes en train de développer sur la base d'algorithmes prenant en compte les innombrables éléments d'information dont nous disposons sur nos ouvrages, des lois de vieillissement, etc.

APRR a privilégié la mise en place et le renseignement des bases chaussées et ouvrages, et le développement d'une base gestionnaire concernant ces objets, qui représentent plus de 70% des dépenses annuelles d'entretien. Pour les ouvrages d'art, l'inventaire qualifié comprend ainsi des caractéristiques comme les différents types de ponts, les voies franchies et les dimensions (longueur, largeur, nombre d'appuis).

La surveillance s'appuie sur une instruction de l'État (Instruction Technique de Surveillance et d'Entretien des Ouvrages d'Art). Elle comprend, outre les visites annuelles, des inspections détaillées programmées sur des cycles de 3 à 6 ans avec des notations Image Qualité Ouvrages d'Art, ainsi que, en tant que de besoin, des diagnostics ou de la surveillance renforcée. ▶

© APRR/LUDOVIC COMBE

4



© APRR/ROMAIN RUBINI

5



Cette nouvelle application gestionnaire baptisée "InfraSIM™" va nous aider à anticiper ou prédire l'état futur des ouvrages en se basant sur le passé et sur des lois de comportement ou de vieillissement connues des experts. Cette base nous permettra de bâtir des simulations prévoyant ce qui peut arriver à nos ouvrages et ainsi ajuster nos stratégies d'entretien.

Dans cet outil, une méthode dite "analyse de risques" va permettre d'identifier les points faibles sur des ouvrages et organes qui vont s'user ou se dégrader plus vite que d'autres, en veillant également à une différenciation selon leur position, leur intérêt stratégique, etc. Pour les chaussées, l'inventaire qualifié comprend la répartition des chaussées dans les 3 dimensions (superposition des couches, type de chaussées sur le profil en travers, longueur de chaque type), l'historique des mises en œuvre. La surveillance concerne essentiellement l'auscultation en section courante avec des appareils à grand rendement embarqués dans des véhicules de prestataires spécialisés, permettant le relevé à 80 km/h et au pas de 20 m de la fissuration, de l'adhérence, des déformations et autres paramètres. L'application gestionnaire nouvelle "InfraSIM™" va également analyser les chaussées pour calculer les indicateurs de performance et effectuer des simulations pour ajuster nos stratégies d'entretien.

### En ce qui concerne les revêtements, APRR fait-elle des choix particuliers en fonction des endroits dans lesquels ils se situent ?

Nous partageons la gestion des chaussées en deux familles : la couche de roulement d'une part, les couches de liaison et d'assise d'autre part.



## APRR : LE RÉSEAU

**Le réseau APRR/AREA s'étend notamment de Paris à Lyon, de Dijon à Mulhouse ou à Toul, de Lyon ou Annecy à Grenoble et de Bourges à Clermont-Ferrand. Maillé, il est structuré autour de 4 grands axes :**

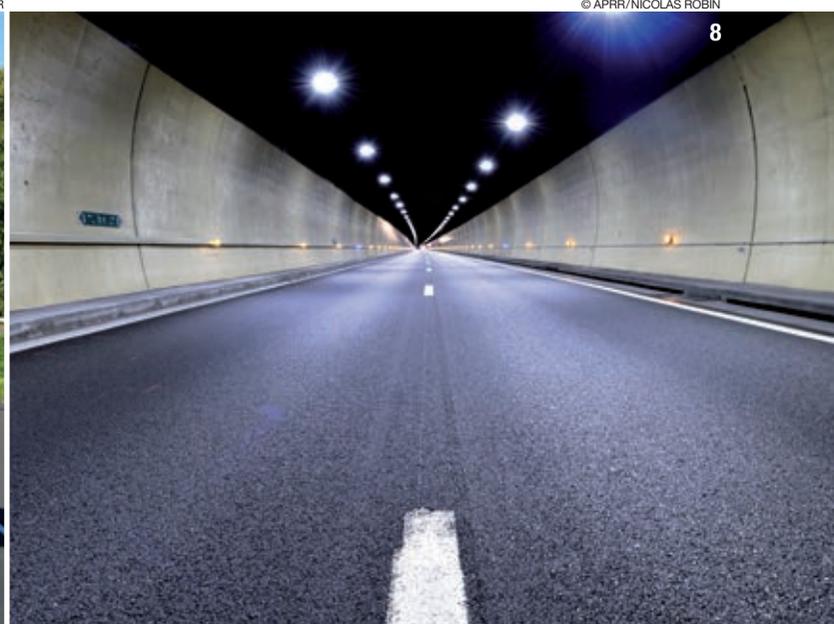
- L'axe Paris-Lyon (A5, A6, A31, A39),
- L'axe Bourgogne-Europe du Nord (A31, A36),
- L'axe Rhônalpin (A40, A41, A42, A43, A432, A48, A49, A51 Nord),
- L'axe Centre de la France (A77, A71, A714, A719).

## APRR/AREA EN CHIFFRES

- 2<sup>e</sup> groupe autoroutier en France et 4<sup>e</sup> en Europe.
- 2 425 M€ de chiffre d'affaires (hors construction).
- 3 500 collaborateurs.
- 2 311 kilomètres d'autoroutes.
- Plus de 10 000 km de voies.
- 2 930 ponts.
- 9 tunnels, se développant sur 41 km.
- 224 échangeurs.
- 150 gares de péage.
- 97 aires de service.
- 175 aires de repos.
- Plus de 2 000 bassins de traitement des eaux.
- 73 kilomètres d'écrans acoustiques.
- Plus de 23 millions de km parcourus par les clients.

La couche de roulement, de 3 à 4 cm, voire 6 cm d'épaisseur, est directement en contact avec le trafic et offre l'adhérence, la sécurité, le confort. Elle peut être remplacée entre 12 et 18 ans en moyenne sur notre réseau, en fonction de son niveau d'adhérence, du trafic, de l'exposition. Il s'agit de BBM, BBTM, ou BBSG pour des zones de trafic moins important. La problématique à laquelle nous sommes exposés, c'est l'évolution ou la durabilité de l'adhérence en fonction de la technique et de l'usure des granulats.

Nous avons aussi des enrobés spécifiques, par exemple des enrobés drainants qui représentent plus de la moitié des couches de roulement sur le réseau AREA alors que nous n'en avons plus beaucoup sur le réseau APRR. S'ils sont fort appréciés par les clients sous la pluie, ils nécessitent malgré tout le respect des distances de freinage habituelles sur routes mouillées, dont nos clients n'ont pas toujours conscience en raison de l'absence de projection d'eau. Ils représentent un souci de sécurité. À ceci s'ajoute un problème de viabilité hivernale sur une partie de notre réseau exposée aux grands froids : ces enrobés étant poreux, du verglas ou de la glace peuvent se former dans les interstices ce qui les peut les rendre plus glissants l'hiver et obliger nos équipes d'intervention à être beaucoup plus réactives et avec des quantités de sel plus importantes. Leur gestion est aussi délicate lors de séquences de pluie verglaçante qui peuvent survenir, d'ailleurs plutôt dans le nord de notre réseau. Nous avons donc fait le choix de réserver les enrobés drainants aux zones péri-urbaines où le trafic est plus intense et avec plus d'entrées - sorties sur l'autoroute.



De même, nous mettons en œuvre des enrobés dits phoniques, nous les réservons à des zones spécifiques car leur performance acoustique vis-à-vis des riverains n'est pas simple à mesurer et à surveiller, ni durable. Ce sont le plus souvent des BBTM spéciaux ou enrobés drainants avec des granulats à faible granulométrie (0/6 ou 0/4). Toutefois, le bruit étant un vrai sujet de santé publique, le groupe APRR a privilégié d'ériger de nombreuses protections collectives avec des écrans anti-bruit ou des merlons en terre dans les zones denses en habitations, complétés par de nombreuses isolations de façades. Lorsque nous décidons de reprendre une couche de roulement sur une section d'autoroute, nous vérifions systématiquement l'état des couches inférieures pour évaluer ce que nous appelons leur durée de vie résiduelle. Dans le cadre de notre stratégie d'entretien des chaussées et d'une démarche "bas carbone", APRR a mis en œuvre, à l'initiative de son président Philippe Nourry et du président d'Eiffage Benoît de Ruffray, une politique pro-active de recyclage des matériaux en place pour limiter l'utilisation de nouvelles ressources. Les proportions peuvent atteindre jusqu'à 40 - 50% pour certaines couches, elles sont moindres pour les couches de roulement qui sont directement en contact avec la circulation. Le recyclage à fort taux n'est pas sans susciter des questions relatives à la performance et la durabilité du mélange entre un liant qui a déjà été cuit et donc durci et un bitume neuf. Nous encourageons également le recours aux enrobés tièdes mis en œuvre à une température de 30° en dessous des enrobés classiques. Ces techniques nécessitent un outil industriel spécifique adapté à la fabrication de ces enrobés.

Pour offrir des autoroutes avec un haut niveau de service, les spécifications d'APRR sont également exigeantes dans les marchés de travaux avec les entreprises. Par exemple, lorsque nous engageons des travaux de chaussée en section courante, pour des raisons économiques et financières mais aussi de service client, nos exigences de qualité, de durabilité et de délai sont très élevées : ceci afin de limiter les travaux au strict nécessaire et, par là même, la gêne aux clients.

De plus, les définitions de travaux (nature, durée et période d'exécution) prennent en compte la sécurité des personnes (équipes APRR, entreprises qui font les travaux et usagers qui passent à proximité), sans oublier la préservation de l'environnement (protection des eaux et de la biodiversité), des riverains en limitant le bruit et la poussière.

**6- Carte du réseau APRR/AREA.**

**7- Autoroute A6 à proximité de Bierre-lès-Semur (diffuseur n°23).**

**8- Fermeture de l'A40 entre Bellegarde et Saint-Martin-du-Fresne pour des travaux dans le tunnel de Saint-Germain.**

**9- Le viaduc de Sylans, sur l'A40, innovant dans sa conception et dans sa construction.**

**10- Chaussées décalées du viaduc de Sylans.**

Ces critères sont appliqués à l'ensemble de nos infrastructures lorsque nous prenons la décision d'engager des travaux d'entretien : chaussées, ponts, bassins de traitement des eaux, clôtures, etc.

**Le réseau comporte plusieurs tunnels de grande longueur. Font-ils l'objet d'une surveillance particulière ?**

Outre la surveillance des conditions de circulation et des équipements dans les tunnels, les parties génie civil, considérées comme des ouvrages d'art, font l'objet d'inspections détaillées tous les 6 ans et de visites annuelles, y compris les aménagements tels que galerie de sécurité, by-pass, etc.

Le tunnel Maurice Lemaire, d'une longueur de 7 km, qui relie les Vosges à l'Alsace et permet d'éviter les sinueuses routes du col de Sainte-Marie, ferme pour entretien deux fois par mois de 21 h à 5 h du matin.

Sur l'autoroute A40 en direction de Genève, les tunnels de Chamoise, de Saint-Germain et de Châtillon font l'objet d'une surveillance quotidienne. Il en est de même des tunnels de Dullin et de L'Épine, sur l'autoroute A43 en direction de Chambéry, sur le réseau AREA.

**Qu'en est-il au niveau des ouvrages d'art particulièrement nombreux dans les zones montagneuses traversées par les deux réseaux ?**

La majorité des grands ouvrages en zone montagneuse se situe sur A40 entre Bourg-en-Bresse et Genève, notamment les tunnels et les viaducs de Poncin (568 m), de Sylans (1 266 m), de Nantua (1 003 m) et des Neyrolles (782 m), sur A41 nord de Annecy, notamment le viaduc de

Cheran (400 m) et sur A51 entre Grenoble et le col du Fau, notamment les viaducs de Monestier (864 m) et du Crozet (350 m).

Les grands ouvrages du réseau, ainsi que d'autres ouvrages présentant certaines pathologies identifiées, font l'objet d'une surveillance renforcée plus importante que les inspections habituellement pratiquées sur l'ensemble des ponts.

Par exemple, le viaduc de Sylans appelle un commentaire particulier du fait de sa taille et qu'il s'agissait d'un ouvrage innovant dans sa conception et sa construction. Il est situé à flanc d'un versant montagneux vers 600 m d'altitude dans les Alpes, en chaussées décalées, avec une nature de sol qui a engendré les premières difficultés lors des travaux. Les solutions ont été trouvées rapidement, les piles sont fondées sur des puits de 4 m de diamètre et profonds de 6 à 35 m, traversant un épais manteau d'éboulis. L'originalité de ces viaducs a été apportée par l'entreprise Bouygues avec la construction du tablier dite "à treillis spatial" où, vu de l'extérieur, l'ouvrage ressemble sur la longueur à une succession de "X" en béton. L'ensemble est relié par deux familles de précontrainte : l'une à l'intérieur des diagonales des X des tabliers, l'autre longitudinale dans les coursives latérales des tabliers.

Cet ouvrage fait l'objet d'une surveillance renforcée à la suite de la découverte en novembre 2000, d'une fissuration anormale dans l'une des branches en "X". Le problème a été résolu et vérifié pour toutes les autres branches de X. La résistance du tablier en configuration dégradée avec la rupture de câbles de précontrainte a été vérifiée (des redondances dans le transfert des efforts ont été identifiées). ▷

© GILLES LEIMDORFER



© GILLES LEIMDORFER



Une nouvelle pathologie est apparue en 2015 avec la rupture de l'un des câbles de précontrainte extérieure du tablier, pathologie nouvelle et difficilement détectable par simple inspection visuelle. Après réparation et changement rapide de la section de câble concernée, une campagne d'inspection visuelle ciblée a montré que la précontrainte extérieure présentait certains désordres localisés, interpellant sur les conditions de protection des câbles. Afin d'effectuer un contrôle non destructif sur les autres câbles, le Cerema a développé pour APRR une nouvelle méthode d'auscultation sous la forme d'une bobine de contrôle électro magnétique. Le travail du Cerema a consisté, en partenariat avec le bureau d'études Quadric, à transférer la technologie issue du contrôle des câbles utilisés principalement sur les remontées mécaniques vers des câbles de précontrainte d'ouvrages d'art.

La bobine est composée d'aimants permanents (qui viennent créer un champ magnétique) et d'un capteur de champ magnétique (qui enregistre le signal). Une roue codeuse, associée à l'enregistrement, assure le positionnement et la mesure sur le câble. Un système de roulettes permet de faire avancer le matériel sur le câble. Le matériel est tracté par une corde afin de pouvoir faire des mesures sur toute la longueur des câbles.

Quand on est en présence d'un câble intègre, le champ magnétique est stable et d'amplitude constante. Au contraire, la présence d'un défaut dans le câble génère une variation locale du champ magnétique. En détectant les discontinuités dans le champ magnétique, cette méthode permet ainsi de repérer, sur toute la longueur du câble, l'endroit exact où se trouvent des défauts

(par exemple des ruptures de fils). Cette technique innovante pour des câbles de précontrainte a permis de contrôler plus de 80% des 36 km de câbles installés sur l'ouvrage.

Pour parer à toute éventualité, APRR a fait l'acquisition d'un câble neuf "de réserve" de plusieurs centaines de mètres et défini un protocole d'intervention rapide qui sera mis en œuvre dès que nécessaire, avant la rupture, sur les câbles repérés comme pouvant éventuellement donner des signes de faiblesse.

### Quels sont les chantiers actuels de maintien des infrastructures qui pourraient appeler un commentaire particulier ?

Sur l'autoroute A6 entre Avallon et Auxerre, des PSOM (6 identiques sur cette section), c'est-à-dire des Passages Supérieurs à Ossature Métallique présentent des hourdis béton dégradés, nous en avons déjà démolit et reconstruit 4 et nous poursuivons l'opération en 2020 sur les quatre restants.

Le problème est le suivant : les poutres métalliques du tablier sont en bon état ; par contre, le hourdis supérieur en béton doit être remplacé. À l'issue de réparations ponctuelles effectuées au fil des années, il est apparu que, pour diverses raisons, notamment économiques, il devenait plus opportun de démolir et de reconstruire. En fait, il s'agit d'une démolition partielle pour laquelle une technique spécifique a été mise au point et qui fonctionne bien. La technique utilisée est de couper l'autoroute une nuit dans les deux sens. Puis le tablier est soulevé en totalité par des chariots Kamag, transporté en bordure de l'autoroute et déposé sur des appuis provisoires. Le tablier est alors rénové : le hourdis en béton est enlevé,

les poutres en acier sont remises en peinture, un nouveau hourdis est coulé puis, l'autoroute étant de nouveau fermée, l'ouvrage est remis en place à l'aide des mêmes Kamag. Cette méthode garantit à la fois la qualité technique de l'opération, la sécurité des équipes intervenant sur le chantier et la moindre gêne aux clients puisque les deux opérations de transfert du tablier sont réalisées deux fois une nuit.

Sur les autoroutes A43 et A430 du réseau AREA, nous avons 2 viaducs avec des caissons métalliques qui présentent des fissurations et désordres liés à une fatigue importante des pièces et assemblages générée par le trafic lourd. Nous avons déjà procédé à la réparation en place en 2018 - 2019 des deux tabliers métalliques du viaduc de Chamousset sur l'A430 (pose de renforts et raidisseurs nécessitant de nombreuses soudures dans une atmosphère confinée). Le viaduc de Tourmon sur l'A43 présente les mêmes défaillances, des travaux semblables devraient débiter<sup>(1)</sup>.

Par ailleurs, ce sont près de 550 km de voies dont les chaussées sont reprises chaque année sur l'ensemble des réseaux APRR et AREA.

### La maintenance pose-t-elle des problèmes particuliers dans certains cas ?

Dans ce cadre-là, on peut aborder un sujet qui est très perturbant : la présence d'amiante dans les enrobés vis-à-vis de la protection des travailleurs et également dans la gestion des fraissats non réutilisés. L'ajout d'amiante industrielle était un procédé reconnu et régulièrement utilisé par certaines entreprises pour renforcer les performances des chaussées jusqu'au début des années 1990. La question est devenue très contraignante à partir de 2008, lors des opérations de rabotage de chaussées dans les chantiers de renouvellement. Techniquement c'est l'émission dans l'air de fibres d'amiante qui est visée.

Selon la réglementation en vigueur, tous les déchets d'amiante sont des déchets dangereux même lorsqu'ils sont liés à des matériaux inertes. Ceux-ci ne peuvent pas être recyclés (il est interdit de réutiliser tout matériau contenant de l'amiante et ce, quel qu'en soit l'usage) et doivent suivre une filière d'élimination adaptée.

En cas de travaux, un repérage est à prévoir au regard du code du travail pour éviter notamment l'exposition des travailleurs. Ce repérage est à charge du donneur d'ordre - maître d'ouvrage. Ce dernier joint les documents techniques de repérage amiante aux dossiers de consultation des entreprises. De même, tout producteur ou détenteur de déchets est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, même

**11- Le tablier "à treillis spatial" du viaduc de Sylans réalisé par Bouygues.**

**12- Remplacement d'ouvrage, de nuit, à proximité d'Avallon.**

**13- Surveillance d'ouvrages par hélicoptère dans une zone montagneuse.**

**14- Rénovation de chaussée sur l'A39 au sud de Dijon.**

© NICOLAS ROBIN

11



© EROLF PRODUCTION/VHERBULOT

12



## START.LAB : PENSER AUJOURD'HUI L'AUTOROUTE DE DEMAIN

Chez APRR, le programme Horizon 2020 a invité chaque collaborateur à penser et concevoir l'autoroute et les services de demain. Pendant 16 mois, 110 collaborateurs se sont mobilisés pour répondre aux défis lancés par les ateliers Start.lab.

Sur une aire de repos de l'A6 - Juyg - entre Beaune et Lyon, ont ainsi été installés en 2019 plusieurs équipements innovants pour les tester et les mettre à la vue du public.

Parmi eux : cendrier dont le taux de remplissage est suivi à distance, systèmes lumineux innovants pour passages piétons, PMV indiquant le taux d'occupation d'une aire, tapis détecteur de surcharge de véhicule et tapis détecteur de déformation de la chaussée...

Start.lab est une démarche de travail collaboratif constituée autour d'ateliers. Pour les collaborateurs, chaque atelier est une occasion de s'interroger sur les changements technologiques et sociétaux et d'imaginer les manières d'y répondre : véhicules intelligents, péage urbain, écomobilité, multimodalité, etc. Cette réflexion permet d'anticiper l'évolution des infrastructures autoroutières, de faire progresser le service aux clients et d'adapter le métier de concessionnaire d'autoroute.

En 2020, l'aire de Juyg va servir de champ pour de nouvelles expériences : D'une part la mise en œuvre d'un procédé Eiffage appelé Biophalt. Il s'agit d'un enrobé avec un fort taux de recyclage (40 - 50%) et un liant d'apport végétal (obtenu à partir de dérivés du pin et en particulier de sous-produits de l'industrie du papier de papeterie).

D'autre part l'installation du procédé Eiffage appelé Luciole couplant un éclairage intelligent (ne se déclenchant qu'après détection d'une personne ou d'un véhicule) et un enrobé clair (granulats clairs et grenailage en surface).

lorsque le déchet est transféré à des fins de traitement à un tiers.

Suite à un recensement sur la base des récolements de travaux, la présence d'amiante rajoutée a été identifiée mais il n'en demeure pas moins que le remplacement de ces enrobés amiantés nécessite des précautions tout à fait particulières et extrêmement coûteuses à mettre en œuvre, tant en ce qui concerne la protection des personnels que la gestion des déchets qui sont considérés comme dangereux et doivent être évacués dans des installations de stockage de déchets dangereux. La difficulté est amplifiée par les quantités énormes de matériaux concernés lors des opérations de chaussées, plusieurs dizaines de milliers de tonnes pour certains chantiers.

Une nouvelle norme française de Repérage Avant Travaux devrait être publiée prochainement, confirmant la prise en compte à la fois de l'amiante industrielle et de l'amiante environnementale, cette dernière se trouvant dans des granulats dans le milieu naturel. Cette norme va définir les conditions d'interventions des prestataires en charge de ce repérage pour tout type de travaux d'infrastructure, c'est-à-dire tant pour les chaussées que les ouvrages d'art, les réseaux, les terrassements.

Afin de limiter les découvertes ou suspicions de matériaux pouvant contenir de l'amiante lors de ces repérages avant travaux ou de façon inopinée lors des travaux, nous développons activement chez APRR notre connaissance des sections de chaussées ou de parties d'ouvrages qui peuvent potentiellement contenir de l'amiante, qu'il s'agisse évidemment des bétons bitumineux pour les couches de chaussée, mais aussi pour les ouvrages d'art des coffrages perdus, par exemple, utilisés notamment

pour la construction et d'une multitude d'endroits difficiles à repérer et qui ne figurent pas dans nos récolements. C'est ainsi que sur le viaduc de Chamousset, il nous faut poursuivre cette année une phase de travaux après avoir fait la constatation que les corniches comprenaient à certains endroits des coffrages perdus contenant de l'amiante. De plus, depuis maintenant quelques années, le groupe APRR a redynamisé sa contribution à l'innovation. Depuis près 2 ans, je suis détaché pour développer un processus de modernisation de nos infrastructures, c'est-à-dire élaborer des partenariats avec des entreprises et/ou fournisseurs ou bureaux d'ingénierie pour expérimenter des produits ou procédés visant à notamment améliorer notre contribution à la

transition écologique et énergétique, à la durabilité des ouvrages, à la protection de nos collaborateurs, ainsi que nos coûts globaux. Les sujets actuels concernent par exemple la prise en compte d'une démarche bas carbone dans nos chantiers, l'adhérence et le monitoring des chaussées, le marquage routier, les pathologies évolutives des bétons d'ouvrage, la protection des ressources en eau, l'impact du changement climatique.

### L'intégration de l'autoroute à son environnement - aires de repos et de service notamment, fait-elle l'objet de dispositions ou de choix inédits ?

La situation des aires et les grands principes généraux d'aménagement

des autoroutes datent de l'époque de leur construction.

Toutefois, à travers des contrats de plan État APRR ou des investissements complémentaires, de nombreux aménagements ont été effectués pour la protection de l'environnement depuis le début des années 90. Cela concerne en particulier des réseaux de collecte et de traitement des eaux de ruissellement afin de protéger les zones et ressources sensibles (captages, zones naturelles, cours d'eau, ...). Il en a été de même pour la protection contre le bruit d'origine routière qui est un véritable problème de santé publique.

Il n'y a plus sur l'ensemble des réseaux APRR et AREA de "points noirs du bruit" (PNB) au sens de la réglementation. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a plus de nuisances sonores aux abords de nos autoroutes, nous continuons d'échanger avec les collectivités ou associations riveraines concernées.

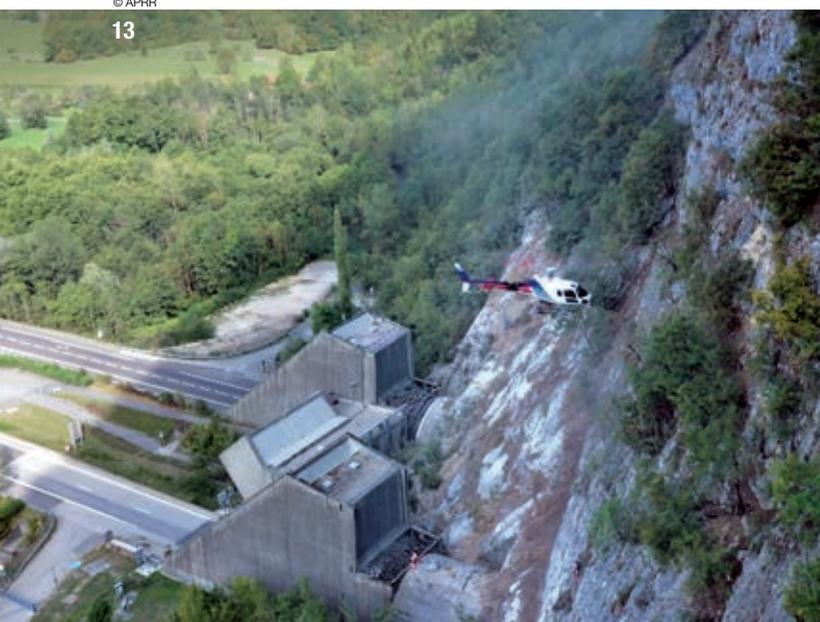
Sur plus de 120 aires de repos, depuis 2015, toutes les installations ont été requalifiées pour les rendre plus accueillantes et en adéquation avec les attentes des clients d'aujourd'hui. Les édicules sanitaires ont tous été remplacés, l'accessibilité à toute personne a été mise à niveau et le cadre naturel - la biodiversité existante préservés.

Sur les aires de service, où les exploitants commerciaux changent régulièrement tous les 15 ans environ, qu'il s'agisse des pétroliers, des restaurants ou des commerces, les installations sont reprises quasiment en totalité lors de chaque changement et mises aux normes les plus récentes. □

1- Voir Travaux n°944 septembre 2018.

© APRR

13



© APRR

14





# QUEST ACRO

# TRAVAILLER SUR CORDES : UN MÉTIER D'ULTRA- PROFESSIONNELS

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LE CŒUR DE MÉTIER DE QUEST ACRO EST LA RÉPARATION, LA MAINTENANCE, LE RENFORCEMENT ET L'ENTRETIEN EN ACCÈS DIFFICILES SUR CORDES DANS LES DOMAINES DES TRAVAUX PUBLICS, DU BÂTIMENT ET DE L'INDUSTRIE. L'ENTREPRISE CONJUGUE LA MAÎTRISE DE DIVERS MÉTIERS DU BTP AINSI QUE DU MILIEU NATUREL (MONTAGNE - FALAISE) À L'UTILISATION DES TECHNIQUES DE CORDES. CETTE DOUBLE COMPÉTENCE LUI PERMET D'ACCÉDER EN TOUTE SÉCURITÉ À TOUT TYPE DE SITE, LÀ OÙ LES INFRASTRUCTURES CLASSIQUES (GRUES, NACELLES, ÉCHAFAUDAGES) SONT DIFFICILES À METTRE EN ŒUVRE. RENCONTRE AVEC SON CRÉATEUR LUC BOISNARD, UN ENTREPRENEUR ATYPIQUE S'IL EN EST.

Luc Boisnard a 22 ans lorsqu'il crée Ouest Acro en 1992. Il évolue alors dans les métiers de l'escalade et de la spéléologie et se destine au métier de guide de haute montagne. Il bifurque brusquement, attiré par un métier tout neuf qui commence à apparaître : celui des travaux sur cordes.

Dès cette époque, dans un premier temps, les guides de haute montagne commencent par poser des paravalanches et des systèmes de grillage pour protéger contre les éboulements rocheux. C'est l'histoire des travaux sur cordes qui se déclinent rapidement vers les travaux en milieux urbains et industriels.

Sollicité par un ami qui avait travaillé quelques semaines dans une entreprise de travaux sur cordes, il décide de monter avec lui une entreprise et choisit de l'implanter à Louverné, dans la Mayenne, car c'est le noyau historique de sa famille depuis plusieurs générations. La région des Alpes était déjà bien occupée et Paris ne l'attirait pas spécialement : « *Nous ne voulions pas de Paris, dit-il, même si c'est la Mecque des travaux de grande hauteur. Nous voulions partir à la conquête de l'Ouest... de la France, de ses métro-*

**1- Mise en place de filets de protection sur la verrière de la gare de l'Est à Paris.**

**2- L'un des chantiers de dépollution des côtes bretonnes à la suite du naufrage de l'Erika le 12 décembre 1999.**

*poles régionales et de ses grands sites industriels ».*

Ouest Acro (comme "Acrobatique") est le fruit de sa passion pour l'alpinisme et de son indépendance forcée. De son caractère pionnier aussi puisqu'à l'époque, en 1992, intervenir en rappel sur les façades d'immeubles, les cheminées d'usine, les ouvrages d'art, les barrages ou les plateformes pétrolières était pour le moins disruptif au regard des méthodes tradition-

nelles avec échafaudages et nacelles. Dans un premier temps, les deux associés se partagent toutes les tâches : le commercial, les devis, les chantiers, la facturation, la comptabilité... jusqu'au jour où il se font remplacer sur les chantiers par des compagnons "compétents" c'est-à-dire exerçant par ailleurs un métier.

« *Si, au bout des cordes, il n'y a pas un maçon, un soudeur, un couvreur capable d'exercer un geste technique, les travaux ne peuvent être réalisés de façon satisfaisante* ».

Rapidement, la philosophie de Ouest Acro est donc de mettre sur cordes des spécialistes "métier". C'est ce qui guide encore aujourd'hui sa raison d'être : identifier les spécialistes "métier" afin d'adapter ses prestations aux chantiers à réaliser.

## LA TEMPÊTE DE 1999 ET LA CATASTROPHE DE L'ERIKA

Les affaires démarrent et rapidement la petite entreprise peut se targuer d'une croissance annuelle satisfaisante jusqu'en 1990-2000 où surviennent deux faits marquants pour son devenir : la tempête Lothar<sup>(1)</sup> et la catastrophe de l'Erika. ▶



2  
© QUEST ACRO

La tempête entraîne une multitude de travaux, souvent en hauteur, de réparation de toitures, d'entrepôts, de bâtiments industriels dans lesquels Ouest Acro est très largement impliquée.

Quant au naufrage de l'Erika, il provoque une catastrophe écologique sur les côtes bretonnes. La marée noire souille 400 kilomètres de côtes et "mazoute" plus de 150 000 oiseaux. Très pro-actif dans sa démarche commerciale, Luc Boisnard se rend tout de suite sur le terrain et propose ses services pour nettoyer les falaises polluées. Il est notamment appelé à inspecter des falaises dans des criques inaccessibles sur l'île de Groix : il s'agira du plus gros chantier au monde de dépollution en travaux sur corde.

Ouest Acro et son équipe de 50 cordistes passeront ainsi deux ans à dépolluer les falaises sur l'île de Groix, au Croisic, à Belle-Île... ainsi que sur l'ensemble du littoral breton touché par la catastrophe. Ils sont en plein cœur de leur métier : assurer la dépollution pétrolière de sites sensibles écologiquement avec des techniques très faiblement émettrices de CO<sub>2</sub>.

« *Nous étions suspendus au-dessus de la mer, nous étions les fossyeurs des criques inaccessibles du littoral français.* »

Cette intervention donne à l'entreprise ce qui est devenu l'une de ses dimensions : la protection de l'environnement.

### À LA HAUTEUR... AUTOUR DE QUATRE MÉTIERS

Les travaux sur cordes proprement dits s'articulent autour de quatre métiers : les travaux publics et le bâtiment, le confortement de parois rocheuses, le milieu industriel et, depuis 1998, les interventions sur sites nucléaires. Dans le bâtiment, essentiellement en milieu urbain, les travaux portent sur l'entretien : changement de gouttières, ravalement et peintures de façades, réparation de béton.

Le confortement de parois rocheuses s'exerce principalement dans le Grand Ouest, de Dunkerque à Arcachon, où les falaises mais également l'ensemble de la côte maritime connaît de très graves problèmes d'érosion, de glissements de terrain, d'éboulement, mais aussi dans tout l'arc alpin.

Les interventions sur cordes en milieu industriel classique s'appliquent à la quasi-totalité des sites (Oil & Gas), qu'il s'agisse de charpente métallique, de bardage, de toiture, de soudure, de peinture anti-corrosion voire, tout simplement, d'inspection avant travaux.



3 © MARC MONTAGNON

**3- Luc Boisnard, fondateur et président de Ouest Acro.**

**4- Le siège social et les installations de Ouest Acro à Louverné, en Mayenne.**

## LUC BOISNARD : UN PARCOURS ATYPIQUE

**"Autodidacte de formation", comme il aime à le dire, Luc Boisnard est titulaire d'un baccalauréat scientifique.**

**Après quelques mois en filière scientifique à la faculté du Mans puis des essais non concluants en allemand et en russe, Il remplit son sac à dos de matériel d'escalade et part, "bravache", sur les routes de France à la conquête de son rêve : les espaces sub-verticaux<sup>(1)</sup>.**

**Mais il passe rapidement du rêve à la réalité et se voit contraint, pour vivre, d'enchaîner les jobs saisonniers, notamment libraire à Tignes puis vendeur dans un magasin d'articles de sport d'hiver.**

**C'est alors qu'un copain de lycée de longue date lui fait part d'une expérience qu'il vient d'avoir dans une entreprise de travaux sur cordes.**

**« Ça n'a pas l'air très compliqué, dit-il à Luc Boisnard. Je crois qu'on peut tenir notre pari du lycée ».**

**De retour à Louverné, ce dernier décide de créer son entreprise avec ce copain de lycée qu'il avait convaincu, dès 1988, d'abandonner le football pour se mettre à l'escalade.**

**C'était en 1992 : Ouest Acro était né.**

**Plusieurs autres dates marqueront la vie de l'entreprise : en 2001, création de Acro Canada, qui a repris son autonomie depuis 2007, en 2006, création de BTEM - Maçonnerie, en 2010, création de Horus - Photovoltaïque.**

**Luc Boisnard est président de Ouest Acro. Très impliqué dans la vie professionnelle, il est également vice-président du SFETH (Syndicat Français des Entreprises de Travaux en Hauteur) et secrétaire général du STRRES (Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures). Il est aussi très impliqué dans la société civile (président d'association sportive, président d'une fondation d'entreprise à vocation artistique et culturelle...).**

**Au rayon des options, ce personnage atypique aurait pu intégrer l'équipe de France de canoë-kayak. Il a préféré "disrupter" complètement et basculer dans un autre univers : celui de l'escalade et des paradis verticaux.**

1 - À lire dans "Altitudes", de Luc Boisnard, Editions Alisio, ascension d'un alpiniste et chef d'entreprise engagé.



4 © MARC MONTAGNON

Le quatrième domaine d'activité stratégique de Ouest Acro depuis 1998 est l'industrie nucléaire, sur les aéroréfrigérants mais aussi en zone contrôlée. Ouest Acro est l'une des rares entreprises en France à travailler dans ce domaine, y compris en zone nucléaire contrôlée, au cœur des réacteurs, avec des équipements spéciaux.

En 2020, Luc Boisnard est à la tête d'une entreprise employant 120 personnes - ingénieurs, techniciens, conducteurs de travaux, chefs d'équipe, cordistes... - qui réalise un chiffre d'affaires de 16 M€.

Travailler sur cordes sans garantir un geste technique est inconcevable pour Luc Boisnard. La technique métier est l'égale de la technique de corde. C'est pour cela que l'entreprise possède un certain nombre de qualifications métier dans les domaines du bâtiment et des travaux publics. Elle possède aussi tous les agréments nécessaires pour travailler avec les grands donneurs d'ordres tels que la SNCF, EDF...

Les référentiels de qualification métier, sont entre autres Qualibat, serrurerie métallerie en technicité confirmée, idem pour la maçonnerie et le référentiel FNTF avec plusieurs identifications professionnelles liées aux spécificités des travaux publics.

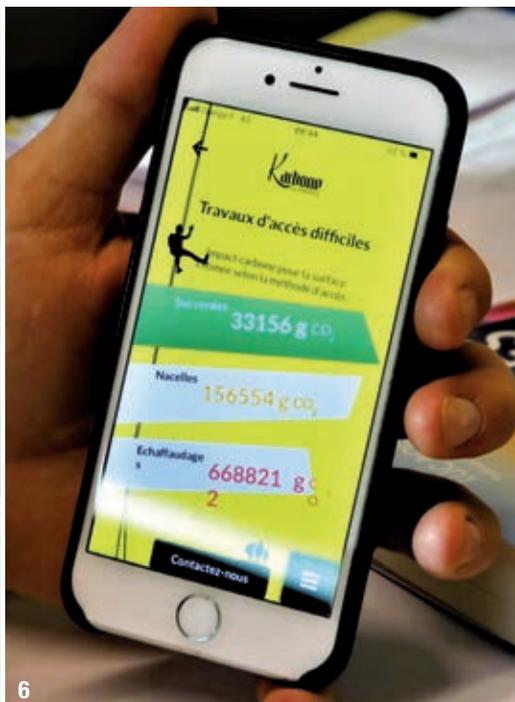
Concernant le management de la qualité sécurité, Ouest Acro est certifiée OHSAS 18 001 et en cours de certification MASE.

Son implantation en Mayenne, près de Laval, s'avère judicieuse : elle se trouve au centre de ce que Luc Boisnard appelle un "nœud gordien" au niveau des transports et de l'accessibilité, à l'instar de Lyon. Elle est au carrefour de la Bretagne, de la Normandie, des Pays de la Loire, de la Touraine, à mi-chemin entre Paris et Brest, entre Rennes et Le Mans.

