

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES D'ART. PONT DE LA SALPETRIERE A PARIS. REMBLAIS RENFORCES A10/A71 A ORLEANS. PYLONS DU TELEO A TOULOUSE. VIADUC DU LOT A MENDE. AMENAGEMENT DE L'A480 A GRENOBLE. DOUBLEMENT DE L'AUTOROUTE A10 - VIADUC DE COURTINEAU. CONSTRUCTION D'UN PEM ET D'UN PRA A MONTAIGU. REHABILITATION DU PONT DE FER DE MOULINS. PONT POUSSE SUR LA TET - PYRENEES-ORIENTALES. NOUVEAUX APPUIS POUR LE PONT FELIX HOUPHOUET BOIGNY A ABIDJAN

N° 972 OCTOBRE 2021



DOUBLEMENT DE
L'AUTOROUTE A10
© GROUPEMENT ETPO -
NGE GC



La consommation gagnante

« Grâce à sa transmission hydrostatique fluide, le PR 736 assure une faible consommation de carburant et des performances élevées. »

Gérald Lahaye, Opérateur chez Bennes Services
www.liebherr.com

LIEBHERR

Terrassement



Efficiency⁺

Calculez ce que
pouvez économiser !

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

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

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction

Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

Com et Com

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

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

Publicité

Rive Média

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

Directeur de clientèle

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

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence

2, chemin dit du Pressoir

Le Plessis

28350 Dampierre-sur-Avre

Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

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

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

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

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

UN AVENIR PASSIONNANT POUR LES JEUNES INGÉNIEURS EN GÉNIE CIVIL



© DR

La France a été longtemps parmi les pays les plus avancés dans le domaine du génie civil, et notamment des ouvrages d'art. Si notre nation est maintenant bien équipée en infrastructures de transport, il reste beaucoup de choses à faire dans certains secteurs, notamment en matière d'équipements pour les énergies renouvelables. Il ne faut pas oublier aussi que nombre de nos structures vieillissantes vont exiger des campagnes importantes de réparation, restauration, rénovation. L'État a d'ailleurs prévu récemment une enveloppe budgétaire pour aider les collectivités territoriales à inventorier dans un premier temps les ponts dont elles sont propriétaires. Mais il faudra ensuite les diagnostiquer en détail, puis étudier et exécuter les réparations nécessaires.

Par ailleurs, de nouveaux matériaux, comme le BFUP, vont se développer. S'ils ont une résistance plus élevée, leur utilisation dans les structures sous la forme d'éléments de sections plus faibles entraînera une susceptibilité plus grande de ces structures aux phénomènes dynamiques. Ces derniers devront donc être étudiés de façon plus systématique et plus fine.

Compte tenu de tout cela, nous pouvons être confiants dans la quantité de travail à réaliser par nos entreprises et nos bureaux d'étude, que ce soit en France ou à l'étranger. De plus, de nouveaux paradigmes, de nature assez générale, vont influencer le génie civil, ainsi que tous les domaines de l'économie : le développement durable et l'intelligence artificielle.

Les exigences du développement durable vont s'appliquer au génie civil de façon de plus en plus prégnante. On s'aperçoit que la production du ciment est responsable d'environ 5 à 6 % des émissions globales de gaz à effet de serre, ce qui est considérable. Il va falloir les réduire drastiquement. Les industriels, les laboratoires de recherche, les bureaux d'études et les entreprises ont déjà commencé à y réfléchir et à développer des méthodologies et des outils pour cela. La neutralité carbone en 2050 : tel est le défi qui s'impose aux constructeurs, comme à l'ensemble de la société. La route sera longue. Les chemins pour y parvenir ne sont pas tous tracés à l'avance. Et les gaz à effet de serre ne sont pas les seuls impacts environnementaux qu'il faudra limiter. L'éco-conception n'en est qu'à ses balbutiements.

L'intelligence artificielle va, elle aussi, investir peu à peu tous les domaines techniques. Elle devrait permettre de fournir aux concepteurs et aux constructeurs de nouvelles solutions pertinentes, grâce à une exploitation raisonnée de grandes bases de données qui restent à organiser.

Comme c'est souvent le cas, les innovations les plus intéressantes seront sans doute au carrefour de plusieurs des disciplines suivantes : les nouveaux matériaux, l'éco-conception, la dynamique des structures, le BIM et le design génératif, l'impression 3D, l'intelligence artificielle. Les jeunes ingénieurs ont donc de très nombreux défis devant eux, peut-être davantage encore que lorsque j'ai commencé ma carrière il y a quarante ans.

SERGE MONTENS
CONSULTANT

LISTE DES ANNONCEURS : LIEBHERR, 2^e DE COUVERTURE - SMA BTP, P.7 - DEBOER, P.11 - CNETP, P.12 - TERRASOL, P.15 - PRO BTP, P.23 - BTP BANQUE, 3^e DE COUVERTURE - MACCAFERRI, 4^e DE COUVERTURE

OUVRAGES D'**ART**

IMAGINER
CONCEVOIR
CONSTRUIRE

LES PYLONES DU TELEO À TOULOUSE. © TISSECO INGENIERIE - AIRIMAGE





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
PIERRE CORFDIR**

CEREMA -
RECHERCHE ET INNOVATIONS
AU SERVICE DU PATRIMOINE

**24 DEMATHIEU BARD : UNE AUDACE MAÎTRISÉE
AU SERVICE DES GRANDS PROJETS**



32

**PONT
DE LA SALPÊTRIÈRE**

Un ouvrage hors du commun
à Paris



38

**REMBLAIS RENFORCÉS
MACRES® BIFURCATION
A10/A71**

à Orléans



44

**LES PYLÔNES
DU TELEO**

à Toulouse



52

**LE VIADUC DU LOT
À MENDE**

Premier pont routier
à double action mixte
en France



58

**AMÉNAGEMENT DE L'A480
À GRENOBLE**

pour plus de mobilité



64

**DOUBLEMENT
DE L'AUTOROUTE A10**

Réalisation du viaduc
de Courtineau



72

**CONSTRUCTION
D'UN PEM ET D'UN PRA
à Montaignu**



78

**RÉHABILITATION
ET TRANSFORMATION
DU PONT DE FER
DE MOULINS**



84

**UN PONT POUSSÉ
SUR LA TÊT
(Pyrénées-Orientales)**



90

**NOUVEAUX APPUIS POUR
LE TABLIER RÉHABILITÉ
DU PONT FÉLIX
HOUPHOUËT BOIGNY
à Abidjan**





LA DOUBLE ACTION MIXTE EN PREMIÈRE SUR LE LOT

Eiffage Métal et Gtm Sud Ouest, avec le Cerema en AMO, ont réalisé ce viaduc de franchissement du Lot sur RN88 pour le contournement de Mende. C'est le premier pont routier à double action mixte réalisé en France, innovation consistant à renforcer à coût égal la robustesse des zones sur piles du tablier des bipoutres mixtes acier-béton.

(Voir article page 52).



© DIR

© DIR

CONTINUITÉS CYCLABLES SUR OUVRAGES D'ART

Ménager un cheminement cyclable sur les ouvrages de franchissement ou créer des ouvrages de toute pièce, demande réflexion et préparation. La sécurité des cyclistes et des piétons est en jeu. Le coût est élevé.



Inspection par des cordistes du viaduc de Douvenant aux abords de Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor), ouvrage en maçonnerie actuellement en travaux.

« Les ouvrages de franchissement cyclables font partie des enjeux prioritaires des maîtres d'ouvrage, assure Marie-Pierre Fléchon, directrice mobilités de l'Isère et membre du collège maîtrise d'ouvrage d'Indura. Il s'agit parfois de quelques mètres sur des itinéraires très longs mais très techniques et chers. » C'est pourquoi Vélo & Territoires⁽¹⁾ a organisé un webinaire sur les continuités cyclables et les ouvrages de franchissement hors agglomération et tunnels, le 18 juin, auquel M^{me} Fléchon a participé. La continuité cyclable évite que les cyclistes fassent un détour pour franchir un obstacle - rivière, route, voie ferrée. Elle leur aménage une place sur les ouvrages d'art existants.

La loi d'orientation des mobilités (Lom, n°2019-1428) oblige le gestionnaire de voirie, hors autoroutes et voies rapides, à évaluer ce besoin.

Les configurations sont très variables. À Chalampé (Haut-Rhin), une voie cyclable est en travaux jusqu'en mars 2022 sur la RD39 doublée d'une voie ferrée. Le tronçon de 513 m franchit la RD52, le Grand canal d'Alsace, l'île du Rhin et le Rhin, et rejoint une section vers l'Allemagne. La Collectivité européenne d'Alsace (Haut-Rhin et Bas-Rhin), maître d'ouvrage, a opté pour des encorbellements et une piste sur l'île. Coût : 2,3 millions d'euros.

Le département des Côtes-d'Armor réhabilite des ouvrages de l'ancienne ligne de

train sur la côte nord, de Plouha à Matignon, à l'est et à l'ouest de Saint-Brieuc, fermée en 1948. Elle les intègre au tracé de l'Eurovélo n°4. Passer sur ces ponts et viaducs épargne des détours sur des routes très circulées.

Huit ouvrages ferroviaires ont été refaits jusqu'ici. Ils sont de deux générations : 1905 en maçonnerie et 1912 en béton armé. Le viaduc de Douvenant de 131 m, 23 m de haut et 4 m de large en maçonnerie, à Saint-Brieuc, est en travaux. Coût : 810 000 euros TTC. Ces investissements sont rattachés au budget du service "randonnées", le service ouvrages d'art apportant son expertise.

→ **Pas d'économies sur la largeur du tablier**

« Il faut commencer par un diagnostic avec des cordistes sur 4 points principaux, » a précisé Eric Ravenet, responsable unité randonnée et paysage à la direction du patrimoine du département. La structure peut-elle être ouverte aux piétons et cyclistes ? La maçonnerie est en général en assez bon état. Le béton armé a mal vieilli. Important : vérifier l'étanchéité depuis le tablier. Sur le viaduc de Douvenant, les voutains sur lesquels les cheminots marchaient, seront séparés, une fois refaits, par un garde-corps car leur surface est une succession d'arrrondis et de creux impraticables à pied ou en vélo.

Autre point : faut-il ajouter des protections supplémentaires aux garde-corps existants comme du grillage ?

« Il ne faut pas faire d'économie sur la largeur du tablier, a souligné Frédéric Peigue, ingénieur d'Omni Structures

Conseils (OSC). Nous préconisons 4 m. À 2 m, les cyclistes doivent mettre à terre pour se croiser. »

« La pente sera inférieure à 5% sinon les ouvrages ne sont empruntés ni par les piétons, ni les vélos, ni les chaises roulantes, ça s'est vu, » a témoigné Oriane Jouan, chargée de mission mobilités à la Collectivité européenne d'Alsace. « Attention aussi, à la liaison ouvrage-piste. Une petite marche ou un vide déstabilisent un vélo. »

Même prudence côté bureaux d'études. « Il ne faut pas manquer les différentes étapes de processus de définition du projet, notamment les études préliminaires dont celles de faisabilité, » a insisté Xavier Benacchio, gérant d'OSC.

→ **Poids, entretien et confort du platelage**

« Les questions à se poser au démarrage portent sur l'hydraulique, l'environnement, l'insertion paysagère et architecturale, le raccordement sur les berges, les risques naturels, le confort des usagers, le chantier, l'entretien, les garde-corps, » a énuméré Frédéric Peigue. Le platelage est aussi une question délicate en termes de poids, d'entretien, de confort.

Le Cerema publie un guide fin 2021 sur les passerelles piétonnes-cyclables où la qualité pour les cyclistes a été revue à la hausse.

Textes du webinaire sur : www.velo-territoires.org/ressources/videotheque. ■

⁽¹⁾ Réseau de collectivités locales et territoriales sur les politiques cyclables.

ERQUY A RÉHABILITÉ UN VIADUC CENTENAIRE

Le département des Côtes-d'Armor a rétrocédé le viaduc de Caroual à la commune d'Erquy en 1959, sur la ligne de train Yffiniac-Matignon à l'est de Saint-Brieuc. Le viaduc en béton armé sur piles et arches en gré rose local, construit en 1913-1916, a été réhabilité en 2020-2021 (1,25 million d'euros HT)⁽¹⁾. Inscrit au titre des monuments historiques, il est l'œuvre de Louis-Auguste Harel de la Noë.

→ **Fermé en 2014**

De loin, l'ouvrage de 109 m de long et 17,50 m au plus haut semble être métallique. Pourtant, ses trois arcs en treillis, son tablier et les garde-corps sont en

béton. Le ferrailage était corrodé, le béton s'écaillait. Des croisillons de garde-corps manquaient, d'où la fermeture complète en 2014. Il doit sa rénovation à la mobilisation de l'Association des amis du viaduc de Caroual aidée par la Fondation du patrimoine.

M. Harel de la Noë concevra d'autres ouvrages sur la ligne du "petit train des Côtes du Nord" dont le viaduc courbe des Ponts Neufs qui ressemble à celui de Caroual. ■

⁽¹⁾ Aides financières : Drac, région, Lamballe Terre & Mer, et département.



La section des piles et des arcs en béton du viaduc de Caroual à Erquy (Côtes-d'Armor) a été reconstituée, les garde-corps, reconstruits, l'étanchéité du tablier et le platelage, refaits.

Villes intelligentes
Infrastructures innovantes
Réseaux performants



Bienvenue dans un monde qui se construit autrement.

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

Notre métier : assurer le vôtre.

www.groupe-sma.fr

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.
RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**

DU BON USAGE DU SOUS-SOL

Face au constat que « l'intérêt des techniciens pour l'aménagement du sous-sol n'existait pas », a démarré en 2010 le projet national de recherche "Différentes dimensions pour un développement urbain durable et désirable décliné dans une dynamique dessus/dessous", en bref Ville10D - Ville d'idées.

L'équipe clôture le projet par la publication d'un guide du bon usage du sous-sol urbain. Prévu pour 2021*, il devrait paraître au printemps 2022, a précisé Monique Labbé, architecte, lors du congrès Aftes (6-8 septembre, Paris). Les recommandations émanent de l'étude de différents sites urbains : Paris (cavités), pôle Orly-Rungis (plateau traversable en souterrain), La Défense (délaiés sous dalle), Cité Descartes (ville nouvelle Marne-la-Vallée) et les infrastructures du métro et du RER parisiens.

Le guide comporte 4 parties : aménagement de l'espace souterrain habité (préconisations) ; la contribution du sous-sol à la ville durable (mieux estimer les projets en sous-sol) ; planification, programmation, conception et maintenance du projet urbain en sous-sol (le souterrain doit être pris en compte dès le départ et tout au long d'un projet) ; recueil, gestion et visualisation des données du sous-sol (partager les connaissances).

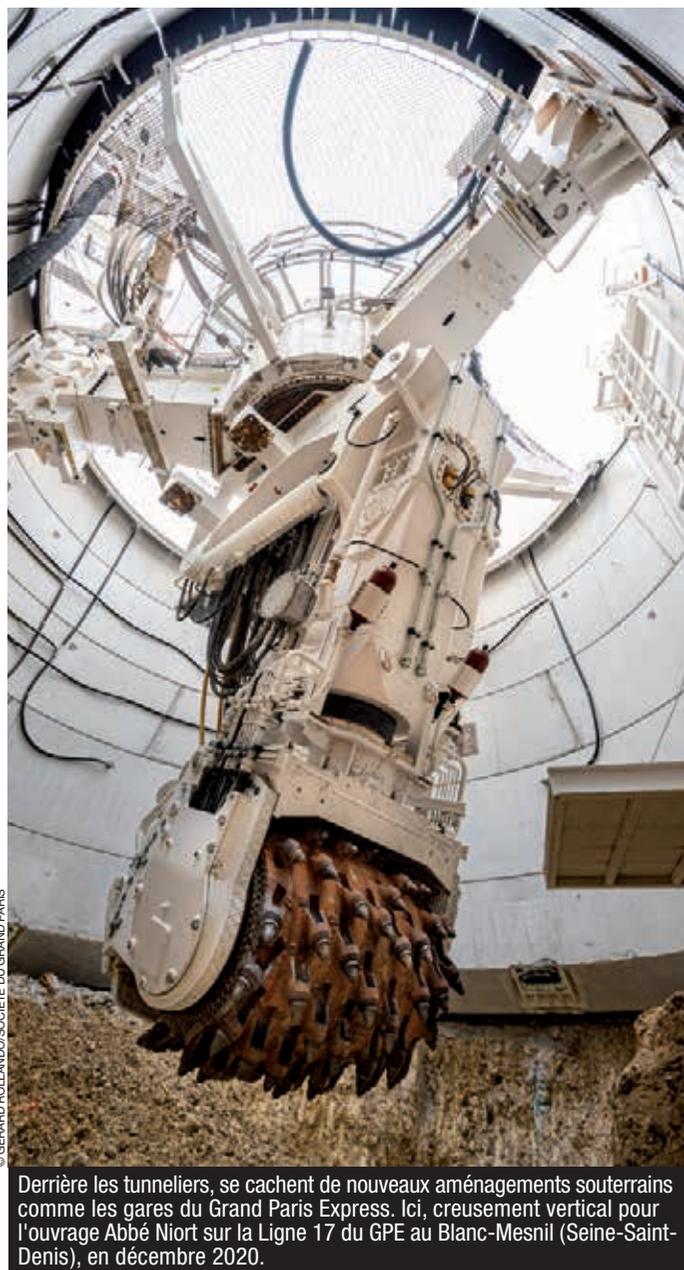
* Cf. Travaux n°961, juillet-août 2020, page 8.



© ATELIERS MONIQUE LABBÉ

Étude dans le cadre du projet Ville10D : des terrains seraient libérés dans la tranchée d'une voie ferrée qui aurait été mise en souterrain en traversant le plateau du pôle Orly-Rungis (Val-de-Marne).