Le siège social, le bureau d'études, les fonctions support et techniques de Louverné sont complétés par la création de plusieurs agences de travaux afin d'être plus proche encore de ses grands clients : Caen et Le Havre depuis 1996, Ivry-sur-Seine (Paris) depuis 1999, Bouguenais (Nantes)



5



6

depuis 2000, Chambéry depuis 2009. « Nous sommes ainsi la seule entreprise française de travaux sur cordes à disposer d'une implantation nationale pour exercer nos quatre métiers historiques. Nous avons également développé une expertise de gestion contractuelle des marchés afin de nous adapter à la "judiciarisation" des marchés qui s'est amplifiée depuis quelques années ». Pour lui, la volonté d'ouvrir les marchés publics aux PME est plus qu'une vue de l'esprit. L'une des volontés de Luc Boisnard est

**5- La page d'accueil de l'application "Karbone by Ouest Acro".**

**6- Comparaison entre l'impact "carbone" des travaux sur cordes, sur nacelles et sur échafaudages.**

**7- Nettoyage haute pression de bâtiment industriel.**

**8- Mise en place d'écrans pare-blocs paravalanches.**

d'obtenir que les métiers des travaux en hauteur soient exercés par de vrais professionnels. Il veut principalement durcir l'exercice de cette profession et son accès pour éviter que s'y insèrent des entreprises qui ne respectent pas les règles de l'art, « comme c'est encore trop souvent le cas actuellement », précise-t-il.

#### TRAVAUX SUR CORDES, UN MÉTIER À PART

Vice-président du Syndicat Français des Travaux En Hauteur (SFETH), il

parle même "d'ultra-professionnels". Avec le SFETH, il s'attache d'ailleurs à durcir le cursus de formation en prévoyant que l'ouvrier cordiste CQP1 soit systématiquement accompagné sur chacune de ses interventions par un cordiste CQP2.

En outre, il attend beaucoup aussi de la circulaire du ministère du travail qui devrait pousser à une évolution des pratiques en précisant les impératifs de formation et de supervision des chantiers via le titre officiel de TOTC (Technicien en Organisation de Travaux sur Cordes).

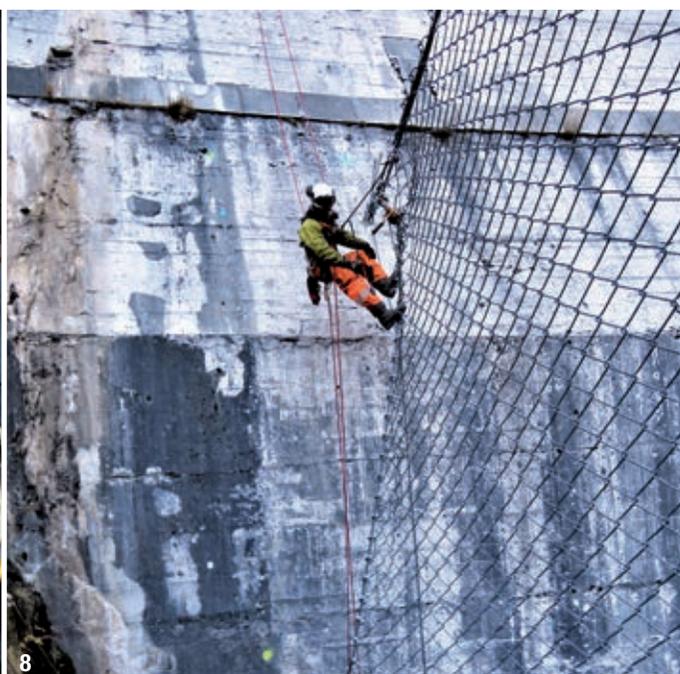
Mais, selon Luc Boisnard, « un véritable cap sera franchi dès lors que les entreprises de travaux sur cordes seront soumises à une certification, à l'instar de ce qui est la règle pour les entreprises réalisant des travaux hyperbares ».

Si une telle certification n'existe pas encore, le SFETH milite en effet pour qu'elle soit mise à jour officiellement. Les rôles qu'exerce aujourd'hui Luc Boisnard à la tête de Ouest Acro sont ceux d'animation, de développement, de stratégie et de gestion financière. Son regard demeure très technique et sa méthode de management est basée sur la confiance et la responsabilité. Être entrepreneur, pour lui, c'est avant tout un état d'esprit, plus qu'un diplôme.

Son projet d'entreprise s'appelle AURA pour Autonomie, Responsabilité, Ambition. Il repose sur trois piliers fondamentaux que sont l'humain, l'environnement et le digital. ▷



7



8

« J'aime bien donner des responsabilités, poursuit Luc Boisnard, à des gens qui, a priori, sur CV, ne semblaient pas destinés à en avoir. J'ai obtenu de très belles réussites en la matière. L'un de mes collaborateurs, qui était intérimaire en 95-96, a gravi tous les échelons. Jérôme Berthault est aujourd'hui actionnaire de l'entreprise depuis 2007 et responsable de l'activité "falaise" sur le Grand Ouest, qui génère entre 3 et 4 M€ de chiffre d'affaires tous les ans ».

### QUEST ACRO ACADEMY ET KARBONE BY QUEST ACRO : UNE DÉMARCHÉ PRAGMATIQUE D'INNOVATION

l'humain est au cœur de la réussite de l'entreprise grâce à Ouest Acro Academy et sa politique de développement basée sur trois notions : former, recruter, monter en compétence.

Sa stratégie de recrutement s'articule autour de trois objectifs récurrents :

- Développement de l'emploi des jeunes par l'effort d'intégration des nouveaux embauchés : politique active en faveur de l'alternance et du centre de formation Ouest Acro Academy.
- Priorité à la promotion interne en travaillant sur des parcours de carrière dynamiques et diversifiés, l'objectif étant de fidéliser et de motiver les collaborateurs sur la durée.
- Amélioration de l'attractivité externe auprès de candidats jeunes ou confirmés.
- Développement de la marque employeur, mobilité interne...

« Dès leur arrivée dans le groupe, indique Luc Boisnard, les nouveaux collaborateurs bénéficient d'une intégration pour comprendre la stratégie et la culture du groupe et faire connaissance avec ses dirigeants. Les formateurs Ouest Acro sont avant tout des hommes et des femmes faisant partie de l'entreprise. C'est ainsi que Ouest Acro Academy a pour objectif de former les collaborateurs aux travaux sur cordes en vue de l'obtention du CQP cordiste niveau 1, 2 ou du CQP TOTC (Technicien en Organisation de Travaux sur Cordes). Issue du projet d'entreprise, elle vise à pérenniser l'esprit d'appartenance à l'entreprise en favorisant la formation continue et la montée en compétence de nos collaborateurs confirmés ».

Si la catastrophe de l'Erika et la dépollution de l'Everest (voir encadré) ont été des marqueurs forts de l'entreprise, tant au niveau humain que de l'environnement,



© OUEST ACRO

**9- Luc Boisnard et deux de ses sherpas au sommet de l'Everest (8845 m) en mai 2010.**

## DE L'EVEREST AU MAKALU : UN DÉFI UTILE

Ce n'est pas parce qu'il a renoncé à devenir guide de haute montagne que Luc Boisnard a abandonné ses amours verticales. Passant régulièrement une ou deux semaines en haute montagne entre 2001 et aujourd'hui, il rêve d'aller faire un sommet de plus de 8000 mètres d'altitude.

À l'approche de la quarantaine, il décide de relever un défi utile : monter sur le "Toit du Monde" et débarrasser l'Everest - 8848 mètres - de ses déchets. Ce qu'il réussit en mai 2010, rapportant avec lui une tonne de déchets récoltés sur les contreforts de l'Himalaya. Il est le premier français à avoir organisé une expédition de dépollution de l'Everest (Everest 2010), la plus haute décharge du monde.

À l'approche de la cinquantaine, il s'apprête à réaliser, d'avril à juin 2020, un nouveau projet dans la continuité de son expédition de 2010 : dépolluer le Makalu (8485 m) le cinquième plus haut sommet de la planète. 8 des 14 sommets mythiques de plus de 8000 mètres d'altitude que recèle la planète sont accessibles depuis le Népal. L'objectif est de pérenniser les opérations de dépollution de ces géants sur les 10 à 15 prochaines années.

C'est le projet global "Himalayan Clean up"<sup>(1)</sup>. En parallèle des opérations de nettoyage, l'expédition aidera le peuple de la chaîne himalayenne au Népal ou au Pakistan par l'intermédiaire de Montagne & Partage<sup>(2)</sup>, association déclarée d'intérêt général.

La première ascension du Makalu a été réalisée par une cordée de deux illustres alpinistes français le 15 mai 1955 : Lionel Terray et Jean Couzy. Cette première mondiale a été menée deux années après celle de l'Everest en 1953 par Tenzing Norgay et Sir Edmund Hillary.

Le Makalu est considéré par les alpinistes comme l'un des sommets les plus techniques de l'Himalaya. Plusieurs itinéraires et variantes ont été ouverts. Encore aujourd'hui, l'ascension d'un sommet de plus de 8000 mètres reste une entreprise risquée, même pour des alpinistes de très haut niveau.

Le Makalu se trouve dans un parc national. L'itinéraire d'approche du camp de base emprunte sur 120 km des vallées séculaires et plusieurs cols enneigés dépassant les 4000 m. Peu fréquenté, le trekking de dix jours, avec en moyenne 8 à 10 heures de marche quotidienne, permet de découvrir un Népal authentique et moins touristique. Pas de tourisme de masse comme sur le Trek du camp de base de l'Everest ou sur le tour des Annapurna.

L'ascension du Makalu se fait en "spirale" : il faut en faire tout le tour avant de pouvoir approcher le sommet. L'expédition Makalu 2020 espère pouvoir collecter entre 3 et 5 tonnes de déchets entre le camp de base et le camp III situé à plus 7400 m.

Les trois "piliers" du projet "Himalayan Clean-up"<sup>(3)</sup> se situent dans la philosophie d'entreprise de Luc Boisnard : l'environnement et l'humanitaire auquel s'ajoute le rayonnement de la France<sup>(3)</sup>.

1- [www.himalayan-cleanup.fr](http://www.himalayan-cleanup.fr)

2- Fondée en 2010 par Gérard Clermidy, originaire de Montagnat dans l'Ain, l'Association "Montagne & Partage" a pour but de fournir toute forme d'aide humanitaire aux populations nécessiteuses des zones de montagne, en particulier celles de l'Himalaya, plus particulièrement du Népal, dans le domaine de l'éducation, de la santé, de l'environnement, du développement économique, ou dans tout autre domaine relevant d'une intervention humaine.

3- **Dernière minute** : la situation de pandémie mondiale ne permettant plus de tenir l'expédition au printemps 2020, le projet est reporté sine die.

ronnement, l'application "Karbone by Ouest Acro" (téléchargeable sur iOS et Android), développée en collaboration avec Tenaxia, est la dernière innovation en date. Elle met en évidence, scientifiquement, que les travaux sur cordes sont, et de très loin, les plus décarbonés. D'où la création en 2019 d'une application Web/mobile pour les utilisateurs (internes, externes, clients, parties prenantes) avec engagement de plantation d'arbres en fonction des économies carbone réalisées par l'utilisation massive des interventions en travaux sur cordes. Luc Boisnard de préciser : « 2020 arbres seront ainsi plantés en 2020 grâce aux économies de carbone que nous aurons réalisées avec les commandes de nos clients ayant donné la préférence aux travaux sur cordes plutôt qu'avec des nacelles ou des échafaudages ».

### ZOOM SUR LES CHANTIERS

Bien qu'ils soient tous liés à la conservation du patrimoine ou à la protection de l'environnement, quels que soient la nature et le type des ouvrages sur lesquels interviennent les équipes de Ouest Acro, certains d'entre eux présentent des spécificités mettant en évidence les capacités de cette entreprise à intervenir dans des conditions le plus souvent acrobatiques ou tout au moins qu'il serait difficile, voire impossible, d'entreprendre avec des moyens traditionnels.

En particulier, Ouest Acro est devenu un acteur majeur dans l'inspection des ouvrages d'art.

### PONT DE NOIRMOUTIER : INSPECTION ET ENTRETIEN

Sur le pont de Noirmoutier, l'entreprise effectue des travaux de reprise des bétons (en sous-traitance de Freyssinet). Le chantier se déroule en plusieurs phases. Au programme : sondage, purge et maçonnerie sur les piles. Une pile représente 480 m<sup>2</sup> à traiter. Trois techniciens cordistes purgent en profondeur, à l'aide de burineurs, jusqu'à 40/50 mm. Les contraintes sont liées à la météo, aux conditions d'accès nécessitant des lignes de vie spécifiques, au trafic routier qui ne doit pas être interrompu. Pour travailler sous



10

© ALAN AUBRY - METROPOLE ROUEN NORMANDIE

le pont, l'entreprise utilise une nacelle négative.

Autre réalisation : le traitement en maçonnerie de la jetée Saint-Nicolas aux Sables d'Olonne (pour Vendée TP-Merceron). Il s'agissait de réaliser le rejointoiement des pierres et le piquetage des joints. Pour la dernière phase, les quatre cordistes ont traité 173 m<sup>2</sup> en piquetage et rejointoiement au mortier hydraulique.

**10- Confortement de falaise en bord de Seine en Normandie.**

**11- Réparation des bétons du pont de Noirmoutier.**

**12- Forages pour confortement de paroi rocheuse.**

**TANCARVILLE : UN VRAI DÉFI TECHNIQUE**

À Tancarville, Ouest Acro a réalisé un confortement de falaise sur paroi rocheuse au-dessus de jardins dans des maisons individuelles en pied de falaise. Une falaise de 200 m de longueur et 40 m de hauteur au point le plus haut. Le chantier était exécuté par 4 à 6 cordistes et a comporté plusieurs phases : débroussaillage et abattage des arbres

en tête et pied de falaise, installation d'écrans pare-blocs, purge pour enlever les masses instables avec canne à purge et coussin d'air.

La phase "forage" est ensuite intervenue : les ancrages en paroi allaient de 3 m à 7 m de profondeur avec des barres de diamètres différents (25 mm, 28 mm, 32 mm, 40 mm). Pour gagner en rapidité, l'entreprise a mis en œuvre des treuils thermiques à cordes. ▷



11



12

© OUEST ACRO



13

© OUEST ACRO

Les ancrages ont ensuite été scellés avec du ciment en dépit de la difficulté liée au terrain qui présentait de nombreuses failles.

Un hélicoptère a acheminé les rouleaux de grillage, une partie des barres, les câbles de tête, les plaques et les écrous, à raison de 50 rotations en 2 heures pour environ 20 tonnes de matériel.

#### **BARRAGE DE BIMONT : 800 m DE FORAGES**

Un autre chantier a été réalisé sur le barrage de Bimont, près d'Aix-en-Provence (en sous-traitance) : Ouest Acro a posé un escalier métallique sur la face aval en rive gauche de 130 m

de long en encorbellement, pour le personnel exploitant. Entre trois et cinq techniciens ont travaillé sur ce chantier pendant trois semaines. Les éléments ont été acheminés par une grue mobile depuis le couronnement du barrage et assemblés au fur et à mesure. L'entreprise a préimplanté les paliers, avec l'aide du géomètre, pour assurer une pose très précise. Elle a également mis en place le rideau de drainage qui a nécessité des forages réguliers (800 m de longueur) répartis sur la rive gauche et la rive droite, jusqu'à 26 m de profondeur. De gros travaux de forage qui ont mobilisé deux cordistes pendant quatre mois à 1,50 m du sol au pied du barrage.

**13- Étanchéité par projection de résine sur la voûte d'un barrage.**

**14- Travaux de maintenance sur le bâtiment d'un réacteur nucléaire.**

**15- Réparation de bétons dégradés dans une cimenterie.**

**16- Contrôle non destructif sur une plateforme pétrolière.**

**17- Conception et réalisation d'une aire d'atterrissage pour hélicoptère en montagne.**

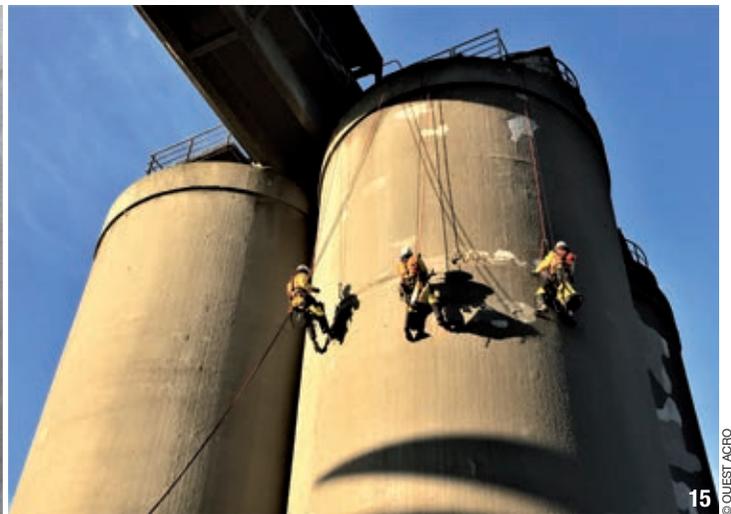
*Voir article "Traitement de la RSI au barrage de Bimont" - Travaux 944 de septembre 2018, pages 68-73.*

#### **MISERY : UNE CARRIÈRE DEVENANT PARC**

Le chantier de Misery, près de Nantes, se situe sur une ancienne carrière, le long de la Loire, près du pont de Chevirié. L'opération consistait à conforter des parois rocheuses par clouage systématique et cachetage des barres pour ne pas dénaturer visuellement le site. Parmi les contraintes, l'épaisseur de lierre, car la végétation devait être conservée dans certaines zones ce qui ne simplifiait pas les clouages. Le chantier s'inscrit dans le projet de



14



15

© OUEST ACRO



16



17

© OUEST ACRO

parc dit "Le Jardin Extraordinaire" en hommage à Jules Verne. Il comportait également le coulage des fondations par micropieux de 10 m de profondeur avec des barres de 50 mm, au centimètre près, pour un belvédère Ouest et une passerelle côté Est.

### CLICHY-SOUS-BOIS : GRANDE TECHNICITÉ

À Clichy-sous-Bois, dans la région parisienne (93), la résidence "L'étoile du chêne pointu" est un ensemble de bâtiments constitués de poteaux en béton avec remplissage en briques. Suite à l'effondrement d'un mur d'un logement occupé, il fallait sécuriser sept bâtiments. Au total, ce sont 3600 m<sup>2</sup> de filets qui ont été posés, 156 IPN et 2100 ancrages à scellement.

Les contraintes étaient fortes : la présence d'amiante a fait passer le chantier en sous-section 4 avec des procédures spéciales de décontamination, de protection du personnel et des habitants, de gestion des déchets. Il fallait limiter les percements et les nuisances par égard pour les riverains.

L'objectif était de couvrir toutes les façades en briques avec des filets triple couche de sécurité puis de



© OUEST ACRO

18

18- Inspection de la façade sculptée de l'opéra Garnier à Paris.

19- Maintenance de la nacelle d'une éolienne.

placer des structures métalliques sur chaque palier à chaque angle de pignon. Ces éléments sont fixés par des ancrages de 14 mm de diamètre et de 450 mm de longueur avec scellement chimique. Une fois posés sur la façade, ils sont reliés entre eux par des câbles verticaux de manière à créer un maillage serré. Le chantier était réalisé par 8 techniciens, sur cordes, grue et nacelle, lourdement chargés en matériel.

### TRAVAILLER SUR CORDES : UN MÉTIER

« Au fil des années, travailler sur cordes est devenu un métier ultra-professionnel, conclut Luc Boisnard. Les travaux sur cordes nécessitent une parfaite formation des cordistes, un matériel conforme et contrôlé, ainsi que le respect de modes opératoires adaptés. C'est pour cette raison que les entreprises, au travers du SFETH, se doivent de structurer et d'adapter régulièrement les formations et les certifications de la profession. En effet, les cordistes doivent maîtriser les techniques d'accès, de déplacement et de secours sur cordes dans tous les métiers où ils interviennent. Cela nécessite d'adapter les savoir-faire traditionnels des métiers aux méthodes d'intervention particulières à la corde, afin de travailler en toute sécurité ». □

1- Lothar est le nom donné à la tempête qui a traversé de part en part et très rapidement le nord de la France le dimanche matin 26 décembre 1999. Elle a causé des dommages sans précédent dans les forêts de France, de Suisse, d'Allemagne et du Danemark.



© OUEST ACRO

19

## ORGANISER LES INTERVENTIONS SUR CORDES

Le Syndicat Français des Entreprises de Travail en Hauteur (SFETH) a élaboré depuis l'été 2018 le CQP Technicien en Organisation de Travaux sur Cordes (TOTC). Il s'agit de faire évoluer le certificat de qualification professionnelle de niveau 3 (CQP3) en poste de technicien (CQP TOTC). Il correspondra ainsi à la certification du référent ayant en charge l'organisation des travaux sur cordes grâce à ses compétences managériales, administratives et QHSE (Qualité, hygiène, sécurité et environnement). À terme, chaque entreprise de travaux sur cordes devrait employer un tel diplômé pour chaque établissement.

Le CQP de cordiste a été le premier créé dans le secteur du bâtiment. Il a été mis en place par le SFETH en 1996 et s'organise en trois niveaux de certification : le CQP1 correspond au niveau de compétence minimum requis pour travailler sur cordes, sous la responsabilité d'un cordiste expérimenté CQP2. Ce dernier correspond au niveau de compétences nécessaires pour travailler en autonomie sur cordes afin de s'adapter aux configurations de travail variées inhérentes au métier. Le CQP TOTC, qui supervise les deux premiers, devient ainsi le troisième niveau de l'édifice.



1  
© VINCI AUTOROUTES

# DÉCONSTRUCTION ET RECONFIGURATION DE LA BARRIÈRE DE PÉAGE DE MONTPELLIER 1 À GALLARGUES (30)

AUTEUR : FRANÇOIS AUNILLON, CHEF DE PROJET, INGEROP

CONSTRuite ET INAUGURÉE EN 1968, LA BARRIÈRE DE PÉAGE DE MONTPELLIER 1 À GALLARGUES MARQUAIT LA FIN DE LA SECTION PAYANTE DE L'AUTOROUTE A9 ENTRE NÎMES ET MONTPELLIER. APRÈS DE MULTIPLES ÉVOLUTIONS, CETTE BARRIÈRE DE PÉAGE A ÉTÉ RENDUE CADUQUE PAR LE PROJET DE DÉPLACEMENT DE L'AUTOROUTE A9 À MONTPELLIER : UNE PERCÉE A ÉTÉ NÉCESSAIRE POUR LE PASSAGE D'UNE AUTOROUTE À 2x3 VOIES CIRCULABLE À 130 KM/H. DEUX ANS APRÈS L'INAUGURATION DU PROJET, UNE RECONFIGURATION ENVIRONNEMENTALE ET UNE AMÉLIORATION DES CONDITIONS D'ACCÈS AUX PERSONNELS DE MAINTENANCE ONT ÉTÉ RÉALISÉES SUR LE SITE.

## HISTORIQUE DE L'AUTOROUTE A9 À GALLARGUES

**CONSTRUCTION DE L'AUTOROUTE**  
Après la seconde Guerre Mondiale, l'État a investi dans les infrastructures routières pour créer des liaisons interurbaines entre les grandes agglomérations françaises. Dès 1957, le gouvernement français décide de réaliser une

autoroute pour relier la vallée du Rhône et Narbonne. Le péage de Gallargues, commune implantée à 20 km à l'est de Montpellier, se situe sur la section Vestric-et-Candiac – Saint-Brès, déclarée d'utilité publique le 13 juillet 1963. Cette autoroute sera concédée à la Société de l'Autoroute de la Vallée du Rhône (futur Autoroutes du Sud

de la France puis Vinci Autoroutes) le 21 mars 1966.

Les travaux sont lancés rapidement après la DUP pour cette autoroute à 2x2 voies (figure 2) prévue élargissable à 2x3 voies par le centre ; la barrière de péage pleine voie et le diffuseur n°26 de Gallargues marquent la fin de la section payante en provenance de

**1- Vue aérienne travaux phase 1.**

**1- Aerial view of work phase 1.**



© <https://remonterletemps.ign.fr/>

2

la vallée du Rhône avant de rejoindre la déviation de Montpellier (section Vendargues – Saint-Jean-de-Védas). Cette déviation de Montpellier est mise en exploitation le 18 décembre 1966. La section située sur le territoire de Gallargues, dite de Montpellier 1, est, pour sa part, mise en service en deux phases :

- La section Saint-Césaire (Gard) <-> Gallargues (Gard) est mise en exploitation le 5 juillet 1968 ;
- La section Gallargues <-> Saint-Brès (Hérault) est mise en exploitation le 16 décembre 1968.

Au jour de l'ouverture, la barrière de péage pleine voie de Montpellier 1 comporte 13 couloirs (7 couloirs de sortie et 6 couloirs d'entrée), deux aires de repos en aval des couloirs et s'inscrit dans le diffuseur n°26 de type trompette (figure 3).

Les chaussées de l'autoroute sont de type Dalle Californienne (chaussée béton) d'environ 25 cm d'épaisseur.

**2- Vue aérienne des premiers travaux.**  
**3- Péage - 1968.**

**2- Aerial view of initial works.**  
**3- Toll system in 1968.**



© <https://www.fierdetreroutier.com/FDR/DIS-PEPE-CETAT-COMMENT-AVANT/>

### ÉVOLUTION DU SITE ET ÉTAT AVANT LE PROJET DE DÉPLACEMENT DE L'AUTOROUTE A9

La mise en service de l'autoroute intervient dans un contexte de forte croissance du trafic routier : d'après le dossier " Les grandes liaisons rou-

tières - Histoire d'un schéma " paru en septembre 1972, le transport routier de marchandises en France croît de 45 % entre 1965 et 1970. La conception de l'autoroute A9 prévoyait cet accroissement, tant pour la possibilité laissée à l'élargissement de la section courante par le centre que pour l'emprise foncière disponible au cœur du diffuseur de Gallargues, propice aux élargissements futurs.

Ainsi, cinq augmentations de capacité successives ont été réalisées à partir de la date d'ouverture, en exploitant au maximum l'emprise disponible.

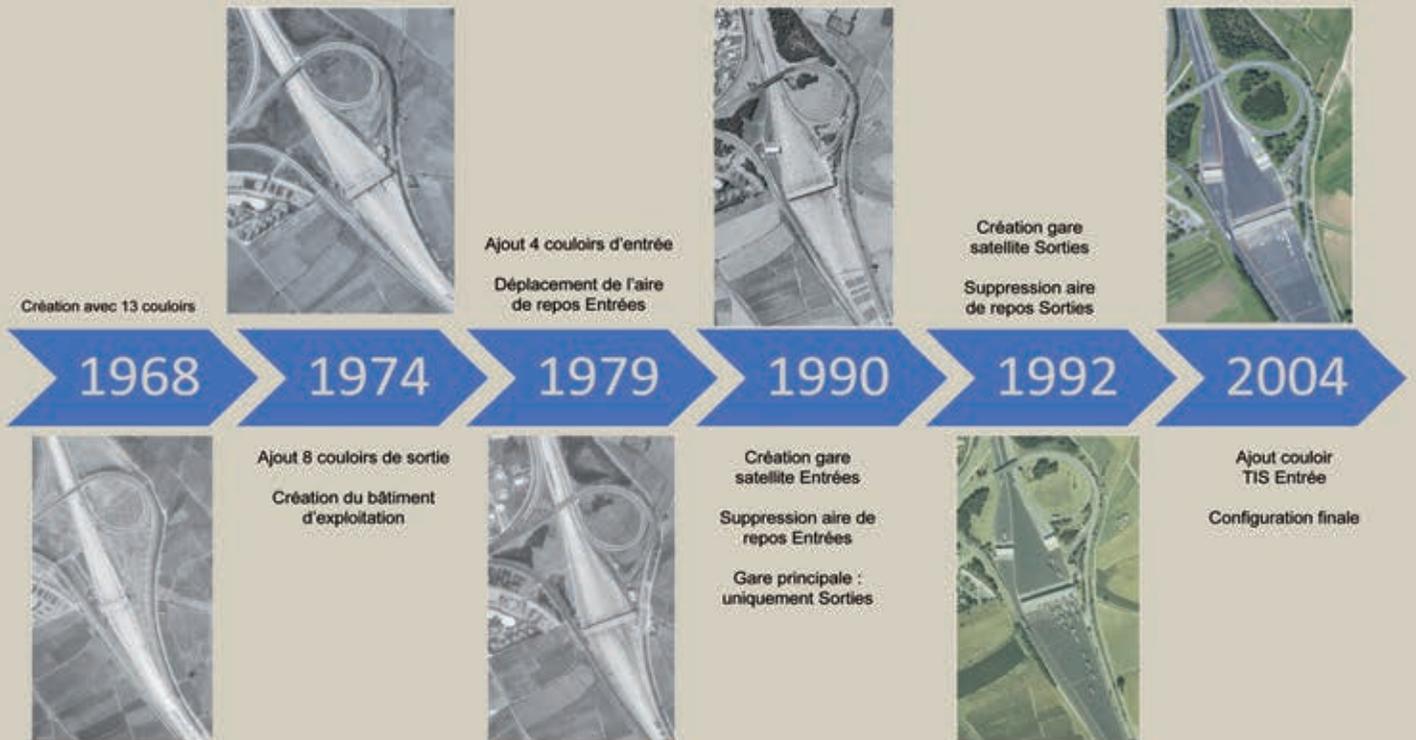
La barrière de péage pleine voie est passée progressivement de 13 couloirs lors de son ouverture en 1968 à 21 couloirs en 1974 puis à 25 couloirs en 1979. Avec les travaux d'élargissement à 2x3 voies achevés en 1988/1989 sont réalisées successivement de 1989 à 1992 deux gares satellites, et donc deux auvents supplémentaires : l'une exclusivement réservée aux entrées, avec 8 couloirs et l'autre augmentant encore la capacité des voies de sortie avec cinq couloirs supplémentaires, afin d'offrir notamment plus de souplesse pour les week-ends de départs estivaux. (figure 4). Le dernier ajout d'une voie d'entrée Télépéage Sans Arrêt en 2004 achèvera le développement de cette barrière de péage, avec :

- 9 couloirs d'entrée, dont les équipements de péage sont alimentés par un caniveau technique non visitable ;
- 28 couloirs de sortie, dont 5 sur la gare satellite ; les équipements des couloirs de la barrière principale sont alimentés par une galerie technique visitable, élargie elle-même au fur et à mesure des évolutions du site.

Le bâtiment d'exploitation, situé côté sortie, a été construit en 1974.

L'élargissement de la barrière de péage s'est accompagné d'une évolution du diffuseur lui-même : pour augmenter la capacité de la barrière de péage dans le sens des sorties, l'élargissement à 3 voies a été anticipé dès le début des années 80 sur une longueur d'1 km. À cette occasion, et afin de permettre les sorties de desserte locale vers Gallargues-le-Montueux et ses environs même en cas de remontée de files les jours de forte affluence, la bretelle de sortie en provenance de Nîmes, initialement de type déboîtement classique a été transformée en une longue bretelle de type affectation à 1 voie d'une longueur d'environ 1 000 m : ▷

## ÉVOLUTION DU SITE



4

© [HTTPS://REMONTERLETEMPS.IGN.FR/](https://remonterletemps.ign.fr/)

cette transformation a nécessité la réalisation d'un ouvrage spécifique de type PICF (Passage Inférieur en Cadre Fermé), construit en 1983.

Par ailleurs, les opérations de maintenance diverses de l'infrastructure et des couches de roulement ainsi que l'évolution des techniques de construction des chaussées ont fait de la zone un véritable patchwork de structures de chaussée. Au moment du démarrage de l'opération de démantèlement de la barrière de péage de Montpellier 1, on dénombrait théoriquement à l'issue des sondages de chaussées réalisés pas moins de 14 structures différentes sur le périmètre de la future section courante, variant du type de matériaux utilisés (béton ou matériaux bitumineux) à l'épaisseur constatée, avec une difficulté à documenter précisément le sujet, entre opérations de maintenance locales et projets d'élargissement d'ampleur.

### DÉMANTÈLEMENT DE LA BARRIÈRE DE PÉAGE DE MONTPELLIER 1

#### CONTEXTE DE L'OPÉRATION

L'opération de démantèlement de la Barrière de Péage Pleine Voie de Montpellier 1 a été réalisée dans le cadre de l'opération plus globale de Déplacement de l'autoroute A9 à Montpellier. Initiée

par débat public en 1994 et déclarée d'Utilité Publique en 2007, cette opération consistait à créer une deuxième section autoroutière à 2x3 voies entre les diffuseurs de Vendargues (n°28) et de Saint-Jean-de-Védas (n°32) pour permettre de dissocier le trafic de transit du trafic de desserte locale, l'autoroute A9 (actuelle A709) faisant à l'époque office de rocade Sud de l'agglomération montpellieraine.

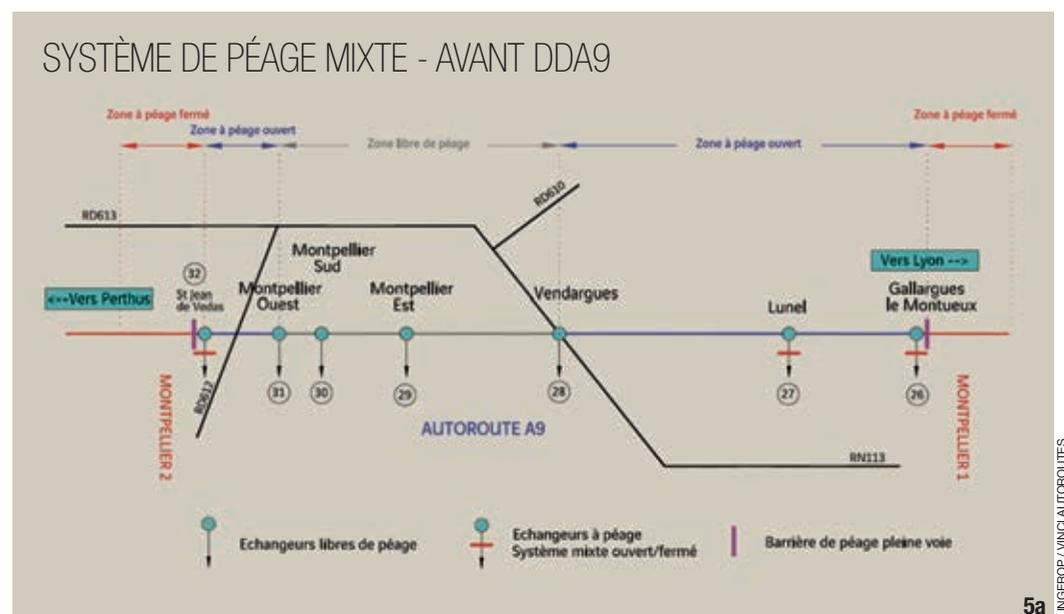
#### 4- Évolution du site.

##### 5a- Système de péage mixte - avant DDA9.

#### 4- Site developments.

##### 5a- Mixed toll system - before DDA9.

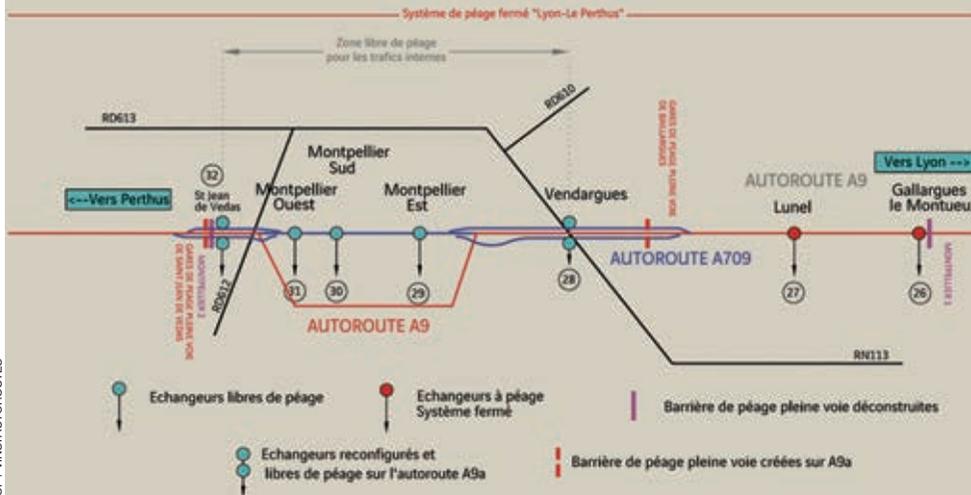
La création de cette deuxième autoroute associée à la première s'accompagne d'une transformation du système de péage : la section gratuite au droit de Montpellier est alors encadrée par les barrières du système de péage pleine voie de Saint-Jean-de-Védas et de Montpellier 1, associées à des gares sur échangeur du système de péage mixte ouvert/fermé (figure 5a). Afin de permettre la continuité du trafic de



5a

© INGEROP / VINCI AUTOROUTES

## SYSTÈME DE PÉAGE APRÈS DDA9



5b

transit, il faut donc créer un système de péage fermé qui maintiendrait le trafic de transit de l'axe Espagne - Italie sur l'autoroute A9, sans rencontrer de péage alors que l'accès à la desserte locale sur la zone élargie nécessiterait pour sa part l'acquiescement d'un péage (figure 5b).

La barrière de péage pleine voie de Montpellier 1 dans une zone devenue contrainte en emprise mais surtout trop éloignée de la section à élargir, devient alors inutile dans ce nouveau système

**5b- Système de péage après DDA9.**  
**6- Plan des déviations provisoires.**

**5b- Toll system after DDA9.**  
**6- Temporary diversion plan.**

de péage et doit donc être démantelée pour permettre la continuité de la section autoroutière à 2x3 voies.

### CALENDRIER DE L'OPÉRATION ET PHASAGE DES TRAVAUX

S'inscrivant dans le cadre général des travaux de l'opération de déplacement de l'autoroute A9, la consultation des entreprises a été initiée à la fin de l'année 2015. À l'issue de la procédure de passation, les travaux sont attribués au groupement d'entreprises Eurovia

Méditerranée, Cardem, Signature et Buesa.

Le périmètre des travaux attribués comprend le démantèlement de l'auvent, des couloirs de péage, le comblement de la galerie technique, la démolition du bâtiment de surveillance de 1974 ainsi que la réalisation d'une section autoroutière à travers la barrière de péage existante ; tous ces travaux doivent évidemment être réalisés sous exploitation en maintenant une capacité maximale pour la barrière de péage, c'est-à-dire en réduisant au maximum l'emprise nécessaire pour la réalisation des travaux de chaussées autoroutières.

Les travaux débutent à l'automne 2016 après l'été mis à profit pour la période de préparation.

Le calendrier des travaux est le suivant :

- De novembre 2016 à mai 2017 : démantèlement d'une partie des auvents et réalisation d'une déviation provisoire à 2x3 voies de l'autoroute A9 pour permettre la mise en exploitation du complexe autoroutier A9/A709 et le passage libre au cœur de l'ancienne barrière de péage, circulaire à 90 km/h ;
- Après la mise en exploitation jusqu'à la fin d'année 2017 : démantèlement de l'ensemble des éléments de l'ancienne barrière de péage et réalisation de la section courante définitive à 2x3 voies circulaire à 2x3 voies.

## PLAN DES DÉVIATIONS PROVISOIRES



6

Afin de réussir ces travaux dans un planning serré tout en maintenant de bonnes conditions d'exploitation et de circulation des usagers, le groupement a eu recours aux travaux de nuit, seul moment possible pour neutraliser une partie des zones de circulation.