16^e CONGRÈS AFTES SOUS LE SIGNE DE L'INNOVATION ET DE L'EUROPE



© GÉARD ROLLAND/SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

Derrière les tunneliers, se cachent de nouveaux aménagements souterrains comme les gares du Grand Paris Express. Ici, creusement vertical pour l'ouvrage Abbé Niort sur la Ligne 17 du GPE au Blanc-Mesnil (Seine-Saint-Denis), en décembre 2020.

Le 16^e congrès de l'Association française des tunnels et de l'espace souterrain (Aftes) a été la 1^{re} manifestation à se tenir au Palais des congrès à Paris, après sa fermeture pour raisons sanitaires.

« Nous pouvons enfin nous retrouver, a confié Philippe Millard, président du comité du congrès de l'Aftes. Malgré le déplacement de fin septembre 2020 à la semaine du 6 septembre 2021, 160 entreprises exposent. Il y a plus de 3600 inscrits. »

Rentrée oblige, il y a moins d'étudiants qu'en novembre 2017. Les étrangers

venant de loin sont peu présents. La présidente, chinoise, de l'Association internationale Aites-Ita, Yan Jenny Jinxiu était remplacée par le 1^{er} vice-président, Lars Babendererde, néerlandais. « Il semble que les projets de travaux souterrains qui s'inscrivent sur le moyen-long terme n'ont pas trop souffert de l'épidémie, a-t-il indiqué. Les seuls problèmes ont été l'approvisionnement (supply) et le manque de personnel. Les groupes de travail de l'Ita se sont réunis par internet tous les mois. »

L'Europe était représentée notamment à travers l'European Underground and

Tunnel Forum (EUTF) qui rassemble des associations d'Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Portugal, Suisse. Adhèrent au forum 3570 membres individuels et 725 entreprises.

« L'EUTF, en plus de défendre les intérêts de l'Europe dans l'Ita, met l'accent sur la maintenance prédictive des tunnels et leur rénovation car il y a beaucoup de vieux tunnels ou des plus récents qui en ont besoin, » a précisé le Suisse Stefan Maurhofer, son président.

→ Recueil d'innovations du GPE

Le 16^e congrès était sous-titré "Le souterrain, espace d'innovation". « Des espaces sont créés avec les grands travaux en Île-de-France, a développé Michel Deffayet, président de l'Aftes. Il y a beaucoup à faire pour combiner les chantiers dans un tel espace urbain, une bonne logistique est indispensable. L'intervention des tunneliers diminue mais d'autres grandes opérations sont en cours ailleurs comme le tunnel ferroviaire Lyon-Turin (Telt) ou le métro en sous-sol sur 22 km à Toulouse. L'aménagement souterrain est source d'inspiration mais nous pourrions en faire plus car il y a beaucoup d'espaces de ce type. »

« L'innovation est un facteur-clé de la réussite du Grand Paris Express, » a affirmé Jean-François Monteils, président du directoire de la Société du Grand Paris (SGP) depuis mars, rappelant que « 130 chantiers sont en cours et 22 tunneliers ont été baptisés. Un recueil des innovations sera publié sur notre site. » L'innovation est un des critères d'attribution des marchés publics et elle va être développée dans l'exécution. « Il faut trouver de nouvelles solutions constructives, » a-t-il ajouté avouant avoir été surpris par les contestations sur des questions d'environnement.

→ Tunneliers de plus en plus gros

« Les Français ont poussé à des progrès techniques sur les tunneliers, a reconnu avec une pointe d'humour, Martin Herrenknecht, PDG du groupe du même nom, fabricant de tunneliers. C'est en France qu'a été utilisé pour la 1^{re} fois un tunnelier vertical à Malakoff (2018, Hauts-de-Seine). »

Après 2000, les diamètres de coupe augmentent. Si les 6-10 m sont courants, ils peuvent monter jusqu'à plus de 17 m, comme à Hong-Kong avec Bouygues TP. ■

ENQUÊTE SUR LES INVESTISSEMENTS DES COLLECTIVITÉS PUBLIQUES

Sans surprise l'année 2020 n'est pas une bonne année en travaux publics. Les collectivités territoriales y ont consacré 23 milliards d'euros (investissement), soit une baisse de 11,6% par rapport à 2019, recul comparable à 2014. La crise sanitaire s'est combinée au décalage du calendrier électoral (municipales) et au début des mandats des nouvelles équipes. Le nombre d'appels d'offres en travaux publics a diminué de 31%. Qu'attendre de 2021 ? La Fédération nationale des travaux publics (FNTP) et la Banque postale ont mené une enquête pour le savoir. Elles ont reçu des réponses de 289 collectivités en métropole, hors Corse. Les régions Nouvelle Aquitaine et Occitanie sont bien représentées avec 47 et 38 participantes, ainsi que le Grand-Est (36). En queue, figurent l'Île-de-France (6) et la Normandie (7). Selon cette enquête menée de mars à mai 2021, les dépenses de travaux publics augmentent pour 53% des répondants, les plus optimistes étant les départements-régions et les communes entre 30 000 et 100 000 habitants.

→ 2022 incertaine

Toutefois, la prudence pointe son nez. Autour d'un quart déclare stabiliser ces dépenses cette année, notamment les communes. Les EPCI disent à 17% vouloir les diminuer et les communes, à 11%.

Les incertitudes transpirent dans les intentions de travaux en 2022. « 47%



La voirie figure en tête des priorités des collectivités locales. Ici, trottoir refait à Nîmes Métropole avec un enrobé Colas expérimenté avec le Cerema dans le cadre d'une 2^{de} ligne de bus, grand prix IMBP 2020 (Idrim). Fresque : Da Storm.

des répondants déclarent, en moyenne, stabiliser leurs dépenses de TP avec 55% pour les EPCI, et 16% se montrent indécis, » est-il écrit dans la synthèse de "l'Enquête sur l'investissement local, quel rôle pour les travaux publics dans la relance en 2021-2022" (juillet). Plus inquiétant, la réponse "ne sait pas" est cochée par 38% des départements-

régions, 24% des EPCI et 14% des communes.

→ En 2^e position : réseaux numériques

Quels sont leurs priorités d'action en matière d'investissement de travaux publics ? L'enquête a exploré les interventions visant à la cohésion des territoires et celles de transition écologique. En cohésion des territoires, la voirie arrive en tête des intentions pour toutes les catégories de collectivités. Les réseaux numériques sont en deuxième position pour les EPCI et les départements-régions tandis que les communes les placent en 3^e position après les équipements sportifs. Les ouvrages d'art viennent après les réseaux numériques pour les départements-régions.

En transition écologique, le choix proposé étant plus grand, les réponses sont plus variées. « Les thèmes de l'aménagement urbain, des espaces verts, de l'éclairage public et des pistes cyclables ont obtenu, en pourcentage, le plus de réponses "prioritaire" ou "important". » notent les enquêteurs.

En savoir plus par région :
www.fnpt.fr/presse/news/regard-sur-les-infrastructures-en-region-des-portraits-regionalises-pour-accompagner. ■

AXE ROUTIER À L'HYDROGÈNE

L'Occitanie met en place un axe routier où les véhicules roulant à l'hydrogène pourront s'approvisionner. Le projet "Corridor H2 Occitanie" vient d'obtenir un financement de la Commission européenne dans le cadre de l'appel à projets CEF Transport Blending Facility du mécanisme d'interconnexion en Europe, soit 14,5 millions d'euros auxquels s'ajoutera un prêt de 40 millions de la Banque européenne d'investissement.

Rappelons que la région entend être à énergie positive (plus de production que de consommation) d'ici 2050, et veut réduire l'empreinte carbone des déplacements. Le Corridor H2 européen consiste à créer un réseau du nord au sud de l'Europe favorable à l'hydrogène-carburant.

L'Occitanie a investi à travers l'Arec, son Agence régionale de l'énergie et du climat, dans Hypport, société constituée en 2018 avec Engie Cofely H2 France, destinée à produire et distribuer de l'hydrogène tout d'abord à l'aéroport de Toulouse-Blagnac. D'autres lieux de production ou distribution sont envisagés.

L'hydrogène vert est produit à partir d'électricité d'origine renouvelable.

D'ici fin 2023, 110 millions seront dépensés pour 2 unités de production, 8 stations de distribution, 40 camions à propulsion à hydrogène, 62 remorques/unités frigorifiques et 15 autocars (rétrofit).



Modélisation de la station-service d'hydrogène à l'aéroport de Toulouse-Blagnac.

GUIDE DES FINANCEMENTS

La FNTP publie un guide des financements mobilisables afin d'accompagner les collectivités territoriales à s'engager dans la relance.

Il comprend des fiches par type d'infrastructures :

- Infrastructures de distribution d'eau potable, assainissement et gestion des eaux pluviales, stations d'épuration,
- Mobilités du quotidien : pistes cyclables, transports en commun, modernisation du réseau routier et renforcement des ponts,
- Biodiversité, prévention des risques, résilience,
- Installation de bornes de recharge électrique, hydrogène,
- Résilience des réseaux électriques et transition énergétique en zone rurale,
- Numérique et plan très haut débit,
- Densification et renouvellement urbain.

D'autres fiches détaillent certains dispositifs d'aide et de soutien.

À voir sur : www.fnpt.fr/sites/default/files/content/decryptage/guide_territorialisation_de_la_relance_v5.pdf

L'A63 COMMUNICANTE

L'autoroute A63 prépare une zone d'essai de service de haut niveau sur 90 km entre Saugnac-et-Muret et Labouheyre (Landes), au nord de Bayonne (Pyrénées-Atlantiques). Autrement dit, elle se dote d'équipements de communication entre véhicules et infrastructure, nécessaires à la conduite autonome. Cette zone offre un site d'expérimentation en conditions réelles dans le cadre technique européen C-Roads/ C-Mobile.

Le projet est mené par Atlandes, concessionnaire de l'A63, et par NeoGLS, Geosat et l'Université Gustave Eiffel. Egis exploitera les données ainsi collectées.

PISTE D'AÉROPORT EN CHANTIER

L'unique piste de l'aéroport de Luxembourg est en travaux depuis juillet et jusqu'à fin 2022. Les travaux de réfection ont lieu de nuit, de 23 heures à 6 heures du matin. La piste doit être restituée au trafic chaque matin.

Lux-Airport a confié ces travaux au groupement Somo Findel Airport Consortium composé de Colas (mandataire), Felix Giorgetti, C. Karp-Kneip Constructions et JDC Airports.

La piste mesure 4 km sur 60 m de large. Elle n'avait pas été entièrement refaite depuis 1984. La rénovation inclut le renforcement structurel des bandes aménagées latérales, un système de drainage des eaux et le remplacement de l'éclairage.

Colas, Felix Giorgetti et C. Karp-Kneip Constructions réalisent les terrassements, les enrobés, l'assainissement, les réseaux secs, le marquage. JDC Airports se charge du balisage aéronautique.

Coût total de la rénovation : 150 millions d'euros.

VINCI CONSTRUCTION CREUSE DES TUNNELS EN SAVOIE ET À SINGAPOUR



Vinci Construction prend déjà part au tunnel Lyon-Turin avec les travaux préparatoires des puits d'Avrieux (Savoie).

Tunnel Euralpin Lyon-Turin (Telt) a attribué le lot n°2 du tunnel principal de 57,5 km à un groupement mené par Vinci Construction grands projets le 7 juillet. Le groupement inclut aussi Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction France, et l'entreprise italienne Webuild (ex-Salini Impregilo).

Le lot n°2 concerne la partie du tunnel entre Saint-Martin-de-la-Porte et Modane (Savoie).

→ Cinq ans de travaux

Le contrat du tronçon de 23 km en bitube se monte à 1,43 milliard d'euros. Trois tunneliers creuseront 25 km, le reste étant en méthode traditionnelle. Les travaux incluent 71 rameaux de sécurité entre les tubes et des galeries. Le chantier est prévu sur cinq ans.

À noter que Vinci Construction est déjà sur place depuis 2020 pour les travaux préparatoires des puits d'Avrieux, au niveau du site de sécurité de Modane. Par ailleurs, Bachy Soletanche Singapore, filiale de Vinci Construction, va rénover une station de métro comprenant de nouveaux tunnels à Singapour. Les travaux commencent fin 2021 pour une mise en service en 2030.

La station Ang Mo Kio devient un carrefour entre la North-South Line et la nouvelle Cross Island Line dont la 1^{re} phase de 29 km et 12 stations est en cours.

→ Sols difficiles

Le contrat de 400 millions signé avec la Land Transport Authority comprend la station souterraine rénovée et ses tun-

nels, 2 passages piétons souterrains. Bachy Soletanche Singapore mène l'opération en groupement avec la société singapourienne Gammon Construction and Engineering. Sont associés Soletanche Bachy International et Bessac.

Le chantier se tient en milieu très dense dans des sols difficiles.

La filiale de Vinci Construction est déjà présente sur place avec un tunnel et 3 stations de métro sur la ligne Thomson-East Coast. ■



Future station Ang Mo Kio de Singapour, au croisement de deux lignes de métro.

1 500 km DE LIGNES ÉLECTRIQUES AU BÉNIN

Le ministère de l'Économie et des Finances, et le ministère de l'Énergie de la République du Bénin, ont signé un contrat de 292 millions d'euros avec Vinci Énergies pour construire des lignes électriques, le 15 avril.

Le contrat couvre la construction de 500 km de lignes aériennes ou souterraines, à haute ou très haute tension, 1 000 km de réseaux de distribution en moyenne ou basse tension et le raccordement de plusieurs milliers de foyers. Au programme également : 7 nouveaux postes de transformation THT et l'extension de capacité de 4 en HT. Les travaux sont planifiés sur trois ans. Neuf cents personnes y travailleront.

Huit des douze départements du pays sont concernés. Un aéroport, une cité administrative et un hôpital seront desservis.

deBoer

deBoer - international bv

deBoer International est spécialisé dans les opérations de levage, ripage et vérinage depuis plus de 45 ans, partout en Europe. Nous pouvons vous assister sur la plupart des projets nécessitant du levage lourd, du ripage, et des opérations de vérinage ou la mise en place de structures temporaires de supportage.

Avec notre expérience, nous sommes le bon partenaire de vos projets depuis la phase engineering, méthode et ce jusqu'à la réalisation de l'opération sur site.

N'hésitez pas à nous contacter : Nous sommes là pour vous!

- Poussage et ripage de pont cadre
- Lançage de structure métallique
- Levage/Descente d'ouvrage d'art
- Ripage latéral d'ouvrage d'art
- Location d'équipement

✉ VROMAN Sébastien | svr@ctdeboer.com | Mobile : +33 6 17 71 01 48 | Fixe : +31 30 600 91 51

deBoer - international bv | www.ctdeboer.com



CENTRALE ÉLECTRIQUE SUR CASCADE

La Compagnie nationale du Rhône a lancé la construction d'une centrale hydroélectrique de 11 MW dans le secteur de Bourg-d'Oisans (Isère) en mars pour une production qui devrait débuter en 2024, soit 36 GWh, l'équivalent de la consommation de 16 000 habitants. Coût : 38 millions d'euros.

→ **Pente à 23%**

La production profite d'une chute d'eau naturelle, la cascade de la Sarenne, de 735 m, utilisée comme source mécanique et électrique depuis longtemps. En 2015, la CNR a repris la concession de la SAS La Sarenne valable jusqu'en 2055.

La nouvelle prise d'eau et une passe à poissons se situent à Huez à 1456 m d'altitude. Les conduites en galerie descendent en souterrain à la Garde-en-Oisans à 1000 m puis vers les deux turbines Pelton à Bourg-d'Oisans à 721 m. Le débit de l'équipement est limité à 1,8 m³/s.

Un tunnelier creuse la galerie à partir d'un puits à La-Garde-en-Oisans et

remonte vers Huez avec une pente de 23% sur 2,3 km.

→ **Zones amiantifères**

Vu les difficultés d'accès à La-Garde, le tunnelier de 170 m de long et 4,20 m de diamètre est arrivé en pièces détachées courant juillet. Un premier assemblage de 110 m débute le creusement en « mode dégradé », une fois un tronçon de 70 m ouvert à l'explosif. Les 7 remorques du tunnelier et le convoyeur tunnel seront ajoutés ensuite. L'engin traversera des zones amiantifères.

La conduite de La-Garde-en-Oisans jusqu'à la centrale est en tranchée sur 380 m puis descend dans un puits incliné à 45° creusé en raise boring (du haut vers le bas puis alésage du bas vers le haut) avant d'emprunter une galerie horizontale existante de 515 m.

Les travaux ont lieu pour la plupart du printemps à la fin de l'été, de 2021 à la mi-2023, suivis par les essais.

La CNR a confié à Spie Batignolles Génie Civil et Cogeis le tronçon en amont de La-Garde-en-Oisans (tunnelier et conduite

forcée), associés à Edilmac pour le tronçon en aval (raise boring, conduite forcée). Eiffage Génie Civil réalise la prise d'eau et la centrale. Sdel Actemium se charge des équipements hydro-électromécaniques. ■



Le tunnelier est arrivé en pièces détachées à La-Garde-en-Oisans et commence à creuser en "mode dégradé".

© SPIE BATIGNOLLES

OUVRAGES MOBILES CHEZ SETEC TPI

Fin juillet, Setec a repris ISM, bureau d'études techniques spécialisé dans les ouvrages mobiles : barrages, écluses, ponts mobiles, bateaux portes, conduites forcées, etc. ISM intègre le groupe en tant que filiale de Setec TPI.

Le bureau d'études est basé à Angers (Maine-et-Loire). Il accompagne ses clients de la conception de l'ouvrage à la réception des travaux. Setec ISM est dirigé par Frédéric Hervé. Kevin Naud est le directeur opérationnel.

EGIS RACHÈTE MT3

Egis a fait l'acquisition de Mobilité, Transport, Transactions et Technologies (MT3) le 9 septembre. MT3, société de conseil et d'ingénierie en mobilité, est spécialisée dans l'assistance à maîtrise d'ouvrage sur des projets d'équipements en courant faible.

La CNETP regroupe près de **8 300 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues au près de **270 000 salariés**.



NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- la mise en œuvre du régime de chômage intérimaires auprès des entrepreneurs de Travaux Publics

**CAISSE NATIONALE
DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS**

Au service de la Profession des Travaux Publics

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

sur Internet : www.cnetp.fr

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






Membre du Réseau Congés Intérimaires BTP

COLAS EN FINLANDE

Colas a signé un protocole d'accord, le 25 août en vue d'acquiescer 100% des parts de la société finlandaise Destia Oy, détenue par un fonds familial (Ahlström Capital), projet qui devrait se confirmer d'ici la fin de l'année.

Destia Oy exerce dans les domaines des infrastructures routières, ferroviaires et énergétiques, avec 1 600 collaborateurs. Colas s'ouvre ainsi des marchés en Europe du Nord. Destia est renommée pour ses compétences en numérisation des chantiers et son expertise en maintenance dans des conditions météorologiques prononcées.

BUS RAPIDES SUR L'EX-RN34 À L'EST DE PARIS



Simulation de la RN34 dans quelques années avec les bus rapides au centre et les voies automobiles sur les côtés.

Egis accompagne Île-de-France Mobilités dans l'implantation d'un bus à haut niveau de service sur l'ancienne route nationale 34 à l'est de Paris⁽¹⁾. L'autorité de transport de la région parisienne souhaite améliorer la circulation des bus dans un secteur où ils font le lien avec les lignes de RER.

La nouvelle ligne de bus sera un transport en commun en site propre (TCSP). Elle est inscrite au schéma directeur et au plan de déplacement urbain d'Île-de-France.

→ Alignements d'arbres

La largeur de chaussée réservée aux automobiles sera réduite. Des aménage-

ments cyclables et piétons sont au programme ainsi que la préservation d'alignements d'arbres et des plantations supplémentaires. La mission confiée à Egis inclut un nouveau dépôt de bus. Cet axe d'une quinzaine de kilomètres va connaître des transformations importantes avec le passage de deux lignes futures du Grand Paris Express (15 et 16) et plusieurs opérations immobilières.

→ Enquête publique en 2023

Egis a commencé à collaborer avec Île-de-France Mobilités au stade des études de faisabilité, en 2019. Le groupe réalise les études préliminaires, l'étude d'impact, élabore les dossiers de schéma de principe et d'enquête d'utilité publique (2023). La date des travaux n'est pas précisée.

Il assistera aussi l'autorité régionale dans le pilotage et le suivi des prestataires des études connexes (circulation, géotechnique, pollution, environnement, etc.). ■

⁽¹⁾ La route nationale 34 reliait Paris (Porte de Vincennes) à Esternay (Marne).

L'INOX EMPLOYÉ EN STRUCTURE



La passerelle en inox chez Trumpf à Ditzingen (Allemagne) date de 2019.

« L'acier inoxydable en structures pour le génie civil est encore un marché de niche en France, écrit Construiracier. À l'étranger, son utilisation est plus importante. » Pour en parler, l'organisme de promotion de l'acier a organisé un webinar sur ce thème, le 16 juin.

Parmi les exemples d'ouvrages d'art en inox, citons le pont Cala Galdana à Minorque (Espagne), 2005, 45 m de portée, en remplacement d'un pont en béton armé corrodé et victime d'un tassement⁽¹⁾, et la passerelle piétonne Helix à Singapour (2010, 280 m). À Ditzingen en Allemagne, Trumpf, fabricant de machines-outils, a implanté sur son site en 2019 une passerelle en inox au-dessus d'une route, conçue par Schlaich Bergermann Partner. Herminie Metzger et

Mathias Nier l'ont présentée. Cette passerelle a une portée globale de 28 m dont 20 m pour la coque en inox sur 10 m de large, avec culées sur micropieux.

→ Tôle de 2 cm

Le tablier mesure 2,20 m de large, les garde-corps sont en verre. La tôle d'inox perforée fait 2 cm d'épaisseur avec des raidisseurs en bordure. Il s'agit d'un inox duplex. Deux qualités d'acier inoxydable sont appropriées pour son utilisation en structure : duplex et austénitique. Elles contiennent toutes les deux du chrome qui assure la résistance à la corrosion, la première à 21-26%, la seconde à 16-21%. Le duplex contient plus de fer et moins de nickel.

Selon Barbara Rossi, professeure à l'université d'Oxford (Angleterre) et à Louvain

(Belgique), l'inox convient en structure notamment quand l'entretien est difficile à réaliser.

→ Projet européen Purest

Les ouvrages en acier inoxydable se conçoivent selon l'Eurocode 3 partie 1 (EN 1993-1). Le guide de conception "Structures en acier inoxydable" (2017) s'appuie sur les recommandations de l'Eurocode. L'ouvrage de 250 pages est édité par le Steel Construction Institute (Royaume-Uni) dans le cadre du projet européen Purest (Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels) financé par le Research Fund for Coal and Steel. Barbara Rossi est la contributrice pour la France. ■

⁽¹⁾ Source France 2/Wikipedia.

IMMEUBLES INNOVANTS À LA DÉFENSE



Vue de la tour Hekla en contre-plongée.

Jean Nouvel a conçu la tour Hekla en chantier à La Défense (Hauts-de-Seine). Démarrée en 2018, elle devrait être livrée début 2022. L'édifice de 220 m de haut est estimé à 248 millions d'euros. Hekla est reconnaissable à sa façade en facettes de verre. Elle compte 49 niveaux dont une toiture végétalisée. Les 76 000 m² de bureaux ont été imaginés par six spécialistes en philosophie, gastronomie, sport, design, accessibilité, intelligence artificielle. Les co-développeurs Hines et AG Real Estate avec Paris La Défense ont confié le chantier à Bateg. Pyrometal a fourni portes, menuiseries et cloisons coupe-feu ou résistantes au feu.

Le spécialiste de sécurité incendie est également intervenu sur Origine à proximité du quartier d'affaires, à Nanterre (Hauts-de-Seine).

→ Deux immeubles en bois

L'opération comprend deux immeubles de bureaux de 8 niveaux sur près de 70 000 m². Le bois est utilisé en structure sauf le noyau central, en béton, où sont logées les circulations et les services.

"Origine" est doté de 2 800 panneaux solaires et de puits géothermiques. Architectes : Maud Caubet Architectes-Quadri Fiore Architecture. Maîtrise d'ouvrage : Icade. Maîtrise d'œuvre : Artelia, Berim, Egis. Entreprise : Bateg. ■

NORVÈGE : RÉSEAU ROUTIER EN PPP

Webuild fait partie du consortium Sotra Link qui va réaliser en partenariat public-privé un réseau de routes, tunnels, ponts et viaducs dans le comté de Vestland dans l'Ouest de la Norvège, baptisé le "RV.555 Sotra Connection".

Le consortium comprend également FCC Construcción (Espagne) et SK Ecoplant (Corée du Sud). Le contrat signé avec l'administration des transports publics norvégienne (NPRA) se monte à plus de 1 milliard d'euros (10 milliards de couronnes). Il porte sur la conception, la construction, le financement et la concession (25 ans) de 9,4 km d'autoroute avec un pont suspendu de 900 m de long ainsi que de 12,5 km de tunnels, 19 passages inférieurs, 22 autres ponts et viaducs et 14 km de voies piétonnes et cyclables. Ouverture au trafic prévue en 2027.

Rappelons que Webuild est le nom de Salini Impregilo depuis 2020. Le groupe a reconstruit le pont Morandi à Gênes (Italie), écroulé en août 2018 et rebaptisé pont Genova San Giorgio.

Il réalise actuellement le pont de l'Union Port dans le Bronx à New-York (États-Unis) en remplacement d'un ouvrage des années 1950, et le pont suspendu de Braila, dans l'Est de la Roumanie.



Dessin du pont suspendu de 900 m sur la future autoroute dans l'Ouest de la Norvège. À l'arrière-plan, un ancien pont.

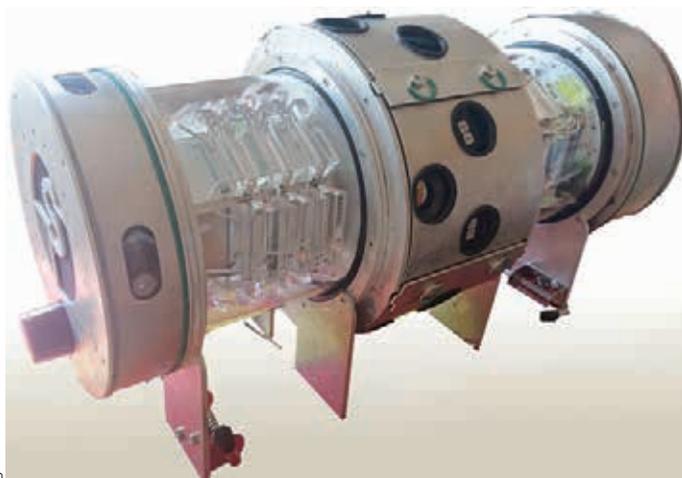
INNOVATIONS MIEUX ACCOMPAGNÉES

« Le Comité d'innovation Routes et rues (Cirr) va être renforcé et élargi, en lien avec la création de l'Agence de l'innovation pour les transports (AIT), » a annoncé Jean-Baptiste Djebbari, ministre des transports, lors de la journée pour l'accélération et la modernisation des infrastructures (Jami) du 1^{er} juillet, sur le Campus scientifique et technique de Colas (Yvelines). L'AIT doit être mise en œuvre cet automne suite au rapport de préfiguration remis le 13 juillet par Marc Papinutti, directeur général des infrastructures, des transports et de la mer, et Damien Cazé, directeur général de l'aviation civile. Le renforcement du Cirr vise à mieux accompagner et promouvoir les innovations. De nouveaux appels à projets seront lancés. « J'invite la filière des infrastructures routières à préparer une feuille de route d'innovation qui alimentera leur préparation, » a ajouté le ministre des Transports.

CHANGEMENTS AU CFMS

Nicolas Utter (Soletanche Bachy) préside le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique, a annoncé le CFMS fin juillet. Il était président de la commission scientifique et technique, fonction occupée par Fahd Cuir. M. Utter préside également la commission technique du Syndicat des entrepreneurs de sondage, forage et fondations spéciales. Il est vice-président du conseil de l'École nationale supérieure de géologie. L'élection d'un nouveau président est l'occasion de moderniser le logo du Comité et son site web.

INSPECTION DE TUNNELS ET ÎLOTS DE FRAÎCHEUR PLUS FACILES



© SETEC DIADÈS

Dispositif d'acquisition des données d'inspection en tunnel (80 cm par 20 de diamètre) de la 2^e version de l'ID-NT.

Setec Diadès va pouvoir expérimenter la 2^e version de son dispositif ID-NT d'inspection des tunnels auprès de maîtres d'ouvrage publics, dans le cadre de l'appel à projets "Routes et rues" 2021 dont il est un des lauréats. L'appel du ministère de la Transition écologique est réalisé avec l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité et le Cerema. Quinze propositions avaient été sélectionnées par le Comité d'innovation routes et rues (Cirr), huit ont été retenues pour être testées sur le terrain. Le Cirr évalue un produit innovant en situation réelle, par l'intermédiaire du Cerema, du Cetu et de l'Université Gustave Eiffel, et délivre un certificat destiné aux maîtres d'ouvrage qui voudraient l'utiliser. → **Données contrôlées en temps réel** L'ID-NT@V2 de Setec Diadès peut acquérir des données sur 360° là où la 1^{re} version balayait à 270°⁽¹⁾. D'autres améliorations ont été apportées notamment en qualité de résultats et par l'introduction de paramètres complémentaires. L'appareil d'acquisition des données (80 cm de long par 20 cm de diamètre) est porté par un chariot routier ou ferroviaire selon les cas, qui avance à une vitesse entre 1 et 3 km/h. L'éclairage est continu (pas de flash), sur batteries (8 heures d'autonomie), et assure un relevé adéquat jusqu'à 9 m de distance. Les données acquises sur l'état du tunnel peuvent être contrôlées en temps réel.

Une liste des désordres et doutes est générée. Elles peuvent être traitées dans le cadre d'un jumeau numérique. L'ID-NT inspecte les tunnels conformément au fascicule 40 de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art. Il requiert un inspecteur confirmé.

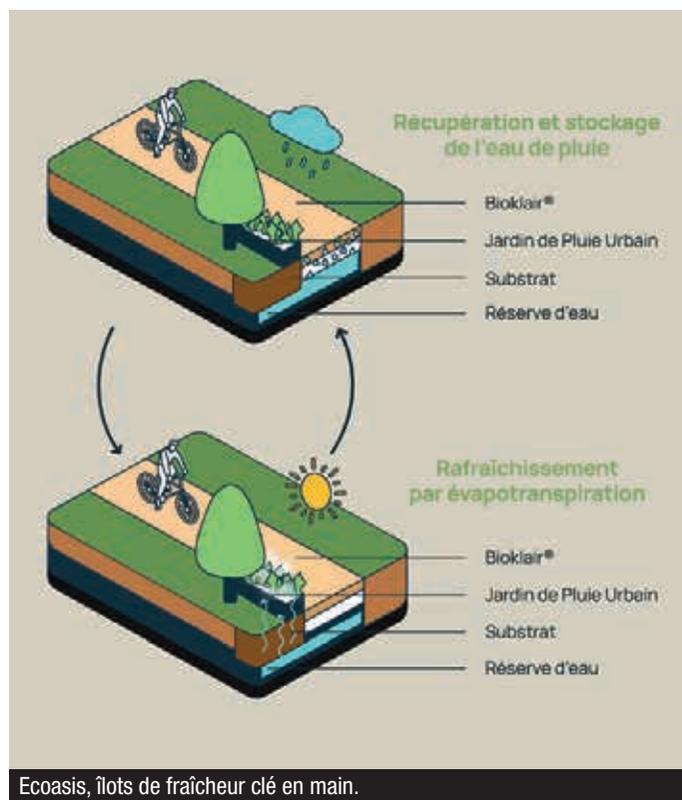
Parmi les autres innovations de "Routes et rues", citons-en deux d'Eiffage Route. Le Trainers GB5, conçu avec la société Edilon Sedra, est une structure de voie où le rail est noyé dans l'enrobé à hautes performances GB5. Il peut s'utiliser pour les tramways ou aux passages à niveau. En ouvrage d'art, il allège la charge sur le pont.

→ **Se baser sur le cycle de l'eau**

Autre proposition par Eiffage Route, l'Ecoasis, solution d'aménagement de voirie pour créer des îlots de fraîcheur et basée sur le cycle de l'eau. La pluie traverse le revêtement poreux et va se stocker en sous-couche, dans une structure réservoir. La végétation en profite directement par capillarité ou par un système d'arrosage. Arbres et arbustes, par évapotranspiration, font baisser la température ambiante. La solution inclut le Bioklair, revêtement clair, avec un fort albédo (capacité à réfléchir le rayonnement solaire).

Ecoasis est instrumentée (température, humidité, vent) afin de piloter l'utilisation de la ressource en eau. Elle répond de façon globale (plusieurs métiers) à la demande d'îlot de fraîcheur. ■

⁽¹⁾ Cf. Travaux n°961, juillet-août 2020, pp 65-71.



Ecoasis, îlots de fraîcheur clé en main.

© EIFFAGE



terrasol

setec

L'ingénierie géotechnique
à forte valeur ajoutée

www.terrasol.com



INGÉNIERIE
FORMATIONS
LOGICIELS

» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise
Développement, Assistance technique «

Terrasol est un leader reconnu dans le domaine de **l'ingénierie géotechnique**, en France comme à l'étranger.

Parmi nos références récentes en France : Grand Paris Express, Eole, Projet Lyon Part-Dieu, Liaison ferroviaire Lyon-Turin, Pont-Rail du canal de Saint-Denis, Projet Cigéo à Bure, Quais Joannès Couvert et Hermann du Pasquier au Havre, Galerie de la Sarenne... **Et à l'international :** Ligne à Grande Vitesse HS2 (UK), Tour F à Abidjan (Côte d'Ivoire), RER de Toronto (Canada), EPR Hinkley Point et Sizewell (UK), 4^{ème} pont d'Abidjan (Côte d'Ivoire), Tour Mohamed VI (Maroc), Pénétrante de Tizi Ouzou (Algérie), TER de Dakar (Sénégal)...

	<p>Paris</p> <p>Tél : +33 (0)1 82 51 52 00 Fax : +33 (0)1 82 51 52 99 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Lyon</p> <p>Tél : +33 (0)4 27 85 49 35 Fax : +33 (0)4 27 85 49 36 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Maroc</p> <p>Tél : +212 (661) 16 20 78 Fax : +212 (537) 77 48 41 Email : ahmed.skalisenhaji@setec.com</p>	<p>Tunisie</p> <p>Tél : +276 71 23 63 14 Fax : +256 71 75 32 88 Email : info@terrasol.com.tn</p>
---	---	--	---	---

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Malgré l'amélioration de la situation sanitaire, nous invitons les lecteurs à toujours vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique sont maintenus, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou en ligne).