Cinq grandes phases distinctes ont été nécessaires pour réaliser l'ensemble des travaux :

**Phase 1** : Réduction du nombre de couloirs, début du démantèlement et de la création de la première déviation provisoire (figure 1).

**Phase 2** : Mise en exploitation de l'A709 et réalisation d'une seconde déviation provisoire (figure 6) pour l'emplacement des deux déviations provisoires et fin des travaux de démantèlement.

Le passage de la phase 1 à la phase 2 a été effectué en deux nuits successives (29-30 puis 30-31 mai 2017), à l'aide de bouchons mobiles réalisés sur une longueur exceptionnelle d'environ 30 km qui ont nécessité la coordination de l'ensemble des intervenants pour mettre en place le système de péage fermé décrit ci-avant.

**Phase 3** : Réalisation des chaussées définitives dans les emprises libérées.

**Phase 4** : Basculement sur le tracé



© INGEROP / VINCI AUTOROUTES

définitif et travaux de chaussées des raccordements en pleine largeur.

**Phase 5** : Revêtements définitifs puis mise en exploitation à 130 km/h.

#### LA DÉPOSE DE L'AUVENT

La dépose de l'auvent a été réalisée en plusieurs phases, dont la plus critique était la première dépose de nuit au-dessus des huit premiers îlots (voies 17

**7- Dépose de l'auvent.**

**8- Vue aérienne après démantèlement.**

**7- Dismantling the canopy.**

**8- Aerial view after dismantling.**

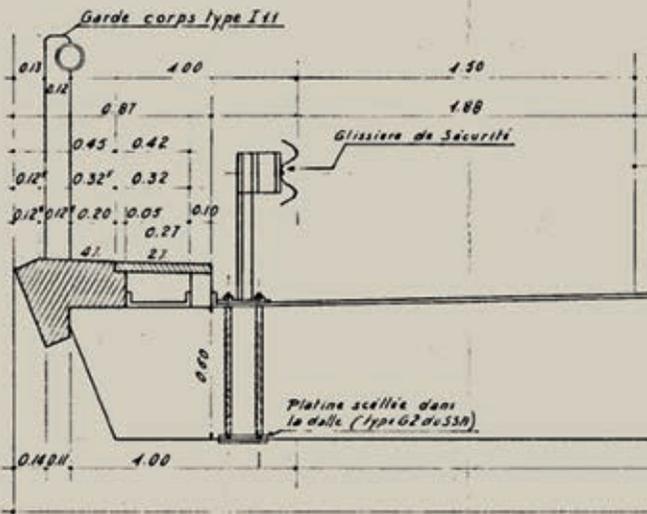
à 24, soit les huit voies les plus proches du sens opposé) démantelés pour la réalisation de la première déviation provisoire.

Cette dépose a été réalisée en deux opérations consécutives la même nuit dans des conditions climatiques difficiles, avec maintien en état de service des équipements de péage sous la travée mitoyenne :



© VINCI AUTOROUTES

## GARDE-CORPS PS 729 AVANT RECONFIGURATION



9a

- La dépose de la travée mitoyenne, par suspension contrôlée de l'auvent par une grue mobile avant oxycoupage des poutres primaires et dépose de l'auvent (figure 7) ;
- Puis la dépose de la travée de rive, par la même technique.

### LA RESTRUCTURATION DES CHAUSSÉES

Les travaux de chaussées dans les zones de raccordement nécessitent

**9a- Garde-corps PS 729 avant reconfiguration.**

**9b- Garde-corps PS 729 après reconfiguration.**

**9a- Guard rail of overpass 729 before remodelling.**

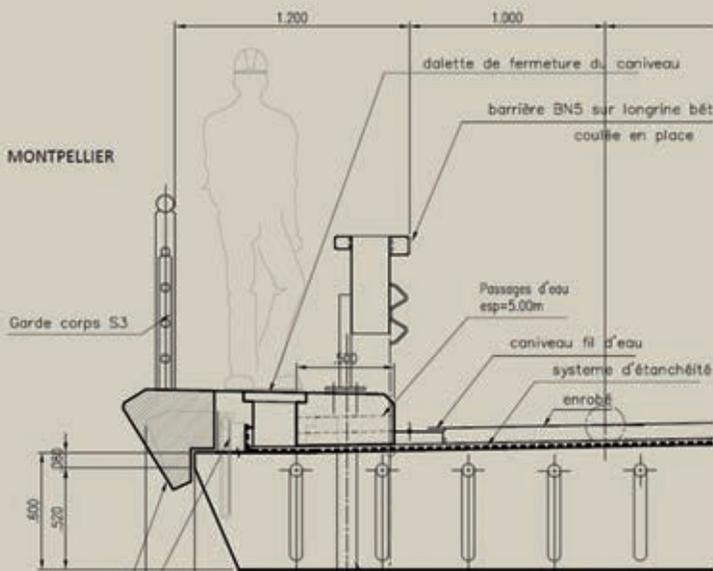
**9b- Guard rail of overpass 729 after remodelling.**

l'adaptation des techniques utilisées aux impératifs d'exploitation pour maintenir en permanence les trois voies ouvertes à la circulation entre 5 h et 22 h.

La variabilité des structures rencontrées transversalement et longitudinalement, liée aux opérations d'élargissement et de maintenance successives, ainsi que la présence de chaussée béton de type dalle californienne, ont nécessité la réalisation d'essais par-

ticuliers : des essais de battements des dalles ont été menés de nuit aux joints structuraux de l'ancienne chaussée béton après rabotage des couches bitumineuses supérieures. Ces essais, préconisés par le guide technique du Setra " Entretien de Chaussées Béton - Chaussées autoroutières et aéroportuaires ", édité en 2002, fournissent des indications sur les performances structurelles de la chaussée béton et de sa fondation. ▷

## GARDE-CORPS PS 729 APRÈS RECONFIGURATION



9b

Après recalcul, il s'est avéré qu'une partie de la chaussée béton pouvait être réutilisée en partie pour fonder les couches d'enrobés, sous réserve de pontage des joints. Des structures différenciées ont donc été réalisées selon la destination de la voie :

- Voie lente (trafic lourd) : rabotage sur 18 cm puis 8 cm GB4 + 6 cm BBSG + 4 cm BBDr ;
- Voie médiane : rabotage sur 16 cm puis 6 cm BBSG + 6 cm BBSG + 4 cm BBDr ;
- Voie rapide (trafic léger) : rabotage sur 10 cm puis 6 cm BBSG + 4 cm BBDr.

Les contraintes d'exploitation ont nécessité la réalisation de ces structures différenciées par abaissments successifs cohérents pour les trois voies puis rechargements successifs avec des enrobés circulables.

La réalisation en pleine largeur des enrobés drainants a marqué la fin de l'opération de démantèlement de la barrière de péage pleine voie de Montpellier 1, avec une autoroute à 2x3 voies à 130 km/h qui chemine au milieu de l'emprise (figure 8).

## RECONFIGURATION DU DIFFUSEUR DE GALLARGUES OBJECTIFS DE L'OPÉRATION

Les objectifs de la reconfiguration du diffuseur sont multiples :

- Désimperméabiliser les anciennes surfaces de chaussées laissées libres par démolition et améliorer le système de récupération des eaux de ruissellement avant rejet en créant deux bassins et une noue de décantation ;
- Améliorer la sécurité des bretelles du diffuseur, notamment avec le renouvellement des dispositifs de retenue sur le pont ;

- Revenir à la configuration d'avant 1983 pour la bretelle de sortie depuis l'est (bretelle en déboîtement), l'intérêt de la bretelle par affectation étant nul après la suppression du péage et donc des risques de remontées de files. Cette modification permet de supprimer le passage des usagers de l'A9 sur deux passages inférieurs, néanmoins conservés pour faciliter les accès de maintenance ;
- Améliorer la sécurité des interventions de maintenance et d'exploitation en sécurisant deux accès de service ;
- Renouveler la signalisation directionnelle pour la rendre conforme à la circulaire en cours ;
- Améliorer l'insertion paysagère de cette zone de transition entre le Gard et l'Hérault.

## CALENDRIER DE L'OPÉRATION

L'ensemble de l'opération s'est déroulée en 2019, sous la forme d'un marché alloti en trois lots : un lot principal avec les travaux lourds de chaussées et de génie civil, attribué au groupement d'entreprise Forezienne d'Entreprises / Eiffage Génie Civil / Eiffage Route Méditerranée et deux lots de rabotage, démolition et aménagements paysagers, attribués à l'entreprise Vinci Construction Terrassement.

## RÉALISATION DES TRAVAUX Réalisation des bassins de décantation

Deux bassins étanches et deux noues étagées ont été réalisés dans les délais libérés par la suppression de la barrière de péage. Ces ouvrages sont équipés de dispositifs de régulation et permettent d'assurer une décantation des eaux de ruissellement de l'auto-

route avant rejet dans le milieu afin de réaliser un traitement qualitatif, en accord avec les services de l'État. Les raccordements au milieu ont été réalisés par fonçage sous une bretelle d'entrée, ou bien directement par des fossés existants.

La concentration des écoulements sur la zone Nord du bassin versant, en limite de l'ancienne bretelle, a nécessité la réalisation de merlons anti-surverse pour limiter le risque de submersion de l'autoroute. Il a également fallu renforcer une buse métallique existante par coque PRV.

## Dispositifs de retenue sur le PS 729

Le PS 729 est le pont qui franchit l'A9 construit en 1966. Les dispositifs de retenue en place étaient les glissières métalliques d'origine, associées aux garde-corps de type I11 (figure 9a).

Les travaux ont consisté à :

- Modifier le profil en travers sur ouvrage pour offrir un cheminement pour l'exploitant de part et d'autre du pont ;
- Renouveler les dispositifs de retenue sur l'ouvrage pour les remplacer, après analyse des solutions possibles, par des dispositifs de type BN5 sur longrine non ancrée, afin de conserver la structure de l'ouvrage (figure 9b) ;
- Renouveler les corniches de l'ouvrage et y ajouter des garde-corps ;
- Renouveler l'étanchéité et les joints de chaussée de l'ouvrage.

L'ensemble des travaux a été réalisé avec maintien de la circulation sur le pont, à l'exception des travaux de réfection de l'étanchéité qui ont nécessité une fermeture complète du passage sur le pont. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PRODUITS DE CHAUSSÉE MIS EN ŒUVRE : 25 000 t**  
**LONGUEUR TOTALE DES AUVENTS DÉPOSÉS : 185 m**  
**SURFACE TOTALE DÉSIMPÉRMEABILISÉE : 480 000 m<sup>2</sup>**  
**VOLUME TOTAL DES OUVRAGES DE RÉTENTION : 2 600 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes, réseau Asf**  
**MAÎTRE D'ŒUVRE (toutes phases) : Ingerop**  
**GROUPEMENT D'ENTREPRISES POUR L'OPÉRATION DE DÉMANTÈLEMENT DE LA BARRIÈRE DE PÉAGE : Eurovia Méditerranée, Cardem, Signature et Buesa**  
**ENTREPRISES POUR L'OPÉRATION DE REQUALIFICATION DE L'ANCIENNE ZONE DU PÉAGE : groupement d'entreprises Forezienne d'Entreprises / Eiffage Génie Civil / Eiffage Route Méditerranée et entreprise Equo Vivo - Vinci Construction Terrassement**

## ABSTRACT

### DECONSTRUCTION AND REMODELLING OF THE MONTPELLIER 1 TOLL PLAZA AT GALLARGUES

FRANÇOIS AUNILLON, INGEROP

*The Montpellier 1 toll plaza, inaugurated in 1968, marked the end of the A9 motorway section between Nîmes and Montpellier. After numerous changes of configuration, enabling the transition from 13 lanes at the outset to 9+28 lanes in 2004, this toll system was rendered obsolete by the plan to shift the A9 at Montpellier, which provided for its replacement by a new toll plaza, with the new motorway passing through the middle of the existing toll system. The entry into service of the A9/A709 motorway complex was followed by environmental remodelling of the site and development works for improved safety of the users and infrastructure maintenance personnel. □*

### DECONSTRUCCIÓN Y RECONFIGURACIÓN DE LA BARRERA DE PEAJE DE MONTPELLIER 1 A GALLARGUES

FRANÇOIS AUNILLON, INGEROP

*La barrera de peaje de Montpellier 1, inaugurada en 1968, marcaba el final del tramo de la autopista A9 entre Nîmes y Montpellier. Tras múltiples cambios de configuración, que permitieron pasar de los 13 pasillos originales a 9+28 pasillos en 2004, este peaje quedó obsoleto: el proyecto de desplazamiento de la A9 en Montpellier preveía su sustitución por una nueva barrera y el paso de la autopista en medio del peaje existente. Tras la puesta en servicio del complejo de autopistas A9/A709, se realizó una reconfiguración medioambiental del emplazamiento y se llevaron a cabo obras de habilitación para mejorar la seguridad de los usuarios y del personal de mantenimiento de la infraestructura. □*



1  
© ROGER BERTHOD

# SÉCURISATION DU FRONT ROCHEUX SURPLOMBANT LA STATION D'ÉPURATION AMPHITRIA DU CAP SICIÉ À LA SEYNE-SUR-MER (83)

AUTEURS : ALBERTO GRIMOD, RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT RISQUES NATURELS, FRANCE MACCAFERRI -  
CÉLINE HAOUY, INGÉNIEURE EN GÉOTECHNIQUE ET RISQUES NATURELS, CHARGÉE D'AFFAIRES SERVICE RISQUES ROCHEUX, GINGER CEBTP (IMSRN)

LE CENTRE DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES AMPHITRIA, AU CAP SICIÉ (83) EST D'UNE IMPORTANCE STRATÉGIQUE POUR LA MÉTROPOLE DE TOULON. SUR LA FALAISE SURPLOMBANT LA STATION D'ÉPURATION, LE RISQUE DE CHUTE DE BLOCS ÉTAIT TRÈS ÉLEVÉ. POUR ÉVITER QUE DES BLOCS ROCHEUX PUISSENT ENDOMMAGER LA STRUCTURE ET MENACER LA VIE DU PERSONNEL, UN VASTE PLAN DE GESTION DU RISQUE CHUTE DE BLOCS A ÉTÉ ÉLABORÉ COMPRENANT LA RÉALISATION DE 7 LIGNES D'ÉCRANS PARE-BLOCS DYNAMIQUES AYANT UNE CAPACITÉ D'ARRÊT DE 8 600 kJ ET UNE HAUTEUR D'INTERCEPTION DE 8 m.

## CONTEXTE

En 2017, la Métropole Toulon Provence Méditerranée, en charge de la maîtrise d'ouvrage du chantier, a missionné le bureau d'études Imsrn pour la réalisation d'une mission de maîtrise d'œuvre consistant en la sécurisation du front rocheux surplombant la station de traitement des eaux du Cap Sicié.

**1- Protection passive contre les chutes de blocs, écran RMC 850/A.**

**1- Passive protection against falling blocks, RMC 850/A screen.**

Les objectifs étaient les suivants :

- La réhabilitation des dispositifs de protection existants ;
- Le confortement de zones non équipées du front rocheux.

Les premières reconnaissances sur site effectuées en 2017 par une équipe de géologues cordistes spécialisés ont conduit à un constat alarmant :

les ouvrages de protection réalisés préalablement à la construction de la station dans les années 90 laissaient apparaître une corrosion très avancée (figure 2). Cette corrosion s'explique par une grande proximité avec la mer et la présence de fumées corrosives provenant des cheminées d'évacuation de la station. ▷



Suite à ce constat, la maîtrise d'œuvre a alerté la maîtrise d'ouvrage sur l'état actuel des ouvrages et l'exposition des enjeux face au risque de chute de blocs. Le personnel de la station se trouvait actuellement fortement exposé car les ouvrages existants étaient considérés comme non fonctionnels.

Au stade de la mission préliminaire, le bureau d'études Imsrn a travaillé en collaboration avec l'Atelier Locus-Sites Paysages, composé de paysagistes, afin d'appréhender, en première approche, les contraintes environnementales du site et adapter, selon leurs recommandations, les solutions de sécurisation.

La collaboration naturaliste s'est poursuivie avec deux bureaux d'études missionnés par la Métropole Toulon Provence Méditerranée dans le but de réfléchir à une solution optimale limitant l'impact paysager et proposer un dossier recevable en commission départementale de la nature des sites et des paysages (CDNPS) :

- Naturalia, spécialisé en écologie et pilotage de dossiers réglementaires écologiques ;
- Composite, agence spécialisée dans les études réglementaires et les conceptions en milieu naturel.

**2- Exemples des effets de la corrosion sur les barres en acier (2a) et sur les câbles et serre-câbles (2b).**

**3- Localisation des ouvrages existants.**

**2- Examples of the effects of corrosion on the steel bars (2a) and cables and cable clamps (2b).**

**3- Location of existing structures.**

### CONCEPTION DES STRUCTURES DE PROTECTION

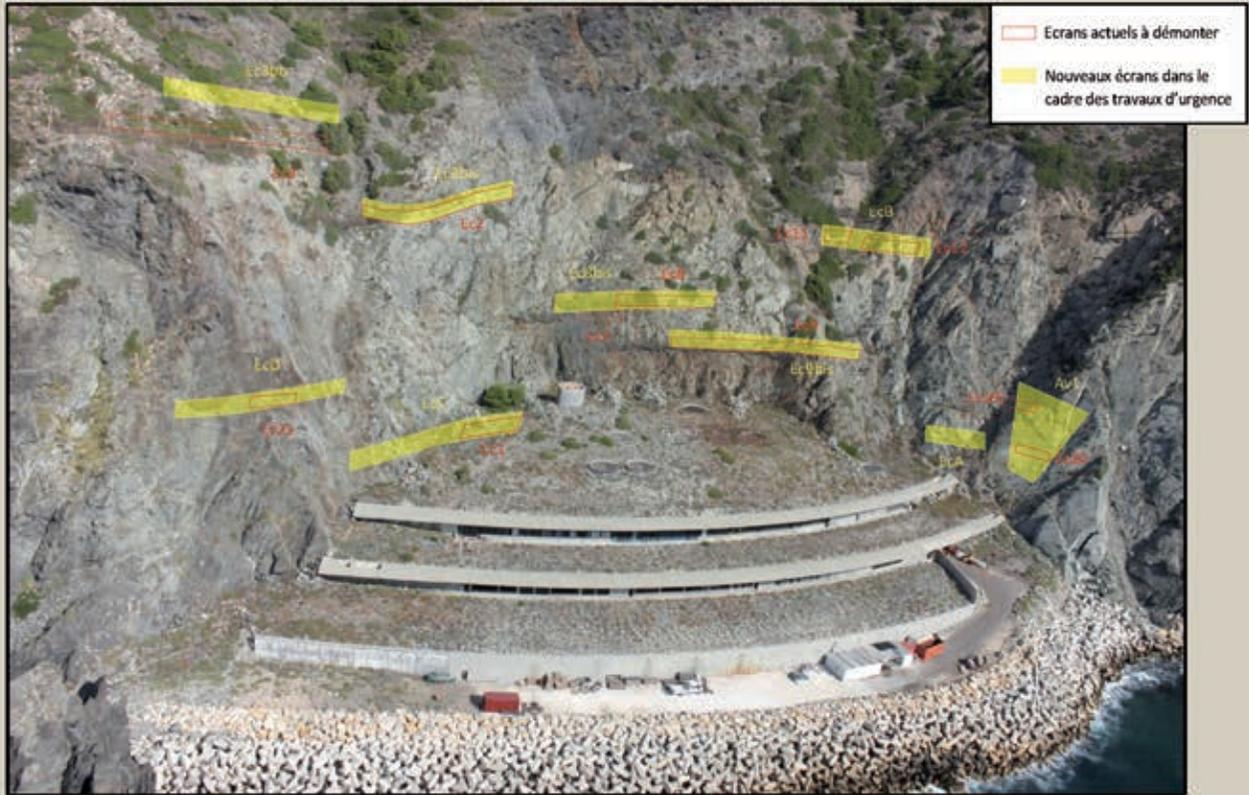
Dans le cadre des travaux d'urgence, on a privilégié une solution par parades dites passives afin d'assurer une protection minimale sur l'ensemble du cirque rocheux, l'objectif étant de "fermer" le versant par de nouvelles lignes d'écrans conformes au guide européen ETAG 027.

Par le biais de modélisations trajectographiques en 3D, le bureau d'études Imsrn a réfléchi à diverses variantes afin de proposer au maître d'ouvrage des solutions techniquement réalisables.

## LOCALISATION DES OUVRAGES EXISTANTS



## PROPOSITION D'IMPLANTATION DES NOUVEAUX ÉCRANS AU STADE DE LA MISSION G2 PRO



© IMSRN  
4

### 4- Proposition d'implantation des nouveaux écrans au stade de la mission G2 PRO.

5- Classification des ouvrages de protection contre les chutes de pierres de type passifs : barrières rigides, écrans dynamiques et merlon.

### 4- Proposed layout of the new screens at the G2 PRO assignment stage.

5- Classification of passive type structures for protection from falling stones: rigid barriers, dynamic screens and barricade.

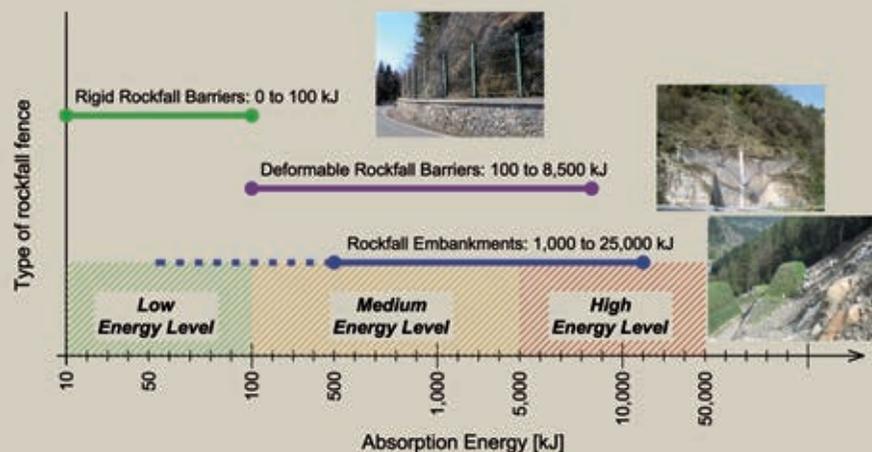
Pour limiter les travaux au cœur de ce site remarquable, le choix s'est porté initialement vers des écrans pare-blocs à haute capacité d'énergie (5000 kJ) couramment installés sur le territoire français.

En considérant des ouvrages de 5000 kJ, les simulations trajectographiques ont mis en évidence la nécessité d'installer deux lignes superposées d'écrans afin de répondre aux exigences sécuritaires du maître d'ou-

vrage. En concertation avec les spécialistes naturalistes, une telle solution ne pouvait être retenue au vu des répercussions visuelles et paysagères. C'est ainsi qu'une réflexion a été menée vers une solution alternative : ▷

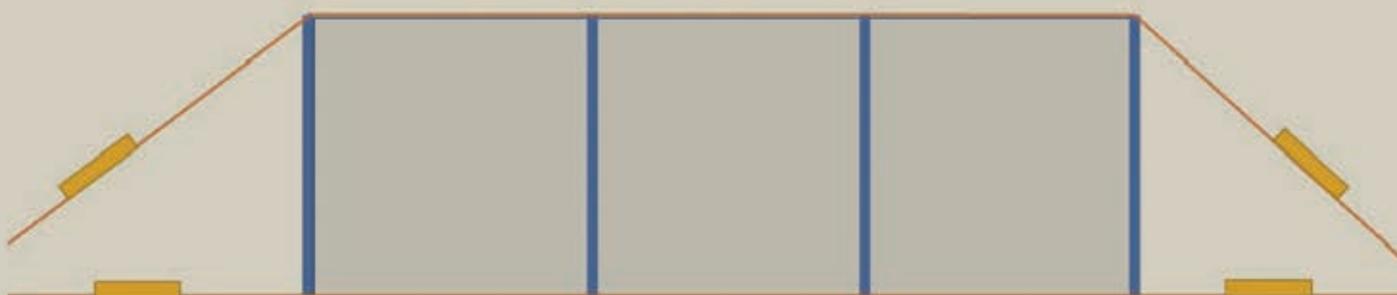
## CLASSIFICATION DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CHUTES DE PIERRES DE TYPE PASSIFS

Barrières rigides, écrans dynamiques et merlon



© FRANCE MACCAFERRI  
5

## SCHÉMA DES COMPOSANTS D'UN ÉCRAN PARE-BLOCS ETAG 027 (EAD 340059-00-0106)



6

© FRANCE MACCAFERRI

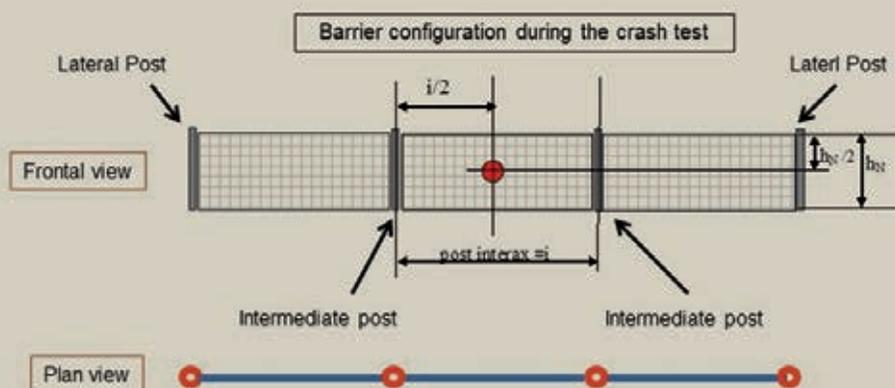
6- Schéma des composants d'un écran pare-blocs ETAG 027 (EAD 340059-00-0106).

7- Schéma des préconisations standardisées des essais en grandeur nature sur les écrans pare-blocs ETAG 027 (EAD 340059-00-0106).

6- Schematic of the components of an ETAG 027 stone-guard screen (EAD 340059-00-0106).

7- Schematic of standardised recommendations for full-scale tests on ETAG 027 stone-guard screens (EAD 340059-00-0106).

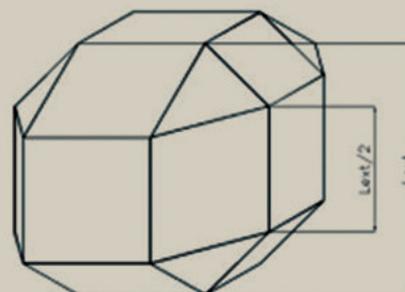
## SCHÉMA DES PRÉCONISATIONS STANDARDISÉS DES ESSAIS EN GRANDEUR NATURE SUR LES ÉCRANS PARE-BLOCS ETAG 027 (EAD 340059-00-0106)



s'orienter vers des écrans à très haute capacité d'énergie (capacité égale ou supérieure à 8000 kJ) pour répondre à l'ensemble des contraintes du site. Le passage à une telle classe d'écran permettrait alors de se limiter à une seule ligne d'écrans grâce à l'augmentation de la hauteur d'interception des éléments rocheux d'un volume supérieur pour limiter le confortement actif dans le versant. La solution étant acceptée par l'en-

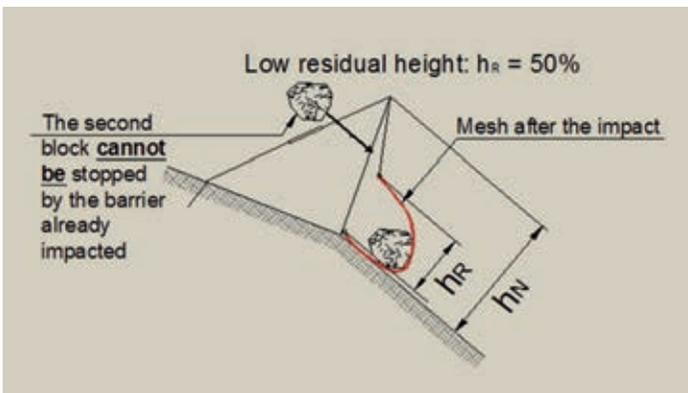
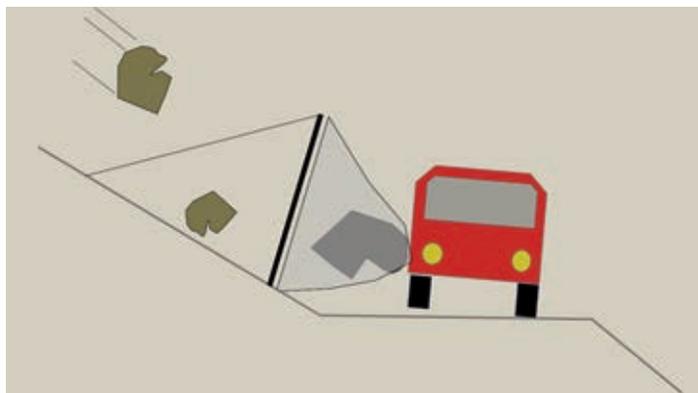
semble des intervenants, le bureau d'études Imsrn s'est focalisé, selon les résultats des simulations, sur l'implantation précise des ouvrages pour répondre aux critères environnementaux prescrits par les bureaux d'études Naturalia et Composite :

→ Privilégier une implantation en lieu et place des ouvrages existants et dans le cas d'une impossibilité, trouver un compromis sécurité/biodiversité ;



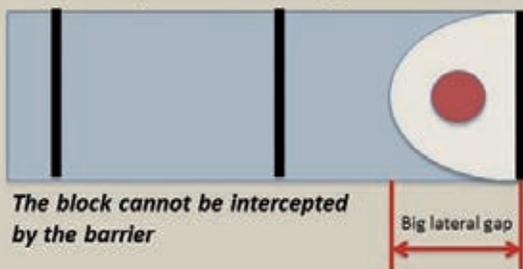
7

© FRANCE MACCAFERRI



### BARRIER N.1:

Length of the protected area  $\neq$  Length of the barrier

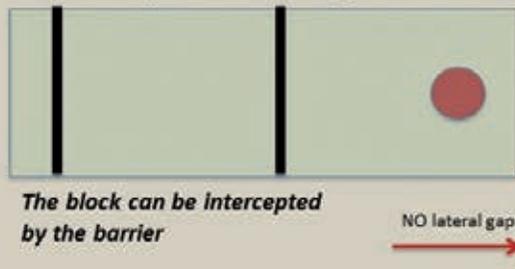


The block cannot be intercepted by the barrier

Big lateral gap

### BARRIER N.2:

Length of the protected area = Length of the barrier



The block can be intercepted by the barrier

NO lateral gap

© FRANCE MACCAFERRI

8

→ Favoriser une implantation en partie basse du cirque rocheux où la présence de végétation est moindre et l'impact paysager limité (figures 3 & 4).

## ÉCRANS PARE-BLOCS DYNAMIQUES

Les écrans pare-blocs dynamiques sont caractérisés par une dissipation d'énergie d'impact essentiellement par déformation. Ces systèmes sont

classifiés comme parade de protection de type passive, car ils sont généralement installés loin de la source de risque de chute de blocs (figure 5). Ils peuvent s'utiliser sur une zone étendue, lorsque les zones de départ de blocs sont dispersées et que les contraintes topographiques ou économiques ne permettent pas l'utilisation d'autre typologie de parade. L'objectif est de freiner et de stopper la propagation de blocs rocheux

pouvant avoir une grande énergie cinétique (de 100 à plus de 8000 kJ). Leur faible emprise au sol permet une implantation dans des pentes abruptes (falaises verticales), dans des éboulis ou des couloirs qui concentrent des chutes de blocs rocheux.

Les écrans pare-blocs dynamiques sont composés de (figure 6) :

→ La structure de soutien (poteaux métalliques), ayant pour but de maintenir la structure d'interception ;

→ La structure d'interception (nappe de filet ou grillage métallique), dont le rôle est de supporter le choc direct de la masse, en se déformant élastiquement et/ou plastiquement et en transmettant les efforts à la structure de soutien et aux composants de liaison ;

→ Des composants de liaison (câbles, freins, etc.), qui transmettent les efforts aux fondations (ancrages). ▷

8- Performances des écrans pare-blocs : déformation, hauteur résiduelle, ouverture latérale.

9- Test ETAG 027 sur l'écran RMC 850/A.

8- Performance of stone-guard screens: deformation, residual height, side opening.

9- ETAG 027 test on the RMC 850/A screen.



© FRANCE MACCAFERRI

9



10

© IMSRN

À noter que les fondations (ancrages) ne font pas partie intégrante du kit, car leur dimensionnement est à la charge du concepteur, dans le respect des dispositions nationales et du type de sol.

### ESSAIS EN GRANDEUR RÉELLE (ETAG 027 & EAD 340059-00-0106)

Afin de définir les performances et comparer le comportement des écrans pare-blocs dynamiques, l'Organisation Européenne pour les Évaluations Techniques (EOTA) a publié en 2008 le Guide ETAG 027, qui a été remplacé en juillet 2018 par le Document d'Évaluation Européenne EAD 340059-00-0106. Il est aujourd'hui la référence mondiale concernant les écrans pare-blocs. Il impose de tester en grandeur réelle les écrans, afin de les comparer de manière univoque. De plus, il garantit la qualité du produit testé, car les fabricants obtiennent le marquage CE sur leurs kits de protection sur la base des spécifications imposées par l'ETAG. L'ETAG 027 a standardisé la procédure de réalisation des essais en grandeur nature sur les écrans pare-blocs (kit) en définissant (figure 7) :

- La forme, la dimension et la densité du bloc utilisé pour le test ;
- La géométrie de l'écran à tester ;



11

© IMSRN

**10- Platelage pour limiter l'érosion des sols.**

**11- Cheminement pédestre.**

**10- Decking to limit soil erosion.**

**11- Pedestrian path.**

- Les caractéristiques de l'impact ;
- La vitesse minimale d'impact : environ 90 km/h ;
- Le site de test doit être capable de lancer le bloc de test à la vitesse d'essai contre le kit. Le site peut être en chute verticale ou inclinée et doit garantir qu'aucune interférence entre le bloc et le terrain ne se produise pendant l'impact ;
- Trois essais doivent être performés sur deux écrans distincts : le premier kit doit stopper l'énergie maximale absorbable par le kit (*Maximum Energy Level* : MEL, ex. 3 000 kJ) ; tandis que le deuxième kit (équivalent au premier) doit stopper 2 impacts consécutifs à l'énergie de service (*Serviceability Energy Level* : MEL  $\geq$  3 SEL, ex. 1 000 kJ).

TABLEAU 1 :  
PERFORMANCES DE L'ÉCRAN RMC 850/A ENREGISTRÉES SUITE AU TEST EN GRANDEUR NATURE

Performance enregistrée	Test MEL	Test SEL-1	Test SEL-2
Énergie d'impact	8 644 kJ (Catégorie d'énergie : 8)	3 149 kJ	3 176 kJ
Hauteur résiduelle	57,6% (Catégorie selon la hauteur résiduelle : A)	76,2%	ND
Déformation dynamique	8,10 m	5,60 m	6,55 m
Ouverture latérale	0,00 m	0,00 m	ND

TABLEAU 2 : TYPES DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION SELON LES COMPOSANTS

Composant du kit	Protection contre la corrosion	Norme de référence
Poteaux et plaque de base des poteaux	Galvanisation à chaud Peinture anti-corrosion*	EN ISO 1461 ACQPA C5M H
Filets MacRing (structure d'interception primaire)	Alliage Zinc 95% + Aluminium 5% de classe A	NF EN 10244-2
Grillage double torsion de doublage	Alliage Zinc 95% + Aluminium 5% de classe A	NF EN 10244-2
Câbles et haubans	Alliage Zinc 95% + Aluminium 5% de classe A	NF EN 10264-2
Manilles, serre-câbles et accastillage	Galvanisation à chaud	EN ISO 1461
Ancrages en barres (pied de poteau)		
Ancrages en double câble spiroïdal (haubans)	Galvanisation en Zinc de classe A + une protection externe de la tête de l'ancrage avec un tube en multicouche en matériau polymérique	NF EN 10264-2

\* La peinture a été appliquée à la fois pour donner une protection contre la corrosion, mais aussi pour réduire l'impact visuel des éléments en acier grâce à la couleur RAL 7042.

TABLEAU 3 : NORME ISO 17745 (FILETS À ANNEAUX) QUI DÉFINIT LA DURABILITÉ DU PRODUIT EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DU REVÊTEMENT SUR LE FIL MÉTALLIQUE

Site environment level (in accordance with ISO 9223:2012, Table 4)	Coating	Class (ISO 7989-2)	Estimated working life of the product (year)
Low aggressive: (C2) Dry conditions Temperate zone, atmospheric environment with low pollution, e.g. rural areas, small towns (over 100 m above sea level). Dry or cold zone, atmospheric environment with short time of wetness, e.g. deserts, sub-arctic areas.	Zinc	A	25
	Zn95% / A15% alloy	A B	50 25
	Advanced metallic coating	A B	120 50
Medium aggressive: (C3) Dry conditions Temperate zone, atmospheric environment with medium pollution or some effect of chlorides, e.g. urban areas, coastal areas with low deposition of chlorides, e.g. subtropical and tropical zone, atmosphere with low pollution.	Zinc	A	10
	Zn95% / A15% alloy	A B	25 10
	Advanced metallic coating	A B	50 25
High aggressive: (C4) Wet conditions Temperate zone, atmospheric environment with high pollution or substantial effect of chlorides, e.g. polluted urban areas, industrial areas, coastal areas, without spray of salt water, exposure to strong effect of de-icing salts, e.g. subtropical and tropical zone, atmosphere with medium pollution, industrial areas, coastal areas, shelter positions at coastline.	Zn95% / A15% alloy	A	10
	Advanced metallic coating	A B	25 10

Lors des essais (MEL et SEL), les performances (figure 8) qui doivent être enregistrées sont :

- L'énergie d'impact (au MEL et au SEL) ;
- L'élongation dynamique maximale de la structure d'interception ;
- La hauteur résiduelle : distance minimale entre le câble de rive inférieur et le câble de rive supérieur ;
- L'ouverture latérale de la structure d'interception : distance maximale qui peut se former entre le poteau latéral et la structure d'interception ;
- Les forces agissantes sur les fondations ;
- Les photos et descriptions des dommages subis par le kit de protection pendant le test.

### L'ÉCRAN DE 8 600 kJ (RMC 850/A)

L'écran retenu pour le chantier du Cap Sicié est le RMC 850/A commercialisé par France Maccaferri. Il s'agissait de la première installation en France d'écrans pare-blocs ayant une énergie supérieure à 5 000 kJ.

Il présente les caractéristiques présentées dans le tableau 1.

Le test en grandeur nature de l'écran RMC 850/A a été réalisé sur le site d'essais de Maccaferri à Belluno (Italie) (figure 9).

Les critères techniques ayant conduit au choix de l'écran RMC 850/A sont les suivants :

- La capacité énergétique est supérieure aux spécifications de projet ( $E > 8 000$  kJ). Au moment de la réalisation des travaux, cet écran représentait la barrière pare-blocs, testée et certifiée CE, avec les performances les plus élevées du marché en termes d'absorption d'énergie ;
- La hauteur résiduelle de catégorie A ( $\geq 50\%$  de la hauteur nominale) ;
- L'absence d'ouverture latérale ;
- Les efforts sur les ancrages limités ;
- Le poids des composants réduit pour faciliter les opérations d'hélicoptère lors de l'installation ;
- La hauteur certifiée de 7,0 à 8,0 m et donc conforme aux spécifications du projet ( $H = 8,0$  m).

En ce qui concerne la protection contre la corrosion des différents éléments composants le kit de protection, le choix s'est porté sur les revêtements qui, au moment des travaux, présentaient les performances les plus élevées du marché, dans le respect des préconisations pour le maintien de la certification CE du produit testé.



12

© IMGRN

Pour définir les protections contre la corrosion des filets, câbles et grillages, nous nous sommes référés aux normes NF EN 10223-3 (grillage double torsion), ISO 17745 (filets à anneaux) et ISO 17746 (câbles).

Nous avons considéré que le site pouvait être classé comme un environnement de type C4, conformément à la norme ISO 9223:2012 : "environnement très agressif", lié à la proximité de la mer (quelques dizaines de mètres). Les protections contre la corrosion adoptées sont présentées dans le tableau 2.

### CONTRAINTES DU SITE ET INSTALLATION DES OUVRAGES

La station étant située au cœur d'un site classé, la zone de travaux est soumise à des restrictions environnementales générant des contraintes temporelles au niveau du planning.

Les travaux doivent être phasés sur plusieurs années afin de respecter notamment les périodes de reproduction des espèces protégées.

Les périodes autorisées étant relativement courtes, les travaux ont été divisés en 3 phases :

→ **Phase 1** : novembre 2018 à février 2019 - Réalisation de la première partie des écrans pare-blocs ;

→ **Phase 2** : août 2019 à février 2020 - Réalisation de la seconde partie des écrans pare-blocs et de l'avaloir ;

→ **Phase 3** : août 2020 à février 2021 - Finalisation des écrans pare-blocs et confortement des instabilités présentant un aléa élevé à très élevé et susceptibles de dépasser la capacité énergétique des écrans.

La répartition de la charge de travail selon les différentes phases de travaux a été étudiée étroitement avec l'entreprise en charge des travaux, Epc France, afin de respecter au mieux les délais imposés par les contraintes environnementales et les conditions météorologiques du site tout en assurant la sécurité du personnel de chantier grâce à l'intervention de la société Qualiconsult en charge de la coordination sécurité de chantier.

### 12- Implantation in situ des ouvrages.

### 12- In-situ layout of the structures.

### LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Pour répondre aux contraintes environnementales du site, diverses dispositions ont été mises en place pour limiter les effets néfastes de l'anthropisation.

En voici quelques exemples :

- Les espèces végétales protégées ont été balisées par des drapeaux de couleur pour faciliter leur identification et éviter leur piétinement ;
- Des cheminements pédestres ont été matérialisés et des dispositifs tels que des platelages ont été installés pour éviter l'érosion accélérée des sols (figures 10 & 11) ;

→ L'implantation des écrans pare-blocs a été réalisée in situ afin de convenir d'une position optimale répondant aux contraintes environnementales et topographiques du site (figure 12). Les longueurs des modules ont été adaptées pour éviter l'implantation d'ancrages sur des plants ;

→ Une procédure spécifique a été mise en place pour l'enlèvement des écrans pare-blocs existants avec découpe des grillages au sol pour éviter l'arrachement d'espèces protégées ;

→ Un calendrier d'intervention a été étudié, notamment pour les phases d'héliportage, afin de limiter le dérangement des espèces et un plan de vol a été élaboré pour tenir compte des sensibilités écologiques.

### L'INSTALLATION DES OUVRAGES

La pose des écrans a été simple et rapide grâce à l'héliportage des composants du kit (figure 13). Aussi, les faibles efforts agissant sur les fondations ont permis de limiter les longueurs des ancrages.



13a



13b



13c

Lors de l'héliportage, les poteaux étaient équipés avec les haubans amont, les haubans latéraux (pour les poteaux d'extrémités et les tronçons de câble longitudinaux supérieurs et inférieurs équipés de dissipateurs d'énergie). Le poids total de ces composants était inférieur à 1 000 kg, qui était la limite imposée par l'hélicoptère.

La forte présence de vent et la hauteur importante des poteaux (presque 9 m) ont nécessité l'installation de haubans aval afin d'éviter la problématique de renversement des poteaux vers l'amont pendant la phase initiale du montage. □

**13- Préparation des composants, héliportage et phase de positionnement du poteau à l'aide de l'hélicoptère.**

**13- Preparation of components, helicopter transport and phase of pole positioning by helicopter.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**LOT 1 : 1 700 m<sup>2</sup> d'écran RMC850/A, hauteur 8 m, longueur 212 m**

**LOT 2 : 1 200 m<sup>2</sup> d'écran RMC850/A, hauteur 8 m, longueur 150 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Métropole Toulon Provence Méditerranée

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Ims-Rn (agence de Nice)

**ENTREPRISE :** Epc France

**FOURNISSEUR DE L'ÉCRAN :** France Maccaferri

## ABSTRACT

### PROTECTION OF THE ROCK FACE OVERHANGING THE AMPHITRIA SEWAGE PLANT OF CAPE SICIÉ AT SEYNE-SUR-MER

ALBERTO GRIMOD, MACCAFERRI - CÉLINE HAOUY, GINGER CEBTP (IMSRN)

**Dynamic stone-guard screens** are very effective systems for passive protection against falling stones. The article presents a case study of 362 metres of a dynamic barrier having a capacity of 8,600 kJ to protect the Amphitria sewage plant of the city of Toulon, at Cape Sicié (Var region). The structures were designed on the basis of trajectory calculation studies to define their capacity (energy), length and height. Special attention was paid to the site's environment, given the presence of sensitive plant and animal species. This criterion influenced the choice of solution, its layout and its installation phases. □

### PROTECCIÓN DEL FRENTE ROCOSO QUE SE ALZA SOBRE LA ESTACIÓN DEPURADORA AMPHITRIA DEL CABO SICIÉ, EN SEYNE-SUR-MER (83)

ALBERTO GRIMOD, MACCAFERRI - CÉLINE HAOUY, GINGER CEBTP (IMSRN)

**Las pantallas parabloques dinámicas** son sistemas muy eficaces de protección pasiva contra el desprendimiento de piedras. El artículo presenta un caso de estudio de 362 m de barrera dinámica con una capacidad de 8 600 kJ que protege la estación depuradora Amphitria, que trata las aguas residuales de la ciudad de Toulon, en el cabo Sicié (83). Las estructuras se han dimensionado a partir de estudios de trayectografía para definir su capacidad (energía), su longitud y su altura. Se ha prestado especial atención al contexto medioambiental del lugar, teniendo en cuenta la presencia de especies vegetales y animales sensibles. Este criterio ha condicionado la elección de la solución, su implantación y sus fases de instalación. □



© EGIS

# LA RÉNOVATION DES TUNNELS DE BRUXELLES

AUTEURS : OLIVIER GAY, RESPONSABLE DÉPARTEMENT INSTRUMENTATION & PATHOLOGIE, EGIS - EJNER THEILGAARD, EXPERT STRUCTURE, EGIS - JÉRÔME BLANCHARD, DIRECTEUR EGIS TUNNELS, EGIS - DAN BAKALLI, INGÉNIEUR CHEF DE PROJETS OUVRAGES D'ART, BRUXELLES MOBILITÉ - VINCENT THIBERT, DIRECTEUR A.I. PROJETS D'OUVRAGES D'ART, BRUXELLES MOBILITÉS

LA RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE EST IRRIGUÉE PAR 26 TUNNELS CONSTRUITS À PARTIR DES ANNÉES CINQUANTE ET QUI PRÉSENTENT AUJOURD'HUI DES PATHOLOGIES DIVERSES. BRUXELLES MOBILITÉ, GESTIONNAIRE DES ÉQUIPEMENTS, DES INFRASTRUCTURES ET DES DÉPLACEMENTS DE LA RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE, S'EST LANCÉE DANS UN PROGRAMME DE RÉNOVATION SUR 15 ANS ET A CONFIE À EGIS UNE MISSION D'ASSISTANCE POUR LE DIAGNOSTIC DES OUVRAGES ET LA PROGRAMMATION DES RÉPARATIONS, DANS LE RESPECT DES CONTRAINTES DE CIRCULATION ET DE MAINTIEN DE L'EXPLOITATION.

## CONTEXTE

La Région de Bruxelles-Capitale, qui comprend 19 communes dont celle de Bruxelles-Ville, cœur historique dont la fondation date de plus de mille ans, est à la fois la capitale de la Belgique, de la Fédération Wallonie-Bruxelles, de la Communauté flamande

et le siège de l'Union européenne. Une population bruxelloise actuelle de plus de 1,2 millions d'habitants emprunte aujourd'hui les infrastructures urbaines de transports donc les ouvrages souterrains de type tunnel routier, sans oublier les nombreux navetteurs transitant entre la région

**1- Reprise de l'étanchéité du tunnel Rogier.**

**1- Repair of the Rogier Tunnel waterproofing system.**

bruxelloise et les régions wallonne et flamande.

Au travers de cet enjeu fort de déplacement urbain, les 26 tunnels bruxellois, dont une part importante date des années 1950, ont été diagnostiqués pour la plupart comme vétustes avec des dispositions de sécurité parfois



En ce qui concerne le génie civil, comme les tunnels en question ont été construits majoritairement par phases à travers des décennies, pendant presque 70 ans, on se trouve en face d'une collection de toutes les méthodes de construction et de tous les types de structures adoptés depuis les années 50.

En conséquence, même si les pathologies rencontrées sont en général courantes, à savoir la pollution aux chlorures et la carbonatation, les contextes sont multiples et les approches sont par ailleurs différentes selon les structures, l'avancement de la dégradation et les contraintes d'exploitation rencontrées.

La rénovation du génie civil des plafonds concerne la dégradation des bétons et parfois des aciers (corrosion) engendrée principalement par deux phénomènes :

- Pénétration des chlorures dus aux sels de déverglaçage ;
- Front de carbonatation important dû à la pollution ambiante (gaz d'échappement des véhicules).

La plupart des plafonds des tunnels dégradés présentent des pathologies de fissurations, d'épaufures et d'éclats de béton ainsi que de la corrosion au niveau des aciers (figure 4).

Selon l'avancement des pathologies et la structure à rénover, les traitements sont des purges et ragréages, de la protection anticorrosion sur les armatures, de la protection galvanique localisée et pour les ouvrages avec une pathologie très avancée une protection cathodique dont le principe est illustré ici (figures 5 et 6).

La protection cathodique s'inscrit dans une démarche curative et/ou préventive



4  
© EGIS

de la protection du béton armé. Il s'agit d'un traitement efficace pour arrêter et prévenir la corrosion dans un béton en environnement agressif, par exemple lorsque les ions chlorures ou le front de carbonatation ont atteint les armatures. Ce procédé présente l'avantage de ne pas purger systématiquement les bétons pollués, seules les zones dégradées ou non adhérentes étant retirées. Le fait de limiter les purges est moins agressif pour les structures que la solution traditionnelle de réparation qui consiste à retirer tous les bétons (contrainte de phasage, de note de calcul et d'étalement). La protection cathodique protège les armatures qui se trouvent dans les bétons pollués, limite le risque de création de nouvelles zones anodiques à proximité des réparations et assure une pérennité des réparations de l'ordre de 25 ans. La protection cathodique est aussi une solution pour traiter les apports de pol-

luants depuis d'extrados qui ne pourraient être maîtrisés.

À noter que tous les procédés de protection cathodique du béton armé sont soumis à la norme EN 12696.

Pour certains des 14 ouvrages, les inspections ont révélé que l'imperméabilité n'était plus assurée et l'extrados sera dégagé pour permettre la mise en place d'une nouvelle étanchéité. Comme les ouvrages sont tous des tranchées couvertes, l'analyse technique a conclu que l'intervention en partie extérieure supérieure était plus pérenne et économique. Cet exemple est illustré sur le tunnel Rogier (figure 1).

#### ORGANISATION DES TRAVAUX

La complexité d'organisation des travaux provient à la fois du contexte urbain, du nombre d'ouvrages souterrains à traiter sur une période de 3 ans, de la variabilité des travaux (purges, ragréages, protection galvanique localisée ou cathodique sur des surfaces importantes, étanchéité de surface et terrassements associés ...) et des configurations de fermetures des ouvrages (par directions selon des passages adaptés, totales durant des périodes estivales ou bien simplement nocturnes en intégrant les problématiques de réouverture chaque matin). À titre d'exemple, est présenté, en figure 7, le planning prévisionnel des travaux présenté à la commission de coordination des chantiers (CCC) de la région bruxelloise.

Comme indiqué précédemment, le programme de rénovations des plafonds des 14 ouvrages souterrains n'est qu'un aspect du Programme Pluriannuel d'Investissement (PPI) dans les

#### 4- Reprise de bétonnage dégradée du tunnel Tervuren.

#### 5- Principe électrochimique de la corrosion des armatures.

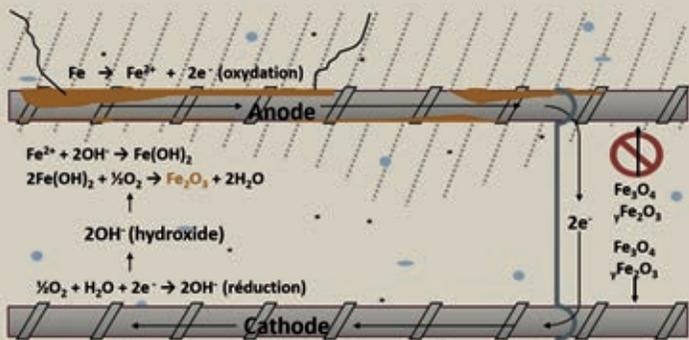
#### 6- Principe électrochimique de la protection cathodique.

#### 4- Degrade construction joint in Tervuren Tunnel.

#### 5- Electrochemical principle of reinforcement corrosion.

#### 6- Electrochemical principle of cathodic protection.

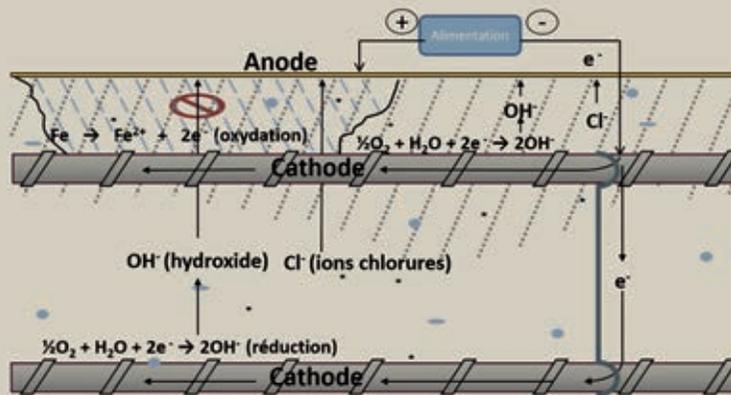
### PRINCIPE ÉLECTROCHIMIQUE DE LA CORROSION DES ARMATURES



5

© THOMAS MARCUCCILLI

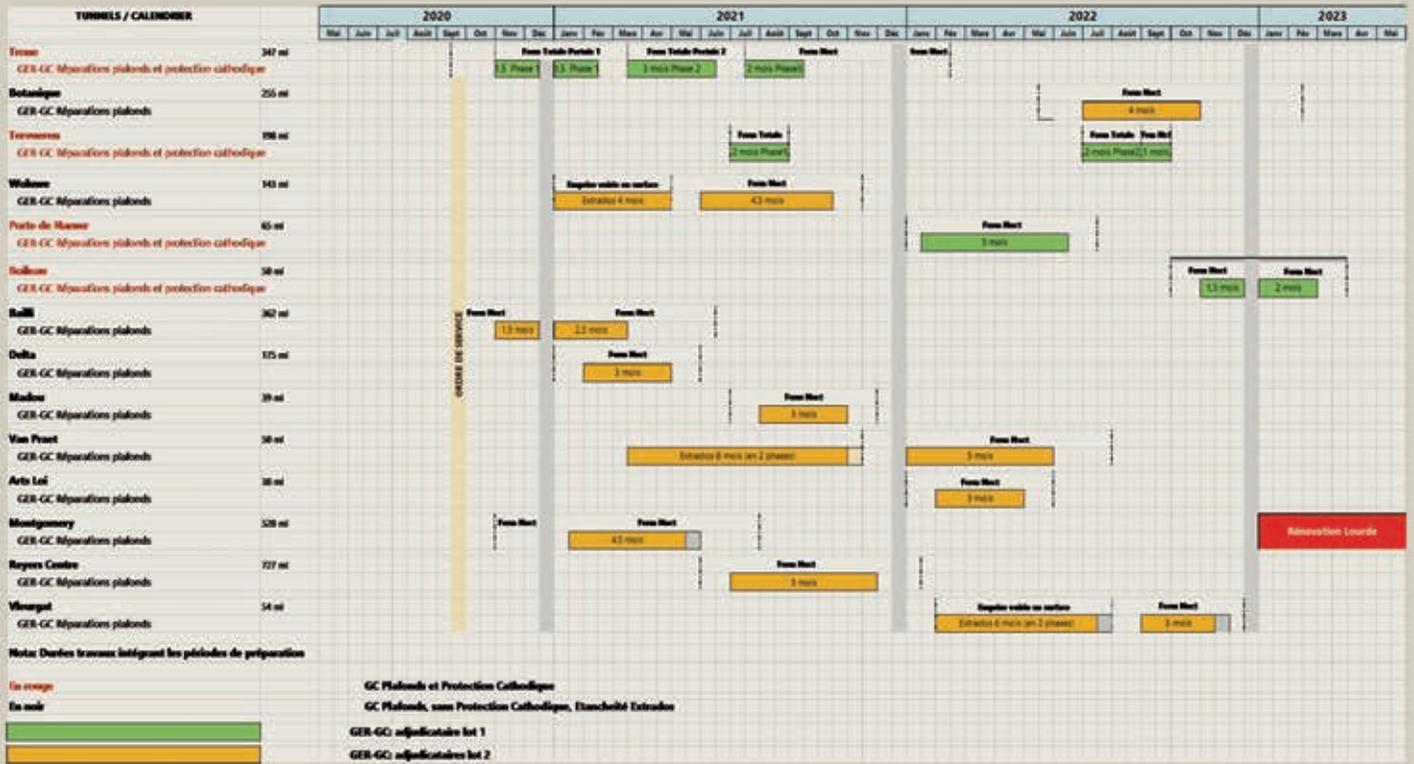
### PRINCIPE ÉLECTROCHIMIQUE DE LA PROTECTION CATHODIQUE



6

© THOMAS MARCUCCILLI

## PLANNING PRÉVISIONNEL DE TRAVAUX DE RÉPARATION DES 14 TUNNELS



7  
© EGIS

### 7- Planning prévisionnel de travaux de réparation des 14 tunnels.

### 8- Niche de secours dans le tunnel Montgomery.

### 9- Pathologie au-dessus de l'éclairage et proche d'un caméra de surveillance (tunnel Reyers C).

### 7- Forecast work schedule for repair of the 14 tunnels.

### 8- Emergency recess in Montgomery Tunnel.

### 9- Disorder above the lighting and close to a surveillance camera (Reyers C Tunnel).

tunnels. Un programme de rénovations lourdes des tunnels au-dessus de 300 m a été programmé comportant l'établissement d'escaliers d'évacuation et de niches de secours (figure 8), remplacements d'éclairage, protection anti-feu par panneaux ou produits projetés, renouvellement des installations électriques, remplacement de la ventilation. Pour les tunnels inférieurs à 300 m, la rénovation des murs latéraux,

le renouvellement de l'éclairage et le remplacement des installations électriques sont également prévus dans le PPI en fonction de l'état constaté de ces équipements.

Les travaux des plafonds s'inscrivent donc dans une programmation globale d'autant plus que les travaux en question ne peuvent pas être réalisés sans le démontage complet ou partiel de toutes les installations accro-

chées au plafond (câbles électriques, vidéo-surveillance, fibres optiques de détection de feu, éclairage, etc.) (figure 9). Sans omettre des panneaux de bardage des murs latéraux et de séparation des pertuis, qui doivent également être démontés pour permettre l'intervention.

Le planning des travaux, tant au niveau global sur la région qu'au niveau local en phasage des zones de travaux, ▷



8  
© EGIS



9  
© EGIS



10  
© EGIS

devient donc une programmation demandant l'intervention de multiples experts en termes de trafic, de sécurité (surveillance, incendie, évacuation), de pathologies et réparations, de résistance des structures et d'installations électriques et ne peut se faire sans une coordination transversale assurant le maintien d'une exploitation sécuritaire de façon à prévoir un service minimum acceptable pour les usagers des axes principaux de la petite ceinture de Bruxelles.

Les tunnels étant anciens et comportant souvent un flocage de protection au feu, un bilan au plomb et à l'amiante est en cours pour tous les tunnels. En ce qui concerne le plomb, on observe que, dans les tunnels datant de l'époque de l'essence au plomb, on retrouve systématiquement de la poussière au plomb sur les équipements et derrière les panneaux de bardage.

Pour évaluer la faisabilité des opérations, Bruxelles Mobilité a lancé un chantier d'essai en 2019 dans le tunnel Rogier (figure 10). Cette opération

a permis aux différents intervenants institutionnels de tester l'organisation de la coordination et d'établir une approche tenant compte des contraintes liées avec les tunnels en exploitation urbaine.

#### CONCLUSIONS

La rénovation des tunnels de Bruxelles est une opération urbaine de complexité incomparable à l'heure actuelle. Les techniques de rénovation sont relativement classiques même en ce qui concerne la protection cathodique, malgré l'étendue des surfaces de plafond à traiter. Cette dernière technique est désormais mieux maîtrisée, même si elle demande le recours à des entreprises hautement spécialisées.

La complexité des travaux réside dans la transversalité de l'opération entre le génie civil des structures, les équipements des installations électromécaniques, l'intervention complexe dans des tunnels en exploitation avec l'aspect sécurité des intervenants et des usagers, protection incendie, maintien

#### 10- Hydrodémolition dans le tunnel Rogier.

#### 10- Hydro-demolition in Rogier Tunnel.

rer une coordination à travers des différents intervenants, organismes et administrations de façon à obtenir un consensus minimisant la perturbation globale et optimisant l'opération en concédant des gênes localisées et maîtrisées.

Celles-ci peuvent être des fermetures ponctuelles ou temporaires des tunnels, le fonctionnement réduit de la circulation ou une programmation fine d'opérations nécessitant des moyens supplémentaires. □

des conditions minimales de circulation au sein de la région bruxelloise. Les missions d'Egis participent donc à maintenir la communication, assu-

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Bruxelles Mobilité

**ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE :** Egis

**BUREAU D'ÉTUDES BRUXELLOIS EN URBANISME ET ÉTUDES DE MOBILITÉS :** Agora

**DIAGNOSTICS COMPLÉMENTAIRES :**

**Orex Geotechnics (laboratoire belge)**

**DIAGNOSTICS AMIANTE / PLOMB & POUSSIÈRES :**

**Ad Inge + Veritas**

#### ABSTRACT

### TUNNEL RENOVATION IN BRUSSELS

OLIVIER GAY, EGIS - EJNER THEILGAARD, EGIS - JÉRÔME BLANCHARD, EGIS - DAN BAKALLI, BRUXELLES MOBILITÉ - VINCENT THIBERT, BRUXELLES MOBILITÉ

**The 26 tunnels ensuring a fluid flow of traffic in the city of Brussels are undergoing an investment programme carried out over 15 years by their manager Bruxelles Mobilité. This programme was established by Egis based on a major campaign of investigations and diagnoses, which pinpointed disorders due to chloride pollution and carbonation. The renovation programme comprises a variety of works (drainage, resurfacing, localised galvanic protection or cathodic protection on large surfaces, surface waterproofing and associated earthworks, etc.) and works to improve fire safety, which have to be carried out in overall coordination on the city level and in consultation with numerous stakeholders. □**

### LA RENOVACIÓN DE LOS TÚNELES DE BRUSELAS

OLIVIER GAY, EGIS - EJNER THEILGAARD, EGIS - JÉRÔME BLANCHARD, EGIS - DAN BAKALLI, BRUXELLES MOBILITÉ - VINCENT THIBERT, BRUXELLES MOBILITÉ

**Los 26 túneles que irrigan la ciudad de Bruselas son objeto de un programa plurianual de inversión de 15 años de duración, aplicado por su ente gestor Bruxelles Mobilité. Este programa ha sido elaborado por Egis sobre la base de una importante campaña de investigación y diagnóstico, que ha revelado patologías relacionadas con la contaminación por cloruros y carbonatación. Este programa de renovación incluye distintas obras (purgas, nivelaciones, protección galvánica localizada o catódica sobre importantes superficies, estanqueidad de superficie y movimientos de tierras asociados), así como trabajos de protección contra incendios, que deben llevarse a cabo en coordinación global a escala de la ciudad y en concertación con múltiples actores. □**



1

© SETEC

# RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE LA CORNICHE KENNEDY À MARSEILLE

AUTEURS : NICOLAS BENNATI, DIRECTEUR TRAVAUX, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, DIRECTEUR DE PROJET, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, INGÉNIEUR TRAVAUX, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, DIRECTEUR COMMERCIAL, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SETEC DIADES

**LA ROUTE DE LA CORNICHE KENNEDY EST UN LIEU EMBLÉMATIQUE DE MARSEILLE, QUI LONGE LA MER ENTRE LA PLAGE DES CATALANS ET LES PLAGES DU PRADO. DES TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT RÉALISÉS ENTRE 1954 ET 1968 ONT PERMIS DE CRÉER UNE PROMENADE PIÉTONNE EN ENCORBELLEMENT AU-DESSUS DE LA MER. EXPOSÉS DEPUIS PLUS DE 50 ANS AUX EMBRUNS MARINS, CES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ PRÉSENTENT DE FORTES PATHOLOGIES DE CORROSION DES ARMATURES ET PLUSIEURS SONT DANS UN ÉTAT PRÉOCCUPANT. IL ÉTAIT DONC NÉCESSAIRE DE LES RÉPARER.**

La route de la Corniche à Marseille relie les quartiers d'Endoume et du Roucas Blanc en longeant la mer, de la plage des Catalans à celles du Prado. Elle a été édifiée entre 1848 et 1863, alors qu'elle n'était à l'origine qu'un simple chemin de terre escarpé. Au XX<sup>e</sup> siècle, de nouveaux travaux d'élargissement se sont déroulés en trois phases successives, de 1954 à 1968, pour créer une promenade piétonne en encorbellement au-dessus de la mer. Le tramway de l'époque (figure 2) a été supprimé et remplacé par une chaussée à 2x2 voies de cir-

**1- Vue d'ensemble.**

**1- General view.**

culatation. La Corniche fût alors baptisée du nom de John Fitzgerald Kennedy, en hommage au président des États-Unis, assassiné en 1963 pendant les travaux. La promenade piétonne se compose de deux trottoirs dénivelés séparés par un banc, connu pour être le plus long du monde (figure 3). Elle offre durant près de 2 km un superbe panorama

sur la mer et les îles du Frioul et elle est devenue au fil du temps un lieu privilégié pour les promeneurs et les joggers de la ville.

En zone courante, les ouvrages en encorbellement sont constitués de consoles en béton armé d'inertie variable, de 4 mètres de portée, espacées les unes des autres de 4 mètres environ, et ancrées par des tirants passifs dans un mur de soutènement poids. C'est sur ces consoles que reposent les dalles en béton qui supportent les deux trottoirs et le banc. En rive côté mer, un parapet épais en béton

sert de garde-corps (figures 4 et 5). Entre la plage du Prophète et la source du Roucas Blanc, il y a 6 brèches importantes à franchir. Au droit de ces brèches, les consoles des encorbellements sont fixées sur des ouvrages d'art de type caisson en béton précontraint.

Depuis plus de cinquante ans, tous ces ouvrages en béton armé et précontraint, qui supportent l'élargissement de la corniche, ont été soumis à un environnement marin particulièrement agressif et présentent de ce fait par endroits des dégradations importantes. ▶

Plusieurs zones localisées étaient dans un état critique et il était donc nécessaire d'engager des travaux de réhabilitation. La pathologie majeure est la corrosion des aciers. Elle est principalement liée à l'attaque des ions chlorure provenant des embruns et de l'atmosphère marine en général. Ils ont pénétré dans le béton au-delà des zones d'enrobage et leur taux de concentration est supérieur aux normes actuelles (figure 6). C'est dans ce contexte que la Direction des Infrastructures d'Aix-Marseille-Provence Métropole (Difra) a entrepris un vaste projet de réhabilitation de la corniche et choisi, en 2016, d'en confier la maîtrise d'œuvre complète aux ingénieurs du groupe Setec.

L'opération concerne l'ensemble des ouvrages constitutifs de la Corniche J.F. Kennedy entre le Marégraphe et l'Hôtel Palm Beach, dans le 7<sup>e</sup> arrondissement de Marseille et consiste, suivant l'état des différents éléments structurels, soit à les réparer, soit à les remplacer par des éléments neufs. Les études ont commencé en septembre 2016 par un diagnostic visuel complet de l'ouvrage réalisé à l'aide d'un drone. Ce diagnostic a permis de dresser une véritable cartographie des désordres, et d'estimer suivant les différentes zones la gravité des pathologies. Il a ensuite fallu procéder, au cas par cas, à un arbitrage entre la réparation et le remplacement à neuf, en évitant de trop morceler l'opération. Le choix devait également tenir compte des techniques constructives de l'époque, qui ont évolué au fil des trois tranches



CARTE POSTALE ANCIENNE © DR

2

de travaux d'élargissement. En effet, pour la tranche la plus ancienne (1957), les dalles et le parapet ont été réalisés coulés en place, le parapet jouant un rôle de poutre retroussée, tandis que, pour les deux autres tranches (1961 à 1965), les dalles et le parapet sont des éléments préfabriqués.

Conformément au souhait de la Métropole, les éléments neufs ont été conçus de manière à ne pas dénaturer l'ouvrage d'origine, tout en utilisant des techniques modernes de génie civil aptes à lui redonner une plus grande durabilité. Ainsi, les dalles en béton armé sont préfabriquées et coulées avec un béton formulé selon

**2- Vue aérienne de la Corniche avant les travaux d'élargissement du XX<sup>e</sup> siècle.**

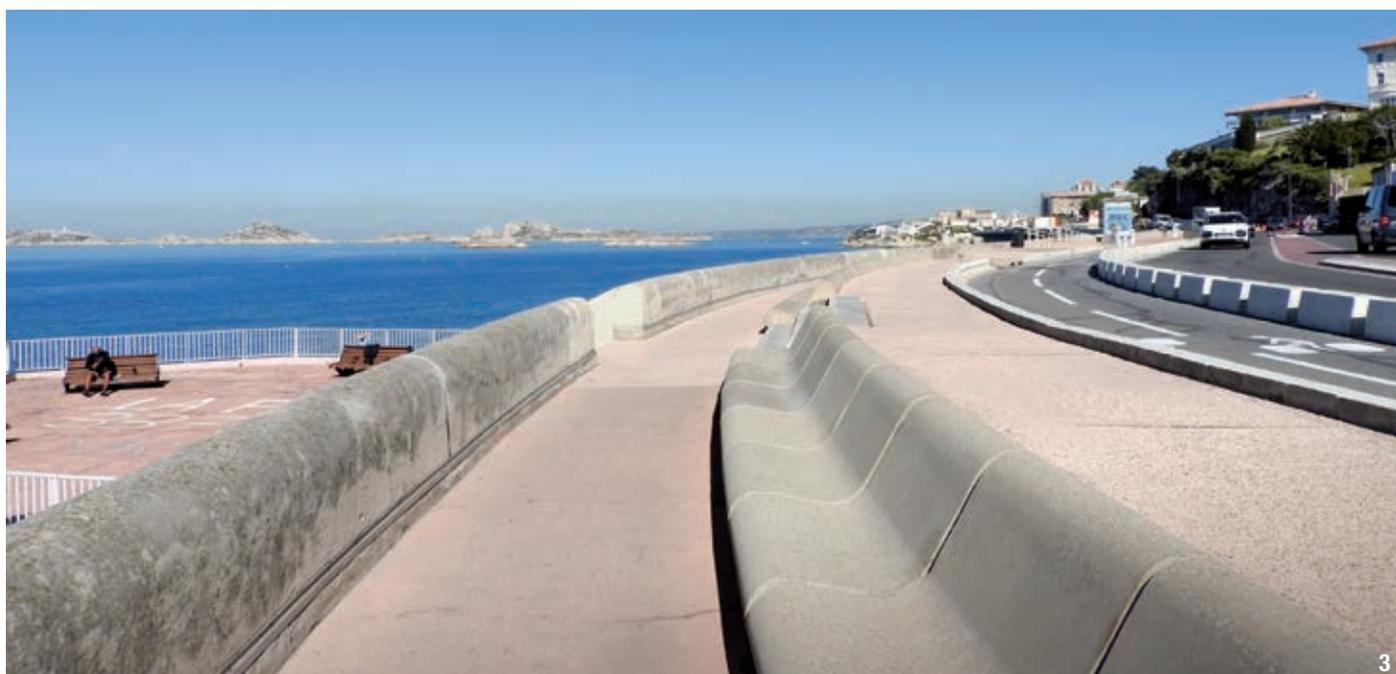
**3- Vue de la corniche avant les travaux de rénovation.**

**2- Aerial view of the coastal road before widening works in the 20th century.**

**3- View of the coastal road before the renovation works.**

l'approche performantielle. C'est une démarche innovante, fondée sur la notion d'indicateurs de durabilité. Elle consiste à prescrire dès la conception des exigences de performance à atteindre pour le béton en termes de résultats et non plus en termes de moyens, et de quantifier ces exigences à l'aide de 4 indicateurs de durabilité (porosité accessible à l'eau, perméabilité apparente aux gaz, coefficient de diffusion apparent des ions chlorure, résistivité électrique).

Le banc et le parapet sont remplacés en totalité par des éléments neufs préfabriqués de 1 m de long. Ils sont réalisés en béton fibré ultra hautes



© SETEC

3





6 © SETEC



7 © ENTREPRISE

L'ensemble du linéaire est ainsi découpé en quatre tranches de longueur variant entre 300 m et 600 m. Elles seront traitées sur quatre années successives jusqu'en 2022, pendant les 7 mois de la période hivernale, pour restituer l'ouvrage aux Marseillais et aux touristes de mai à septembre. Pendant les périodes de travaux, la circulation des véhicules est réduite temporairement à 2x1 voie pour libérer les emprises nécessaires au chantier, mais un cheminement piéton est néanmoins conservé côté mer. Des palissades de

chantier transparentes préservent la vue sur la mer et les riverains peuvent ainsi suivre au quotidien l'avancée du chantier.

Après une première tranche de travaux longue de 300 m environ à partir du Marégraphe, réalisée entre octobre 2018 et mai 2019, la seconde tranche, qui a démarré en novembre 2019, est actuellement réalisée par le groupement : Eiffage Génie civil - Gtm Sud - Freyssinet - Colas.

Afin de répondre aux exigences spécifiques du marché de cette seconde

**6- Vue de la sous-face de la corniche avant travaux.**

**7- Vue du fraisage des trottoirs.**

**8- Vue de l'échafaudage.**

**6- View of the underside of the coastal road before works.**

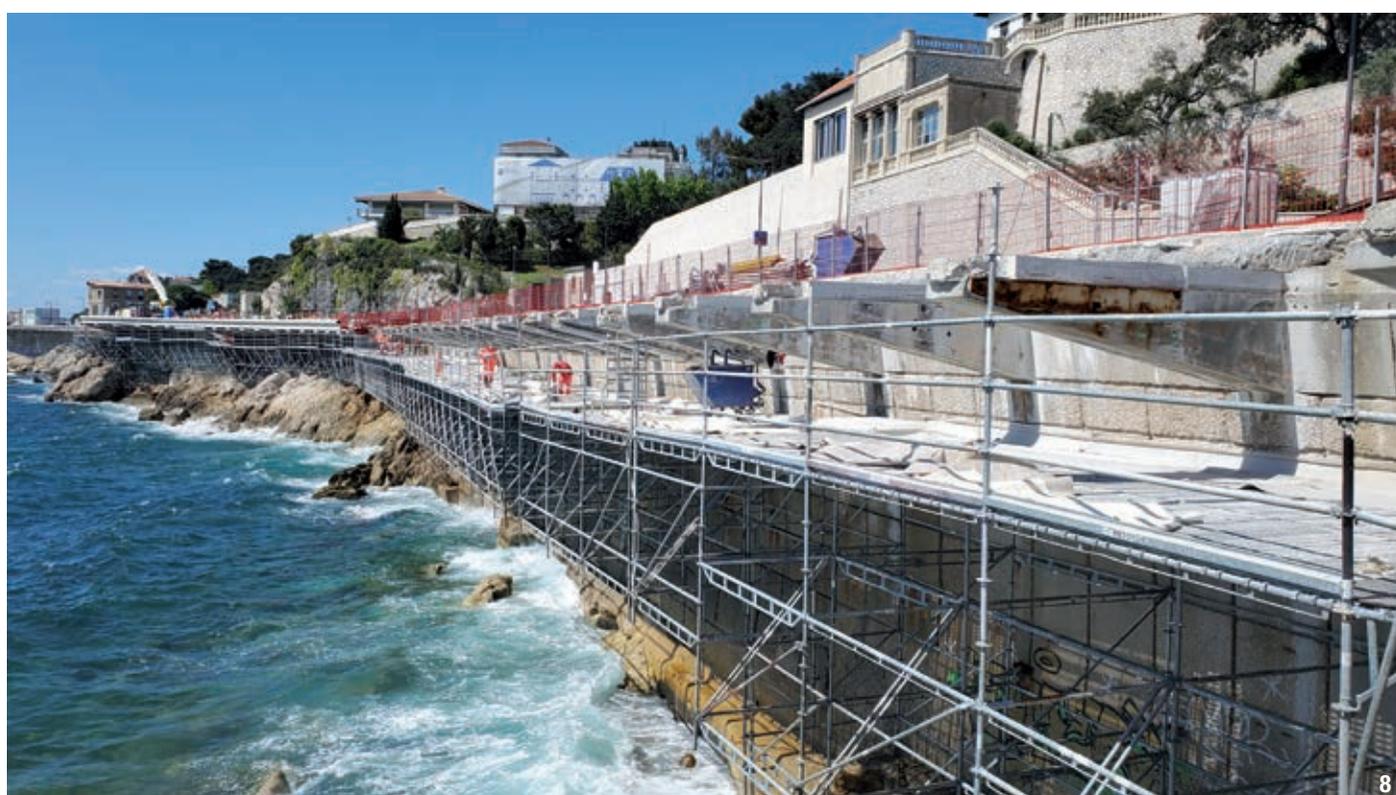
**7- View of grinding of the footpaths.**

**8- View of the scaffolding.**

tranche, le groupement est composé de 4 entreprises et organisé de la manière suivante :

- Eiffage Génie Civil : Mandataire et travaux de génie civil ;
- Gtm Sud : Travaux de génie civil ;
- Freyssinet : Travaux de protection cathodique par courant imposé (PCCI) ;
- Colas : VRD.