• 16 AU 18 NOVEMBRE

Salon des maires

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

• 17 ET 18 NOVEMBRE

Rock Slope Stability

Lieu : Chambéry (Savoie) et en ligne
www.c2rop.fr

• 23 AU 25 NOVEMBRE

Wind Europe : Electric City

Lieu : Copenhague (Danemark)
<https://windeuropa.org/>
ElectricCity2021

• 23 AU 25 NOVEMBRE

2^e Geoscience & Engineering in Energy Transition Conference

Lieu : Strasbourg et en ligne
www.geothermies.fr

FORMATIONS

• 2 ET 3 NOVEMBRE

Mesures compensatoires pour la biodiversité : enjeux, pilotage et suivi

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 2 AU 4 NOVEMBRE

Fondamentaux de la géotechnique

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 2 AU 4 NOVEMBRE

Conception des ouvrages de protection du littoral

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 3 AU 5 NOVEMBRE

Concevoir et gérer les pôles d'échanges

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 8 AU 10 NOVEMBRE

Inspection des ouvrages métalliques et ponts à câbles

Lieu : en distanciel
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 15 ET 16 NOVEMBRE

Fabrication de la maquette numérique et les outils du Bim

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 15 AU 18 NOVEMBRE

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

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 17 ET 18 NOVEMBRE

Réhabilitation des réservoirs en béton et en maçonnerie

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 22 ET 23 NOVEMBRE

Équipements d'ouvrages d'art : choix et réglementation

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 23 ET 24 NOVEMBRE

Calcul en réparation et renforcement d'ouvrages d'art

Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

CFMS :

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS) est désormais présidé par Nicolas Utter (Soletanche Bachy). Il prend la suite de Valérie Bernhardt (Terrasol) qui est chargée de la communication.

DOKA :

Robert Hauser devient PDG de la société de coffrage et d'étaie après le départ en retraite d'Harald Ziebulka.

SETEC ISM :

Frédéric Hervé dirige la nouvelle société Setec ISM (voir actualités) avec Kevin Naud, directeur opérationnel.

CEREMA

RECHERCHE ET INNOVATIONS AU SERVICE DU PATRIMOINE

La culture de la gestion du risque doit permettre de mieux maîtriser le vieillissement des ouvrages et de les sécuriser. Le Cerema œuvre à la mise au point de méthodologies et de formations permettant de diffuser les attitudes de gestion adaptées, faisant appel à des technologies innovantes, ouvrant des perspectives intéressantes au service de la gestion du patrimoine. Pierre Corfdir, responsable de l'activité "Ouvrages d'Art" au sein du Cerema, revient sur la prise de conscience qui s'est dessinée depuis quelques années dans ce domaine, sans doute confortée par une actualité quelquefois dramatique et l'évolution inexorable des données climatiques. **Entretien avec Pierre Corfdir, responsable de l'activité "Ouvrages d'Art" du Cerema.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Pierre Corfdir,
responsable
de l'activité
"Ouvrages d'Art"
du Cerema.

Comment se porte le patrimoine des ponts ?

Ce patrimoine est très important. Il faut savoir que les ouvrages d'art routiers en France permettent plus de 230 000 franchissements de plus de 2 mètres d'ouverture. Les ouvrages d'art communaux représentent une part très importante de ce patrimoine (100 000 franchissements environ) ; il s'agit d'ouvrages plutôt modestes en comparaison des autres réseaux (10 à 20 mètres d'ouverture, 150 m² de surface moyenne), majoritairement des ponts en maçonnerie ou en béton armé, assez anciens.

La situation sanitaire n'est globalement pas fameuse. Elle est assez similaire dans tous les pays européens. Passée la période de reconstruction de l'après-

guerre, la question de la gestion du patrimoine ne s'est réellement posée que 40 ans après, quand les premiers effets inquiétants de l'âge sur les ouvrages sont apparus.

La puissance publique s'est réellement préoccupée du sujet lorsque sont survenus les premiers accidents qui ont conduit à la mise en place d'une politique de gestion.

Je pense ici à l'écroulement du pont Wilson à Tours en 1978, à celui du pont de Sully-sur-Loire en 1985. Plus récemment, l'effondrement du pont Morandi à Gènes a contribué à accélérer la prise de conscience à telle enseigne que le Sénat s'est saisi de ce sujet, a fait une enquête qui a révélé ce dont on se doutait un peu, et l'a formalisé en soulevant la question de la

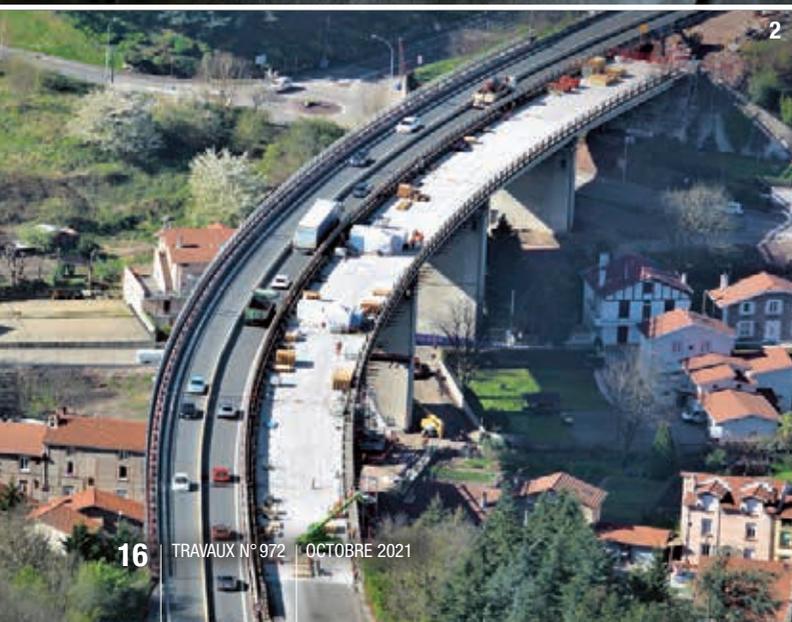


FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © DIR CE - FIGURE 3 © LAURENT CARRÉ

surveillance et de l'entretien des ponts. Ainsi, la dégradation des ponts s'explique par le vieillissement du patrimoine et par un sous-investissement chronique dans son entretien. Si les gestionnaires de grands patrimoines assurent globalement l'entretien de leurs ouvrages, pour une grande partie des petites communes le problème est le manque de connaissance de leur patrimoine, le manque de compétences techniques et de moyens financiers. De 15 000 à 20 000 ponts communaux seraient en mauvais état, soit 20 % du total selon ce rapport.

Le rapport du Sénat préconise trois mesures urgentes :

- 1- Mettre en place un plan Marshall pour les ponts d'ici 2030 ;
- 2- Sortir de l'urgence au profit d'une gestion patrimoniale des ponts ;
- 3- Apporter une offre d'ingénierie aux collectivités territoriales.

Quelles sont les raisons qui ont conduit à ce constat ?

Plusieurs raisons contribuent à ce que la prise de conscience soit difficile.

En dehors de quelques ouvrages emblématiques comme le pont de Normandie, le pont de l'île de Ré ou le viaduc de Millau, les ouvrages d'art sont en fait peu visibles et il ne s'y passe pas grand-chose. Leur "durée de vie ou de service" peut être longue (80 ans) et les événements sont rares : il est donc difficile de mobiliser l'intérêt des élus sur ce sujet entre deux épisodes de crise.

Les ponts souffrent de maux qui sont difficilement perceptibles, voire invisibles depuis la chaussée pour les usagers.

La durée de vie des ponts est importante, on a donc tendance à les oublier dans le paysage.

PIERRE CORFDIR : PARCOURS

Pierre Corfdir est ingénieur de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (1985).

Il commence sa carrière comme ingénieur à la division des Grands Ouvrages d'Art du Setra en 1986.

Il quitte le Setra en 1997 pour rejoindre la CETE de l'Est (Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Est).

Au CETE de l'Est, Pierre Corfdir occupe plusieurs postes toujours en relation avec les ouvrages d'art : de 1997 à 2004, chef de la division études des Ouvrages d'Art puis, de 2004 à 2011, chef de la division d'études et chef du groupe Ouvrages d'Art du laboratoire régional de Strasbourg.

En 2011, il rejoint la Direction Interdépartementale des Routes de l'Est (DIR Est) comme chef du service Ouvrages d'Art, en charge du pilotage de l'ensemble de l'activité Ouvrages d'Art : construction d'ouvrages neufs et gestion du patrimoine ouvrages d'art du RRN de l'Est.

De 2016 à 2020, toujours fidèle aux Ouvrages d'Art, il rejoint le Cerema en tant que chef du Centre des Technique d'Ouvrages d'Art.

Depuis le 1 janvier 2021, Pierre Corfdir est responsable de l'activité "Ouvrages d'Art" du Cerema, qui mobilise environ 300 personnes sur 20 sites.

Il fut président de 2008 jusqu'à 2016 ou il quitta cette région, de la délégation Grand Est de l'Association Française de Génie Civil (AFGC).

2- Le viaduc de la Ricamarie a été construit en 1965.

3- La vallée de la Roya après le passage de la tempête "Alex" en 2020.

4- Le pont Morandi qui surplombe Gênes s'est effondré faisant plusieurs dizaines de victimes.

5- Le pont de Mirepoix-sur-Tarn s'est effondré en 2019 à la suite du passage d'un transport exceptionnel en surcharge.

Il n'existe pas d'obligations réglementaires, ni sur le plan comptable - pas d'amortissement -, ni sur le plan technique : pas de contrôles techniques obligatoires comme pour les automobiles ou les ascenseurs, ou de réglementations visant à assurer la sécurité comme pour les tunnels routiers. Ainsi, leur entretien ne constitue pas une préoccupation prioritaire sauf à ce que des désordres aillent jusqu'à interdire leur accès et impacter de manière perceptible la vie quotidienne des usagers et des riverains.

Par ailleurs, comme l'entretien des ponts nécessite des opérations de réparation le plus souvent complexes, qui font appel à des compétences tech-

niques de haut niveau, qui sont onéreuses et qui entraînent une gêne pour l'usager, il s'agit d'un problème dont on a tendance à repousser l'échéance de la solution.

Les collectivités territoriales, notamment les plus petites d'entre elles, ne disposent généralement pas des capacités techniques et financières suffisantes pour assurer l'entretien d'ouvrages dont elles ont hérité au fil du temps.

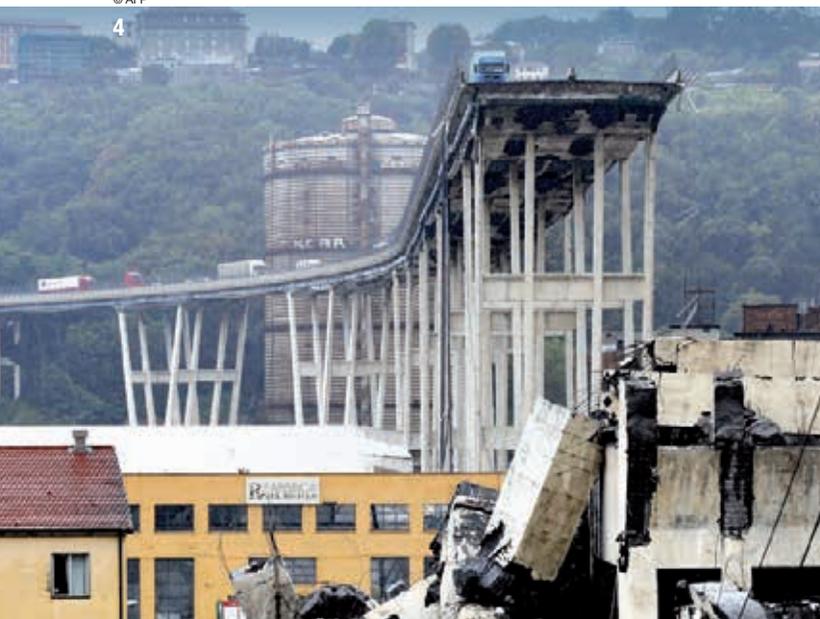
Peut-on considérer que, désormais, on a pris conscience de la situation ?

Tout a démarré dans les années 80, après la publication par l'État, en 1979, d'une "Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'art", suite à la ruine du pont Wilson. Mais, le champ d'application de cette instruction se limitait aux ouvrages gérés par l'État. De sorte que les ouvrages qui ne relevaient pas de sa compétence n'ont pas nécessairement bénéficié de cette instruction technique. La situation a évolué et, globalement, on est aujourd'hui sur le bon chemin. Plus personne ne peut ignorer le problème avec les informations mises sur la place publique : je pense notamment à l'effondrement dramatique en Italie du pont de Gênes, évoqué précédemment, et, en France, à celui du pont suspendu de Mirepoix-sur-Tarn en 2019. Ils ont fait prendre conscience de l'impératif de sécurité publique que constitue le bon entretien des ouvrages.

Le problème n'est pas simple car, pour les usagers, le vieillissement d'un ouvrage se traduit par une multiplication des limitations de vitesse temporaires et des mesures de restriction de la circulation, sans parler des incidences économiques entraînées par l'interruption de la circulation. ▶

© AFP

4



© FRÉDÉRIC MALIGNE BESTIMAGE

5



Pour l'État, il y a un enjeu de maintien de la libre circulation des personnes et des biens, un risque de perte de compétitivité du pays et des territoires.

Adapter aujourd'hui notre patrimoine routier constitue la clé d'un service optimal rendu à nos concitoyens, sécurisé et au meilleur coût.

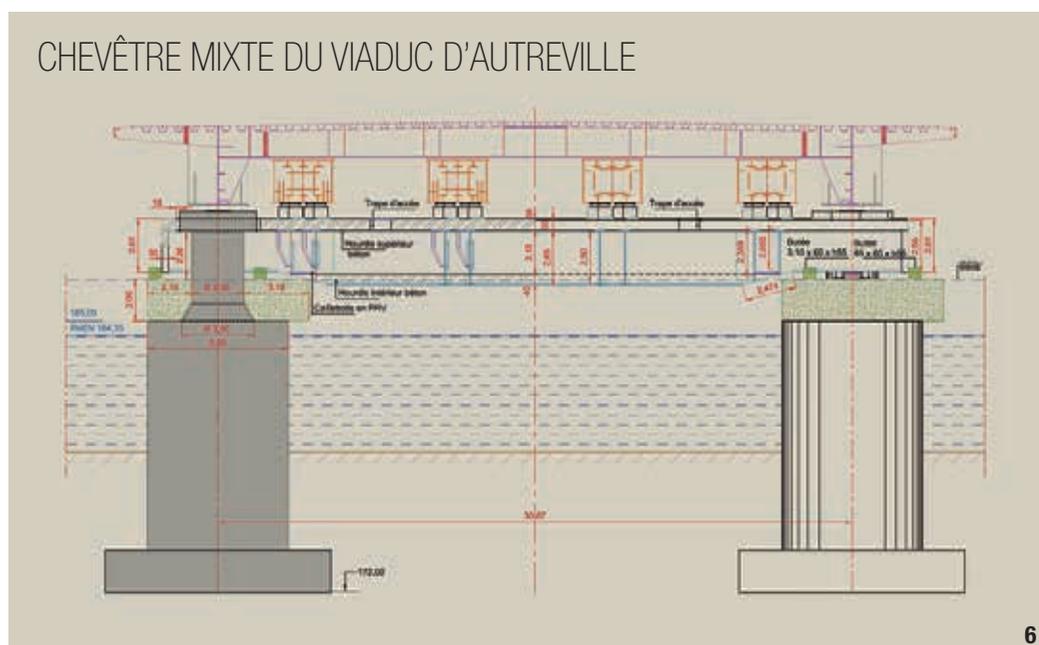
Le Programme National Ponts, porté par le Cerema et financé par l'État à hauteur de 40 M€ permet d'accompagner les plus petites communes dans une meilleure connaissance de leur patrimoine d'ouvrages d'art. Il se déploie au travers d'une vaste opération territorialisée de recensement et de reconnaissance des ponts et des murs de soutènement pilotée par le Cerema et menée en collaboration avec l'ingénierie privée. La première phase consiste en l'inventaire des ouvrages sur les communes éligibles (28 000 communes) et volontaires. Chaque commune recevra un carnet de santé de ses ouvrages.

Ce carnet de santé est le produit d'une collaboration entre le Cerema et l'association "Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil"⁽¹⁾. Il comprend les informations essentielles à la bonne gestion des ouvrages : informations administratives, géométriques et techniques, constats annuels, préconisations, programmation et suivi des actions.

La deuxième phase prévoit un diagnostic plus approfondi des ouvrages les plus sensibles. Ce sera une phase préparatoire nécessaire mais non encore suffisante pour la définition du programme des futurs travaux.

Comment organiser une meilleure gestion de ces ouvrages ?

Toute bonne gestion commence par une phase de reconnaissance et de recensement. Les données issues du recense-



6 © CEREMA

ment comprennent au minimum le type d'ouvrage, sa localisation et ses principales caractéristiques dimensionnelles. La date ou la période de construction constituent également une information importante car elle renseigne sur les typologies de constructions et donc les particularités de la gestion à prendre en compte.

Il convient ensuite de poursuivre cet effort par une surveillance régulière des ouvrages.

Une politique de maintenance du patrimoine doit classiquement être structurée autour de :

→ L'entretien courant qui peut être réalisé en régie ou sous-traité. Il s'agit principalement de protéger l'ouvrage des agressions de l'eau en assurant son évacuation, d'éliminer la végétation aux extrémités de l'ouvrage, etc. Un entretien courant

6- Chevêtre mixte du viaduc d'Autreville.

7- Le viaduc d'Autreville, construit en 1971, supporte l'autoroute A31 : 59 000 véhicules/jour.

8- Mise en place de BFUP (Béton Fibré Ultra Performant) sur la dalle orthotrope du viaduc d'Autreville.