Cette seconde tranche s'étend de la villa Gaby jusqu'au vallon de l'Oriol pour une longueur de 330 m. La première intervention a consisté à modifier la



8 © SETEC



9

© SETEC

circulation pour prendre une emprise travaux de 5 m de largeur en laissant une voie mixte piétons/vélo protégé par des GBA, en lieu et place de la bande cyclable existante, ainsi qu'une voie de circulation dans chaque sens.

À l'intérieur de l'emprise des travaux, Colas a réalisé la démolition des trottoirs haut et bas, ainsi que les bancs à l'aide de pelles équipées d'une fraise (figure 7). Cette technique a permis la démolition soignée des superstructures sans abîmer la structure en sous-face et dans le respect strict des conditions environnementales du site (maîtrise des gravats issus de la démolition par rapport à la mer).

Une fois l'ensemble des superstructures existantes retiré, les équipes Eiffage Génie Civil et Gtm Sud sont en charge de l'enlèvement des parapets et dalles existantes puis des travaux de reconstruction de la corniche en lien étroit avec Freyssinet qui pose la protection cathodique.

Pour tous ces travaux, le groupement a opté pour la mise en place d'un échafaudage suspendu au-dessus de la mer (figure 8), sur l'ensemble du linéaire de la tranche 2.

Ce dispositif a permis la libre circulation en sous-face de la structure pour l'ensemble des intervenants et ainsi constituer un phasage "en train à l'avancement" sur environ 80 m successif :

- Dépose parapets ;
- Dépose dalles existantes ;
- Réalisation des moisages de consoles et PCCI ;
- Pose et clavage des nouvelles dalles réalisées avec du béton C60/75 par approche performancielle ;
- Pose du nouveau parapet en BFUHP.

**9- Vue des différents ateliers.**

**10- Vue de la découpe des dalles.**

**9- View of the various sets of equipment.**

**10- View of slab cutting out.**

Ce dispositif a également permis au maître d'œuvre de lever les points d'arrêt à l'avancement et ainsi garantir la bonne réalisation des travaux tout en respectant les délais du chantier (figure 9).

Concernant les travaux de dépose des béton existants, Eiffage Génie Civil/Gtm, avec la participation de l'entreprise Dsd pour la partie sciage des éléments en béton, ont mis au point des méthodes

spécifiques dans le but de récupérer l'ensemble des eaux de découpe (protection du milieu naturel maritime) et évacuer les éléments découpés en toute sécurité (figure 10).

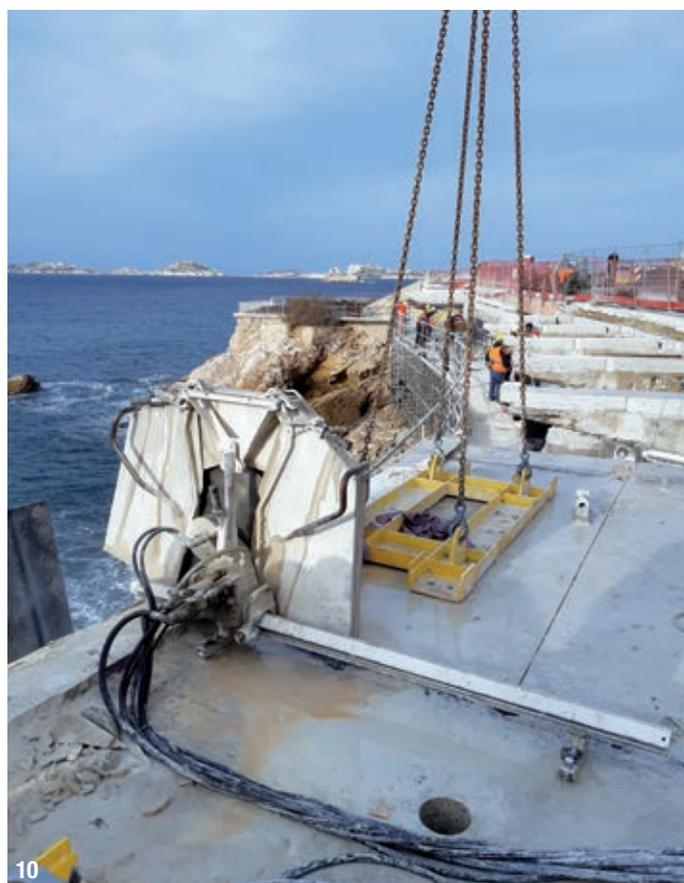
Une fois les consoles existantes mises à nu et purgées de toutes les parties de béton non adhérentes, le système de protection cathodique conçu par Freyssinet est mis en œuvre.

Dans le cadre des travaux de la corniche Kennedy, Freyssinet France réalise les études de détail, d'exécution et la mise en œuvre du système de protection cathodique par courant imposé (PCCI) appliqué aux aciers des consoles. L'aspect ingénierie, conception, suivi des opérations est assuré par un service central du groupe Freyssinet (Service Contrôle de la Corrosion) agissant dans l'ensemble des pays où le groupe intervient. Ce service est constitué d'experts certifiés en France et à l'international dans les trois principaux secteurs (Terre, Mer et Béton).

L'aspect travaux dans l'organisation est géré par les implantations locales de Freyssinet. Dans le cas de l'ouvrage de la Corniche Kennedy à Marseille, c'est la Direction Régionale Sud Est basée à Gémenos qui assure les travaux.

Le système de PCCI vise à protéger les aciers des consoles existantes et les nouvelles armatures constituant le moisage de la console :

- Des anodes (sous forme de rubans en titane activé) installées dans des engravures sur les structures existantes, ou disposées avant le bétonnage sur les cages d'armatures par l'intermédiaire de cales isolantes pour les structures neuves (moisage des consoles). ▷



10

© ENTREPRISE



11  
© SETEC

Elles sont interconnectées par soudeure par point à des bandes de distribution en titane, elles-mêmes reliées à des câbles raccordés dans des boîtiers de jonction puis à des coffrets de répartition à l'intérieur de coffrets étanches en direction du matériel de contrôle (figure 11).  
→ Des matériels de mesure (électrode de référence et sondes de dépoliarisation) qui permettent d'évaluer l'efficacité de la PCCI sur les aciers à protéger, selon la norme NF EN ISO 12696.

→ Un générateur de courant continu et régulé qui alimente les différentes zones anodiques, contrôlé par une unité centrale de mesure équipée d'un ordinateur PC et d'un modem 3G permettant la télégestion et la télésurveillance du système. Le système mis en place a été dimensionné pour une durée de 50 ans, pour assurer une protection efficace des armatures des consoles de la corniche, exposées à l'environnement agressif maritime, ceci avec un suivi approprié par du personnel compé-

**11- Vue de la mise en œuvre de la PCCI.**

**12- Vue du chantier au pic d'activité avec moyens importants.**

**11- View of the application of ICCP.**

**12- View of the construction site at peak activity with major equipment.**

tent dans le domaine (figure 12). La conception du renfort par moilage vise à reprendre l'ensemble des efforts seulement par les moisages sans considérer la console existante. Pour cela il a été nécessaire d'ancrer les renforts par des barres HA32 sur 1,50 m de profondeur.

Le moilage des consoles est réalisé à l'aide d'un outil coffrant spécifique conçu pour ce chantier. L'outil s'enfile par l'avant de la console et s'appuie sur la console existante pour reprendre l'ensemble des efforts liés à la poussée du béton. Compte tenu de la présence du système de PCCI contre les armatures, le béton mis en place est un béton autoplaçant C40/50 (figure 13).

Les dalles sont réalisées en usine, avec une formulation de béton spécifique C60/75 devant répondre aux nouvelles exigences du fascicule 65 concernant l'approche performantielle (mesure porosité, perméabilité apparente au gaz, coefficient de diffusion des chlorures, et résistivité électrique).

Les dalles sont posées en appui isostatique sur chaque console moisée puis clavées entre elles.

La réalisation des nouveaux éléments de parapets et bancs est conçue en béton fibré ultra haute performance (BFUHP).



12  
© SETEC



13  
© SETEC

14  
© EIFFAGE - GTM SUD - FREYSSINET - COLAS

Ces éléments ont été réalisés chez Méditerranée Préfa dans des moules en acier. La particularité de cette fabrication est de devoir s'adapter au site et de respecter l'exigence du marché de 1 cm entre chaque élément de banc ou parapet. Pour atteindre cet objectif, on a réalisé un relevé scan 3D de l'existant et le bureau d'études Egcem a conçu les plans des pièces en dessinant des biais aux abouts entre 1 et 5 cm pour épouser

**13- Vue du moilage des consoles.**

**14- Vue de la pose des parapets BFUHP.**

**13- View of the cantilevers binding.**

**14- View of the installation of UHPFRC parapets.**

les courbes de la corniche (figure 14). Les travaux de superstructures se finalisent par la reconstruction, dirigées par les équipes de Colas, des trottoirs haut et bas en béton rose, ainsi que des escaliers en pierre de Cassis.

La dernière opération consistant à la dépose de l'ensemble des dispositifs de circulation et clôture de chantier et ainsi rendre aux Marseillais et joggeurs cette nouvelle partie de trottoir pour de nombreuses années. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Direction des Infrastructures Aix-Marseille-Provence Métropole

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Setec tpi - Setec diadès - A-Corros - André Mascarelli (Architecte)

**OPC :** Setec organisation

**ENTREPRISES TRAVAUX :** Eiffage - Gtm Sud - Freyssinet - Colas

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**LINÉAIRE TOTAL D'OUVRAGE RÉPARÉ À L'ISSUE DES 4 PHASES DE TRAVAUX : 1 725 m**

**BUDGET TOTAL DE L'OPÉRATION : 22 millions d'euros**

### QUANTITÉS DE LA PHASE 2

- 330 m de corniche
- 73 consoles traitées
- 330 m de parapets BFUHP et 250 m de bancs BFUHP préfabriqués et installés
- 1 200 m<sup>2</sup> de dalles préfabriquées, en béton C60 à approche performancielle, puis mises en place et clavées entre elles
- 15 escaliers avec emmarchements calcaires reconstitués et remplacés, ainsi que 2 escaliers d'accès à la mer réparés

## ABSTRACT

### REPAIR AND STRENGTHENING OF KENNEDY COASTAL ROAD IN MARSEILLE

NICOLAS BENNATI, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, SETEC DIADES

In 2016, Métropole d'Aix-Marseille-Provence awarded Setec engineering group a complete project management contract for work on repair and strengthening of the engineering structures on the Kennedy coastal road. After two years of design work, the first work section, over a length of 300 m from the Tide Gauge, got under way in October 2018. The second work section, carried out by the consortium of Eiffage Génie Civil, Gtm Sud, Freyssinet and Colas, is currently under way. The specificity of the project is chiefly due to the location of the structures above the sea, requiring the use of exceptional means of access to carry out the works, and the incorporation of bespoke prefabricated components in the existing structure, with numerous interfaces. □

### REPARACIÓN Y REFUERZO DE LA CORNISA KENNEDY EN MARSELLA

NICOLAS BENNATI, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, SETEC DIADES

En 2016, la Metròpolis de Aix-Marsella-Provenza encargó el diseño del conjunto de las obras de reparación y refuerzo de la cornisa Kennedy a los ingenieros del grupo Setec. Tras 2 años de estudios, el primer tramo de obras, de 300 m de longitud desde el Mareógrafo, comenzó en octubre de 2018. El segundo tramo, realizado por el consorcio Eiffage Génie Civil - Gtm Sud - Freyssinet - Colas, está actualmente en ejecución. La especificidad de la obra reside principalmente en la ubicación de las construcciones por encima del mar, lo que requiere la instalación de unos medios de acceso excepcionales para realizar los trabajos, así como en la incorporación de elementos prefabricados a medida en la construcción existente, con numerosas conexiones. □



# RÉNOVATION EN BFUP À CATTENOM : 20 ANS APRÈS

AUTEURS : MAXIME LION, INGÉNIEUR D'AFFAIRES, EDF DIRECTION INDUSTRIELLE, DÉPARTEMENT TEGG - FRANÇOIS TOUTLEMONDE, DIRECTEUR ADJOINT R&D DU DÉPARTEMENT MATÉRIEAUX ET STRUCTURES, UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL - THIERRY VIDAL, MAÎTRE DE CONFÉRENCE, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, LMDC, INSA/UPS GÉNIE CIVIL - ALAIN SIMON, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL / ÆVIA - JULIEN DERIMAY, INGÉNIEUR D'AFFAIRES DUCTAL® EUROPE, LAFARGEHOLCIM

LES BFUP ONT ACQUIS LEUR NOTORIÉTÉ PAR DES RÉALISATIONS AUDACIEUSES DEPUIS LES ANNÉES 90, RENFORCÉE PAR LA PARUTION DE NORMES FRANÇAISES EN 2016. DEPUIS, LEUR UTILISATION POUR LA RÉPARATION ÉMERGE PUISQU'ILS FONT, ENTRE AUTRES, LA PROMESSE D'UNE DURABILITÉ ACCRUE. IL RESTE NATUREL POUR LES MAÎTRES D'OUVRAGE DE S'INTERROGER SUR DES DURÉES D'UTILISATION DE PROJET ALLANT JUSQU'À 150 ANS ALORS QUE LEUR DÉVELOPPEMENT NE DATE QUE D'UNE TRENTAINE D'ANNÉES. RETOUR SUR L'ÉTUDE DE LA RÉNOVATION DES AÉRORÉFRIGÉRANTS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE EDF DE CATTENOM QUI LEUR APPORTERA PLUSIEURS RÉPONSES.

## INTRODUCTION

Il y a près de 25 ans, EDF engageait une intervention sur les 4 aéroréfrigérants de la centrale de Cattenom. Les travaux consistaient à rénover les équipements des corps d'échanges périphériques et à ajouter une structure intermédiaire pour les supporter (figure 2). L'idée (Birelli G. (2011) "UHP-FRC development: review of a determining application", in *Designing and Building with UHPFRC*, ISTE-Wiley, pp. 21-41) fut d'apporter un matériau novateur capable de mieux résister à l'atmosphère exigeante de tels ouvrages : le Béton Fibré à Ultra-hautes Performances (BFUP). En 2019, un groupe de travail s'est constitué autour des principaux acteurs de ce projet, pour

**1- Inspection en 2019 des éléments témoins placés dans l'aéroréfrigérant n°1.**

**2- Problématique d'usure des anciens équipements et principe de la solution adoptée.**

**1- Inspection in 2019 of the control components placed in cooling tower 1.**

**2- Problem of wear on old equipment and principle of the adopted solution.**

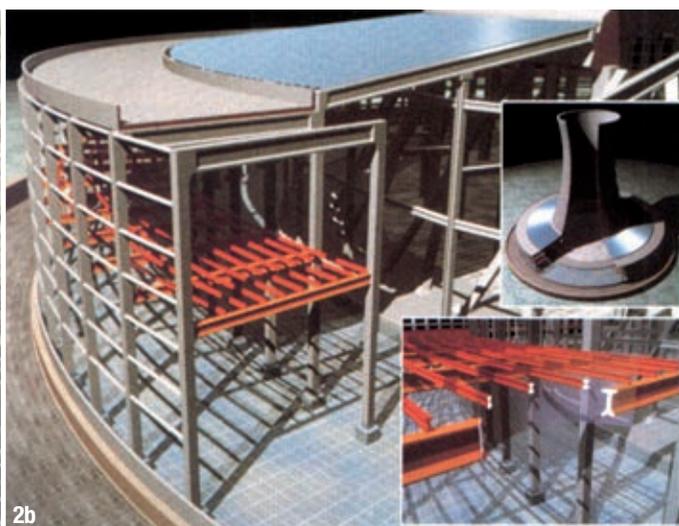
analyser la pérennité des performances des BFUP mis en œuvre à l'époque. L'article rappellera tout d'abord le contexte du projet avant de présenter les principaux résultats de cette étude.

## CONTEXTE DU PROJET

La centrale nucléaire de Cattenom, dans l'est de la France, a été construite dans les années 1980. Elle possède 4 aéroréfrigérants à courants croisés : l'eau chaude tombe en gouttelettes qui se refroidissent au contact d'un courant d'air frais ascendant. Compte-tenu des conditions rigoureuses régnant à l'intérieur des corps d'échange, ces derniers ont présenté une usure prématurée au niveau des treillis supports des lattes de ruissellement (suspendues sur une

hauteur de 20 m), ce qui a amené EDF à procéder à leur rénovation (figure 3). Initiée au milieu des années 1990, elle a consisté à diviser le corps d'échange initial en deux corps superposés : une partie supérieure suspendue au bassin d'eau chaude et une partie inférieure suspendue à un portique intermédiaire (figure 2). Cela a induit la conception d'une structure supplémentaire devant s'intégrer dans l'ouvrage existant.

Les conditions d'exposition au sein des corps d'échange sont particulièrement agressives. D'une part, les cycles gel/dégel pendant l'hiver peuvent induire la formation de glace et des risques de dégradation des bétons. D'autre part, l'eau du circuit de refroidissement, qui fait l'objet de traitements chimiques, ▷



© EDF

2a

2b

contient des agents nocifs vis-à-vis du béton. Particulièrement dans le cas de Cattenom, l'eau brute est naturellement saumâtre (les concentrations moyennes en chlorures et en sulfates de l'eau de la Moselle sont respectivement de l'ordre de 400 mg/l et 200 mg/l en moyenne). Les caractéristiques de l'eau du circuit de refroidissement peuvent être résumées de la manière suivante : pH de l'ordre de 8, concentrations maximales en chlorures et en sulfates entre 1 000 et 1 500 mg/l, index de Ryznar de l'ordre de 6.

Les conditions d'ambiance, mais aussi les aspects en lien avec la conception, ont orienté vers l'utilisation de bétons particulièrement durables. En effet, les caractéristiques du sol de fondation limitaient les possibilités en termes de charge apportée par la structure supplémentaire, ce qui a écarté les solutions en béton armé dont les dimensions et donc le poids étaient trop importants. Quant aux critères de durabilité, ils écartaient les solutions en béton précontraint ou en acier. Il a alors été choisi de réaliser cette structure complémentaire sous forme de poutres et poutrelles précontraintes en I de faibles épaisseurs, préfabriquées en BFUP, ce qui a constitué un emploi pionnier de ces matériaux en France pour un usage industriel et de fort volume. Les éléments ont été préfabriqués entre 1997 et 1998, pour partie en BPR (développé en partenariat par Bouygues, Lafarge et Rhodia, maintenant intégré comme matériau structural au sein de la gamme Ductal®), et pour partie en BSI (développé par Quillery-EGI, maintenant fourni par Eiffage). Plusieurs éléments témoins en BFUP ont été installés à l'occasion du chan-



© EIFFAGE

tier, juste au-dessus du bassin d'eau froide de l'aéroréfrigérant n°1, dans le but de suivre dans le temps leur comportement en conditions réelles d'exposition (figure 1). Il s'agit en particulier de quatre tronçons de longueur de 1 m qui proviennent de la découpe de poutrelles fabriquées lors de la phase de mise au point du process industriel. À l'époque de la préfabrication des poutrelles (Birelli G. (2011)), les propriétés mesurées lors des épreuves de contrôle de la production, étaient de l'ordre de 215 MPa pour la résistance à la compression et de 42 MPa pour la résistance en flexion (mesurée sur des prismes 4x4x16 cm).

En 2019, soit plus de 20 ans après la rénovation des aéroréfrigérants, l'un de ces tronçons de poutrelle a pu être récupéré à l'occasion d'une visite d'inspection du groupe de travail (figure 1). Des corps d'épreuve ont alors pu

**3- Chantier de rénovation des aéroréfrigérants en cours en 1998.**

**4- Sciage du tronçon de poutrelle, témoignant de l'absence de corrosion à cœur.**

**3- Cooling tower renovation project in progress in 1998.**

**4- Sawing the joist section, testifying to the absence of sub-surface corrosion.**

être confectionnés par carottage et par sciage de ce tronçon (figures 4 et 5), pour faire l'objet d'analyses en

laboratoire. L'observation visuelle des tranches sciées permet de constater l'absence de corrosion des torons de précontrainte ainsi que des fibres métalliques, jusqu'au plus près des parements.

### MESURE DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU MATÉRIAU BFUP, EN SERVICE DEPUIS PLUS DE 20 ANS

Le volume du tronçon de poutrelle prélevé a été exploité au maximum dans sa partie prismatique au-dessus du talon, en sciant les ailes de la table de compression et en conservant la zone des torons pour l'analyse de durabilité. Quatre éprouvettes cylindriques de hauteur 5 cm et d'éclatement 1 ont été carottées pour caractériser le comportement en compression (figure 5). La surface carottée apparaît très dense, très peu bullée et sans aucune trace de corrosion des fibres. La masse volumique des cylindres, faiblement dispersée autour d'une valeur moyenne de 2524 kg/m<sup>3</sup>, est cohérente avec la formule nominale utilisée, en tenant compte d'une teneur en air effective variant de 2,3% à 3,0%.

Les faces d'appui ont été débarrassées du dépôt de tartre et rectifiées, conduisant à un éclatement de 0,86. Les éprouvettes ont été équipées de 3 paires de jauges bidirectionnelles collées à mi-hauteur sur 3 génératrices à 120°, afin de déterminer le module d'Young et le coefficient de Poisson. L'éclatement faible ainsi que le faible volume des éprouvettes induisent un biais de surestimation par rapport à la détermination normalisée de la résistance en compression. Cet artefact est confirmé par la mesure



4a



4b

© EIFFAGE

TABLEAU 1 : SYNTHÈSE DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BFUP

Propriété	Valeur considérée à la conception	Valeur mesurée après 23 ans de service (valeur moyenne)
Masse volumique	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	$2524 \text{ kg/m}^3$
Résistance en compression	$f_{c28} = 180 \text{ MPa}$	$334 \text{ MPa}$
Module d'Young	$E_{ij} = 50,0 \text{ GPa}$	$59,0 \text{ GPa}$
Coefficient de Poisson	$\nu = 0,20$	$0,17$
Limite élastique en traction	$f_{t28} = 8,0 \text{ MPa}$	Perte de linéarité en flexion 4 points $9,0 \text{ MPa}$
Résistance en traction post fissuration	$\sigma_w = 5,0 \text{ MPa}$	Analyse inverse de flexion 3 points $\sigma_w (w = 0,3 \text{ mm}) = 9,6 \text{ MPa}$

du coefficient de Poisson, faiblement dispersé autour d'une valeur de 0,17, et la valeur plutôt élevée du module d'Young (détermination variant de 57,7 à 60,1 GPa, avec une excellente linéarité du comportement). Néanmoins, le mode de rupture - comportant des fissurations débouchant sur les faces d'appui (figure 5) - ne met pas en évidence un frettage excessif. Même si on tient compte de ces biais expérimentaux, la résistance en compression obtenue sur ces éprouvettes, comprise

entre 314 MPa et 342 MPa, permet de conclure au minimum à un maintien dans le temps, et probablement à

une augmentation, de cette propriété constructive essentielle pour des éléments précontraints.

La partie centrale de la poutrelle a été sciée de façon à obtenir 6 prismes de longueur 24 cm, de largeur proche de 5 cm (largeur de l'âme) et de hauteur 7 cm, correspondant à la hauteur de l'éprouvette qui servirait actuellement pour la détermination de la résistance en traction par flexion selon la norme NF P18-470. En cohérence avec cette hauteur et la longueur disponible, une

portée de 18 cm a été utilisée pour la caractérisation en flexion. Trois prismes ont été testés en flexion 4 points (figure 6) et trois ont été entaillés puis testés en flexion 3 points (figure 7). La rupture en traction par flexion obtenue lors de ces essais est apparue localisée dans la zone attendue, sans faire apparaître de multi-fissuration (figure 8). Le moment maximum obtenu pour les prismes entaillés correspond pratiquement à une ouverture de fissure de 0,3 mm, valeur conventionnellement retenue au moment de la conception pour déterminer la contrainte post-pic. En traction comme en compression, le nombre limité d'éprouvettes, leur géométrie et les évolutions des méthodes de caractérisation par rapport à la période de cette conception pionnière, ne permettent pas de réaliser une détermination statistiquement représentative. Néanmoins l'analyse inverse effectuée sur les résultats des essais de flexion, dont les principales caractéristiques sont synthétisées tableau 1, montre que les valeurs retenues pour la conception restent bien atteintes. ▷

**5- Cylindres carottés, avant puis après rupture en compression.**

**5- Cored cylinders, before and then after compression failure.**





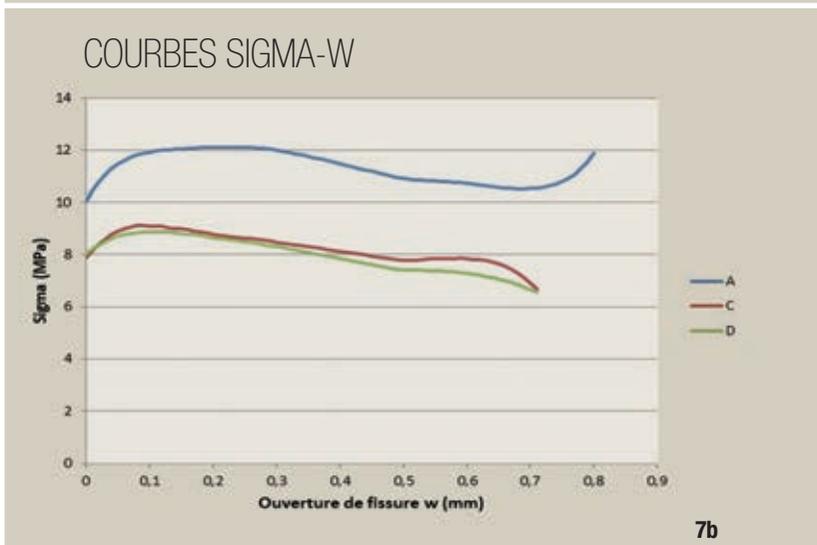
6a



6b



7a



7b

© UNIVERSITÉ G. EIFFEL

### CONTRÔLE DE LA DURABILITÉ DES ÉLÉMENTS STRUCTURELS EN BFUP

Bien que la vérification des performances mécaniques de cette poutrelle fût l'objectif premier de cette étude, l'aspect durabilité a aussi été investigué par le biais d'observations au vidéomicroscope et au Microscope Electronique à Balayage (MEB) sur les parties restantes suite à l'étude mécanique. Quatre demi-talons issus du sciage de chaque extrémité du tronçon de poutrelle ont été découpés en tranches successives d'épaisseur centimétrique, afin d'avoir des indications sur l'état résiduel des deux matériaux, le toron et le BFUP. La gangue de tartre qui était présente a été retirée. Sa structure très poreuse ne peut pas être considérée comme une couche protectrice imperméable, comme l'illustre la figure 9. Les échantillons ont été observés au MEB, couplé à un système d'analyse de spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS) permettant l'analyse chimique des éléments en présence. Sur la figure 10, on peut observer l'excellente mise en place du BFUP

autour du toron (observable jusqu'à un agrandissement x250). La distribution des fibres est homogène et celles-ci ne sont pas corrodées, mêmes celles proches de la surface, ce qui traduit une absence de carbonatation et l'absence de chlorures dans cette zone. Elles sont adhérentes à la matrice, sans

décollement apparent ou microfissuration. On retrouve par ces observations MEB et analyses EDS à l'échelle de la microstructure les principales caractéristiques d'un BFUP en accord avec la formulation d'origine : porosité réduite, granulats riches en silice et de faible dimension et pâte cimentaire composée

**6- Essais de flexion 4 points : réponse contrainte - déformation obtenue par analyse inverse.**

**7- Essais de flexion 3 points : réponse contrainte - ouverture obtenue par analyse inverse.**

**8- Prismes à l'issue des deux types d'essai de traction par flexion.**



8a



8b

© UNIVERSITÉ G. EIFFEL

**6- 4-point bending tests: stress-strain response obtained by inverse analysis.**

**7- 3-point bending test: stress-crack opening response obtained by inverse analysis.**

**8- Prisms following two types of tensile test by bending.**

9- Interface entre le tartre et le BFUP.  
10- Images au MEB avec précision de l'agrandissement, section polie, HV, BSE.

9- Interface between scale and UHPFRC.  
10- SEM images with enlargement precision, polished section, HV, BSE.

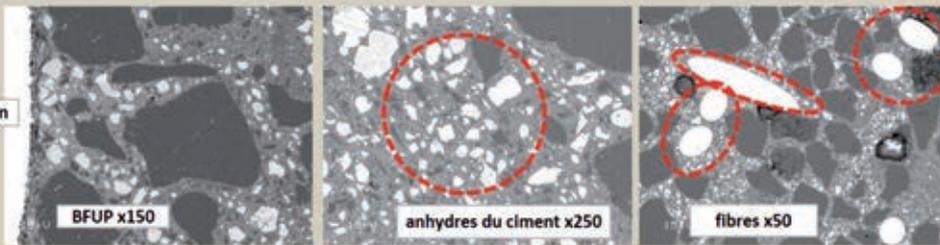


© UNIVERSITÉ G. EIFFEL

Génie Civil des confirmations quant à la pérennité des performances exceptionnelles des BFUP, ainsi qu'un témoignage étayé de la durabilité de ces matériaux. Soumises à des conditions agressives (eaux contenant des chlorures et des sulfates, cycles gel/dégel...), les poutres et poutrelles BFUP, en place depuis plus de 20 ans, ont conservé toutes leurs capacités structurales sans que l'amorce d'une future défaillance par la pénétration d'agents agressifs puisse être détectée. Depuis cette rénovation, EDF n'a procédé à aucune maintenance sur cette charpente qui pourra encore accompagner ces ouvrages pour quelques décennies. Preuve est faite que les BFUP sont à même de devenir des matériaux incontournables des réparations durables des ouvrages de génie civil. □

## IMAGES AU MEB AVEC PRÉCISION DE L'AGRANDISSEMENT

Section polie, HV, BSE



© UNIVERSITÉ P. SABATIER

d'une quantité significative de grains de ciment anhydres ou partiellement hydratés. En effet, la quantité d'eau est insuffisante pour hydrater la totalité du ciment. Ces grains anhydres jouent le rôle de filler et augmentent la compacité du matériau. Ils confèrent également au béton une capacité d'auto-cicatrisation en cas d'apport d'eau extérieure qui pourrait diffuser au travers de microfissures survenant durant la vie de l'ouvrage. Ces hydrates nouvellement formés peuvent alors colmater ces microfissures totalement ou partiellement suivant leur ouverture. Enfin, aucune pathologie (type ettringite secondaire, réaction alcali-granulat) n'est détectée.

Ainsi, après plus de 20 ans d'exposition dans un environnement agressif, sur la base de l'analyse réalisée sur ces quatre demi-talons, le BFUP

semble posséder d'excellentes caractéristiques physicochimiques, maintenant une durabilité potentielle élevée. Son extrême compacité restreint la pénétration d'ions agressifs dans le temps et ainsi la corrosion des fibres. Concernant le toron, le BFUP constitue une enveloppe protectrice vis-à-vis du risque de corrosion, grâce à sa très faible perméabilité et à son pH élevé.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Chaque projet présente un environnement particulier qui nécessite d'analyser si les performances des BFUP constituent une réponse pertinente à la réparation de l'ouvrage. Ainsi, les conclusions portant sur la rénovation des aéroréfrigérants de Cattenom resteront propres à l'exposition et aux contraintes de ces ouvrages. Néanmoins, elles apportent aux acteurs du

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**NOMBRE DE POUTRES PRÉCONTRAINES EN BFUP :**

**270 poutres de longueur 14 m**

**NOMBRE DE POUTRELLES PRÉCONTRAINES EN BFUP :**

**2376 poutrelles de longueur 6 m**

**VOLUME DE BFUP : 1 000 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** EDF CNPE de Cattenom

**MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX DE RÉNOVATION :** EDF CNEPE / EDF TEGG

**ENTREPRISES TRAVAUX DE RÉNOVATION :** Hamon / Bouygues TP / Quillery-Egi (Eiffage)

**PILOTAGE ET ORGANISATION DES INVESTIGATIONS À 20 ANS :**

EDF, Eiffage Génie-Civil - Ævia, LafargeHolcim

**ESSAIS SUR PRÉLÈVEMENTS À 20 ANS ET ANALYSES :**

Toulouse Tech Transfert, Lmdc (Université de Toulouse, Insa/Ups Génie Civil), université Gustave Eiffel (ex-Isttar, département Mast)

## ABSTRACT

### UHPFRC RENOVATION AT CATTENOM: 20 YEARS ON

M. LION, EDF DIRECTION INDUSTRIELLE - F. TOUTLEMONDE, UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL - T. VIDAL, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, LMDC, INSA/UPS GÉNIE CIVIL - A. SIMON, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL, ÆVIA - J. DERIMAY, LAFARGEHOLCIM

The exchange casings of the cooling towers of Cattenom power station were renovated at the end of the 1990s. This was an opportunity to install a very large number of prestressed UHPFRC beams, which were chosen based on mechanical criteria in light of the small reserve capacity of the foundations and sustainability criteria in light of the aggressive environment. More than 20 years after this work, UHPFRC test specimens were taken and analysed in laboratory. The tests performed on their mechanical properties show their durability over time. Analysis of the UHPFRC material itself and its prestressing attests the great durability of this combination. □

### RENOVACIÓN MEDIANTE UHPFRC EN CATTENOM: 20 AÑOS DESPUÉS

M. LION, EDF DIRECTION INDUSTRIELLE - F. TOUTLEMONDE, UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL - T. VIDAL, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, LMDC, INSA/UPS GÉNIE CIVIL - A. SIMON, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL, ÆVIA - J. DERIMAY, LAFARGEHOLCIM

Las superficies de intercambio de aerorrefrigerantes de la central de Cattenom fueron renovadas a finales de los años 1990, lo que permitió instalar una gran cantidad de vigas pretensadas de hormigón de ultra alto rendimiento reforzado con fibras (UHPFRC), material elegido según criterios mecánicos, dadas las bajas reservas de capacidad de los cementos, y de durabilidad, teniendo en cuenta el ambiente agresivo del entorno. Transcurridos más de 20 años desde esa intervención, se han tomado muestras del UHPFRC y se han analizado en el laboratorio. Los ensayos realizados revelan que las propiedades mecánicas se mantienen en el tiempo. El análisis del material UHPFRC en sí y del pretensado en su seno demuestra la gran resistencia de esta combinación. □



1

© CCISE

# PONT DE NORMANDIE - DIAGNOSTIC EN FATIGUE ET INSTRUMENTATION INNOVANTE DU PLATELAGE MÉTALLIQUE

AUTEURS : ADRIEN ROIBET, DIRECTEUR, QUADRIC - JEAN-PHILIPPE MAHÉRAULT, RESPONSABLE INSTRUMENTATION, QUADRIC - CLÉMENT FASQUEL, DIRECTEUR ADJOINT, CCI SE - MICHEL VIRLOGEUX, CONSEILLER TECHNIQUE DE LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE

LA GRANDE TRAVÉE DU PONT DE NORMANDIE COMPREND UN TRONÇON CENTRAL DE 624 m EN CAISSON MÉTALLIQUE À DALLE ORTHOTROPE, LEQUEL EST SOUMIS AUX ACTIONS DU TRAFIC, CE QUI CONDITIONNE LA RÉSISTANCE À LA FATIGUE DES DIFFÉRENTS ASSEMBLAGES SOUDÉS. DANS LE CADRE D'UN DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE DEMANDÉ PAR LES SERVICES DE L'ÉTAT, ET DANS L'HYPOTHÈSE D'UNE POSSIBLE EXTENSION DU TRAFIC À DES CONVOIS EXCEPTIONNELS DE PLUS DE 72 t, LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE A FAIT RÉALISER UNE ÉTUDE MÉLANT DES ANALYSES CLASSIQUES BASÉES SUR LA RÉGLEMENTATION ET UNE INSTRUMENTATION INNOVANTE, AFIN DE QUALIFIER L'AGRESSIVITÉ DU TRAFIC SUR LE PLATELAGE, D'ESTIMER SA DURÉE DE VIE RÉSIDUELLE, ET DE DISPOSER D'ÉLÉMENTS FACTUELS POUR DÉFINIR LE TRAFIC ADMISSIBLE DANS L'AVENIR SUR L'OUVRAGE.

## CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

Ouvrage emblématique dont la gestion est confiée à la Chambre de Commerce et d'Industrie Seine Estuaire (CCISE), le pont de Normandie (figure 1) est l'objet d'un suivi permanent et d'une évaluation continue de son aptitude au service.

Depuis la mise en service de l'ouvrage, le trafic routier est limité à des convois de 72 t (Poids Total Roulant, PTR). Dans le cadre de la révision de la réglementation et des itinéraires de Transports Exceptionnels (TE), le gestionnaire de l'ouvrage a été amené à étudier la

**1 - Vue  
d'ensemble.**

**1 - General  
view.**

possibilité d'étendre la limite actuelle à plus de 72 t.

À l'issue d'une démarche globale de diagnostic placée sous la supervision de Michel Virlogeux, concepteur de l'ouvrage et conseiller technique de la chambre de commerce, que nous ne

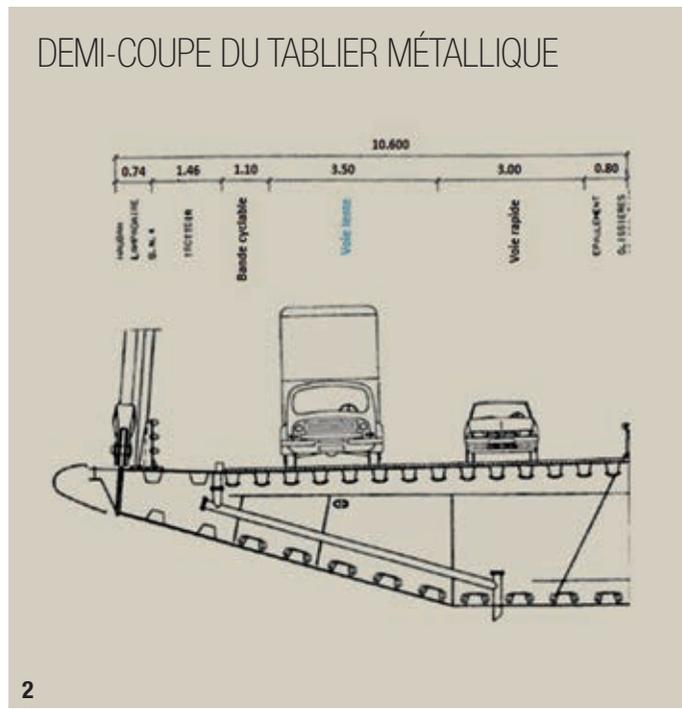
détaillerons pas ici, il est apparu que la résistance du plâlage orthotrope constituait un point sensible qui méritait une étude plus approfondie.

Le plâlage métallique orthotrope, qui constitue la membrure supérieure du tablier en caisson, est recouvert par la couche d'étanchéité-roulement, et c'est par son intermédiaire qu'il reçoit les charges locales générées par le trafic routier. Il règne sur les 624 m centraux de la travée principale de 856 m, puisque cette travée comprend deux amorces en béton précontraint de 116 m chacune à partir d'un pylône.

Ce plâlage est constitué par une tôle générale en extradados, de 14 mm sous la voie lourde et de 12 mm sous la voie rapide, raidie longitudinalement par des augets, de 8 mm sous la voie lourde, et de 7 mm sous la voie rapide. L'entraxe des augets est de 605 mm, la portée du plâlage, entre deux diaphragmes transversaux successifs sur lesquels il vient s'appuyer, est de 3,96 m (figure 2).

Le plâlage métallique n'est pas particulièrement sensible aux chargements de pointe du trafic, correspondant à des événements de trafic extrêmes, de grande période de retour, qui, même cumulés avec des actions générales de flexion du tablier, génèrent des contraintes largement admissibles (figure 3).

En revanche cette partie de l'ouvrage est sensible aux phénomènes de fatigue que l'on pourrait vulgariser comme suit :



2  
© DR

**2- Demi-coupe du tablier métallique.**

**3- Plâlage orthotrope depuis l'intérieur du caisson.**

**2- Half-section of the steel deck.**

**3- Orthotropic decking from inside the caisson.**

→ L'endommagement à la fatigue provient de sollicitations répétées, comptées sous la forme de cycles de contrainte, qui conduisent à un type de fissuration particulier pouvant mener à la rupture de l'élément.

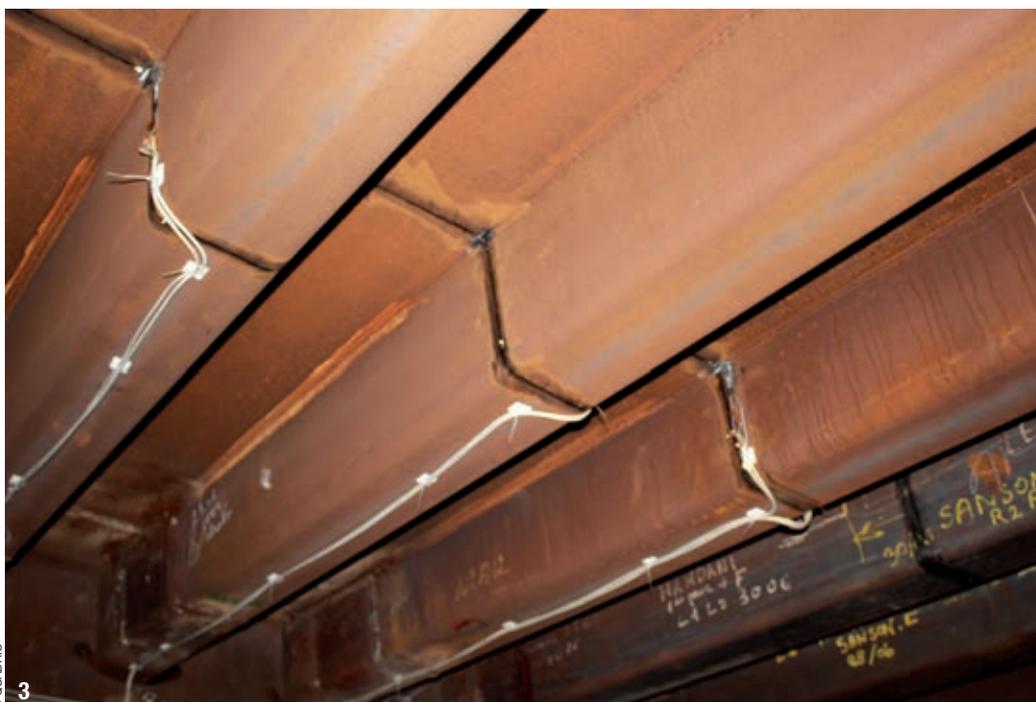
→ Pour les aciers de construction des ouvrages d'art (l'acier S355 par exemple), ce sont les assemblages soudés (ou boulonnés) qui constituent les éléments critiques, car outre les concentrations éven-

tuelles de contraintes et les effets de bridage, le procédé de soudage induit une modification de la structure cristalline de l'acier au voisinage de la soudure qui augmente sa sensibilité à la fatigue.

→ De ce point de vue, un assemblage soudé peut être vu comme possédant un "capital" de départ, lequel va être entamé par chaque cycle de fatigue dépassant un certain seuil (appelé le seuil de tolérance, ou la limite de troncation) qu'il subit au passage de chaque poids lourd, jusqu'à ce que l'endommagement cumulé produit par ces cycles atteigne la résistance conventionnelle de l'assemblage. On utilise, pour définir cette résistance conventionnelle les tableaux de catégorie de détail de l'Eurocode 3. La fatigue est un phénomène cumulatif, pour lequel on peut donc estimer une durée de vie résiduelle de l'assemblage étudié, pour autant que l'on connaisse les caractéristiques du trafic passant au fil du temps.

→ Les lois qui régissent l'endommagement à la fatigue font varier la durée de vie en fonction de la variation de contrainte des cycles, élevée à la puissance 5 dans le cas des assemblages étudiés. Ainsi, une action B deux fois plus intense que l'action A génère un endommagement unitaire 32 fois supérieur à l'endommagement produit par l'action A, quand une action deux fois plus fréquente mais de même intensité ne fait que doubler l'endommagement. Cette asymétrie entre l'intensité des actions et leur fréquence peut donc laisser craindre un effet significatif des convois exceptionnels, quand bien même leur occurrence de passage serait faible.

Une première étude avait été réalisée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en 1995, en s'appuyant sur les résultats de mesures faites à l'aide de jauges extensométriques pour évaluer des variations de contraintes produites par le passage de convois calibrés, et sur de premiers calculs conventionnels. À l'époque, on n'avait pu faire des mesures expérimentales des effets du trafic réel sur l'ouvrage. Si elle fournissait des informations utiles, cette étude ne permettait pas d'estimer la durée de vie résiduelle de l'ouvrage, et encore moins d'évaluer les incidences de convois lourds. Il fût donc décidé d'aller plus loin.



3  
© QUADRIC

## ÉTUDES ET CALCULS PRÉLIMINAIRES

Une première approche par le calcul des assemblages critiques a montré que le détail le plus sensible est le cordon de soudure liant les âmes des augets à la tôle supérieure du platelage ; plus précisément sous l'effet de la flexion transversale locale produite par les essieux des poids lourds. Les effets de cisaillement longitudinal, quant à eux, ne sont pas prédominants (figure 4).

Cette sensibilité, par ailleurs bien décrite dans la littérature et la réglementation, est potentiellement accentuée dans le cas du pont de Normandie par le décalage de la voie lente, qui a été décidé peu avant la mise en service de l'ouvrage afin d'intégrer une bande cyclable sur le bord des chaussées routières. Le bord intérieur de la voie lente est ainsi implanté au-dessus d'une zone du platelage comportant des épaisseurs légèrement plus minces que le reste de la voie lourde, soit 12 mm pour la tôle supérieure et 7 mm pour les augets (figure 5).

Un modèle de calculs 3D, a été établi par le bureau Quadric (groupe Artelia) avec avec le logiciel Autodesk Robot. Tous les éléments constituant le platelage des caissons métalliques (tôle supérieure, augets, diaphragmes) ont été représentés par des éléments finis de type coque (prise en compte des contraintes de membrane et des effets de flexion de la théorie des plaques). Afin de décrire des effets extrêmement locaux, à l'échelle du décimètre

4- Représentation du détail critique.

5- Implantation des voies de circulation.

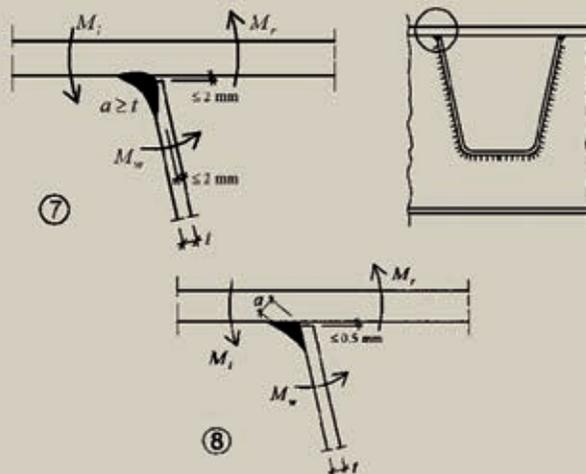
6- Vue 3D du modèle de calculs.

4- Illustration of critical detail.

5- Layout of traffic lanes.

6- 3D view of the design calculation model.

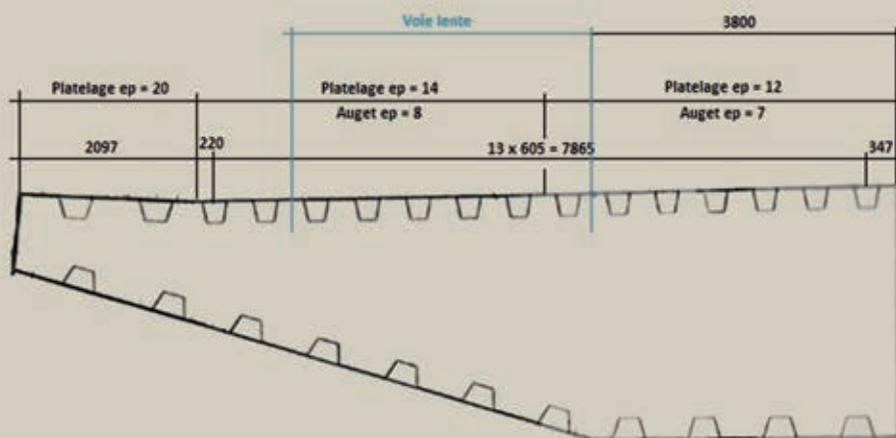
## REPRÉSENTATION DU DÉTAIL CRITIQUE



4

© NF EN 1993-1-9 TABLEAU 6.8

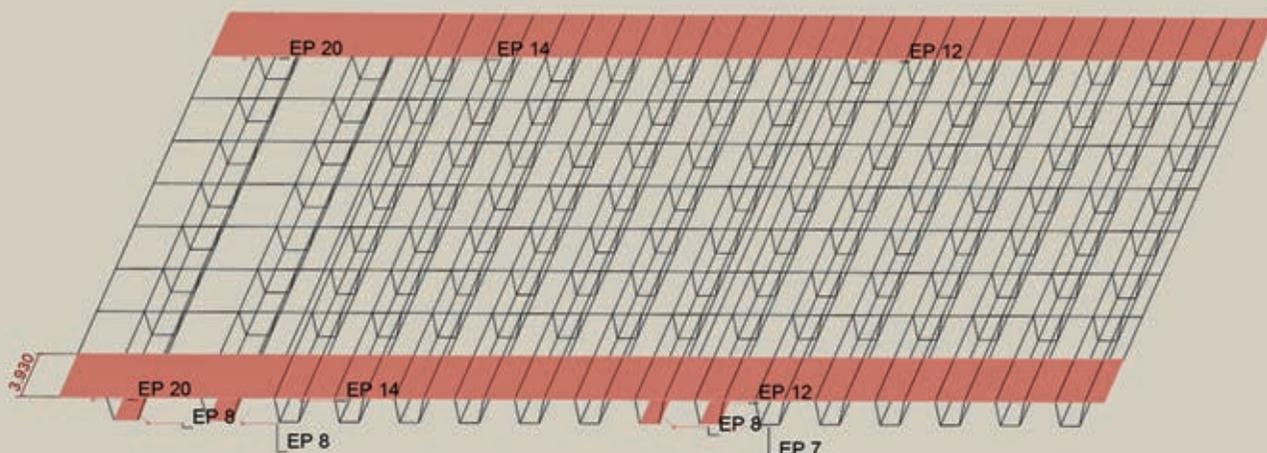
## IMPLANTATION DES VOIES DE CIRCULATION



5

© DR

## VUE 3D DU MODÈLE DE CALCULS



6

© QUADRIC

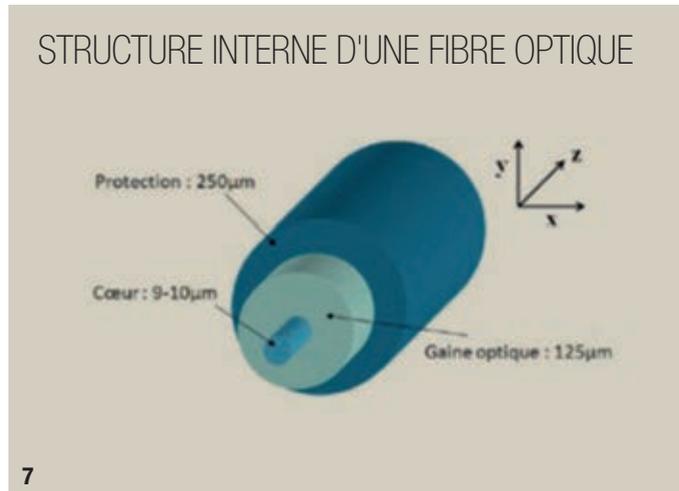
7- Structure interne d'une fibre optique.

8- Mise en œuvre de la fibre optique.  
9- Tracé de la fibre optique.

7- Internal structure of an optical fibre.

8- Laying optical fibre.  
9- Optical fibre route.

## STRUCTURE INTERNE D'UNE FIBRE OPTIQUE



7  
© DR



© QUADRIC

8a



8b

voire du centimètre, le maillage des éléments finis a été subdivisé au voisinage des zones d'étude ; la taille des éléments a été réduite jusqu'à 5,5 cm ; afin de limiter les temps de calcul à des durées raisonnables, on a tenu compte des symétries de l'ouvrage et des surfaces d'influence préalablement déterminées.

La confrontation du modèle à la définition physique des lignes d'influence par le Lcpc en 1995, obtenues en déplaçant des convois calibrés, a permis de vérifier sa bonne représentativité (figure 6).

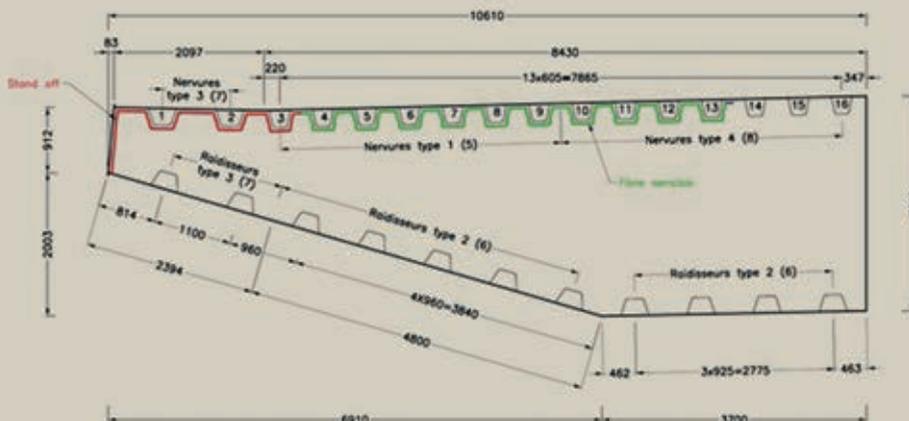
L'exploitation des premiers calculs a très rapidement montré que le modèle de fatigue n°3 (FLM3) de l'Eurocode conduit, de par son caractère très simplifié et forfaitaire, à des résultats faussement alarmistes et totalement aberrants : la durée de vie de platelage ne serait que de l'ordre de cinq ans. L'application directe du Guide du Setra de 1996, basé sur des principes analogues, aboutit à des résultats du même ordre, ce qui n'est pas étonnant puisque l'objectif était d'arriver au même niveau de résistance à la fatigue.

Le passage de convois lourds "type", basé sur des hypothèses de fréquence très approximatives, a apporté un certain nombre d'enseignements :

→ L'agressivité des convois est beaucoup plus fonction de la répartition transversale des essieux que du poids en charge. Ainsi, des véhicules de type grue automotrice de 96 t ont une agressivité importante ; tandis que le convoi de type C2, tel que défini dans la circulaire Transport Exceptionnels de 1983, et pesant 120 t, n'a qu'une agressivité réduite grâce à une emprise transversale plus large.

→ De même, compte tenu de la proportion entre la portée réduite du platelage et la longueur des convois, on aurait pu s'attendre à une certaine corrélation entre le nombre d'essieux et l'agressivité du convoi, chaque essieu pouvant créer un cycle indépendant et significatif de variation de contrainte. Dans les faits, cette intuition n'a pas été confirmée. L'exploitation des résultats obtenus montre que l'endommagement produit par ce type de convoi est généré à environ 85 % par un cycle principal intéressant toute la longueur du convoi, les effets des cycles secondaires liés aux essieux unitaires ne dépassant guère 15 %.

## TRACÉ DE LA FIBRE OPTIQUE



© QUADRIC

9



10 © QUADRIC

→ Fort logiquement, mais dans des proportions inattendues, l'agressivité varie très vite avec la position transversale des charges. L'influence de la position transversale des essieux des poids lourds, et plus encore de sa variabilité, tant pour le trafic courant que pour les transports exceptionnels, s'avère donc déterminante.

Malgré la bonne représentativité supposée du modèle, il fut donc décidé

d'accompagner la modélisation d'une phase d'instrumentation, seule à même de fournir des résultats sur la base des charges réelles subies par l'ouvrage : fréquence, poids, position transversale des essieux avec sa variabilité.

### INSTRUMENTATION PAR CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES DISTRIBUÉS

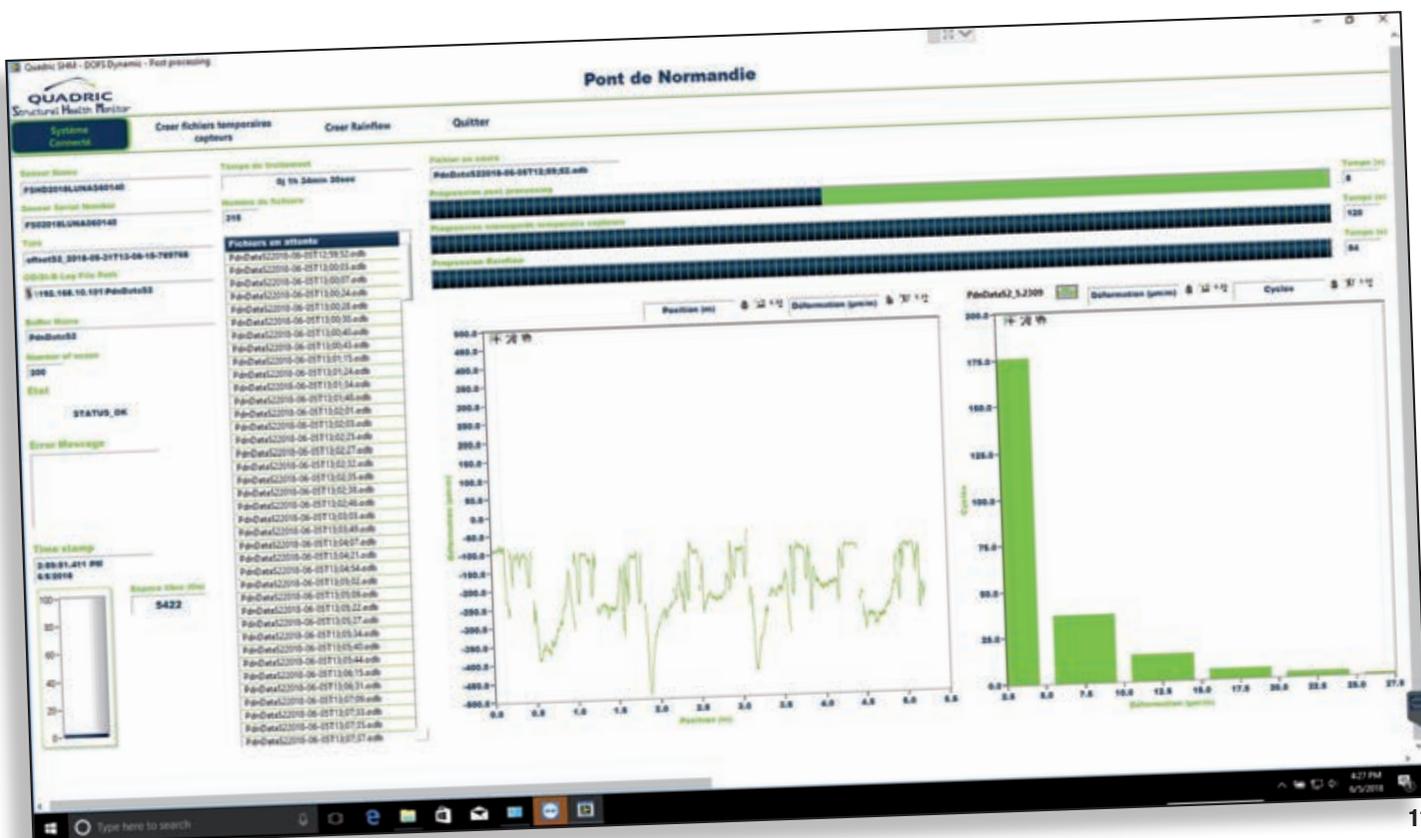
Il a donc été décidé, sur une proposition du bureau Quadric, d'avoir recours à

**10- Systèmes  
d'acquisition.  
11- Logiciel  
Quadric SHM.**

**10- Acquisition  
systems.  
11- Quadric  
SHM software.**

une instrumentation basée sur l'emploi de capteurs à fibres optiques distribués (CFOD) (figure 7).

Le terme générique de "fibre optique" recouvre des réalités fort différentes dans le domaine de l'instrumentation (extensomètres, réseau de Bragg, câbles de communication), conduisant parfois à une certaine confusion. Dans le cas du pont de Normandie, le domaine d'application de la fibre optique est certainement le plus ambi-



11 © QUADRIC

tieux et le plus innovant, celui de la fibre dite "distribuée" ou "répartie" à rétro-diffusion Rayleigh, qui permet d'utiliser la fibre non pas seulement comme conducteur, mais comme élément sensible de mesure. On peut, grâce à elle, réaliser des mesures de déformation avec un pas extrêmement réduit (tous les 2,6 mm dans le cas de cette étude). Cela fait de la fibre collée un capteur "linéaire", et non un capteur ponctuel, ce qui constitue une vraie rupture technologique par comparaison avec les capteurs disponibles jusqu'alors pour mesurer des déformations. Par ailleurs, la souplesse de la fibre, d'un diamètre de 150 µm, permet de la coller avec de faibles rayons de courbure compatibles avec la géométrie des cordons de soudure. Il est alors possible de faire une mesure directe des variations cycliques des contraintes, par la mesure des déformations de l'acier aux points critiques des cordons de soudure. Dans le cas de phénomènes extrêmement locaux, comme ceux qui régissent la flexion des âmes d'auget d'un platelage orthotrope, une instrumentation classique par jauges résistives ne permet pas d'obtenir des résultats suffisamment précis. Nous en avons eu confirmation en installant en parallèle, quelques jauges résistives, qui ont mon-

tré les limites de leur emploi (figure 8). Enfin, en l'absence de certitudes sur la position de l'auget le plus sollicité par le trafic réel, le procédé a permis d'instrumenter avec un seul capteur dix augets, soit 20 cordons de soudure, et ainsi de couvrir tous les détails potentiellement critiques (figure 9). En pratique, nous avons placé deux fibres optiques, une à mi-travée d'une section courante de platelage, et une passant au niveau des lunules d'un diaphragme. Cela représente environ 6 000 points de mesure, relevés en régime dynamique avec une fréquence d'acquisition de 100 Hz. On aboutit ainsi à un flux de 600 000 mesures par seconde, ce qui a exigé l'emploi d'un trigger (système de détection des poids lourds par jauges résistives afin de n'enregistrer que les événements significatifs), ainsi qu'un système d'acquisition, de stockage et de traitement des données très puissant : cinq ordinateurs et trois disques durs externes sur site (figure 10).

## 12- Chargements calibrés.

## 12- Calibrated loading.

Le matériel d'acquisition, très spécifique, était composé de deux interrogateurs de type Luna Odisi-B fournis par la société Dimione.

Le traitement des données et la publication des résultats ont été réalisés par une application développée spécifiquement pour ce projet, qui a été intégrée au logiciel de monitoring Quadric SHM (figure 11).

## CHARGEMENTS CALIBRÉS - PREMIERS RESULTATS

Du 28 au 30 mai 2018, la première phase de l'étude a consisté à enregistrer les variations de contrainte produites par le passage de camions de poids et de position connus, dans le but de valider le procédé de mesure et d'assurer en même temps la corrélation avec les calculs (figure 12).

Pour les positions les plus agressives, il est rapidement apparu que si la corrélation était bonne entre la mesure et le calcul pour l'essentiel des valeurs collectées, un écart substantiel, systématiquement dans le sens d'une sous-évaluation des contraintes par le calcul, a été relevé très localement sous les essieux. Cet écart s'avérait d'autant plus gênant qu'il concernait la valeur la plus représentative de l'agressivité du convoi concerné. Quadric a rapidement

suspecté un écart entre la modélisation de l'impact des roues au sol, défini à partir des prescriptions de l'Eurocode, et la réalité de cet impact. Michel Virlogeux a demandé de redéfinir la géométrie de l'impact des roues à partir d'une valeur réaliste de la pression des pneus des poids lourds, de l'ordre de 7 à 8 bars. Cette adaptation des hypothèses a amélioré de manière spectaculaire la corrélation entre les calculs et l'expérimentation jugée, après cette correction, très satisfaisante (figure 13).

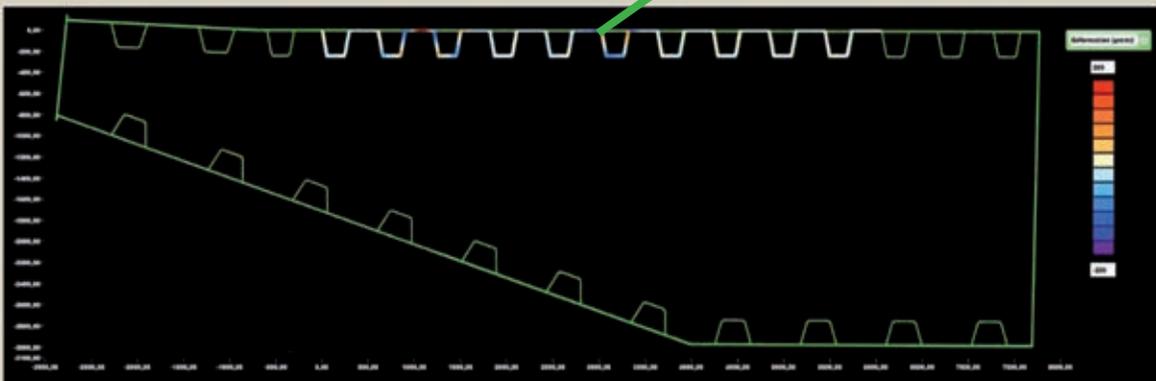
Il est à noter que la confrontation entre les mesures et les résultats des calculs a permis d'évaluer la position transversale du convoi sur la chaussée avec une précision centimétrique.

## ACQUISITION SOUS TRAFIC

L'étude a ensuite été poursuivie sous circulation au mois de juin 2018, période jugée représentative du trafic courant.

Le calcul des endommagements a été mené à partir des résultats des mesures en utilisant l'algorithme du Rain Flow (goutte d'eau), selon la théorie de Palmgren-Miner. L'avantage essentiel de la mesure directe des contraintes est de permettre de calculer l'endommagement subi sans avoir besoin de connaître la composition physique du trafic, ▷

## CHARGEMENTS CALIBRÉS



ni la position transversale des essieux - dont l'influence est considérable - et sans passer par un modèle de calcul. La seule hypothèse dont on a besoin est la résistance conventionnelle à la fatigue de l'assemblage étudié, qui a été prise à 72 Mpa pour deux millions de cycles dans notre cas.

Par comparaison avec les calculs préliminaires, les résultats de cette étude ont rapidement fait apparaître deux différences majeures allant dans des sens opposés :

→ D'une part, comme l'avaient déjà montré les chargements calibrés, des pics de contrainte très importants peuvent apparaître du fait de la faible surface d'impact des pneus, laissant craindre un endommagement prématuré des soudures concernées ;

→ D'autre part, la variabilité transversale des chargements est beaucoup plus importante qu'indiquée par les statistiques de positionnement transversal fournies dans l'Eurocode 1-2.

Chacune de ces différences est quantitativement importante. Dans le cas du pont de Normandie, l'étude a montré que c'est la variabilité de la position transversale des convois qui a la plus forte influence. La durée de vie résiduelle du platelage, par extrapolation du trafic actuel, a été estimée à plus de 100 ans, résultat très rassurant qu'étaient loin de donner les approches fournies par le calcul et les prescriptions réglementaires. De manière inattendue et pour des raisons liées à la variabilité de la position transversale des convois, ce sont les augets n°4 et 5, côté extérieur, qui ont les durées de vie résiduelles les plus faibles, bien qu'ils aient une épaisseur plus importante. Un décalage, même modéré, du marquage des voies bouleverserait ce résultat. L'analyse des résultats a montré que les événements les plus critiques, induisant des pics de contrainte de l'ordre de 100 Mpa au maximum, n'ont qu'un poids limité dans l'endommagement global du fait de leur faible nombre. A contrario, les événements très courants, générant des variations de contrainte comprises entre la limite de troncature (29 Mpa) et 65 Mpa, mais observés sur un très large échantillon, représentent près de 85 % de l'endommagement (figure 14).

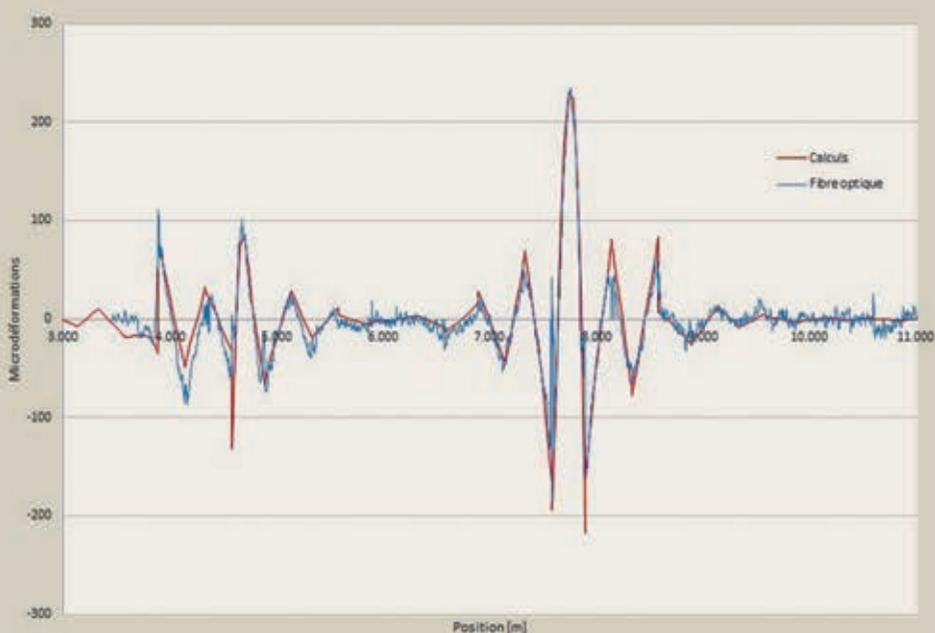
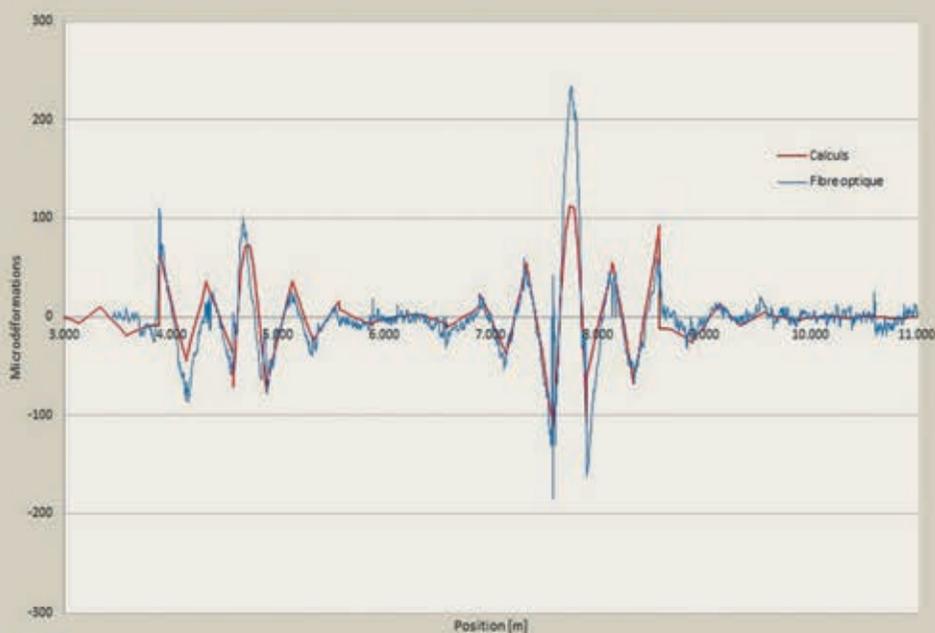
Ces résultats, couplés avec l'exploitation du modèle de calcul, ont confirmé l'estimation des effets attendus des différentes catégories de convois exceptionnels envisagés ; ils peuvent être considérés, sans être négligeables,

en notant l'agressivité particulière des grues automotrices, liée à la disposition transversale des roues.

### RETOUR D'EXPÉRIENCE - ENSEIGNEMENTS

Cette étude a mis évidence la complexité de l'analyse du comportement des platelages en fatigue. Si le comportement mécanique du platelage est modélisable de manière fine et satisfaisante avec les modèles actuels aux éléments finis, l'action du trafic, notamment la répartition des pressions au sol et la variabilité de la

## COMPARAISON MESURES/MODÈLE AVANT ET APRÈS CORRECTION



**13- Comparaison mesures / modèle avant et après correction.**

**13- Comparison of measures / models before and after correction.**

répartition transversale des charges, est très imparfaitement modélisée par les règlements de calcul, Eurocodes compris. Pour les ouvrages neufs, le respect des dispositions recommandées dans la littérature, un espacement des éléments transversaux de 3,50 m et une épaisseur de tôle de platelage supérieure à 14 mm, constitue une règle prudente permettant de couvrir à peu près les incertitudes sur les effets du trafic. Concernant les platelages existants souvent conçus sur la base d'anciennes règles, il faut noter que la connaissance

## ENDOMMAGEMENT EN FONCTION DES AMPLITUDES DE CONTRAINTES MESURÉES



© QUADRIC

14

du trafic n'intègre au mieux que le poids total en charge et le poids des essieux, ce qui est insuffisant pour permettre une estimation fiable de l'endommagement subi. La mesure de l'endommagement par une instrumentation ciblée des assemblages

critiques s'avère donc judicieuse, car capable d'intégrer de manière fiable et directe le caractère variable du trafic à l'échelle très locale du platelage. De ce point de vue, l'emploi de la fibre optique distribuée permet de répondre aux contraintes géométriques et méca-

**14- Endommagement en fonction des amplitudes de contraintes mesurées.**

**14- Damage according to measured stress amplitudes.**

riques très spécifiques d'un platelage orthotrope. Une instrumentation de ce type est un complément pertinent à un modèle de calcul aux éléments finis, qui reste indispensable ; elle s'inscrit logiquement dans une démarche de diagnostic, à l'intérieur de laquelle l'instrumentation reste un outil indispensable. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- Points de mesures / Résolution spatiale : 5 800 / 2,6 mm
- 2 fibres optiques en polyamide respectivement de 10 et 5 m
- Fréquence d'acquisition : 100 Hz
- 1 minute de mesure = 4 Go de données
- 2 interrogateurs Luna Odisi-B
- 5 PC 24/24h pendant 3 semaines
- 3 disques durs externes

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**CONCÉDANT :** État représenté par DIT/GCA  
**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Chambre de Commerce et d'Industrie Seine Estuaire  
**EXPERT AUPRÈS DU MAÎTRE D'OUVRAGE :** Michel Virlogeux  
**MODÉLISATION ET INSTRUMENTATION :** Quadric groupe Artelia  
**FOURNISSEUR :** Dimione

### ABSTRACT

#### NORMANDY BRIDGE - FATIGUE DIAGNOSIS AND INNOVATIVE INSTRUMENTATION OF THE STEEL DECKING

A. ROIBET, QUADRIC - J.-P. MAHÉRAULT, QUADRIC - C. FASQUEL, CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE - M. VIRLOGEUX, CONSEILLER TECHNIQUE DE LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE

**The diagnosis performed on the orthotropic decking of the main span of the Normandy Bridge combined an approach by computation, conducted on a finite element model, with innovative physical instrumentation using distributed optical fibres operating by backscattering, and dynamic acquisition at 100 Hz. This study highlighted the predominant influence of local traffic characteristics on damage, the impact surface of wheels and the very great sensitivity to the transverse position of the axles. These are factors that the Eurocode rules take into account only very imperfectly, and that cannot be compensated for by the quality of design calculation models. □**

#### PUENTE DE NORMANDÍA: DIAGNÓSTICO DE FATIGA E INSTRUMENTACIÓN INNOVADORA DEL FORJADO METÁLICO

A. ROIBET, QUADRIC - J.-P. MAHÉRAULT, QUADRIC - C. FASQUEL, CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE - M. VIRLOGEUX, CONSEILLER TECHNIQUE DE LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE SEINE ESTUAIRE

**El diagnóstico realizado del forjado ortotrópico de la luz principal del puente de Normandía ha combinado una estrategia de cálculo basado en un modelo de elementos finitos con una instrumentación física innovadora que utiliza fibra óptica distribuida que opera por retrodifusión Rayleigh, con una adquisición dinámica a 100 Hz. El estudio ha puesto de manifiesto la influencia predominante de las características locales del tráfico sobre los daños, la superficie de impacto de los ejes y la enorme sensibilidad a la posición transversal de los ejes. Se trata de factores tratados de forma muy incompleta por las normas del Eurocódigo y que la calidad de los modelos de cálculo no permite compensar. □**

# LA RECONSTRUCTION DE LA TRIBUNE SUD DU STADE SAINT-SYMPHORIEN À METZ

AUTEURS : JULIEN CAVELIUS, DIRECTEUR DE TRAVAUX, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - SÉBASTIEN ADOLPHE, CHARGÉ D'AFFAIRES, COSTANTINI - DELPHINE HUMBERT, RESPONSABLE MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - NICOLAS JAILLANT, DIRECTEUR DES ÉTUDES, CAPREMIB - ROMAIN LEONARD, DIRECTEUR TECHNIQUE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LE STADE SAINT-SYMPHORIEN APPROCHE DE SES 100 ANNÉES D'EXISTENCE. DEPUIS SON OUVERTURE LE 11 SEPTEMBRE 1923, DE NOMBREUX TRAVAUX ONT ÉTÉ ENTREPRIS POUR LE MODERNISER ET AUGMENTER SA CAPACITÉ D'ACCUEIL. LES TRIBUNES SITUÉES AU NORD, À L'OUEST ET À L'EST ONT AINSI DÉJÀ ÉTÉ RÉNOVÉES. LA DERNIÈRE TRIBUNE, LA TRIBUNE SUD, EST EN COURS DE RECONSTRUCTION DEPUIS PLUSIEURS MOIS PAR LES ENTREPRISES DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION ET COSTANTINI.