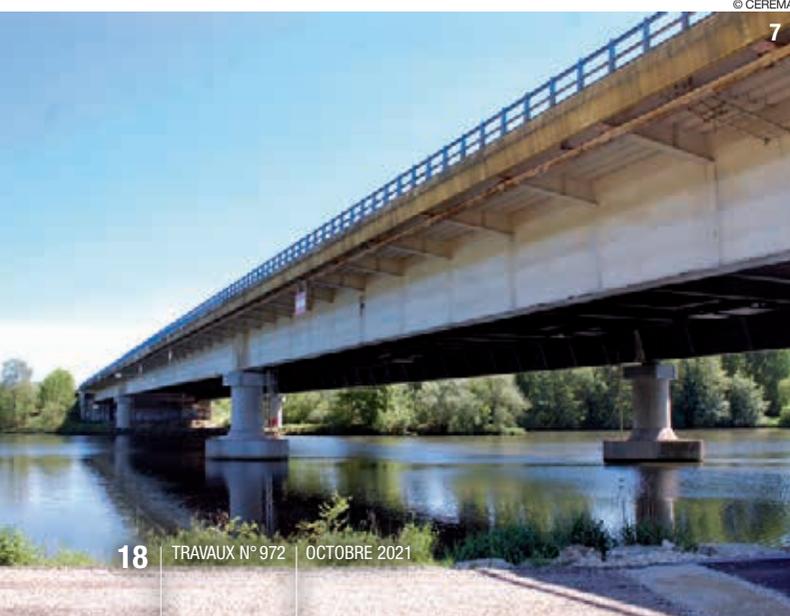
9 et 10- Vue globale du renforcement du tablier et des piles du viaduc d'Autreville.

régulier, une fois par an, est source de pérennité des ouvrages et d'économies ultérieures importantes car l'eau est la principale source d'agression pour les ouvrages.

- L'entretien spécialisé qui porte sur les éléments de protection de la structure (peinture pour les ponts métalliques, chape d'étanchéité, per-rés...) et sur les équipements (joints de chaussée, garde-corps, ...);
- Les réparations qui visent à rendre à la structure son aptitude fonctionnelle.

Quelles sont les missions du Cerema dans la gestion du patrimoine ?

Le Cerema poursuit le rôle historique majeur de l'ingénierie publique sur les ouvrages d'art, comme porteur des principales publications sur ce sujet



© CEREMA

7



© CEREMA

8

pour construire et gérer au mieux les ouvrages et comme expert.

Il est né en 2014 de la fusion de 11 services publics, 8 CETE, le CERTU, le CETMEF et le SETRA.

Son ambition est d'assister les acteurs publics dans la gestion de leur patrimoine d'infrastructures, d'épauler les acteurs territoriaux pour faire face aux risques auxquels sont soumis leurs territoires et populations, d'apporter à l'État et aux acteurs territoriaux un appui en termes d'ingénierie et d'expertise technique. Il est l'expert public de référence de l'État sur les ouvrages d'art, apte à intervenir en situation de crise. Le Centre National des Ponts de Secours a d'ailleurs intégré le Cerema au 1 janvier 2021. Je pense là au cyclone Irma qui a dévasté les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy dans les Antilles françaises en 2018 ou à la bombe climatique - la tempête Alex de 2020 - qui a ravagé les communes et les ouvrages de la vallée de la Roya dans les Alpes Maritimes. Prendre en compte l'impact du changement climatique dans la conception et la gestion est un enjeu nouveau et fondamental. Face à ces risques qui peuvent être un séisme, des inondations, le vieillissement naturel des matériaux, la fragilité de structures d'un type un peu particulier, il s'agit d'informer et d'alerter les gestionnaires. L'apport de l'ingénierie publique, quant à la production de méthodologies, n'a cessé depuis la publication de l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'art de 1979. De nombreuses publications sont disponibles sur le site du Cerema.

Le rôle du Cerema vise aussi, par sa participation aux travaux de normalisation ou de rédaction des fascicules du CCTG et par la publication de guides

DE 1945 À AUJOURD'HUI, LES DATES QUI ONT FAÇONNÉ L'ACTUEL CEREMA

- 1945 - Création du Service Spécial des Autoroutes (SSAR) et du service des études de recherches de la circulation routière.**
- 1945 - Création du service des phares et balises.**
- 1948 - Création du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).**
- 1952 - Création des Laboratoires Régionaux des Ponts et chaussées (LRPC).**
- 1967 - Création du Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA).**
- 1968 - Création des Centres d'Études Techniques de l'Équipement (CETE) qui intègrent les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées.**
- 1994 - Création du Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), issu de Centre d'études des transports urbains (CETUR) et du Service Technique de l'Urbanisme (STU).**
- 1998 - Création du Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), issu de la fusion du Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables (STCPMVN) et du Service Technique de la Navigation Maritime et des Transmissions de l'Équipement (STNMTE).**
- 2008 - L'équipement et l'écologie fusionnent. Les CETE doivent inscrire dans leurs activités des actions en faveur du Grenelle de l'environnement.**
- 2014 - Naissance du Cerema.**
- 2015 - Premier projet stratégique 2015-2020.**

techniques, à assurer la bonne qualité des ouvrages. Ces documents sont le lien indispensable entre tous les acteurs pour définir des pratiques partagées et sécurisées pour la commande publique. Un sujet d'avenir est le développement de formations qualifiantes pour professionnaliser les interventions (inspection des ouvrages par exemple), en accompagnement du développement des besoins en ingénierie de gestion du patrimoine.

D'un point de vue opérationnel, quels sont les apports du Cerema ?

D'un point de vue opérationnel, le Cerema apporte des méthodologies pragmatiques construites autour de compétences acquises à l'issue de vraies expériences, d'expertises, d'assistance de gestionnaire pour les grands parcs ; ces méthodes permettent d'optimiser les dépenses publiques grâce à une vision plus globale de l'état

du patrimoine afin de ne pas subir au cas par cas, mais d'intervenir en préventif plus qu'en curatif.

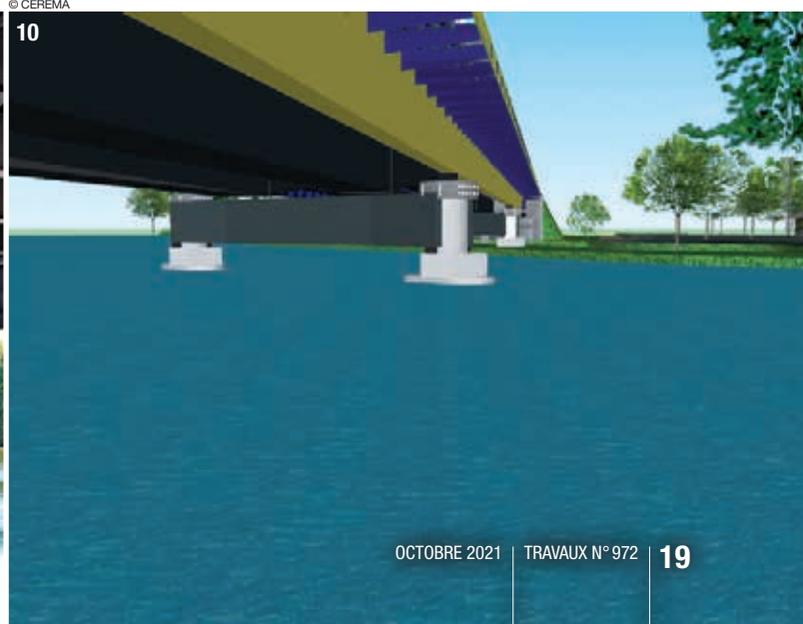
Les maires peuvent être désemparés lorsqu'ils sont confrontés à des problèmes techniques qu'ils ne connaissent pas bien et il faut leur permettre de démarrer la prise en main de leur patrimoine et les premiers travaux de prévention.

Pour les petites collectivités, le Cerema est en mesure de proposer aux maires des expertises rapides, pouvant déboucher aussi bien sur des mesures conservatoires en limitant le passage des véhicules de fort tonnage, mais surtout d'apporter des conseils, des outils pour aborder la gestion.

Pour les Collectivités Territoriales, il s'agit d'apporter un appui technique de proximité en offrant des méthodes et des guides adaptés pour tendre vers une politique de gestion des ouvrages.

Après la publication d'un guide sur la gestion des ouvrages communaux, le Cerema va publier prochainement un guide sur la sous-traitance des études pour aider les gestionnaires à passer des commandes fiabilisées ainsi qu'une note d'information sur la gestion de patrimoines. D'autres outils sont en gestation comme un outil permettant de gérer les demandes de passage des transports exceptionnels.

Pour les gestionnaires de grands parcs (Conseils Départementaux, État), il s'agit d'aller vers une gestion de patrimoine à vocation pluridisciplinaire pour offrir une vision globale de l'état des infrastructures en tenant compte de leur impact social, économique et environnemental, et de leur vulnérabilité à court et long terme. Des études novatrices adaptant les méthodes épidémiologiques à la santé des ouvrages seront bientôt publiées. ▷



Pour tous les acteurs concernés, il s'agit de proposer des interventions expertes pour la gestion des ouvrages. De nombreux maîtres d'ouvrage bénéficient déjà de l'appui du Cerema, notamment dans les situations les plus complexes en participant à des comités d'expertise (pont du Larivot en Guyane, pont de l'île de Ré, pont Masséna à Paris...).

Pour tous les types d'ouvrage, l'État a publié après-guerre des guides de conception de telle sorte que les bureaux d'études, les maîtres d'œuvre, les entreprises aient à leur disposition des documents déjà formatés, déjà pré-conçus, qui leur permettaient de s'entendre sur les ouvrages à construire, sans avoir à tout réinventer à chaque chantier. Cela apportait une grande sécurité sur l'acte de construire.

Un pendant aussi complet pour la gestion et la réparation est à construire. Cet apport de l'ingénierie publique a été déterminant pour la sécurité et la garantie d'une bonne conception. Cette démarche se poursuit aujourd'hui, notamment, avec l'entrée en vigueur de la normalisation européenne dans laquelle le Cerema porte l'intérêt public.

Quelles réparations d'une grande complexité pourriez-vous évoquer pour illustrer le haut niveau technique atteint aujourd'hui par l'ingénierie de la réparation ?

Il me vient immédiatement à l'esprit les viaduc d'Autreville et de la Ricamarie en ce sens qu'ils constituent l'un et l'autre des premières.

Le viaduc d'Autreville, situé en Lorraine, supporte l'autoroute A31 grâce à ses trois travées (74,50 mètres - 92,50 mètres - 64,75 mètres) enjambant la Moselle. Son tablier entièrement métallique est composé de deux poutres de 3,80 mètres de hauteur

supportant une dalle orthotrope de 32 mètres de largeur. Le trafic supporté par l'autoroute A31 fait partie des plus agressifs d'Europe - 59000 véhicules/jour dans les deux sens, dont 16% de poids lourds -, c'est-à-dire, annuellement, l'équivalent de 1,4 millions de poids lourds d'une masse de 33 tonnes.

Ce trafic induit de nombreuses fissures de fatigue dans la dalle orthotrope très sensible aux effets locaux des poids lourds, mais également sur les deux poutres principales.

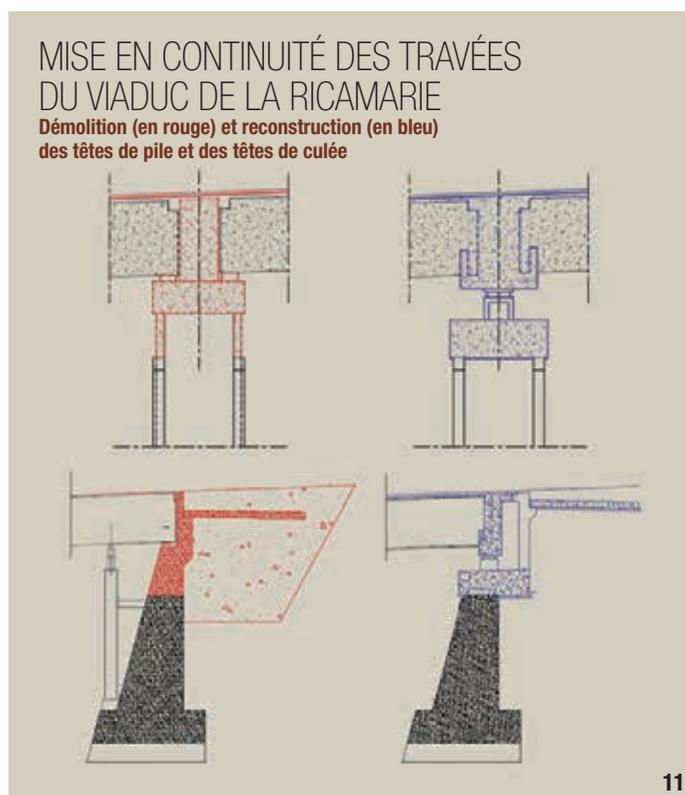
La Direction Interdépartementale des Routes de l'Est et le Cerema ont ainsi élaboré un projet de réparation inno-

vant visant à garantir une pérennité de l'ouvrage sur plusieurs décennies plutôt que la construction d'un ouvrage neuf, qui s'avérerait dans ce cas plus onéreuse et plus impactante sur l'environnement. Ce projet consiste à conforter aussi bien la dalle orthotrope que les poutres porteuses avec l'ajout d'un hourdis en Béton Fibré Ultra Performant (BFUP) d'environ 5 cm d'épaisseur, coulé sur site, sur la dalle orthotrope pour la rigidifier et la renforcer, et de quatre caissons métalliques porteurs, mis en place en sous œuvre, capable à eux seuls de porter l'ensemble du pont. Ces caissons calés sous l'ouvrage existant contribuent à sa résistance.

La mise en œuvre de ces caissons est prévue avec les principes suivants :

- Les caissons sont appuyés sur toutes les pièces de pont à l'aide d'appareils néoprènes (200 appareils d'appui) ;
- Les caissons sont portés par un chevêtre mixte mis en œuvre sur les piles existantes en rivière pour éviter la création délicate de nouvelles fondations en rivière.

Les travaux effectués sur le viaduc de la Ricamarie sont tout aussi innovants. Il s'agit d'un ouvrage à travées indépendantes à poutres préfabriquées précontraintes par post-tension (VIPP) de 1^{re} génération construit en 1965.



11- Mise en continuité des travées du viaduc de la Ricamarie : démolition (en rouge) et reconstruction (en bleu) des têtes de pile et des têtes de culée.

12- Le viaduc en béton précontraint de la Ricamarie, construit en 1964/1965, franchit la vallée de l'Ondennon à proximité de Saint-Étienne.

13- L'une des entretoises de continuité sur l'ouvrage de la Ricamarie.

14- Ricamarie : mesure de la précontrainte par essai à l'arbalète.

15- Travaux de réparation des parements des piles du viaduc de la Ricamarie.

11 © CEREMA



© DIR CE 12



© CEREMA 13

PONTS CONNECTÉS : 17 PROJETS LAURÉATS

Le ministre délégué chargé des Transports, Jean-Baptiste Djebbari, a annoncé le vendredi 23 avril 2021 à Millau les 17 lauréats de l'appel à projets sur les ponts connectés.

Lancé le 16 décembre dernier en réponse à l'enjeu majeur de sécurité des ponts, cet appel à projets se veut porteur de nouvelles solutions pour les collectivités afin de mieux surveiller et entretenir leur patrimoine. L'entretien des infrastructures nécessite des investissements lourds alors que les budgets des gestionnaires sont de plus en plus contraints. L'innovation leur ouvre un nouvel horizon avec des solutions plus pratiques, plus performantes et moins coûteuses.

17 lauréats ont été retenus autour des sujets suivants :

- Apponts :** Surveillance d'ouvrages par capteurs autonomes et analyses modales (Apave).
- Audace :** Surveillance en continu d'ouvrages par capteurs vis-à-vis des chocs de poids lourds sur tablier (Sisgeo).
- Cahpreex :** Détection de la corrosion des haubans et des câbles par capteurs autonomes RFID (Artelia).
- CI3S :** Surveillance des ouvrages et détection des désordres par capteurs et intelligence artificielle (Cideco).
- Détection automatique de désordres :** Aide au diagnostic d'ouvrages métalliques par intelligence artificielle et imagerie (réalité augmentée) (Corrosia).
- IA2 :** Détection des affouillements par capteurs et analyse modale (Sixense).
- Geopont :** Auscultation du béton armé par propagation d'ondes (radar et sismique) (Bouygues).
- Gerico :** Surveillance d'ouvrages métalliques par capteurs connectés (SCE).

- MAJ :** Détection d'endommagement des joints de chaussée par capteurs acoustiques et intelligence artificielle (Freyssinet).
- Mimia :** Surveillance d'ouvrages et aide au diagnostic par imagerie et intelligence artificielle (Sites).
- Mirauar :** Aide au diagnostic d'ouvrages par imagerie (réalité augmentée) et intelligence artificielle (Setec).
- Sofia :** Aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images et intelligence artificielle (Socotec).
- SOS-A :** Détection des affouillements par capteurs, imagerie et modélisation (QCS services).
- Survout :** Surveillance d'ouvrages en maçonnerie sous trafic courant et convois exceptionnels (Quadric).
- Viasagax :** Détection des surcharges de poids lourds (Freyssinet).
- Vigi :** Surveillance d'ouvrages avec capteurs autonomes (Egis).
- Vivoa :** Aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images (Sixense).

Le Cerema assure le pilotage du dispositif. Sur les 39 dossiers déposés, un jury constitué d'experts du Cerema a retenu 17 projets qui seront testés en grandeur nature. L'ensemble de ces projets mobilise un financement total de 8 millions d'euros dont 4 millions de subventions alloués par l'État dans le cadre de France Relance.

Entreprises, universités et gestionnaires ont répondu présent et démontré ainsi leur capacité à porter collectivement l'innovation au service de la sécurité des ponts et plus globalement des déplacements des Français. Des collectivités se sont déjà portées volontaires pour mettre à disposition leurs ponts comme support d'expérimentation.

D'une longueur de 256 mètres, répartie en 7 travées, il comporte deux tabliers parallèles indépendants portés par trois poutres. Il permet à la RN88 de franchir la vallée de l'Ondonon à proximité de Saint-Étienne. Il supporte 62 000 véhicules par jour dont 3 100 poids lourds et a la particularité d'être implanté en zone urbaine avec des franchissements de bâtiments. La quasi-totalité des parements des

pires, les chevêtres, les tenons, les dés d'appui et les appareils d'appui ont été très dégradés par les ruissellements chargés en sel de déverglaçage.