© CABINET FIEBIGER GMBH & CABINET MORENO

## HISTOIRE DU STADE SAINT-SYMPHORIEN

Le stade est implanté sur l'île Saint-Symphorien sur la commune de Longeville-lès-Metz. Depuis 1932, c'est le stade de résidence du Football Club de Metz.

En 1932, d'importants travaux débute pour le passage au statut professionnel du club messin. Sa capacité d'accueil est ainsi portée à 10 000 places dont 2 000 couvertes.

Le stade est situé à proximité immédiate de la Moselle. Il a d'ailleurs été

noyé à deux reprises dans les années cinquante. À l'ouest, il est longé par l'autoroute A31.

La mise en place de l'éclairage est réalisée en 1953 et les premières rénovations sont exécutées à partir de 1962.

En 1976, la tribune Sud est réalisée. Elle est utilisée jusqu'aux travaux de reconstruction de cette tribune évoqués dans cet article.

La tribune Nord est réalisée en 1987 avec la création de loges VIP. Puis les rénovations importantes de la tribune

1- Image de synthèse du futur stade Saint-Symphorien.

1- Synthesis image of the future Saint-Symphorien stadium.

Ouest (côté autoroute A31) en 1999 et enfin la tribune Est (côté Moselle) en 2001 ont été entreprises.

## DESCRIPTION DU PROJET DE LA TRIBUNE SUD

### LES ENJEUX DU CHANTIER

Les enjeux principaux du chantier sont le respect des délais et la qualité de l'ouvrage.

Le respect des délais : car la mise en exploitation de la nouvelle tribune Sud est indissociable de la reprise du championnat de France de football.

Une seule saison de football professionnel (2019-2020) sépare le démarrage et la fin des travaux de la tribune Sud dont l'envergure est

majeure. Démolir une ancienne tribune, construire une nouvelle tribune tous corps d'état en 14 mois, est un défi pour l'ensemble des intervenants sur chantier (MOA, MOE, entreprises). La gestion de la coactivité et la coordination des entreprises est journalière afin de permettre à chacun de travailler de manière sereine et en sécurité.

La technicité du projet est également un point clé dans la gestion des délais car l'ensemble des modes opératoires de réalisation doit être anticipé très rapidement (méthodes constructives, choix du matériel de production).

La qualité de l'ouvrage car c'est le reflet de l'image de l'entreprise, de la satisfaction du client et par conséquent c'est l'utilisateur final qui se réjouit d'investir le nouvel ouvrage, que ce soit pour un match de football ou pour une manifestation extra-sportive.

## CONCEPTION

La conception et les études d'exécution sont réalisées par les architectes Fiebiger (Allemagne) & Moreno (Luxembourg) ainsi que par le bureau d'étude Icr (Ingénieurs Conseil Réunis) basé à Mondelange.



© JSG RÉPUBLICAIN LORRAIN

**2- Démolition en cours par le lot précédent.**

**3- Étaïement pour la réalisation du voile supérieur.**

**2- Demolition in progress as part of the preceding work section.**

**3- Strutting for execution of the upper shear wall.**

La nouvelle tribune mesure 110 m de longueur, 54 m de profondeur au maximum et sa hauteur culmine à 27 m. Elle permet d'accueillir 8800 places assises avec les 2 nouveaux virages. À l'arrière, le nouveau parvis de 2400 m<sup>2</sup> permet de desservir de façon optimale ce nouvel espace multifonctionnel.

## MÉTHODES DE RÉALISATION

Les méthodes de réalisation ont été définies par l'intermédiaire d'une maquette numérique en 3D permettant

d'optimiser le phasage et d'intégrer les modes constructifs propres à ce type d'ouvrage à construire.

Tous les éléments en béton armé et de charpente métallique sont modélisés pour vérifier leurs interactions et s'assurer de l'adéquation des moyens de levage. Ainsi le planning de réalisation peut être approché au mieux pour la réalisation des travaux sur le chantier. Compte tenu du planning, de nombreux éléments sont préfabriqués (prémurs, prédalles, gradins, crémaillères et dalles alvéolaires précontraintes). Les éléments verticaux coulés en place sont réalisés par l'intermédiaire de banches métalliques ou de coffrages en carton. Les planchers peuvent également être coulés sur un étaïement lorsqu'ils ne sont pas préfabriqués. Les voiles non porteurs sont réalisés en maçonnerie. Les planchers en dalle alvéolaire précontrainte ont une épaisseur de 32 cm avec chape de 5 cm et contre-flèche de 4 cm, soit des éléments de 4,80 t au maximum. Ces dalles sont posées sur des poutres ou des corbeaux.

Les poutres de 16 t au maximum sont préfabriquées sur site dans des coffrages spécifiques avec intégration de boîtes de réservation de type Ankrbox. ▷



© LORNIER

- 4- Réalisation des pieux.**
- 5- Démontage de la grue à tour.**
- 6- Réalisation des superstructures.**

- 4- Pile execution.**
- 5- Dismantling the tower crane.**
- 6- Execution of superstructure.**

Les poutres crémaillères ont été dédoublées pour assurer leur levage à la grue à tour (poids maximum de 11,7 t). Les gradins doubles ont un poids de 13 t au maximum.

Seuls les voiles des cages-escaliers et certains poteaux ont été coulés en place pour constituer un noyau structurel de contreventement de la tribune. L'utilisation de grues mobiles d'appoint a permis de diminuer la saturation des grues à tour et de respecter un planning tendu pour la fabrication des éléments.

Pour toute la superstructure, 400 t d'étaie ont été nécessaires afin de satisfaire aux phases provisoires du chantier. Les efforts étant assez conséquents, la majeure partie des tours d'étaie sont des "Touréchaf" de la société Mills, reprenant 6 t par pied. L'étaie du porte-à-faux arrière de 11 m de longueur sur 30 m de largeur a nécessité la mise en place de tripodes afin de reprendre un effort ponctuel de 40 t à cet endroit.

Un autre étaie de 21 m de hauteur a permis la réalisation des 2 voiles rampants d'épaisseur 80 cm en porte à faux sur plus de 15 m de long. Ces voiles permettront de tenir la charpente des virages réalisée dans une seconde phase (figure 3).

Pour les interactions entre le gros-cœur et la charpente métallique, des outils spécifiques ont été créés pour liaisonner les platines de la charpente aux éléments en béton armé de la superstructure.

On distingue deux cas de figure :

→ Soit le tirant de la charpente est maintenu par un voile d'épaisseur 30 cm et le maintien de la platine est réalisé sur un sommier béton de 50 cm, à l'aide de deux axes  $\varnothing 159,3$  mm totalement parallèles traversant chacun un tube creux de  $\varnothing_{int} 160$  mm (jeu de 0,7 mm à la pose) avec une bêche à sceller dans le béton.



4

© LORIN VERIF



5

© LORIN VERIF



6

© LORIN VERIF



7  
© LOR'N VERIF

→ Soit le tirant de la charpente est maintenu par un poteau de 80 cm de largeur, avec des tiges filetées Ø 56 mm directement incorporées au coulage du poteau ainsi qu'une bèche à sceller dans le béton.

## RÉALISATION

### Démolition de l'ancienne tribune Sud :

Le 23 mai 2019, au lendemain du dernier match du championnat de football de Ligue 1 pour la saison 2018/19, les

**7- Gradin inférieur réalisé.**  
**8- Pose des gradins préfabriqués.**

**7- Completed lower terrace.**  
**8- Placing prefabricated terraces.**

équipes de démolisseurs et de désamanteurs ont attaqué la déconstruction de l'ancienne tribune Sud. Cette démolition a duré quelques semaines pendant la réalisation des bases-vie du marché principal de reconstruction (figure 2).

### Les fondations :

Dans les 3 semaines qui ont suivi, les plateformes étaient en cours pour la réalisation des fondations profondes. La tribune est fondée sur un ensemble de 430 pieux de 0,60 m ou 0,80 m de

diamètre et d'environ 15 m de longueur pour un linéaire total d'environ 6500 m (figure 4).

### Les superstructures :

À la mi-juillet 2019, les 2 grues à tour étaient montées afin d'attaquer les premières élévations de cette nouvelle tribune. Les grues utilisées sont des grues de forte capacité MD560 et MD689 avec une capacité de 13 t à 55 m. Ces grues se sont imposées en raison du recours massif à la préfabrication mise en œuvre pour respecter les délais imposés par le planning ambitieux fixé par le client.

L'ensemble de ces superstructures représente environ 10000 m<sup>3</sup> de béton pour environ 1200 t d'acier de béton armé.

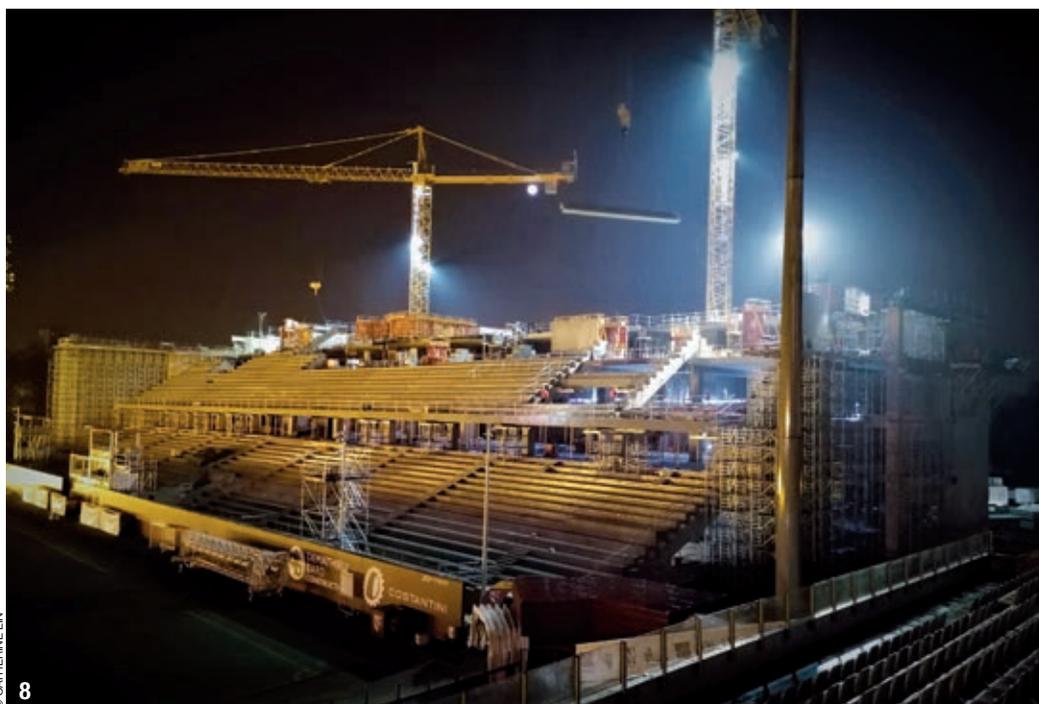
Les murs intérieurs sont réalisés en temps masqué et en maçonnerie car ils ne participent pas à la résistance de la tribune (murs non porteurs). Ils représentent environ 9000 m<sup>2</sup> (figures 5 et 6).

### Les gradins :

Les gradins sont composés d'éléments préfabriqués réalisés dans les usines rémoises de l'entreprise Capremib du groupe Demathieu Bard.

Fort de son expérience passée dans la réalisation des gradins et des crémaillères, Capremib a mis son savoir-faire dans la fabrication des pièces du stade.

La réalisation est composée de 52 unités de gradins simples, 279 unités de gradins doubles d'une longueur maximale de 11,65 m, de 140 crémaillères, ▷



8  
© CATHERINE LUN



9

© CATHERINE LIN

ainsi que de voiles et de dalles de fermeture, soit environ 2 150 m<sup>3</sup> et 258 t d'armatures. Le poids moyen d'un gradin double se situe aux alentours de 13 t.

Chaque pièce a fait l'objet d'une fabrication sur mesure. Les armatures ont été réalisées en interne dans l'atelier certifié NF-AFCAB et le coulage des pièces a été effectué avec un béton C40/50 pour respecter les exigences du bureau d'études structure, d'une part, et favoriser un démoulage quotidien des pièces coulées, d'autre part. Les gradins et les crémaillères ont été coulés en amont et une partie du parc de stockage a été mis à la disposition spécifique du chantier afin d'assurer une fluidité optimale des livraisons et de garantir le cycle de rotation de ce dernier.

Une des particularités du chantier repose sur le fait que la face du dessus des gradins est "brute finie". Ces derniers ont été coulés à l'envers sur des moules en bois et métalliques en fonction de leur réutilisation, montés en interne et retournés en usine pour être livrés en position.

En fonction de leur emplacement sur le chantier, les crémaillères ont été coulées soit à plat soit en position, afin que le parement visible de ces dernières soit coffré (figures 7 et 8).

Après 7 mois de gros œuvre intensif, la deuxième grue à tour a été démontée début février 2020.

#### **Charpente métallique :**

En parallèle à la réalisation du gros-œuvre et pendant 2 mois d'assem-

blage au sol, la globalité de l'ossature principale de la charpente métallique de couverture est montée.

Les éléments de cette charpente représentent 1 200 t d'acier soit 45 camions acheminés depuis l'usine de Martifer située à côté de Porto au Portugal. Après ce montage au sol, la globalité est mise en œuvre en 2 mois de levage et d'assemblage en toiture pour les 4 morceaux principaux. Les 4 colis de 47 m x 25 m x 14 m de hauteur et de 242 t au maximum ont été grutés à

#### **9- Pose du premier colis de la charpente métallique.**

#### **10- Saisissage du premier colis.**

#### **9- Placing the first package of the steel frame.**

#### **10- Lashing the first package.**

30 m de hauteur et à 45 m de portée. Sur l'avant, un porte-à-faux de 44 m, soit 17 m de plus que les 2 tribunes existantes, permet la couverture des gradins.

Pour ces travaux de mise en place, l'utilisation d'une grue treillis à chenilles de 1 130 t en charge a été nécessaire. Cette grue mesure 84 m de hauteur avec 355 t de contrepoids déporté (80 camions ont été nécessaires afin d'approvisionner les platelages et la machine).



10

© LORIN VERIF



11

Enfin, trois grues mobiles complémentaires de 50 à 150 t, 12 nacelles et 3 chariots élévateurs ont permis la mise en place des morceaux de liaisons entre les 4 colis principaux.

La couverture de cette charpente métallique est composée de bacs en acier sur l'arrière (pour la couverture des gradins hauts) et d'une membrane en ETFE (éthylène tétrafluoroéthylène) translucide sur les quinze premiers mètres à l'avant de la charpente, sur les gradins bas figures 9 et 10).

#### Parvis et virage :

Situé derrière la tribune Sud réaménagée, un parvis est actuellement en cours de réalisation. Il permettra le stationnement des joueurs, du staff et des VIP en sous-sol, ainsi que la circulation des supporters dans le but d'améliorer le fonctionnement global du stade.

Pour encore améliorer les fonctionnalités, les virages Est et Ouest permettront la connexion entre les 3 dernières tribunes réalisées (tribune Est, tribune Sud et tribune Ouest).

Le parvis est constitué d'une dalle champignon de 40 cm d'épaisseur qui est réalisée en plusieurs phases grâce à un étaielement de 2 000 m<sup>2</sup>. Cet étaielement est en partie démonté et repositionné grâce à la mise en place

#### 11- Image de synthèse des futurs virages.

#### 11- Synthesis image of the future bends.

d'étais de séchage sur les parties déjà décoffrées.

Cette dalle repose sur 57 poteaux fondés par l'intermédiaire de 62 pieux. Compte tenu de la fonctionnalité de ce parvis, de nombreux fourreaux sont incorporés dans le ferrailage de cette dalle qui recevra les différentes buvettes et les sanitaires de la tribune Sud.

Enfin l'accès est réalisé par l'intermédiaire d'un escalier monumental préfabriqué en 3 volées clavetées entre elles afin de le rendre monolithique. Cet escalier est également accompagné de 2 escalators mécaniques pour les accès des personnes à mobilité réduite.

Sur les virages, la toiture est réalisée en charpente métallique composée de poutres treillis de 3 à 4 m de hauteur et de 25 m de portée encastrées sur 4 appuis en béton (figure 11). □

## PRINCIPALES QUANTITÉS DU LOT GÉNIE CIVIL

- 10 000 m<sup>3</sup> de béton de structure
- 1 200 t d'acier HA
- 1 200 t de charpente métallique
- 15 000 m<sup>2</sup> de planchers alvéolaires préfabriqués
- 430 pieux de 15 m de profondeur en Ø 600 et 800 mm

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Immobilière Saint-Symphorien

**ASSISTANCE MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Semaco

**MAÎTRISE D'ŒUVRE CONCEPTION :** Fiebiger GmbH & Moreno

**MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION :** Icr

ENTREPRISES :

**AMÉNAGEMENTS ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES :**  
Lingenheld Travaux Publics

**DÉMOLITIONS :** Lingenheld Travaux Spéciaux

**FONDATIONS PROFONDES :** Durmeyer

**GROUPEMENT MOMENTANÉ CONJOINT ET SOLIDAIRE D'ENTREPRISES :** Demathieu Bard Construction (mandataire) / Costantini

**SOUS-TRAITANTS MAJEURS :**

- Charpente métallique : Martifer
- Terrassements de masse : Lingenheld Travaux Publics
- Maçonneries : Finition Carrée / Sges / Eurofaçade
- Imperméabilisation des joints de gradins : Arriba

## ABSTRACT

### RECONSTRUCTION OF THE SOUTH GRANDSTAND OF SAINT-SYMPHORIEN STADIUM IN METZ

JULIEN CAVELIUS, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - SÉBASTIEN ADOLPHE, COSTANTINI - DELPHINE HUMBERT, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - NICOLAS JAILLANT, CAPREMIB - ROMAIN LEONARD, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

**The Saint-Symphorien stadium will soon be 100 years old.** Since its opening on 11 September 1923, a large amount of work has been carried out to modernise it and increase its spectator capacity. The North, West and East grandstands have already been renovated. The last grandstand (South grandstand) has been undergoing reconstruction for several months now. These works incorporate, in particular, 10,000 m<sup>3</sup> of structural concrete, 15,000 m<sup>2</sup> of prefabricated floors and 43 piles. □

### LA RECONSTRUCCIÓN DE LA TRIBUNA SUR DEL ESTADIO DE SAINT-SYMPHORIEN, EN METZ

JULIEN CAVELIUS, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - SÉBASTIEN ADOLPHE, COSTANTINI - DELPHINE HUMBERT, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - NICOLAS JAILLANT, CAPREMIB - ROMAIN LEONARD, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

**El estadio de Saint-Symphorien cumplirá pronto 100 años de existencia.** Desde su inauguración el 11 de septiembre de 1923, ha sido objeto de numerosas obras de modernización y aumento de la capacidad. Hasta la fecha, se han renovado las tribunas norte, oeste y este. La última tribuna, la tribuna sur, se encuentra en fase de reconstrucción desde hace varios meses. Las obras incluyen 10.000 m<sup>3</sup> de hormigón estructural, 15.000 m<sup>2</sup> de suelos prefabricados y 43 pilotes. □

# L'AUSCULTATION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL : UN PROJET

AUTEUR : BERNARD PINCENT, CONSULTANT

LA ROBOTISATION DES MESURES DE TOPOGRAPHIE ET L'AUTOMATISATION DES MESURES ONT PROFONDÉMENT MODIFIÉ LE CONTENU DES PROGRAMMES D'AUSCULTATION DES GRANDS OUVRAGES : NOMBRE IMPORTANT DE CAPTEURS, FRÉQUENCE ÉLEVÉE DES MESURES, TÉLÉSURVEILLANCE, STRUCTURAL HEALTH MONITORING POUR LES GRANDS PONTS. LA SURABONDANCE DE DONNÉES ET LA COMPLEXITÉ CROISSANTE DES PROGRAMMES D'AUSCULTATION IMPOSENT DE MODIFIER LA CONCEPTION DE L'AUSCULTATION QUI DOIT ÊTRE ENVISAGÉE COMME UN PROJET.



© DYNACPT

## L'AUSCULTATION DES OUVRAGES, EST-CE VRAIMENT NÉCESSAIRE ?

Durant des siècles, les travaux de construction des grands ouvrages se sont passés de mesures d'auscultation ; seul le contrôle dimensionnel était pratiqué (figure 1). Avec le développement de projets ambitieux qui font appel à des techniques innovantes, s'est imposé le contrôle du comportement de ces ouvrages pendant la construction puis en exploitation. Jusqu'au concept de "la méthode observationnelle ou conception interactive" où les mesures

pilotent les travaux, technique rendue possible par la rapidité et le niveau de précision des mesures et des calculs numériques.

Paradoxe que d'équiper les ouvrages de très nombreux capteurs alors que les études et les travaux réalisés dans les règles de l'Art sont menés pour réaliser un ouvrage où stabilité et sécurité sont assurées pour de très nombreuses années. En l'absence de comportements anormaux, de dommages aux avoisinants, ce qui doit être la règle, l'intérêt de l'auscultation et de ses mil-

liers de mesures peut paraître limité et cher payé !

Paradoxe car parmi les activités de mesure d'un chantier de construction listées dans le tableau 1, l'auscultation n'est pas dans les priorités du chantier, particulièrement lorsque son intérêt est mal compris. De plus, l'intégration des opérations d'auscultation - installation, mesures, rapports - dans les travaux du chantier, interfère avec le déroulement du chantier et la coordination - chantier, équipe d'auscultation, maître d'œuvre - et peut être source de conflits.

C'est oublier que l'auscultation est indispensable pour maîtriser les incertitudes liées au comportement des matériaux, souvent celui du sol par nature hétérogène, pour atteindre le niveau de précision demandé aujourd'hui dans la conception des projets. Et qu'elle devient essentielle lorsque la conception adopte la méthode observationnelle dans le dimensionnement de l'ouvrage dont la réalisation devient interactive, l'auscultation pilotant les travaux (D. Allagnat - Presses Enpc 2005).

## MESURES DE CONTRÔLE AU XII<sup>e</sup> SIÈCLE



© DR 1

### AUTOMATISATION ET TÉLÉSURVEILLANCE

À l'échelle de plusieurs siècles, l'auscultation est récente. Les capteurs spécifiques de l'auscultation en génie civil, ont été développés à partir du début du 20<sup>e</sup> siècle ; les capteurs à corde vibrante sont encore utilisés. De nouvelles techniques sont apparues, liées aux progrès de la technologie, comme l'inclinométrie en forage ou plus récemment l'interférométrie radar satellitaire (voir "Innovation dans l'auscultation des ouvrages", *Travaux* n°957).

Mais l'évolution la plus spectaculaire a été l'automatisation des mesures

**1- Mesures de contrôle au XII<sup>e</sup> siècle. L'usage du fil à plomb est très ancien. Miniature XII<sup>e</sup> siècle - Herrade de Lansberg - Hortus Deliciarum.**

**1- Inspection measurements in the 12th century. The use of the plumb line is a very old practice. 12th century miniature - Herrad of Landsberg - Hortus Deliciarum.**

et particulièrement celle des mesures topographiques.

La réduction des coûts de l'électronique et de l'informatique, la miniaturisation des appareils, la robotisation de la mesure des déplacements par topométrie de précision à l'aide de stations totales robotisées ou l'acquisition automatique de mesures à l'aide de capteurs connectés en réseau à des centrales d'acquisition et des micro-ordinateurs, autorisent des fréquences de mesure élevées, ce qui a donné accès aux traitements statistiques des mesures. Pour les mesures dites "statiques", le relevé journalier maximum

avec de nombreux techniciens a été transformé en un toutes les heures, avec très peu de personnel.

Parallèlement, ce sont l'automatisation et l'essor des techniques de télétransmission qui ont rendu possible le développement de la télésurveillance avec émission automatique d'alertes et d'alarmes.

Conséquences du développement de l'automatisation des mesures : la multiplication des points de mesure, du nombre de mesures et la mise en avant de nouveaux concepts d'auscultation. Il est devenu possible de mettre en œuvre des mesures dynamiques continues - vibrations, déformations dynamiques - couplées à des traitements complexes, à des coûts abordables dans le cas de grands projets ; c'est une des origines du Structural Health Monitoring (SHM).

### STRUCTURAL HEALTH MONITORING (SHM)

Le SHM est un concept séduisant qui repose sur la mise en œuvre de réseaux de - très nombreux - capteurs et de logiciels complexes, destinés à surveiller et à **noter automatiquement**, en temps réel, l'état de l'ouvrage. Concept issu des techniques de maintenance prédictive de structures ou de moteurs dans l'industrie aéronautique, il est l'objet de recherches depuis les années 2000.

Transposée aux ouvrages de génie civil, la contrainte "solicitations dynamiques" du SHM restreint son application aux grands ponts métalliques où les actions dynamiques sont générées par les véhicules ou trains, par le vent ou par des séismes. L'investissement initial en matériels, logiciels, personnel, temps et compétences serait, selon les promoteurs du SHM, compensé par les gains dans la gestion de l'ouvrage, particulièrement pour la programmation des opérations de maintenance de court terme et long terme, de l'ouvrage et en cas d'incident.

L'acronyme "SHM" s'est répandu pour nommer toute auscultation classique comportant de nombreux capteurs mais sans l'analyse par ordinateur de "l'état de santé" de l'ouvrage.

Le nombre de capteurs installés augmente donc exponentiellement, induisant de sérieux problèmes de gestion des données : fréquences d'acquisition des mesures de vibrations élevées, énorme flux de données, logiciels de calculs dynamiques sophistiqués fonctionnant en parallèle, énormes besoins de stockage des données, etc.

TABLEAU 1 : DE NOMBREUSES ACTIVITÉS DE MESURES SUR CHANTIER

	Objectif	Utilisant...	Pour par exemple...
1	Plans, SIG	Techniques topographiques	Plans, calculs de volumes
2	Implantation des ouvrages	Techniques topographiques	Construction d'un pylône de grand pont
3	Mesures de pilotage spécifiques aux travaux	Capteurs, techniques topographiques	Pilotage d'un tunnelier Lancement d'un tablier
4	Mesures environnementales	Météo, température, vibrations, bruit	Vitesse du vent et fonctionnement des grues Gestion de la circulation sur les grands ponts
5	Surveillance de chantier, d'engins	Capteurs, caméras	Surveillance incursions, incendie
6	Auscultation	Techniques topographiques, capteurs, météo	Contrôle et surveillance du comportement des ouvrages

On assiste par exemple à une multiplication par quatre du nombre habituel de capteurs installés sur les grands ponts (figure 2) pour le Stonecutters Bridge (Hong Kong), dont le programme d'auscultation a été conçu pour être un exemple de SHM. Celui-ci inclut :

- Plus de 1500 points de mesure, avec une majorité de mesures dynamiques de fréquence 100 Hz ;
- 74 110 mesures/seconde, un flux de 38 Go/jour (hypothèse : 6 bytes/mesure) ;
- Des bases de données relationnelles ;
- Des logiciels de traitement/calculs très sophistiqués fonctionnant en continu (éléments finis dynamiques par exemple) ;
- Des logiciels d'évaluation automatique de l'état du pont (rating).

Qui ou quelle machine est capable d'implanter intelligemment les capteurs, de choisir et valider des critères pour définir l'état de fonctionnement de l'ouvrage, élément par élément ? De prendre la responsabilité d'interprétations très difficiles à faire en urgence à la suite d'alarmes émises par le SHM et, ceci, pour une durée de vie contractuelle d'une centaine d'année ? L'intelligence artificielle, le Big Data ?

### INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

"Grand mythe de notre temps", excellent sujet pour le *high-tech marketing*, les intelligences artificielles (IA) reposent sur des algorithmes datant des années 1980, dont la diffusion et l'usage ont été rendus possibles par la puissance des ordinateurs actuels. Les algorithmes des IA sont-ils applicables au traitement et à l'interprétation des résultats de mesures d'instrumentation ? Si on exclut de l'IA les algorithmes plus que cinquantennaires de traitement des mesures - corrélations multiples, ajustements, traitement du signal - qui sont aujourd'hui appelés "intelligence artificielle", la réponse est négative. Notamment si on tient à garantir les informations générées automatiquement par des ordinateurs. Ceci pour deux raisons : la phase d'apprentissage et le niveau d'expertise multidisciplinaire imposés par ces techniques.

**Apprentissage :** les algorithmes de *machine learning* ont besoin de données très nombreuses et validées, pour "apprendre" et donner des réponses fiables lors du traitement de données qui ne correspondent pas à un schéma prévu initialement. Or contrairement aux avions extrêmement nombreux et de conception standardisée, avec

des procédures de contrôle de haut niveau technique, normalisées, les grands ponts, tunnels, barrages et autres ouvrages de génie civil sont peu nombreux et tous différents ! Chaque ouvrage est un cas particulier, ce qui rend vaine la phase d'apprentissage d'un programme d'IA.

**Expertise :** les algorithmes d'IA génèrent des biais qu'il faut maîtriser ; certains algorithmes doivent être ajustés (*triming*) pour fournir des informations fiables. En cas de dysfonctionnement, remonter le flot des phases de calcul est un travail d'expert en IA, particulièrement long et fastidieux.

Quel expert en conception d'ouvrages de génie civil maîtrise la mise en œuvre d'algorithmes d'IA, en plus des techniques d'auscultation ? Combien d'experts de cette envergure ou d'équipes d'experts ayant une expérience pratique, existent dans le monde ?

Dans le domaine de l'auscultation des ouvrages, SHM et IA se heurtent au mur du faible nombre d'applications pratiques et de leur extrême complexité.

### MULTIPLICATION DES POINTS DE MESURE AUTOMATISÉS

La surveillance des effets des travaux souterrains sur les ouvrages situés le long du tracé a profité de ces progrès technologiques, particulièrement de la robotisation des mesures topographiques.

Dans l'exemple du tableau 2, une ligne de métro de 3,8 km en région parisienne, les mesures topographiques - 1394 prismes (X, Y, Z) et 2199 repères de nivellement (Z) représentent 6381 points de mesure à enregistrer et traiter. À ce nombre de mesures, il faut ajouter les mesures inclinométriques, plus de 3000 points de mesure à chaque relevé de l'ensemble des inclinomètres. Même si, pendant les travaux, les relevés ne concernent qu'une partie des points de mesure, il n'en reste pas moins que traiter seulement 10% de ces points, c'est 1120 points à surveiller et 1120 graphes à contrôler par jour !

### TRAITEMENT, INTERPRÉTATION

Face à ce grand nombre de points de mesure, les processus de traitement ont été profondément modifiés. Le flot de données ne permet plus une analyse des mesures, point de mesure par point de mesure. Ce sont des ordinateurs qui testent le fonctionnement des capteurs, traitent automatiquement les mesures en vérifiant que les seuils d'alerte ou d'alarme ne sont pas dépassés, puis édite les résultats.

Le traitement, dans ses formes les plus simples - bon fonctionnement des capteurs et évolution normale des mesures - est rapide et les tableaux et graphiques s'accumulent !

Or les mesures ne sont pas "parfaites" et le traitement peut être complexe.

Il n'est pas facile par exemple de caractériser par le calcul l'effet, très fréquent, de la température sur les structures (et sur les capteurs !) particulièrement lorsque l'amplitude de variation du paramètre est inférieure à celle de l'effet de la température (figure 3). Seules conviennent des techniques d'ajustement numérique sophistiquées et l'œil humain pour contrôler.

Par ailleurs, l'interprétation "humaine", même dans ses formes les plus simples - évolution de la grandeur mesurée conforme aux prévisions - est réduite, faute de temps. L'expérience montre que, à côté du risque de "noyade" provoquée par un flot non maîtrisé de données, il y a celui de ne pas remarquer, par exemple, un début d'évolution anormale, non décelée par le logiciel dit "intelligent" mais qui aurait intrigué un cerveau expérimenté visionnant, avec attention et très tôt, les graphes édités par l'ordinateur. L'interprétation est elle aussi réduite, fréquemment faute de spécialistes disponibles.

### ALERTES ET ALARMES

L'automatisation et l'évolution des transmissions radio et téléphoniques a augmenté l'attrait des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises pour les alertes et les alarmes en chargeant les intervenants d'une importante responsabilité dans le domaine de la sécurité. Pour les alertes, on définit deux ou

TABLEAU 2 : TRAVAUX SOUTERRAINS. NOMBRE DE REPÈRES ET CAPTEURS POUR UN TRACÉ DE 3,8 km

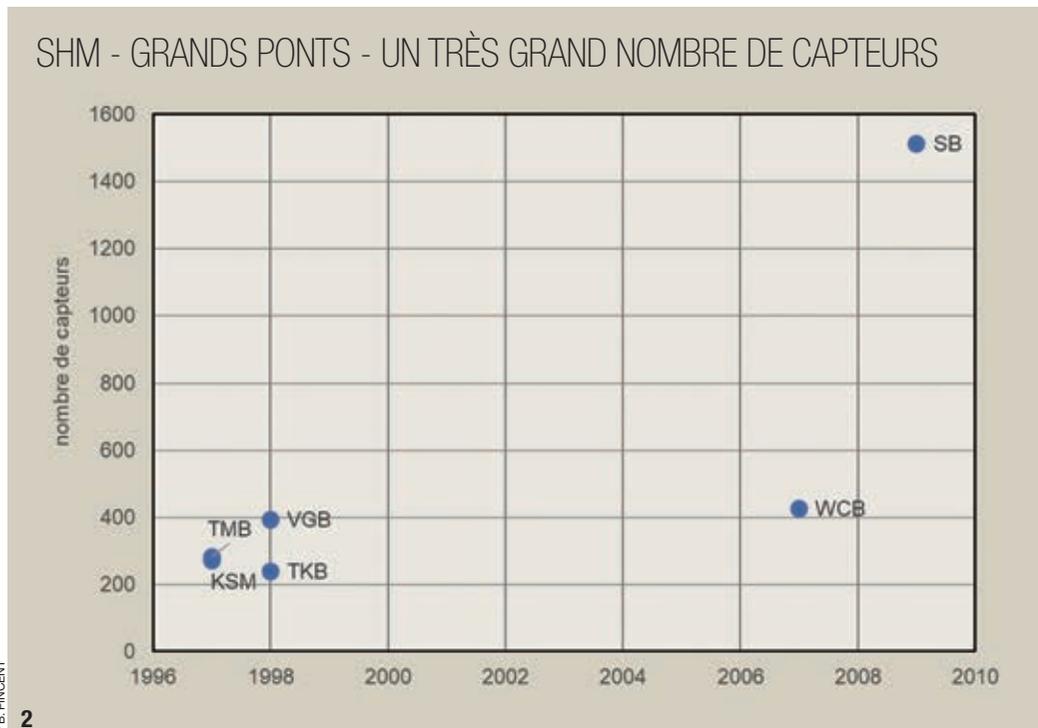
Paramètre mesuré	Capteur, repère/en site urbain sur les ouvrages, bâtiments situés le long du tracé	Nb	Nb pts de mesure
Déplacements X, Y, Z	Prismes optique de topographie X, Y, Z	1 394	4 182
Tassements Z	Repères de nivellement	2 199	2 199
Déplacements horizontaux en forage	Inclinomètres de forage	60	3 600
Tassements en forage	Inclino-extensomètres	10	150
Tassements en forage	Extensomètres	18	90
Déformation front	Extrusomètres	7	21
Pression interstitielle	Piézomètres	63	63
Déformation structure acier	Extensomètres à corde vibrante pour acier	369	369
Déformation structure Béton	Extensomètres à corde vibrante pour béton	184	184
Rotations	Clinomètres	88	88
Ouverture de fissures	Fissuromètres	180	180
Pression totale	Cellules de pression totale	32	32
Météo	Température humidité air	20	40
	<b>Total</b>	<b>4 624</b>	<b>11 198</b>

2- **TMB** : Hong Kong - Tsing Ma Bridge 1377 m -  
**KSM** : Hong Kong Kap Shui Mun Bridge 750 m - 430 m -  
**TKB** : Hong Kong - Ting Kau Bridge 475 m -  
**WCB** : Hong Kong Western Corridor Bridge 5 km -  
**SB** : Hong Kong - Stonecutters Bridge 1018 m -  
**VGB** : Portugal - Vasco da Gama Bridge 12,3 km 945 m -  
**SHM** : Le nombre de capteurs installés sur le Stonecutters bridge est quatre fois plus important que celui des ponts équivalents.

2- **TMB**: Hong Kong - Tsing Ma Bridge 1377 m -  
**KSM**: Hong Kong Kap Shui Mun Bridge 750 m - 430 m -  
**TKB**: Hong Kong - Ting Kau Bridge 475 m -  
**WCB**: Hong Kong Western Corridor Bridge 5 km -  
**SB**: Hong Kong - Stonecutters Bridge 1018 m -  
**VGB**: Portugal - Vasco da Gama Bridge 12.3 km 945 m -  
**SHM**: The number of sensors installed on Stonecutters Bridge is four times as great as on equivalent bridges.

trois niveaux d'attention et les actions à mener après le déclenchement de l'alerte. Il ne s'agit pas d'alarme, dont le déclenchement fait suite à l'évolution anormale d'un paramètre, mettant en danger le chantier.

Contrairement à la gestion des alarmes qui impose une organisation spécifique contractualisée, dans celle des alertes, les actions sont habituellement menées par le prestataire qui gère le système de mesure - alerte de dysfonctionnement par exemple -, avec information du maître d'œuvre lorsqu'il s'agit d'une évolution anormale d'un paramètre, mais sans danger pour les travaux.



Les alertes et alarmes sont habituellement définies par des seuils constants dans le temps ; l'alerte ou alarme est déclenchée au passage du seuil. La gestion automatique de ces franchissements de seuils est devenue trop facile ; toute alerte ou alarme doit être validée avant diffusion. Une pré-diffusion non validée peut être envisagée avec les réserves d'usage, mais, l'expérience montre que, s'ajoutant au flot d'informations, elle peut créer un risque de "noyade", de lassitude, voire de rejet du système de surveillance. L'expérience montre aussi qu'en cas d'alerte de haut niveau ou d'alarme, c'est un ingénieur expérimenté qui doit intervenir, pour des raisons de compétences et de responsabilité. Les ingénieurs spécialistes du comportement d'ouvrage sont-ils disponibles 24 h sur 24, 7 jours sur 7 avec un délai d'information de 3 heures, comme c'est spécifié dans certains cahiers des charges ?

Le surcoût considérable de ces contraintes est-il pris en compte dans les contrats ? Ce sont des sujets qui, compte tenu des enjeux, devraient faire l'objet d'une réflexion approfondie, de recommandations ou d'une réglementation.

#### CONCEPTION DE L'INSTRUMENTATION

Comment maîtriser les programmes d'auscultation des grands projets ? Dans le domaine de l'instrumentation

en génie civil, l'accent est d'abord mis sur l'aspect matériel - les capteurs, les techniques de mesure, les réseaux, les logiciels - souvent au détriment de la réflexion, particulièrement celle concernant la phase des études de conception des programmes d'auscultation et celle de la phase d'interprétation.

L'usage de techniques nouvelles, - il est toujours délicat de maîtriser une technique nouvelle - conduit à faire des efforts pour mettre en œuvre l'innovation elle-même, mais au détriment d'autres tâches.

Nouvelles techniques, nouveaux comportements : une *terra incognita*. Le chercheur se passionnera peut-être pour ces constatations, mais le constructeur ou l'ingénieur de conception seront eux, fort ennuyés. Que faire pour donner des explications convaincantes aux responsables devant un comportement inattendu ? Phénomène réel ou dérives du capteur ? Faute d'un effort d'analyse important par du personnel compétent, les mesures seront contestées - elles ne correspondent pas à ce qu'on attendait ! Elles sont donc mauvaises !

La mise en œuvre des nouveaux concepts du SHM et de l'IA à l'auscultation des ouvrages, ne donne pas de réponse à ces questions, au contraire. Ce sont des concepts du domaine de la recherche. Les méthodologies éprouvées, validées sur les barrages, les ouvrages d'art, déblais et remblais, pendant des décennies, doivent être

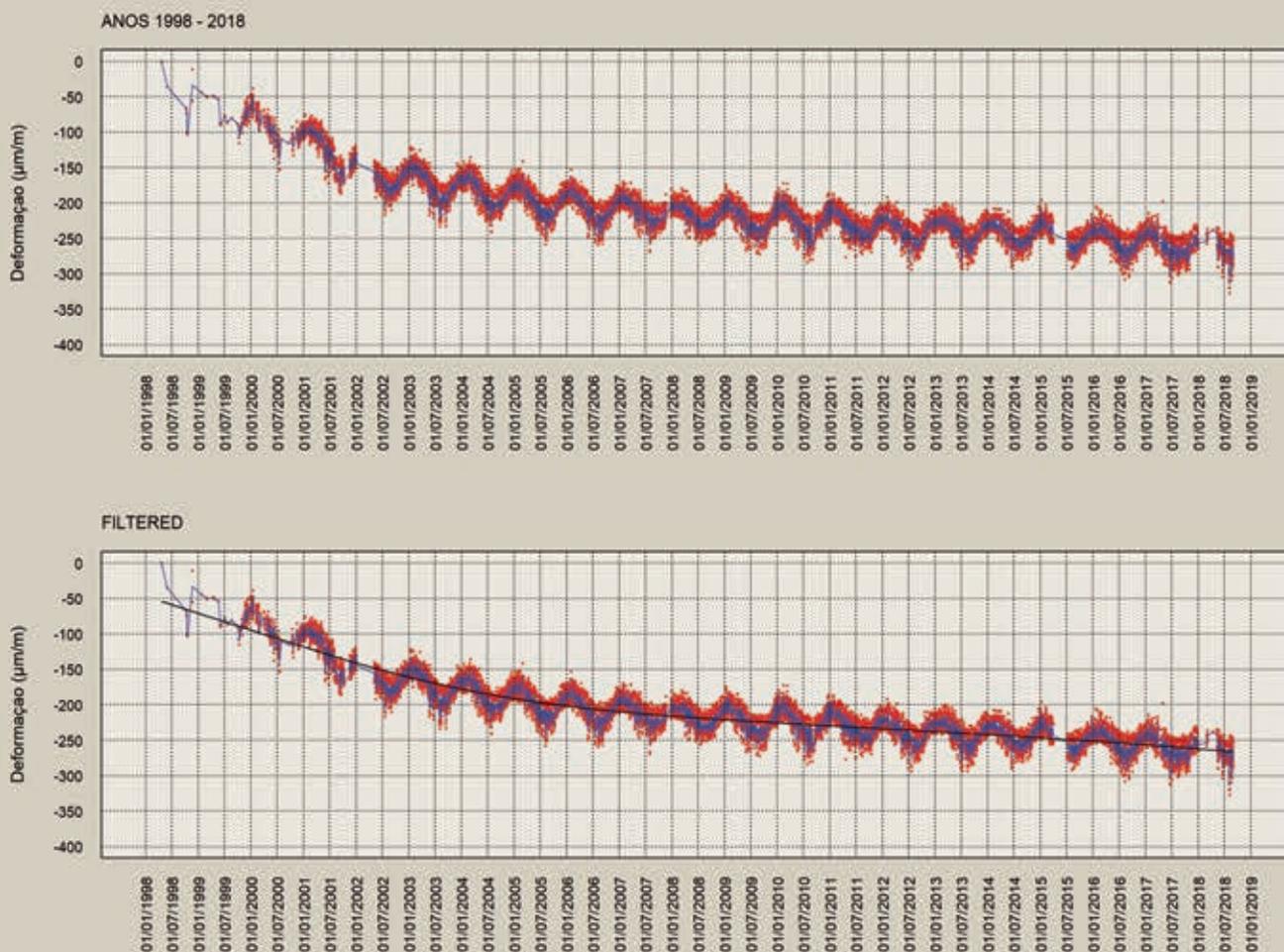
envisagées en priorité ; elles ont fait leurs preuves. Reste à concevoir de bons programmes d'auscultation.

L'auscultation doit être un projet à part entière, définissant au départ ses objectifs généraux déclinés en objectifs particuliers avec un ordre de priorité dans chacune des phases du projet d'auscultation. Ce n'est pas toujours le cas pour différentes raisons : le rôle mineur de l'auscultation dans un grand projet, le contrat d'auscultation envisagé en phase finale des études ou en début des travaux, les délais tendus...

Le projet d'auscultation - voir les recommandations de l'Aftes - L'organisation de l'auscultation des tunnels GT19 R1F1 1998, recommandations aisément applicables à d'autres ouvrages que les tunnels - doit être établi avec les concepteurs des ouvrages et l'entreprise, lorsque c'est l'entreprise qui a la charge de l'auscultation, comme c'est souvent le cas. Un projet avec des priorités qui permettent de hiérarchiser les besoins, de tenir compte des contraintes qui peuvent être très fortes - accès aux voies ferroviaires ou aux pistes d'un aéroport par exemple - et d'ajuster le budget.

Le programme d'auscultation devrait être révisé/optimisé avant sa mise en œuvre pour tenir compte des dernières modifications de conception des ouvrages, pour en augmenter sa qualité technique tout en optimisant le budget. Enfin, le projet d'auscultation doit comprendre une analyse détaillée de l'orga- ▸

## EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR LA DÉFORMATION DU BÉTON



nisation des compétences à mettre en œuvre, de leur disponibilité, particulièrement pour les étapes d'interprétation qui réclament des compétences multidisciplinaires, et qui sont souvent le maillon faible du projet d'auscultation alors que c'est l'étape essentielle, raison de l'auscultation.

Et plus généralement, il faut abandonner l'idée qu'un système d'auscultation soit considéré comme "éternel", avec une durée de vie de 100 ans, sans maintenance programmée.

Au contraire, tout programme d'auscultation devrait faire l'objet d'un audit avant le début de l'exploitation, puis ensuite, avec une période de 3 à 5 ans, d'un audit pour modifier au besoin le programme, décider de l'arrêt des mesures de peu d'intérêt pour la suite, et *a contrario*, de l'installation de nouveaux capteurs, ou de l'amélioration/modification des logiciels. Un programme d'auscultation piloté par l'intérêt des mesures qu'il fait ! □

**3- Mesures de déformation d'un tablier de pont en béton précontraint. La déformation due à la température cache la déformation de fluage. Un traitement permet d'isoler la déformation de fluage : courbe noire, graphe inférieur.**

**3- Strain measurements on a prestressed concrete bridge deck. Strain due to temperature masks creep strain. A treatment can isolate the creep strain: black curve, lower graph.**

### ABSTRACT

#### MONITORING OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES: A PROJECT

BERNARD PINCENT, CONSULTANT

**Original inventions, innovations and automated monitoring of civil engineering structures**, which have permitted the development of remote supervision of structures, are radically changing the concept and organisation of monitoring. To manage the growing stream of data, a monitoring programme should be considered as a project with special attention paid to the phases of design and organisation of measurement interpretation. □

#### LA AUSCULTACIÓN DE LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL: UN PROYECTO

BERNARD PINCENT, CONSULTANT

**Algunas invenciones originales e innovaciones y la automatización de la auscultación de las obras de ingeniería civil**, que han permitido el desarrollo de la vigilancia remota de las construcciones, han revolucionado el diseño y la organización de la auscultación. Para gestionar correctamente el flujo creciente de datos, un programa de auscultación debe tratarse como un proyecto, prestando especial atención a las fases de diseño y de organización de la interpretación de las mediciones. □



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

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



1  
© SETEC TPI

# COMBINER REMPLACEMENT DE LA VENTILATION ET EXPLOITATION AU TUNNEL DU FRÉJUS

AUTEUR : ROMAIN DEBACQUE, INGÉNIEUR EXPERT VENTILATION ET CHEF DE PROJET, SETEC TPI

LA RÉALISATION DE TRAVAUX DANS UN TUNNEL SOUS EXPLOITATION IMPLIQUE DES CONTRAINTES FORTES À LA FOIS SUR LES TRAVAUX ET SUR L'EXPLOITATION. CES CONTRAINTES SONT D'AUTANT PLUS IMPORTANTES LORSQUE LES TRAVAUX CONCERNENT LA VENTILATION DE DÉSENFUMAGE DU TUNNEL, SYSTÈME CLÉ POUR LA SÉCURITÉ ET L'EXPLOITATION DE L'OUVRAGE. POUR AUTANT, IL EST POSSIBLE D'ALLÉGER LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION EN PHASE TRAVAUX GRÂCE À UNE OPTIMISATION DES CONDITIONS MINIMALES D'EXPLOITATIONS LIÉES À LA VENTILATION (CME-VENTILATION).

## CONTEXTE

### LA VENTILATION DU TUBE HISTORIQUE DU TUNNEL ROUTIER DU FRÉJUS

Le tunnel du Fréjus, long d'environ 13 km, est situé entre Modane (Savoie, France) et Bardonnèche (Piémont, Italie) sur l'axe Lyon/Turin. Dans l'attente de l'ouverture d'un second tube (travaux en cours), l'ouvrage est actuellement exploité avec un monotube bidirectionnel à 2 voies (1 voie par sens de circulation). Le présent article s'inscrit dans

ce contexte où seul le tube historique est exploité (figure 2).

Le tunnel est ventilé selon un système de ventilation dit "transversal" par soufflage d'air frais et extraction d'air vicié. Deux gaines de ventilation sont disposées au-dessus de l'espace de circulation, entre le faux-plafond et la voûte de l'ouvrage (figure 3) : l'une permet d'apporter l'air frais et l'autre d'extraire l'air vicié.

Le système de ventilation est divisé en 6 tronçons de soufflage et 3 cantons

**1- Illustration des travaux en cours : mise en place d'un nouveau ventilateur dans la centrale B3 (caverne souterraine).**

**1- Illustration of work in progress: installation of a new ventilator in the B3 plant (underground cavern).**

d'extraction (figure 4), tel qu'un canton d'extraction couvre la distance de 2 tronçons de soufflage. Chacun de ces tronçons et cantons est équipé respectivement de 2 ventilateurs de soufflage nommés ci-après "AF" et de 4 ventilateurs d'extraction nommés ci-après "AV".

Les 24 ventilateurs (12 AV et 12 AF) se répartissent en 6 groupes de 2 AF + 2 AV, que l'on appelle des "centrales". Les centrales sont réparties le long du tunnel, avec une centrale à

chaque tête et deux centrales à chaque tiers (aux 1/3 et 2/3) du tunnel. De la France vers l'Italie, les centrales sont nommées A1, B2, B3, C4, C5 et D6, avec B2 et B3 (respectivement C4 et C5) situées dans une même caverne souterraine appelée "usine B" (respectivement "usine C").

La ventilation de l'ouvrage est exploitée selon deux modes principaux :

- Le mode sanitaire utilisé en circonstances normales et qui a comme principal objectif d'assurer une bonne qualité de l'air dans le tunnel ;
- Le mode désenfumage utilisé en cas d'incendie et qui a pour objectif de permettre l'auto-évacuation des usagers dans des conditions de sécurité acceptables, et l'intervention des services de secours.

Bien que la qualité de l'air soit un sujet majeur pour l'exploitation d'un tel ouvrage, il est un sujet moins contraignant que celui du désenfumage.

Les phénomènes physiques liés au développement d'un incendie en milieu confiné sont complexes et nombreux, et impliquent une ventilation de désenfumage puissante et sophistiquée. La stratégie de désenfumage du tunnel du Fréjus consiste :



2  
© WWW.SFTRFFR

**2- Vue aérienne de la tête France du tunnel du Fréjus.**

**3- Coupe transversale du tube historique du tunnel routier du Fréjus.**

**2- Aerial view of the French portal of Fréjus Tunnel.**

**3- Cross section of the historical tube of the Fréjus road tunnel.**

- À extraire un débit très important sur un linéaire d'environ 400 m centré sur l'incendie, on parle d'extraction incendie ;
- À souffler un débit d'air frais modéré en tunnel, de manière à apporter de l'air sain, sans perturber la stratification des fumées au plafond ;
- À maintenir une vitesse de courant d'air proche de 0 m/s au droit de l'incendie, on parle dans ce cas de contrôle du courant d'air.

Pour les deux premiers objectifs, les actions à mettre en œuvre sont rela-

tivement simples à définir. L'extraction incendie est réalisée en activant 2 ou 3 des 4 AV du canton où se trouve l'incendie, et l'apport d'air frais modéré est réalisé en activant 1 AF de chacun des tronçons concernés.

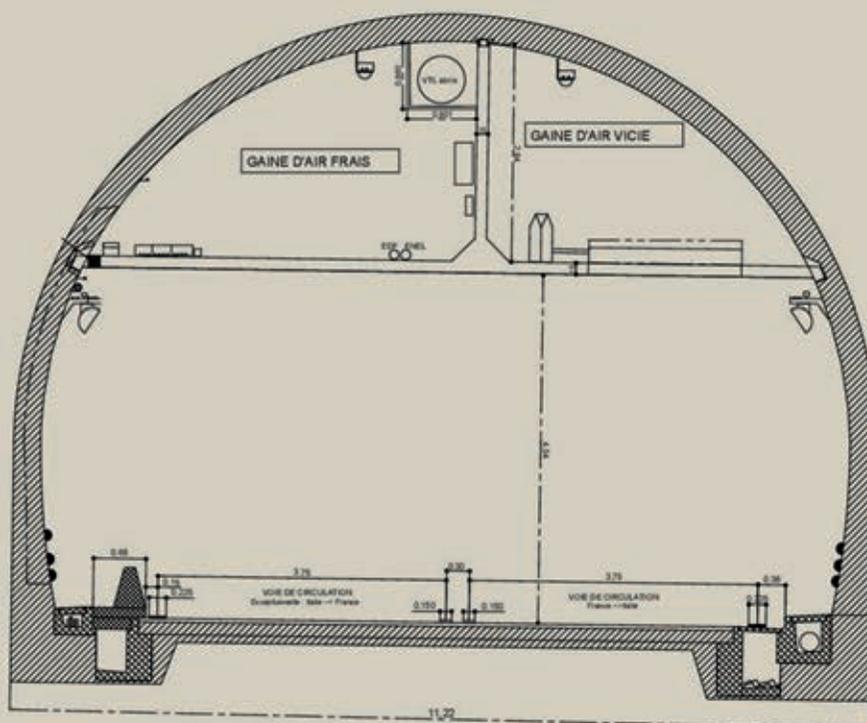
Concernant le contrôle du courant d'air dans le cas d'un tunnel comme celui du Fréjus qui ne possède pas d'équipements spécifiques pour cet objectif, il est beaucoup plus délicat de définir les activations de ventilateurs à réaliser. Dans cet ouvrage, le courant d'air naturel est principalement affecté par les contre-pressions atmosphériques, qui varient de plusieurs centaines de pascals. Pour contrôler ce courant d'air en cas d'incendie, la stratégie consiste à utiliser les AV et AF des cantons et tronçons situés en dehors de la zone incendie. En fonction de la position de l'incendie, le courant d'air naturel est contrôlé soit par des extractions, dites "extractions à l'opposé", entre l'incendie et la tête du tunnel d'où provient le courant d'air naturel, soit par des soufflages, dits "soufflage à l'opposé", entre l'incendie et la tête par laquelle s'échappe le courant d'air naturel, soit par la combinaison des deux (figure 5).

Cette technique de contrôle du courant d'air impose de définir au préalable les différents scénarios de régimes de ventilation pour chaque position type d'incendie et pour chaque plage de contre-pression considérée. Au Fréjus, on distingue 11 positions d'incendie et 15 plages de contre-pressions, ce qui conduit à 165 scénarios de désenfumage distincts. Ces nombreux scénarios sont calculés numériquement avec un modèle unidimensionnel de l'intégralité du tunnel, qui prend en compte tous les paramètres spécifiques à ce tunnel, tels que l'altitude, les contre-pressions, le trafic, la température variable de la roche, etc. Pour réaliser ce type d'étude, un logiciel unidimensionnel spécifique doit être utilisé, comme par exemple le logiciel Express'Air (logiciel Setec).

### LES TRAVAUX PROJETÉS

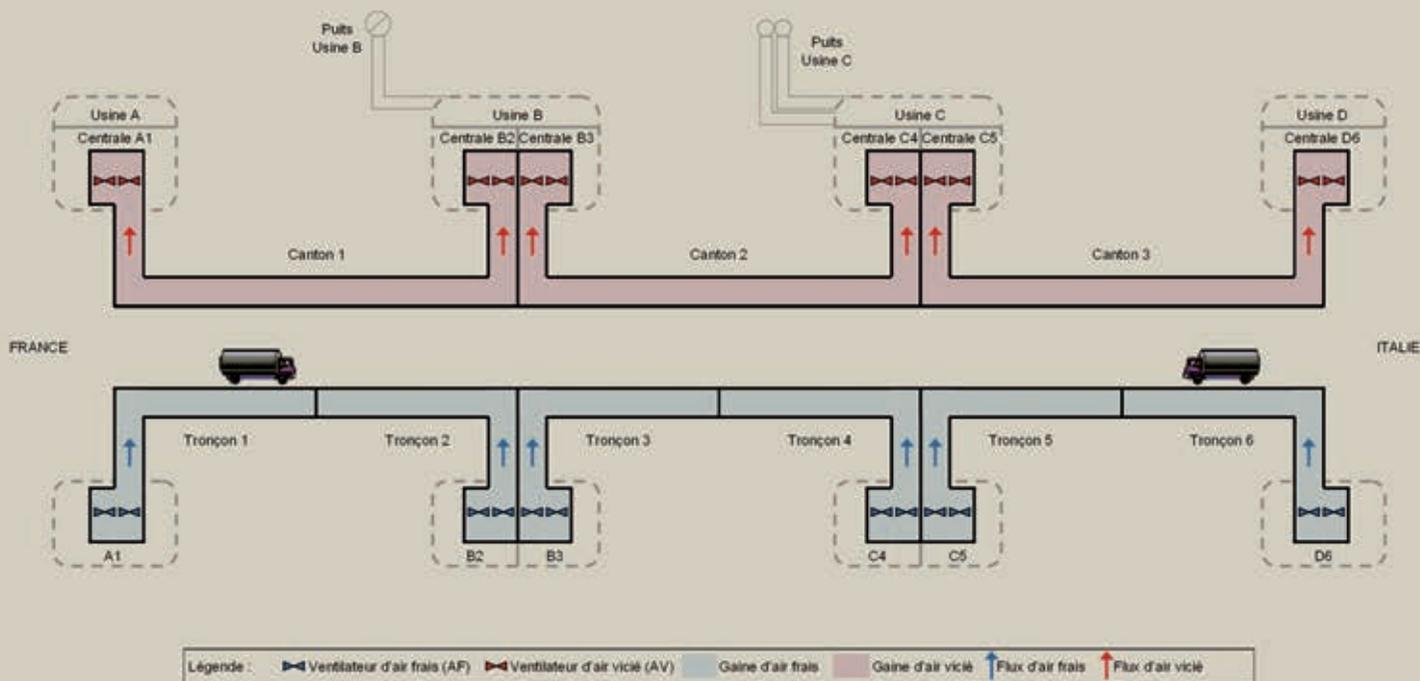
Suite à la directive européenne de 2004 sur la sécurité des tunnels, le tunnel du Fréjus s'est engagé dans un vaste programme de sécurisation. Ce tunnel, exploité historiquement en tant que monotube bidirectionnel, évolue progressivement et profondément depuis plusieurs années avec notamment le creusement d'un second tube parallèle au tube existant. À terme, l'ouvrage aura vocation à être exploité en tant que bitube unidirectionnel (figure 2). ▷

## COUPE TRANSVERSALE DU TUBE HISTORIQUE DU TUNNEL ROUTIER DU FRÉJUS



© PLAN SFTRFF  
3

## COUPE SCHÉMATIQUE DU SYSTÈME DE VENTILATION DU FRÉJUS



4

© SETEC TPI

En attendant, de nombreux travaux en interfaces aux deux tubes doivent se dérouler en concomitance de travaux lourds d'entretien du tube existant. Parmi ces travaux d'entretien figure notamment l'opération de remplacement de l'ensemble des équipements de ventilation. Cette opération revêt des enjeux majeurs tels que le traitement de l'obsolescence des équipements, l'augmentation des performances, l'amélioration de la redondance et la compatibilité de la ventilation du tube existant avec les évolutions d'exploitation future à deux tubes. Les principaux travaux de cette opération concernent le remplacement des 24 ventilateurs et de leur alimentation et contrôle-commande, le tout avec la contrainte forte du maintien de l'exploitation du tunnel en permanence. Il est à souligner que ces nouveaux ventilateurs combinent à la fois une technologie avancée (vitesse et calage de pales variables en marche) et une puissance mécanique importante (de l'ordre de 1 MW), ce qui sous-entend des travaux de plusieurs mois pour le remplacement d'une seule machine et des équipements associés (figure 1).

### LES INTERFACES ET CONTRAINTES ENTRE L'EXPLOITATION ET LES TRAVAUX

Les travaux de gros entretien de la ventilation dans un tunnel sous exploitation sont confrontés à deux objectifs antagonistes :

- Le maintien de conditions d'exploitation satisfaisantes ;
- La réalisation des travaux dans un délai le plus court possible.

Le phasage peut s'avérer très dimensionnant pour certaines opérations, du fait de son impact direct sur le planning et donc sur les interfaces avec les potentielles autres opérations et également du fait des conséquences financières que cela implique.

En parallèle de ces considérations de travaux, l'ouvrage doit continuer d'être exploité dans des conditions de sécurité acceptables. Or l'indisponibilité d'un trop grand nombre d'équipements de ventilation peut s'avérer incompatible avec le maintien des conditions de sécurité. Les CME-ventilation d'un ouvrage dépendent du système de ventilation de l'ouvrage et des mesures compensatoires que l'exploitant est capable de mettre en œuvre. Elles sont définies spécifiquement pour chaque ouvrage en fonction des performances en mode dégradé du système de ventilation, c'est-à-dire lorsqu'un ou plusieurs équipements de ventilation sont indisponibles. Dans le cas du tunnel du Fréjus, différents modes dégradés ont été évalués en termes de performances, ce qui a permis d'associer à chacune de ces situations dégradées une CME-ventilation spécifique. Ainsi, le choix des modes dégradés étudiés est-il primordial et doit correspondre à la réalité et aux enjeux de l'exploitation du tunnel en question.

### 4- Coupe schématique du système de ventilation du Fréjus.

### 4- Schematic cross section of the Fréjus ventilation system.

Par conséquent, si l'on revient maintenant au sujet des travaux et si l'on souhaite diminuer la tension sur le phasage et tout ce que cela implique, il convient d'améliorer au maximum à la fois les performances aérodynamiques, la robustesse et la définition des modes dégradés. L'amélioration des performances et de la robustesse avant la réalisation des travaux dont cela est l'objet peut s'avérer délicate mais reste possible via des optimisations fonctionnelles.

### L'OPTIMISATION DE LA VENTILATION POUR ALLÉGER LES CONTRAINTES ENTRE L'EXPLOITATION ET LES TRAVAUX

Dans le cadre de l'opération de remplacement de la ventilation du Fréjus, la phase étude a fait ressortir la forte contrainte qu'imposent les CME-ventilation sur le phasage des travaux. Cette contrainte est d'autant plus forte que la durée de vie des ventilateurs

historiques du tunnel du Fréjus a déjà été prolongée plusieurs fois, ce qui accentue le risque d'avoir durant la phase travaux l'indisponibilité d'un ventilateur supplémentaire du fait d'une panne.

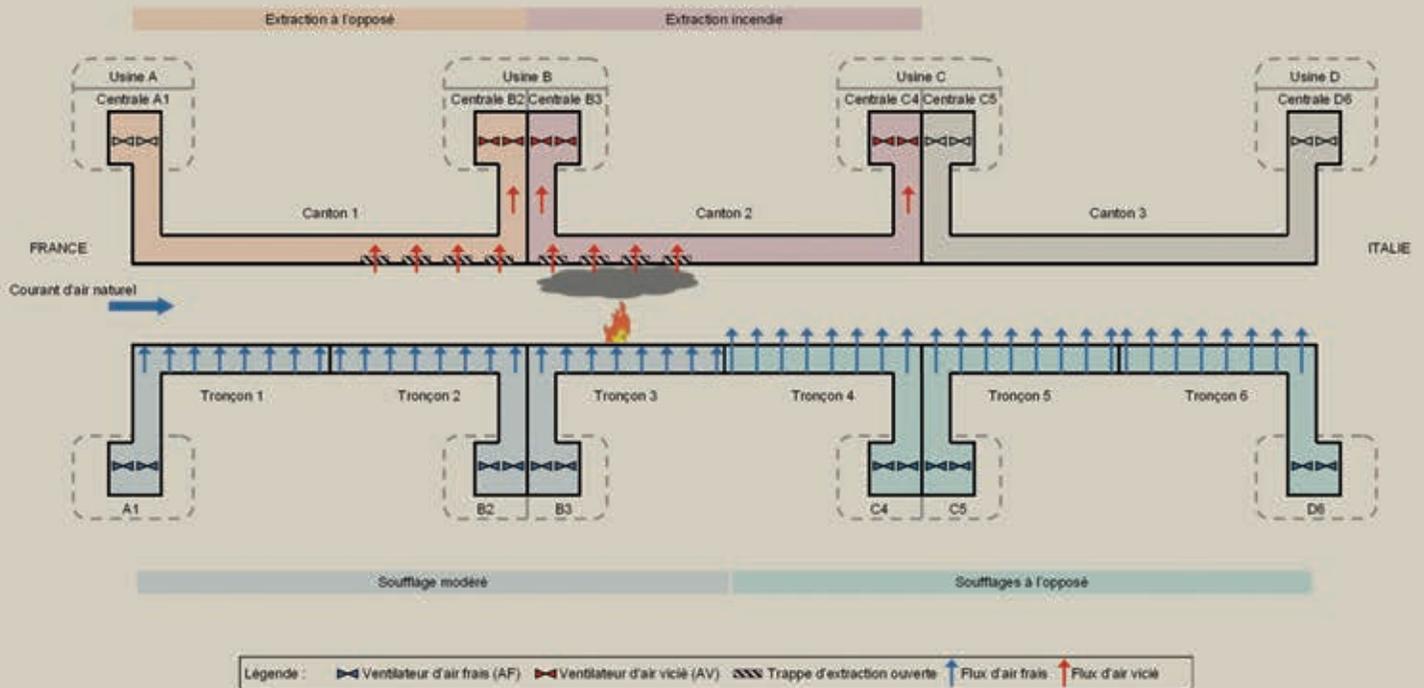
Par ailleurs, avant ces travaux de remplacement de la ventilation et en parallèle du creusement du second tube, des nouveaux rameaux de communication entre les deux tubes du tunnel ont été creusés et mis en service (34 au total). La ventilation de ces rameaux est connectée aérodynamiquement à l'espace trafic et elle est en mesure de dégrader les performances de la ventilation du tube existant.

### OPTIMISATIONS FONCTIONNELLES

De manière à placer la ventilation du tunnel du Fréjus dans un contexte favorable aux travaux de remplacement des ventilateurs, plusieurs améliorations fonctionnelles ont été développées. Un fonctionnel optimisé nécessite un compromis entre les performances et la robustesse. La simplicité d'un système contribue à sa robustesse, mais elle représente en général un frein pour les performances.

Ainsi le fonctionnel de la ventilation du tunnel du Fréjus a-t-il été modifié, en cherchant à maximiser le rapport gains de performance sur complexité du système. Les principales optimisations fonctionnelles mises en œuvre ont consisté :

## SCHÉMA DU PRINCIPE DE CONTRÔLE DE COURANT D'AIR DU FRÉJUS



5

© SETEC TPI

5- Schéma du principe de contrôle de courant d'air du Fréjus.

6- Matrice des combinaisons considérées classiquement pour les modes dégradés du Fréjus.

5- Schematic diagram of air flow control in Fréjus Tunnel.

6- Matrix chart of the combinations conventionally considered for the Fréjus degraded modes.

→ À augmenter les capacités d'extraction à l'opposé et de soufflage à l'opposé, en permettant de nouvelles combinaisons d'activation. Les performances individuelles de ces nouvelles combinaisons ont été validées par une campagne de mesure in-situ spécifique. Ces nouvelles données intégrées dans le modèle de calcul unidimensionnel ont permis de quantifier l'amélioration de la performance globale du système pour les 165 scénarios de désenfumage. La mise en œuvre de ces nouvelles combinaisons d'activation des ventilateurs a été rendue

possible du fait de la présence des nouveaux rameaux intertubes qui modifient les contraintes liées au cheminement d'évacuation et par une meilleure connaissance du bilan de puissance du système.

→ À limiter le soufflage modéré à la seule zone de l'incendie, tout en maintenant la mise en surpression de tous les rameaux du tunnel. En

effet le soufflage modéré sur tout le linéaire du tunnel ne facilite pas le contrôle du courant d'air, et la présence des nouveaux rameaux permet, d'un point de vue sécurité, de s'en abstenir.

→ À permettre un fonctionnement en boucle fermée de la ventilation de désenfumage, qui consiste au cours d'une situation à changer de scénario

de désenfumage de façon automatique via un asservissement aux mesures de vitesse d'air en tunnel. Ce fonctionnement en boucle fermée est particulièrement favorable lorsqu'un ou plusieurs ventilateurs sont indisponibles (mode dégradé), et que les performances réelles diffèrent du coup des performances escomptées en mode normal. ▷

## MATRICE DES COMBINAISONS CONSIDÉRÉES CLASSIQUEMENT POUR LES MODES DÉGRADÉS DU FRÉJUS

	Tous les AV sont disponibles	1 AV indisponible	2 AV indisponibles dans deux centrales différentes	2 AV indisponibles dans la même centrale
Tous les AF sont disponibles	Mode normal		Modes dégradés	
1 AF indisponible		1 AV et 1 AF de centrales différentes 1 AV et 1 AF de la même centrale		
2 AF indisponibles dans deux centrales différentes	Modes dégradés		Non-étudié	
2 AF indisponibles dans la même centrale				

6

© SETEC TPI

## REDÉFINITION DES MODES DÉGRADÉS

Comme indiqué précédemment, les modes dégradés impactent directement les CME-ventilation et doivent donc correspondre aux enjeux de l'exploitation du tunnel.

Le remplacement de la ventilation du Fréjus constitue une opération majeure de plusieurs années avec des contraintes fortes sur l'exploitation. Les modes dégradés (de ventilation) traités classiquement au tunnel du Fréjus correspondent à l'indisponibilité d'un ou deux ventilateurs, selon différentes combinaisons qui sont fonction du type de ventilateur (AF ou AV) et du nombre de centrales impliquées. Il vient ainsi 8 modes dégradés, tel qu'illustré par le tableau figure 6.

Une telle définition des modes dégradés limite fortement les possibilités pour le remplacement des ventilateurs, puisqu'elle implique la fermeture du tunnel à partir de trois ventilateurs indisponibles.

Les possibilités de phasage sont donc limitées aux possibilités de remplacer les ventilateurs soit unitairement, soit deux par deux, avec dans ce deuxième cas aucune marge de manœuvre en cas de panne d'un troisième ventilateur.

Par ailleurs, chacun de ces modes dégradés tels qu'ils sont définis ici correspond à de nombreux cas possibles (il y a par exemple 12 cas possibles d'indisponibilité d'un AV) et se voit attribuer par principe de sécurité les performances du cas le plus défavorable.

En généralisant ainsi les cas, on simplifie l'analyse mais on dégrade pour de nombreuses situations particulières l'appréciation des performances et

donc l'exploitation que l'on s'autorise. Pour remédier à ces différents points et s'adapter au contexte des travaux de remplacement des ventilateurs, les modes dégradés du Fréjus ont été redéfinis.

Le nombre très important de combinaisons possibles avec 3 ventilateurs ou plus indisponibles a conduit à exclure l'idée d'étudier chacune d'elles. Il a cependant été décidé de cibler un nombre modéré de cas particuliers ayant une plus-value importante pour l'exploitation durant les travaux, étant entendu qu'en dehors de ces cas particuliers, ce sont les cas généraux décrits précédemment qui continuent de s'appliquer.

Dans l'objectif de permettre le remplacement de deux ventilateurs en parallèle, les modes dégradés ont été enrichis d'une cinquantaine de combinaisons particulières. Celles-ci correspondent à des situations dont la probabilité d'apparition n'est pas négligeable dans le contexte et pour lesquelles le gain en termes d'appréciation des performances (et donc le gain pour l'exploitation) est suffisant par rapport à la complexité qu'ajoute la prise en compte de ces combinaisons supplémentaires. Ces cas particuliers correspondent à des combinaisons d'indisponibilité, notamment sur les centrales souterraines, telles que :

- 1 AV de la centrale B2 + 2 AF des centrales B2 et/ou B3.
- 2 AV de la centrale B2 + 1 AF de la centrale B2 ou B3.
- 1 AV de la centrale B2 + 1 AF de la centrale B2 ou B3 + 2 autres AF.
- 2 AV de la centrale B2 + 1 AF de la centrale B2 ou B3 + 1 autre AF.
- 2 AV de la centrale B2 + 1 autre AV + 1 AF de la centrale B2 ou B3.

## CONCLUSION

Les évolutions développées pour la ventilation du Fréjus ont permis une nette amélioration des performances en mode nominal et en modes dégradés d'exploitation, ainsi qu'une forte diminution des contraintes qu'implique l'indisponibilité de ventilateurs sur l'exploitation. Les travaux ont ainsi pu être menés sur deux ventilateurs en paral-

lèle, soit un gain de 50% sur la durée des travaux (par rapport à un remplacement un par un), et ceci sans réduction du niveau de sécurité de l'ouvrage. Cet exemple démontre toute l'importance pour un ouvrage d'être doté, en situation normale et encore davantage en situation de travaux, d'une ventilation au fonctionnel optimisé et aux modes dégradés adaptés. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur : 12 868 m
- Pente uniforme : +0,54% dans le sens France-Italie
- Altitude moyenne : 1 263 m
- 2 cavernes souterraines abritant chacune 2 centrales de ventilation
- 2 puits d'environ 700 m de haut, associés chacun à une caverne (au 1/3 et 2/3 environ du tunnel)

## SYSTÈME DE VENTILATION

- 6 centrales de ventilation
- 24 ventilateurs axiaux à calage de pales variable en marche
- 101 trappes d'extraction de surface unitaire 6 m<sup>2</sup>
- Environ 3 200 bouches de soufflage (répartition environ tous les 4,5 m en base de piédroit)

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Sfrtf et Sitaf

**EXPLOITANT :** GEIE Gef

**ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE SUR LES SUJETS VENTILATION :** Setec

**ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE SUR LES SUJETS SÉCURITÉ :** Bg Ingénieurs Conseils

**EXPERT VENTILATION DE LA DÉLÉGATION FRANÇAISE DU COMITÉ DE SÉCURITÉ :** Cetu

**EXPERT VENTILATION DE LA DÉLÉGATION ITALIENNE DU COMITÉ DE SÉCURITÉ :** Politecnico di Torino

## ABSTRACT

### COMBINING VENTILATION REPLACEMENT WITH OPERATION IN FREJUS TUNNEL

ROMAIN DEBACQUE, SETEC TPI

**Heavy maintenance work on the ventilation system in a tunnel in operation faces two opposing challenges: maintaining satisfactory operating conditions, on the one hand, and work performance within the shortest possible time, on the other hand. To allow replacement of the 24 ventilators in the Fréjus road tunnel in an acceptable period of time, it was necessary to provide for the replacement of two ventilators in parallel and hence reduce operating constraints affecting the works. Functional optimisations were developed to improve ventilation system performance in normal mode (or nominal mode), and the degraded modes were redefined in-depth to adapt operating conditions to this work context. □**

### COMBINAR LA SUSTITUCIÓN DE LA VENTILACIÓN Y LA EXPLOTACIÓN EN EL TÚNEL DEL FREJUS

ROMAIN DEBACQUE, SETEC TPI

**Las grandes obras de mantenimiento de la ventilación en un túnel en funcionamiento deben conciliar dos objetivos antagonistas: mantener unas condiciones de explotación satisfactorias y realizar las obras en el plazo más breve posible. Para sustituir los 24 ventiladores del túnel del Fréjus en un tiempo aceptable, era preciso sustituir dos ventiladores en paralelo, reduciendo así la incidencia del tráfico en las obras. Se desarrollaron optimizaciones funcionales para mejorar las prestaciones de la ventilación en modo normal (o modo nominal), y se redefinieron en profundidad los modos de funcionamiento reducido para adaptar las condiciones de explotación a este contexto de obras. □**

# SMAvie

VOTRE RETRAITE ET  
CELLE DE VOS SALARIÉS  
AVEC LE NOUVEAU PER<sup>(1)</sup>

Vous vous préoccupez de votre avenir et de celui de vos salariés ? Découvrez le nouveau PER entreprise, une solution d'épargne pour la retraite simple et attractive pour les salariés des entreprises<sup>(1)</sup>.

Parlez-en avec un conseiller SMAvie !

[www.smavie.fr](http://www.smavie.fr)

✓ Les cotisations obligatoires versées par l'entreprise sont déductibles de son résultat imposable<sup>(2)</sup>.

✓ Une fois à la retraite, un complément de revenus est versé à l'assuré jusqu'à la fin de sa vie.

(1) PER Entreprise est un plan d'épargne retraite obligatoire et un contrat collectif d'assurance vie à adhésion facultative dont les garanties sont exprimées en euros et/ou en unités de compte. Les supports en unités de compte présentent un risque de perte en capital.

(2) Dans les limites et conditions de la législation en vigueur.

Informations basées sur la réglementation en vigueur au 01/01/2020

NOUVEAU

Engineering a Better Solution

# STOP THE ROCK

MACCAFERRI



**MacArmour®**

**Nouveau système de protection  
contre les chutes de blocs**

Le nouveau MacArmour® est un système 2 in 1 qui associe la rigidité des câbles haute résistance bi-orientés avec la flexibilité du grillage double torsion en une solution plus robuste et plus sûre capable de répondre à de nombreuses problématiques.