Le tablier, indépendamment des abouts de poutres et d'encorbellement dégradés et des défauts d'étanchéité, présentait un déficit important de précontrainte longitudinale.

Dans un premier temps, l'ouvrage a été débarrassé de toutes ses superstruc-

tures (chapes d'étanchéité, barrières de sécurité, parapets...) qui n'étaient pas structurellement porteuses. Il n'a été conservé que la structure porteuse, constituée de travées indépendantes l'une de l'autre.

Les piles ont fait l'objet d'une hydro-démolition de l'ensemble de leur parement pour substituer le béton contaminé par les chlorures par un nouveau béton. Pour traiter les tabliers,

une solution audacieuse de mise en continuité mécanique des travées a été adoptée. Elle a consisté, après mise sur appuis provisoires du tablier, à démolir et reconstruire les têtes de pile, réaliser des entretoises de continuité et mettre en œuvre une précontrainte additionnelle de renfort continue sur toute la longueur de l'ouvrage. Outre le rétablissement de la résistance structurelle vis-à-vis des charges réglementaires, ▷

© CEREMA

14



© CEREMA

15



cette solution améliore fortement la robustesse des tabliers.

On a créé une nouvelle structure porteuse s'appuyant sur les éléments qui pouvaient être conservés.

Cette opération s'est réalisée avec un impact moindre sur l'environnement que celui qu'aurait entraîné un remplacement pur et simple des tabliers nécessitant la déviation de l'autoroute et donc des interventions lourdes sur ses abords avec des répercussions sur l'environnement.

Ces travaux offrent à l'ouvrage une prolongation de la durée de vie identique à celle d'un ouvrage neuf.

Peut-on dire que la culture de la gestion du risque est devenue indispensable ?

Elle concerne tout le monde. Nous sommes entrés dans une période où nous maîtrisons mal les évolutions des éléments naturels impactés par le changement climatique. La masse des poids lourds autorisés à circuler a tendance aussi à augmenter régulièrement. Et bien sûr les ennemis de toujours, l'eau et les chlorures, demeurent. Les événements récents montrent que les ouvrages sont sensibles à de nombreux aléas qui peuvent mener à leur ruine. Le cas du pont de Mirepoix-sur-Tarn effondré en 2019 sous le poids d'un transport exceptionnel en surcharge, les ouvrages de la vallée de la Roya emportés en 2020 suite à des épisodes pluvieux extrêmes témoignent de l'acuité des risques et de la nécessité d'y faire face.

La culture de la gestion du risque doit permettre de mieux maîtriser et sécuriser les ouvrages et le Cerema œuvre à la mise au point de méthodologies et formations permettant de diffuser les postures de gestion adaptées afin

RECENSEMENT ET RECONNAISSANCE DES OUVRAGES : NOMBRE DE COMMUNES VOLONTAIRES

	Nombre de communes volontaires au 06/06/21	Nombre de ponts estimés sur les communes volontaires (estimation BD topo)
Occitanie	2618	8701
Auvergne-Rhône-Alpes	1233	4808
Bourgogne-Franche-Comté	988	3286
Grand Est	1207	3531
Hauts-de-France	683	1838
Île-de-France	119	371
Corse	92	143
Provence-Alpes-Côte d'Azur	238	1008
Centre-Val de Loire	449	1912
Normandie	544	1121
Bretagne	335	896
Pays de la Loire	391	1493
Nouvelle-Aquitaine	1352	5049
Total général	10 249	34 157

d'offrir des ouvrages plus résilients. Il faut prendre en compte l'impact des risques naturels, évolutifs du fait du climat (événements pluvieux extrêmes, sécheresse, montée du niveau de la mer, vents extrêmes, ...), en intégrant les méthodes de l'analyse des risques dans la gestion des ouvrages. Cela influe sur la construction d'aujourd'hui afin de l'adapter à ce que nous pouvons envisager des hypothèses environnementales de demain. Cela influe sur la gestion du patrimoine. De nombreuses publications du Cerema abordent ce sujet de l'analyse de risque.

Cette culture de la gestion et de la maîtrise des risques demeure à faire progresser. Il faut développer les formations au niveau des universités et des grandes écoles, les qualifications professionnelles, ainsi que la formation continue.

Quel peut être l'apport de l'innovation vis-à-vis des gestionnaires d'ouvrages ?

Nous sommes à un moment clé où de nombreux progrès technologiques peuvent être associés et mis en œuvre

16- Sur le Rhône, le pont de Seyssel, pont suspendu à haubans datant de 1987, est suivi depuis déjà très longtemps.

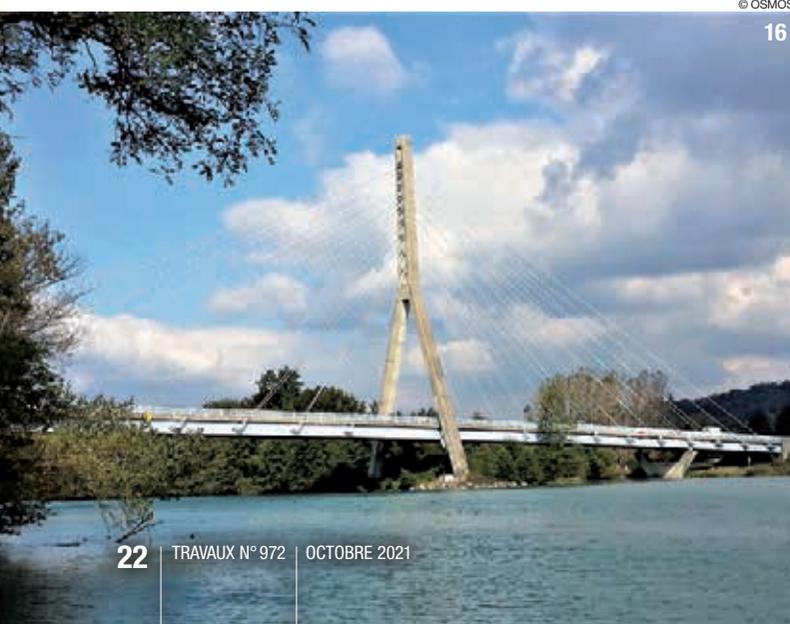
17- Le Pont Neuf, construit entre 1578 et 1604 était, lors de sa construction, le pont de toutes les innovations. C'est le plus ancien pont existant à Paris.

au service de la gestion du patrimoine. L'État a souhaité aider la profession à catalyser ces progrès pour aller vers une utilisation plus massive de ces technologies avec l'appui du Cerema. Nous sommes à l'aube de potentialités insoupçonnées et extraordinaires dans l'évolution des techniques de surveillance des ouvrages en raison de progrès techniques importants au niveau des outils. Le développement de nouveaux capteurs, de moyens de transmission non filaires (internet des objets) et de méthodes d'analyse de données plus performantes notamment grâce à l'intelligence artificielle, la gestion des données (big data) et l'analyse de ces données (data mining).

Tout cela se combine dans une phase très créative, un peu comme dans les débuts de l'automobile, qui va renouveler, à mon avis, dans les dix ans à venir, d'une manière assez profonde, la palette d'outils offertes aux gestionnaires.

Dans ce contexte, le Cerema a lancé un appel à projets qui vise plus particulièrement des actions de recherche et d'innovation permettant d'améliorer la gestion du patrimoine en visant des systèmes ou méthodes qui contribuent à la gestion des ouvrages. Ces systèmes doivent être fiables, robustes aux intempéries ou au vieillissement, peu onéreux, et permettre la détection largement automatisée d'anomalies. Tous ces travaux exploratoires ouvrent des perspectives intéressantes de nouveaux outils au service de la gestion du patrimoine. □

1- L'IMGC regroupe les différents acteurs de l'Ingénierie de la Maintenance dans le domaine des ouvrages d'art. L'Association, axée sur l'ingénierie du diagnostic et la maîtrise d'œuvre du génie civil existant, est organisée en trois collèges : collège bureaux d'ingénierie, collège maîtres d'ouvrage, collège organismes scientifiques.



© OSMOS
16



© STRRES
17

SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

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



PRO BTP
GROUPE

www.probtp.com



DEMATHIEU BARD UNE AUDACE MAÎTRISÉE AU SERVICE DES GRANDS PROJETS

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

DEMATHIEU BARD FÊTE CETTE ANNÉE SES 160 ANS. CETTE LONGÉVITÉ, ELLE LA DOIT À L'INALTÉRABLE PASSION D'ENTREPRENDRE QUI CONSTITUE SA MARQUE DE FABRIQUE. LES INFRASTRUCTURES ET LE GÉNIE CIVIL SONT AU CŒUR DE SON HISTOIRE : CETTE GRANDE ENTREPRISE ORIGINAIRE DE LORRAINE A TOUJOURS RÉPONDU PRÉSENT À LA COMMANDE PUBLIQUE DE GRANDES INFRASTRUCTURES QUE CE SOIT EN FRANCE, AU LUXEMBOURG OU À L'INTERNATIONAL. C'EST AUJOURD'HUI UN GROUPE QUI MÈNE DE FRONT TRAVAUX PUBLICS, BÂTIMENT ET IMMOBILIER. LES CHOIX DE DÉVELOPPEMENT, LES EXPERTISES DANS SES MÉTIERS, LES SYNERGIES ENTRE SES MÉTIERS SELON LES MARCHÉS ET LES PROJETS, LUI ONT PERMIS DE DOUBLER SON CHIFFRE D'AFFAIRES CES 10 DERNIÈRES ANNÉES. PASSÉ DU STATUT DE BÂTISSEUR À CELUI DE *GLOBAL PLAYER*, DEMATHIEU BARD PEUT ACCOMPAGNER SES CLIENTS DE LA CONCEPTION À L'EXPLOITATION D'UN OUVRAGE.

CRÉATION EN LORRAINE ET DÉVELOPPEMENT DANS LES TRAVAUX PUBLICS

Fondée dans l'Est de la France par Pierre Demathieu en 1861, l'entreprise est généraliste et contribue au génie militaire. Elle mène pendant les années d'après-guerre des travaux de reconstruction et des chantiers d'industrie lourde.

S'appuyant sur son expertise de génie civil, Demathieu Bard s'installe durablement dans les territoires, en France, en Europe et en Amérique du Nord, pérennisant ainsi naturellement sa présence avec la réussite de chantiers de toutes sortes.

Si son histoire est à l'origine familiale, le groupe a su au cours des décennies, conserver son indépendance et intégrer

ses managers et ses collaborateurs à son capital.

Demathieu Bard participe activement dès les années 80 au développement des réseaux autoroutier et ferroviaire à Grande Vitesse.

Intervenant sur de nombreux ouvrages linéaires dans toute la France, la société signe près d'un ouvrage d'art sur dix des réseaux autoroutiers et ferrés.

Elle est reconnue pour son savoir-faire en la matière.

Le groupe, qui contribue au développement des principales lignes TGV sait répondre aux exigences de la SNCF, tant au niveau de la qualité que de la rigueur et des délais. Sur la ligne du TGV Med (Lyon-Sud/Marseille), au relief particulièrement accidenté, il participe à la réalisation d'ouvrages spectacu-

lares : les viaducs de Roquemaure sur le Rhône, de la Touloubre, de Cheval-Blanc, nécessitent une réelle ingénierie tant le défi technique est grand. Sur cette LGV, Demathieu Bard participe également, en groupement avec Quillery, au percement du tunnel qui passe sous le massif de Tartaguille et marque l'entrée du tracé en Provence. D'une longueur de 2,4 km, il dispose d'une section équipée de 100 m² pour permettre le croisement de deux TGV, sur un tracé en pente régulière de 3%. Sa réalisation a exigé un travail en continu, 7 jours sur 7.

Sur le réseau autoroutier français, le groupe exécute, par exemple, le viaduc de l'Elorn en Bretagne (pont de l'Iroise), dont la construction est lancée en 1990 en partenariat avec l'entreprise Razel : une prouesse technique qui bat le record du monde de portée de la travée centrale en béton pour un pont à haubans à nappe axiale. Le début d'une longue série qui dépasse les frontières. En 1999, Demathieu Bard obtient le marché du pont du port de Gdansk en Pologne ("pont Jean-Paul II"), un pont à haubans long de 380 mètres, dont le pylône culmine à 100 m au-dessus de la Vistule. Il relie le port côté Nord de Gdansk avec la route nationale. Cet ouvrage emblématique est réalisé en moins de 24 mois. En 2008 en France, le viaduc de l'Elle, un ouvrage mixte bipoutre, est inauguré sur l'autoroute A89. Le chantier a été mené en conception réalisation - ce qui est une première pour un ouvrage d'art signé Demathieu Bard (en groupement avec Dodin) - et a permis de valoriser plus encore le savoir-faire et les techniques des collaborateurs.

Les équipes expérimentées, l'équipement adapté, les outils spécifiques, sont autant de moyens mis en œuvre par le groupe sur chacun des projets

DEMATHIEU BARD : CHIFFRES-CLÉS 2020

1,523 milliards d'euros de chiffre d'affaires consolidé (79% en France, 14% en Europe, 7% en Amérique du Nord) et 2,6 milliards d'euros de carnet de commandes.

3886 collaborateurs.

43 implantations en France et à l'étranger : Allemagne, Luxembourg, Canada, États-Unis.

La gouvernance du groupe Demathieu Bard est constituée de deux organes : un Conseil de Surveillance composé de neuf membres, nommés par l'Assemblée Générale des actionnaires pour trois ans renouvelables, et un Directoire de trois membres, nommés par le Conseil de Surveillance, pour trois ans renouvelables.

Philippe Bard est président du Conseil de Surveillance, René Simon est président du directoire, qui compte également Franck Becherel, directeur général en charge de la construction, et Philippe Jung, directeur général en charge de l'immobilier.

Le directoire assure collégialement l'administration de la société et est assisté d'un comité exécutif composé de :

- **Iliès Amami, directeur général délégué de Demathieu Bard Construction en charge des activités infrastructures Génie Civil en France et en Amérique du Nord.**
- **David Genton, directeur général délégué de Demathieu Bard Construction en charge des activités Bâtiments en France,**
- **Fadi Najem, directeur général délégué Groupe Audits et Pôle Filiales Spécialisées.**

Ces instances s'appuient sur l'ensemble des fonctions support : la Direction de la performance opérationnelle, la Direction juridique, la Direction des ressources humaines, et la Direction financière.

auxquels il participe. La technicité est le fer de lance de Demathieu Bard, dont le savoir-faire historique en tant que spécialiste "génie civil" s'impose. Au Luxembourg, sa filiale Tralux créée en 1975 réalise pendant plusieurs mois la totalité des chantiers ferroviaires. Elle est mandataire d'un groupement avec

Razel et des PME luxembourgeoises pour la création du tunnel du Markusbiert, liaison autoroutière avec la Sarre, qu'elle livre en 2003 : un tunnel à deux tubes d'une longueur de 1575 mètres pour une section de 75 m², qui comprend 3 galeries de liaison ainsi que 4 galeries de secours.

DIVERSIFICATION DANS LE BÂTIMENT À PARTIR DES ANNÉES 2000

De la même manière qu'il a toujours su répondre à la commande publique d'infrastructures, Demathieu Bard décide de répondre à la demande croissante de logements sociaux, de résidences pour personnes âgées, d'équipements

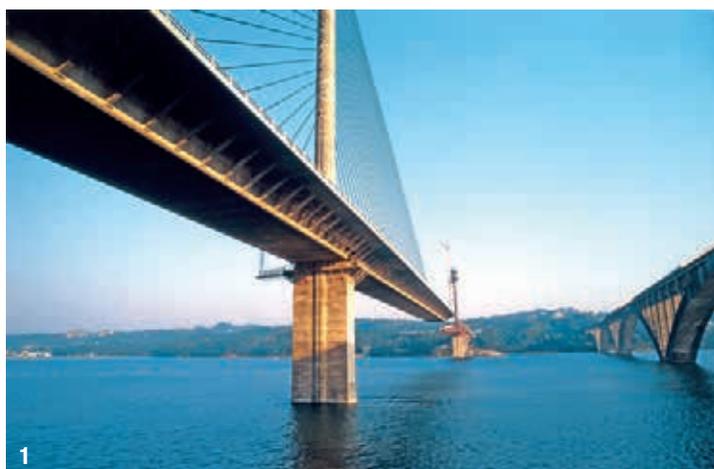
éducatifs et scolaires, de centres sportifs et de loisirs, de bâtiments culturels, hospitaliers ou encore industriels.

C'est ainsi qu'il livre le centre culturel de Vélizy en région parisienne, la grande bibliothèque de Châlons-en-Champagne, l'hôpital Femme Mère Enfant à Metz, le Nouvel Hôpital d'Epinal ou encore plus récemment, la bibliothèque humaniste de Sélestat. Il remporte également la construction du stade de Grenoble : un équipement de 20 000 places dont la structure en béton armé est coiffée d'une charpente métallique et habillée de verre. D'autres références sont à mettre au crédit du groupe : la réalisation du vélodrome de Roubaix, la rénovation du stade Bollaert de Lens ainsi que les tribunes du Stade Saint-Symphorien de Metz dont la dernière tribune, la tribune Sud, a été reconstruite et livrée en 2021.

2005 : ACCÉLÉRATION ET PÉRENNISATION AVEC DIVERSIFICATION DES MÉTIERS

La construction du centre Pompidou de Metz marque une étape dans la capacité de Demathieu Bard de mener à bien, en solo, des projets prestigieux. En France comme au Luxembourg, son activité bâtiment connaît un fort développement géographique par croissance organique et par croissance externe ; en Île-de-France ou encore dans le Nord, le groupe s'impose en remportant la construction du parking souterrain de la Communauté urbaine de Lille et plus récemment le projet de reconstruction de la station d'épuration de Marquette-lez-Lille, la plus importante unité de traitement des eaux usées du nord de la France.

Dans la région lyonnaise, Demathieu Bard reprend BLB Constructions après avoir réalisé ensemble un premier chantier d'équipements hospitaliers. ▷



1 © DEMATHIEU BARD



2 © DEMATHIEU BARD



3

© DR

Quelques années plus tard, le groupe, via sa filiale, livre la plateforme Photonique du CEA de Grenoble, un chantier mené en conception-réalisation. Ce bâtiment ultra technologique, qui comporte à la fois des salles blanches, des laboratoires, des bureaux et un espace de réception, a remporté le Prix national de l'innovation au Concours des Clés d'Or en 2019.

Demathieu Bard qui a décidé dans cette décennie d'investir le marché de l'Immobilier, livre également la tour Allure, dans le quartier des Batignolles à Paris. Le bâtiment a obtenu de nombreuses récompenses.

En parallèle, le groupe continue à se développer à l'international. Tralux participe activement au développement des infrastructures du Grand-Duché

avec les travaux de Génie Civil du funiculaire automatique Pfaffenthal-Kirchberg. Caractérisé par une pente forte de près de 20 %, avec un dénivelé de 38 mètres, sa construction s'apparentait à un véritable chantier de montagne. Érigé en surplomb des voies de chemin de fer où les trains continuaient de circuler, il a nécessité une gestion complexe des circulations durant les travaux. Les quais sont constitués de huit poutres coulées en place avec des hauteurs variables. Quatre gros ouvrages ont également été édifiés, pour des rampes en béton destinées à accueillir escaliers et escalators. Le tracé a été réalisé en tranchée couverte, pour maintenir la végétation et préserver la faune. Ce funiculaire relie une nouvelle gare de réseau ferré au nouveau tramway pour

3- Le viaduc de la Moselle sur la LGV Est Européenne (2005).

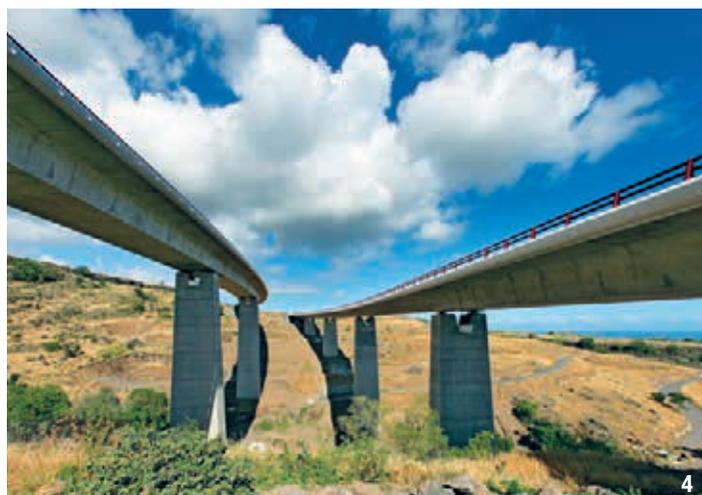
4- Le viaduc de la "rivière des Pluies" dans l'île de La Réunion (2007).

5- La Ligne B du métro de Toulouse (2007).

le fleuve Saint-Laurent entre l'île de Montréal et la ville de Longueuil sur la rive Sud. Près de 35 millions de véhicules empruntent ce pont chaque année. Plus récemment, le groupe avec sa filiale CDB Inc. a procédé, en groupement avec Aecon, à la reconstruction du pont Saint-Jacques⁽¹⁾ sur l'échangeur Turcot à Montréal.

Le projet, qui consistait en la démolition de l'ancien ouvrage et la réalisation d'un pont à haubans à deux travées, répondait à des contraintes de site et de coactivités importantes, avec un objectif fort en termes de rendu architectural. Depuis deux décennies, Demathieu Bard a déployé en Amérique du Nord son activité travaux souterrains. Ses équipes produisent de nombreux tunnels en méthode traditionnelle pour

lequel Tralux réalise 10 km de voies. C'est avec la préfabrication que le groupe traverse l'Atlantique au début des années 2000. À Montréal, il participe à la réfection du pont Jacques-Cartier qui enjambe sur 2687 mètres



4

© DEMATHIEU BARD



5

© DEMATHIEU BARD



6

© DEMATHIEU BARD



7

© AIRDIASOL

le métro de Montréal et sa filiale de préfabrication Technopref contribue à la construction de tunnels à Minneapolis, New-York, Washington DC. Son expertise reconnue lui a permis de remporter récemment un des plus gros contrats de préfabrication de voussoirs d'Amérique du Nord pour le projet Hampton Roads Bridge Tunnel Expansion à Norfolk en Virginie (USA).

En France, l'activité préfabrication contribue également à la dynamique de tout le groupe. La société Capremib, filiale de préfabrication de Demathieu Bard, est réputée pour son savoir-faire. Elle produit, comme Technopref, des composants importants et majeurs pour différents ouvrages, pour des équipements sportifs (Stade de France, Roland Garros) ou des tunnels et fournit l'ensemble des acteurs du marché. Ce métier d'appui confère à Demathieu Bard un savoir-faire d'ingénierie qui lui permet de proposer des solutions rapides d'exécution, telles que les ripages sur les chantiers ferroviaires, où il importe de limiter l'impact des travaux sur le quotidien des usagers.

6- Le stade des Alpes, à Grenoble (2008).

7- Le centre culturel Pompidou à Metz (2009).

8- Le viaduc de la ravine Fontaine dans l'île de La Réunion (2009).

9- Le tunnel de Tartaiguille sur la LGV Méditerranée (2012).

COMBINAISON DES COMPÉTENCES

Fort de la diversification de ses métiers, Demathieu Bard combine ses expertises et ses compétences. Le groupe mène de front travaux publics, bâtiment et immobilier et développe les synergies selon les marchés et les projets. Il orchestre ses savoir-faire et est en mesure de prendre les compétences

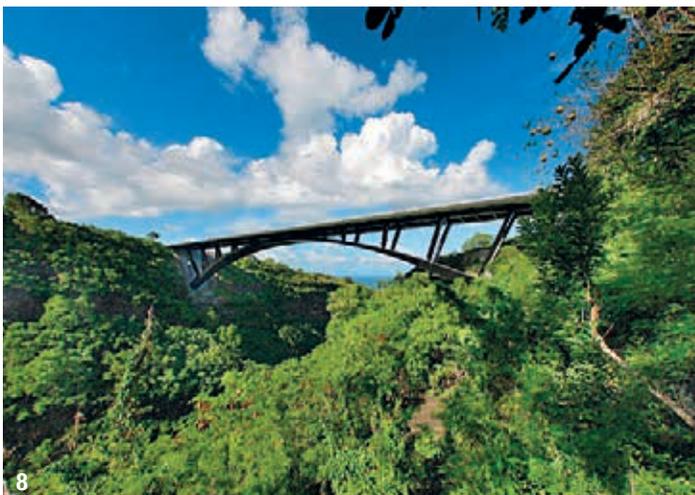
de chacun pour concourir ensemble à un même projet.

La conception-réalisation du pôle d'échanges multimodal de la gare de Nantes⁽²⁾ livré récemment, est une belle illustration de cette capacité à conjuguer métiers et savoir-faire pour apporter des réponses adaptées et innovantes. Le projet répond à un programme ambitieux : restructurer les gares existantes au nord et au sud des voies et les relier par un franchissement en superstructures afin d'améliorer la circulation des voyageurs. Les équipes infrastructures génie civil et les équipes bâtiment de Demathieu Bard ont mis en place une organisation millimétrée et travaillé pendant 500 nuits pour livrer cet ouvrage remarquable sans jamais interrompre la circulation des trains pendant toute la durée des travaux.

CHANGEMENT DE DIMENSION

Fort de ses expertises, Demathieu Bard, reconnu sur les marchés de grands projets, change de dimension. Il remporte des appels d'offres qui impactent des territoires entiers.

L'île de la Réunion est l'une des premières illustrations. Présent dès 2001 pour réaliser en groupement avec la filiale GTOI de Colas les ouvrages de transfert des prises d'eau de Salazie, il entame ensuite l'épopée de la route des Tamarins qui comprend entre autres la construction de l'ouvrage en arc de la Ravine Fontaine et des viaducs de la Savane. Viendront ensuite la construction du viaduc de la Rivière des Pluies, un ouvrage à tablier double caisson en béton précontraint soumis aux crues régulières de la rivière qu'il franchit, finalisé en 2008 après 29 mois de travaux dans des conditions très particulières, et plus récemment, le pont de la rivière des Galets⁽³⁾, un nouvel ouvrage de franchissement par deux tabliers de type bipoutre mixte acier - béton qui vise à sécuriser et fluidifier le trafic routier de plus de 70 000 véhicules par jour. L'ensemble de ces réalisations et succès conduit Demathieu Bard à faire partie du groupement qui a construit et livré le viaduc de la Nouvelle Route du Littoral, axe majeur de circulation pour l'île de la Réunion. ▶



8

© DR

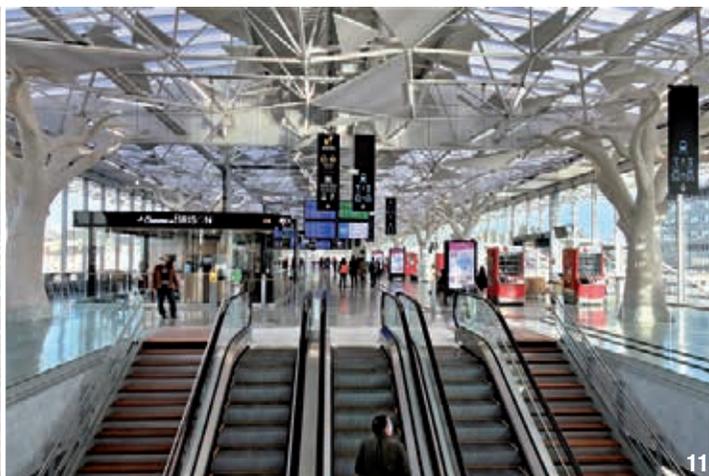


9

© DEMATHIEU BARD



10 © SÉQUENCE PRODUCTION



11 © DEMATHIEU BARD

Autre illustration de cette montée en puissance de Demathieu Bard : le Grand Paris. En Île-de-France, ce projet visant à transformer l'agglomération parisienne en une grande métropole mondiale du XXI^e siècle, génère une nouvelle commande publique : créer en dehors de Paris des pôles économiques majeurs ainsi qu'un réseau de transport public du Grand Paris performant qui relierait ces pôles aux aéroports, aux gares TGV et au centre de Paris. Demathieu Bard s'est naturellement positionné sur ces appels d'offre.

Le groupe est mandataire de groupements sur les Lignes 15 et 17 du Grand Paris Express : il réalise le premier tunnel du Grand Paris Express entre Champigny-sur-Marne et Villiers-sur-Marne sur la Ligne 15 Sud⁽⁴⁾, et lance le tunnelier Florence sur la Ligne 17-1, après son assemblage en surface et sa spectaculaire descente à 30 mètres de profondeur. Demathieu Bard est également à l'œuvre sur le chantier de l'entonnement Hausmann-Saint-Lazare (HSL), l'ouvrage de raccordement entre le tunnel de l'extension du Projet Eole

et la gare Saint Lazare, et sur le site de l'aéroport Paris-Orly, où il construit la gare qui accueillera les Lignes 14 Sud et 18 du Grand Paris Express sous l'extension d'un parking. Ces deux chantiers sont particulièrement contraints et complexes du fait de l'exiguïté des sites : en plein cœur de la capitale pour le premier, ce qui exige le recours au creusement en méthode traditionnelle ; pour le second, dans une zone où la sécurité aérienne impose de réaliser la superstructure sans grue à tour pour les deux derniers niveaux du parking.

Le positionnement du groupe bénéficie à l'ensemble de ses activités. En 2019, Demathieu Bard est mandataire du groupement d'entreprises métropolitaines et réunionnaises qui livre sur le site du Grand Pourpier à Saint Paul de la Réunion, le Pôle Santé Ouest (PSO). Les choix de conception innovants intégrés au programme (énergies renouvelables, ventilation naturelle traversante, gestion des eaux de pluie, bouclier thermique...) permettent d'inscrire ce complexe hospitalier de 40 000 m², 310 lits et 7 blocs opératoires dans

10- Le pôle d'échange multi-modal de la gare de Nantes avec la passerelle conçue par Rudy Ricciotti, architecte (2020).

11- La passerelle du PEM de la gare de Nantes repose sur 8 arbres en béton.

12- Prolongement du métro de Lyon : arrivée du tunnelier Coline à Oullins (2020).

13- Grand Paris Express : opération "Big Lift" de descente du tunnelier de la Ligne 17 (2020).

les avancées environnementales en matière de bioclimatique. De la même façon, en Île-de-France, les activités immobilières et le bâtiment bénéficient de la dynamique dans laquelle le groupe est engagé. Ils développent notamment plusieurs programmes sur le pôle de recherche de Saclay. Par ailleurs, la perspective des Jeux Olympiques 2024 a donné lieu à des commandes de construction d'équipements publics et de logements ainsi qu'à des programmes d'aménagement des territoires. L'activité bâtiment de Demathieu Bard est ainsi attributaire du marché public du Pôle de Référence Inclusif Sportif Métropolitain (PRISME), héritage des Jeux Olympiques Paris 2024. Cet équipement destiné à la pratique universelle du sport, sera unique en



12 © YANIS OURABAH



13 © DEMATHIEU BARD

PHILIPPE BARD : « NOUS SOMMES ATTACHÉS À NOS VALEURS »



© DEMATHIEU BARD

Quelles sont les origines de l'entreprise ?

L'entreprise Demathieu a été créée en 1861 à Rohrbach-lès-Bitche en Moselle, par deux Auvergnats, Pierre et Julien Demathieu, pour réaliser des travaux de chemin de fer entre Sarreguemines et Strasbourg. Ils travaillaient à l'époque avec 40 chevaux !

En 1871, la Moselle est rattachée à l'Empire Allemand et les deux entrepreneurs se replient sur Verdun pour réaliser des travaux militaires notamment sur les forts de Vaux et de Douaumont.

En 1872, l'entreprise réalise d'importants travaux pour les "chemins de fer" (qui deviendront par la suite la SNCF). Elle participe à la construction du tunnel ferroviaire d'Auboué en Meurthe-et-Moselle.

En 1898, Marius Demathieu oriente l'activité de l'entreprise et aborde en son nom propre le marché du génie militaire et celui des Ponts et Chaussées.

Au lendemain de la guerre de 39-45, que reste-t-il de l'entreprise ?

Tout s'est arrêté pendant la guerre et c'est en 1945 que Pierre Demathieu et Raymond Bard, jeune ingénieur ESTP entré dans l'entreprise en 1939, repartent à zéro et créent "Demathieu & Bard".

En 1947, Demathieu & Bard est désigné adjudicataire pour la réalisation du pont Vénizélos à Montigny-lès-Metz. Les bureaux de ce chantier deviendront au fil des années et des agrandissements, le siège opérationnel de la direction générale du Groupe.

Au fil des années, l'entreprise se développe avec des clients prestigieux comme les Ponts et Chaussées et la SNCF, la sidérurgie, les Houillères de Lorraine.

En 1975, elle s'installe au Grand-Duché du Luxembourg en créant la filiale Tralux et affirme déjà ses ambitions hors de France. À l'époque, même si le Luxembourg est voisin, il était difficile de s'y lancer. Cela peut paraître anodin aujourd'hui mais, replacé dans son contexte historique, ça ne manquait pas d'audace. C'était presque plus difficile que de travailler de nos jours aux Etats-Unis. Le viaduc d'Helfenterbrück marque le premier ouvrage majeur réalisé au Luxembourg.

Quels types de travaux ont permis à Demathieu Bard d'atteindre sa dimension actuelle ?

En 1986, année au cours de laquelle je deviens président de l'entreprise, Demathieu & Bard emploie 450 personnes et réalise 130 millions de francs de chiffre d'affaires.

À partir de cette année-là, nous nous impliquons dans les grands projets d'infrastructures routières et ferroviaires (TGV Paris-Tours, métros de Toulouse et de Lyon) et créons le département Grands Travaux. La réalisation des ouvrages d'art devient l'une de nos spécialités. De 1986 à 2000, notre Groupe participe à la réalisation des grandes infrastructures de mobilité aussi bien autoroutières (LGV, autoroutes, viaducs) que ferroviaires et renforce ainsi sa présence dans le génie civil.

Il n'hésite pas non plus à s'installer au Québec où il participe à la rénovation du pont Jacques Cartier à Montréal, chantier qui faisait suite à celui du viaduc de l'Elorn, à Brest, et du viaduc de Gdansk, en Pologne.

À l'export, l'entreprise se consacre exclusivement au génie civil et réalise déjà de l'ordre de 25 % de son chiffre d'affaires.

En 2000, alors que l'activité des grands travaux d'infrastructures ralentit, nous nous lançons dans le Bâtiment. Notre activité immobilière connaît un nouvel élan dès 2010, en France et au Luxembourg : ces activités représentent aujourd'hui respectivement 21 % et 20 % de notre chiffre d'affaires.

En 2020, Demathieu Bard emploie 3900 personnes et réalise 1,523 milliard d'euros de chiffre d'affaires.

Ces cinquante dernières années, la typologie de nos clients a beaucoup évolué. Dans le génie civil, pour EDF, nous réalisons les CCL (Centres de Crise Locaux)⁽¹⁾ et les DUS⁽²⁾ pour 11 centrales nucléaires. Nous travaillons également pour le CEA et pour réacteur ITER de Cadarache. Nous venons d'achever la réalisation du pôle multimodal de la gare de Nantes et menons le chantier de la nouvelle gare de l'aéroport d'Orly ainsi que plusieurs lots du Grand Paris Express.

Au Canada, nous avons participé avec des entreprises canadiennes à plusieurs barrages pour Hydro-Québec.

Enfin, notre Groupe a volontairement ouvert son capital aux collaborateurs via un fonds managérial en 2011 et un FCPE en 2017, tout en veillant à conserver sa taille humaine et son indépendance financière. Nous sommes attachés à nos valeurs, dont celle qui nous guide depuis 1861 : le travail exécuté dans les règles de l'art par des équipes expérimentées, formées et développées à cet effet, même lorsque les chantiers sont techniquement difficiles. Nous sommes également pragmatiques et savons nous adapter, saisir les occasions lorsqu'elles se présentent, sans jamais perdre de vue l'importance de l'innovation.

1- Après l'accident sur la centrale de Fukushima en 2011, l'ASN (l'Autorité de sûreté nucléaire) a analysé le niveau de sûreté de l'ensemble des installations françaises et a formulé de nouvelles exigences pour la sûreté nucléaire et la radioprotection. Un CCL est un bâtiment qui a vocation à regrouper dans un lieu unique les différentes équipes de gestion des situations de crise.

2- DUS : Diesel d'Ultime Secours.

14- Chantier du lot T2C de la Ligne 15 du Grand Paris Express (2020).

Europe ; il pourra accueillir l'ensemble des publics, valides ou en situation de handicap, pour toutes les pratiques, de l'initiation au haut-niveau. L'activité immobilière a remporté la construction à Dugny en Seine-Saint-Denis du futur Village des Médias. Il accueillera les journalistes du monde entier pendant les épreuves des jeux olympiques pour laisser place à un nouveau quartier.



14
© YVES CHANOIT

SECTEUR DE L'ÉNERGIE : UNE EXPERTISE DE LONGUE DATE

Depuis près de deux décennies, Demathieu Bard répond aux nouveaux besoins énergétiques et environnementaux.

Très tôt, le groupe a fait des choix stratégiques pour être présent sur le génie civil industriel, l'énergie, hydraulique, thermique et nucléaire. Il dispose aujourd'hui de nombreuses références dans ces secteurs et est doté des certifications nécessaires à un acteur majeur de ces marchés aux exigences et contraintes très fortes.

RENÉ SIMON : « OSEZ ENTREPRENDRE AUTREMENT »



© OLIVIER TOUSSAINT

Après une année 2020 inédite, comment se porte le groupe Demathieu Bard ?

Le Groupe a traversé cette période exceptionnelle sereinement grâce à la mobilisation de tous nos collaborateurs qui se sont impliqués de manière extraordinaire. Dès le premier confinement, Demathieu Bard a activement participé à la rédaction des protocoles sanitaires du secteur de la Construction. L'ensemble de nos collaborateurs ont su se mobiliser pour reprendre efficacement le travail et sans crainte pour leur sécurité.

Cette implication de tous, notre solidité financière et les synergies entre métiers nous ont permis d'absorber le choc conjoncturel lié à la crise sanitaire de la COVID. Nous avons maintenu notre niveau d'activité, notamment en Infrastructures-Génie Civil, renforcé notre positionnement en Bâtiment et en Immobilier, et nos activités spécialisées restent une source de performance.

Quels sont les grands projets sur lesquels Demathieu Bard est engagé ?

L'activité Infrastructures Génie Civil est le secteur historique du Groupe. Nous avons su démontrer nos capacités techniques tant dans le génie civil nucléaire - travaux post-Fukushima - que dans les travaux souterrains avec le Grand Paris. Notre savoir-faire nous permet d'être présents sur des projets emblématiques en France, au Canada et au Luxembourg. L'activité Bâtiment a également de bonnes perspectives avec un carnet de commandes d'une valeur supérieure à 1 milliard d'euros. Notre expertise globale et les synergies de nos activités nous permettent aujourd'hui de nous positionner sur des opérations complexes et multi-métiers. Avec le Pôle Immobilier, nous donnons de la profondeur à nos carnets de commandes et une durée plus longue à la vie de nos contrats.

Notre activité de développement immobilier a aujourd'hui atteint un haut niveau de visibilité nationale.

Demathieu Bard s'est transformé en profondeur ces dernières années. Comment arrivez-vous à conserver vos fondamentaux dans un contexte de forte croissance ?

Nous nous sommes fortement développés et sommes aujourd'hui reconnus pour chacun de nos métiers comme un acteur de premier plan. Pour autant, nous avons su rester ce que nous sommes profondément. Nous restons un groupe à taille humaine, où la chaîne de décision est courte et où chacun est écouté et considéré. Notre ligne de conduite est simple et partagée. Elle tient en deux mots : indépendance et pérennité. Afin d'impliquer toujours plus nos collaborateurs dans cette démarche, nous avons initié en 2011 un projet de transmission managériale du capital. En 2018, nous avons créé un Fonds Commun de Placement d'Entreprise (FCPE) qui a permis d'associer chacun au projet d'entreprise. Faire progresser, valoriser et considérer que chaque salarié est un maillon indispensable dans la chaîne de création de valeur du Groupe reste une priorité.

Quelles sont aujourd'hui les perspectives de Demathieu Bard ?

Depuis sa création, le groupe Demathieu Bard est fidèle à ses fondamentaux. La proximité avec nos clients, notre forte implantation en régions, notre attention portée à l'autre et à l'environnement nous animent avec toujours autant de passion et d'engagement. Nous avons toujours privilégié une stratégie de long terme et aujourd'hui, notre volonté d'indépendance et de pérennité reste intacte. Notre savoir-faire historique et notre appétence pour les défis et les projets à haute technicité sont nos meilleurs atouts pour continuer à conforter notre solidité financière au fil du temps.

Aujourd'hui, notre Groupe associe et combine ses compétences dans le cadre de projets "mixtes" pour toujours plus de technicité. Cette façon de faire "différemment" nous caractérise et c'est notre signature : "Osez entreprendre autrement !".

Récemment, Demathieu Bard a réalisé la rénovation du barrage de Bimont. Des travaux de haute technicité rendus possibles par le creusement préalable d'une conduite de dérivation d'eau afin de vidanger le barrage tout en assurant la continuité du service de l'eau. Via son agence basée dans le sud de la France, Demathieu Bard développe plus précisément son expertise en réparation d'ouvrages d'art : les équipes ont ainsi été mandatées par le département de l'Ardèche pour rénover le pont du Ray Pic⁽⁵⁾, un ouvrage situé dans un environnement difficile.

L'expertise du groupe dans le génie civil de l'eau se retrouve à l'international : dès 1999, CDB Inc a mené de nombreux projets dans le génie civil des centrales hydrauliques au Québec : les réfections de la centrale de Shawinigan 2 et de la centrale Rapide D15, les constructions de la centrale de la Chute-Allard, de Rapide 2. Fin 2011, les équipes de CDB Inc.

sont impliquées dans une opération d'envergure : le complexe hydro-électrique de la Romaine 2, sur la côte Nord du Québec, constitué de quatre centrales affichant une puis-



© HUGO BARBIER

15- Le chantier du Centre International de Recherche sur le Cancer (DIRC) de Lyon (2020).

sance totale installée de 1 550 MW. Actuellement, dans le sud-est de l'Ontario, CDB Inc., en charge de la maîtrise d'ouvrage déléguée, participe à la réfection d'une dizaine de barrages à régulation de crues le long de la voie navigable Trent Severn⁽⁶⁾.

En France, dans le domaine de l'énergie, les premières références du groupe en termes d'installations thermiques sont la centrale thermique Combigoiffe de Fos, avec Alstom, pour Electrabel-Suez ; le terminal méthanier de Fos en groupement avec Besix (trois réservoirs de stockage de gaz liquide, d'un diamètre de 82 mètres et d'une hauteur de 30 mètres) et la centrale à cycle combiné de Toul, avec Siemens, pour Poweo (13 500 m³ de bétons/1 350 tonnes d'armatures). Demathieu Bard construit également pour l'acteur historique EDF, notamment la centrale thermique de Montereau (deux turbines à combustion de 185 MW chacune, deux bassins d'orage de 630 et 215 m³). En 2014, le groupe débute pour le CEA

de Marcoule la construction d'un bâtiment destiné au stockage de déchets radioactifs sur une Installation Nucléaire de Base (INB).

L'ouvrage se compose d'un niveau enterré et de 3 niveaux partiels superficiels, pour une emprise au sol de près de 3000 m².

Le projet requiert des modes opératoires et constructifs très particuliers, principalement liés aux problématiques de confinement, d'étanchéité et de résistance du bâtiment.

Demathieu Bard contribue également au parc nucléaire français. Le groupe a livré l'usine d'enrichissement d'uranium Georges-Besse à Pierrelatte, la première tranche en groupement avec Besix et la deuxième tranche en groupement avec Sogea. Il est également lauréat du marché ITER TB12 dont le projet consiste essentiellement en la conception-construction de quatre bâtiments participant au fonctionnement du futur réacteur Tokamak.

Dans le cadre du plan post-Fukushima, Demathieu Bard bénéficie d'une véritable reconnaissance puisqu'il fait partie des quatre groupes sélectionnés par EDF pour intervenir dans la mise en place des DUS (Diesel d'Ultime Secours) : huit d'entre eux ont été réalisés par le groupe. Il intervient également sur les CCL (Centre de Crise

Local), puisqu'il a été attributaire des trois lots et travaille ainsi dans tous les CCL de toutes les centrales nucléaires de France.

16- Réhabilitation du pont autoroutier " Gardiner Expressway " à Toronto, au Canada (2020).

17- Construction d'un méga-data center à La Courneuve en Seine - Saint-Denis (2020).

18- Gare et parking du nouvel aéroport d'Orly (2020).

19- Le futur bâtiment Jean Monnet 2 de la Commission européenne à Luxembourg.



16 © DEMATHIEU BARD

CONSOLIDATION ET TRANSMISSION DES OUTILS DE PERFORMANCE

Aujourd'hui, Demathieu Bard est un acteur indépendant majeur de la construction et de l'immobilier. Il se positionne comme une alternative aux grands groupes. À travers ses nombreuses implantations, il se structure autour d'hommes et femmes aux expertises solides.

Il attire et recrute des profils pointus dans les fonctions opérationnelles. Ces derniers s'appuient sur la valeur ajoutée des services fonctionnels. La direction de la prévention et tout l'encadrement œuvrent à la mise en place d'une forte culture de la sécurité au sein du groupe. Le groupe s'est doté d'une direction de l'innovation technique qui travaille sur l'économie circulaire et les nouveaux modes constructifs.

Le groupe a pour la troisième année consécutive renouvelé son adhésion au Global Compact. Il s'est également doté d'une politique RSE développée

autour de quatre piliers : réduire son empreinte écologique, construire durable, affirmer ses engagements et valeurs et contribuer au développement des territoires. La plateforme de notation EcoVadis qui évalue la performance RSE de Demathieu Bard, lui accorde la certification Gold.

Engagé dans une démarche d'amélioration continue, le groupe donne à ses collaborateurs les moyens de relever les défis de ses marchés. Il met en place et propose des formations, des outils et des procédures qui permettent, quelle que soit l'implantation de ses agences, de partager et de bénéficier des expériences et des bonnes pratiques.

Depuis 160 ans, Demathieu Bard sait mener le développement de ses métiers et de ses expertises. Son audace, son ingéniosité, son adaptabilité signent sa singularité et garantissent sa pérennité. Les impulsions et les choix stratégiques, les succès rencontrés ces dix dernières années, font de lui un acteur majeur des métiers de la construction et de l'immobilier : un groupe avec lequel il faut compter sur tous ses marchés. □

- 1- Voir Travaux n°953.
- 2- Voir Travaux n°949.
- 3- Voir Travaux n°955.
- 4- Voir Travaux n°956.
- 5- Voir Travaux n°952.
- 6- Voir Travaux n°970.



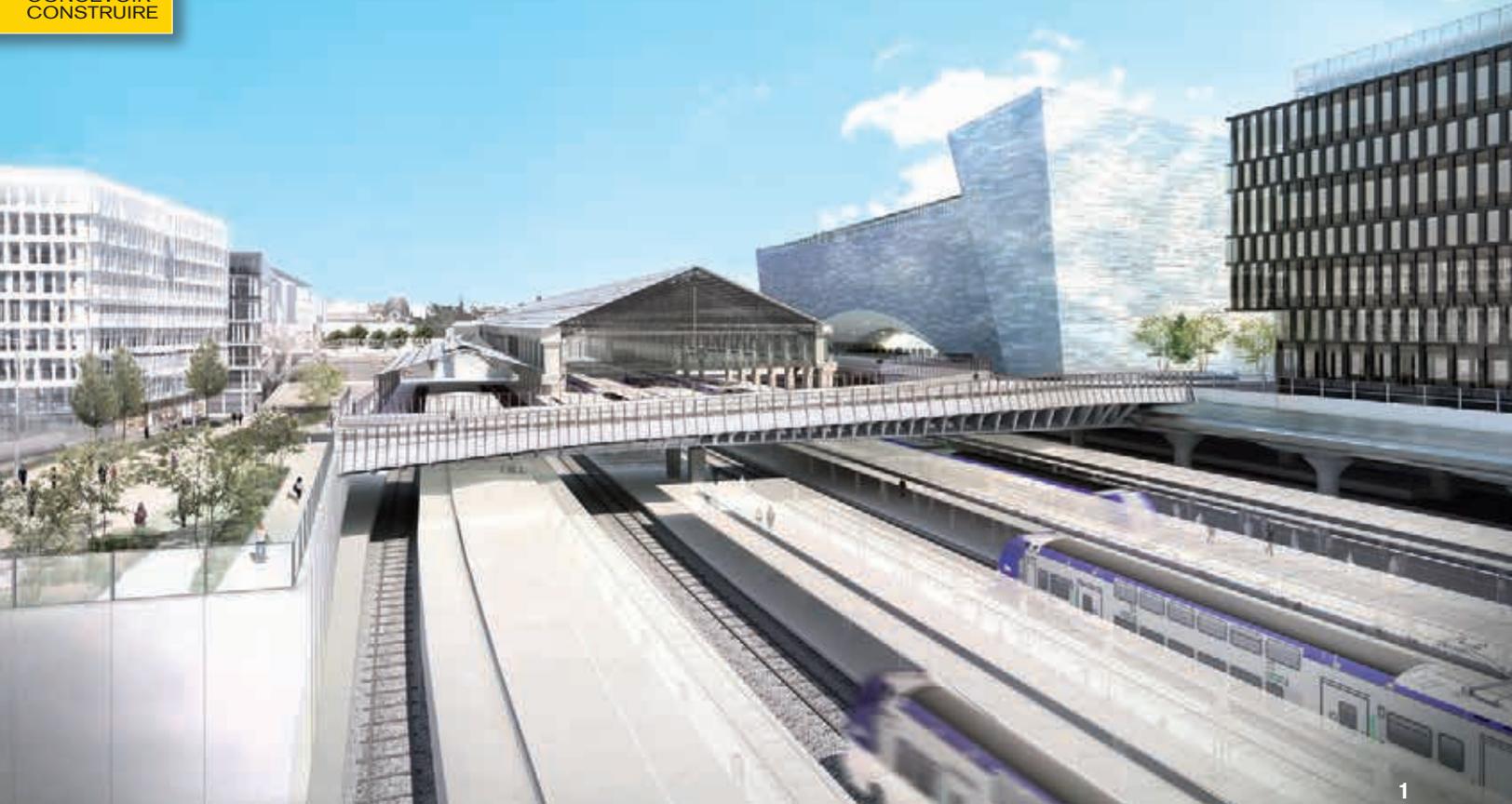
17 © YVES CHANOT



18 © FRÉDÉRIC LANCELOT



19 © GÉRARD BORRE



1
© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

PONT DE LA SALPÊTRIÈRE : UN OUVRAGE HORS DU COMMUN À PARIS

AUTEURS : CLAIRE RAVETTI, INGÉNIEURE STRUCTURES, ARCADIS - MOMAR MBAYE, INGÉNIEUR TRAVAUX, ARCADIS - LAURENT REINHARD, DIRECTEUR TRAVAUX, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, DIRECTEUR TECHNIQUE, ARCADIS

DANS LE CADRE DU RÉAMÉNAGEMENT DES ABORDS DE LA GARE D'AUSTERLITZ, LE MAÎTRE D'OUVRAGE A SOUHAITÉ MARQUER LES ESPRITS PAR LE CHOIX D'UN OUVRAGE D'UNE QUALITÉ ARCHITECTURALE ÉVIDENTE ET D'UNE GRANDE COMPLEXITÉ STRUCTURELLE, DANS UNE ZONE PRÉSENTANT DE NOMBREUSES CONTRAINTES. CE PONT PRIVILÉGIE LES MODES DOUX ET OFFRE UNE PERSPECTIVE UNIQUE SUR LA CHAPELLE DE LA SALPÊTRIÈRE ET LE TYMPAN DE LA GRANDE HALLE VOYAGEURS DE LA GARE, AINSI QUE SUR LE NOUVEAU BÂTIMENT DU MONDE.

CONTEXTE

Dans le cadre de l'aménagement de la Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) Paris Rive Gauche, le pont de la Salpêtrière contribuera à relier les berges de la Seine aux quartiers existants du 13^e arrondissement de Paris en franchissant le faisceau ferré de la gare d'Austerlitz (figure 1).

Cet ouvrage de 87 m de long, créera un nouveau lien piéton, cycliste et routier entre deux nouveaux quartiers, et permettra de désenclaver l'hôpital de la Pitié Salpêtrière.

Le pont de la Salpêtrière réalisé sous maîtrise d'ouvrage Semapa, sera remis à la ville de Paris après sa construction.

Le marché de maîtrise d'œuvre du pont a fait l'objet d'un concours en 2016, à l'issue duquel le groupement Arcadis/Wilkinson Eyre Architects/Arpentère a été proclamé vainqueur.

La phase conception a duré 3 ans, avec une notification du marché de travaux en novembre 2019 au groupement Razel Bec/Eiffage Métal/Franki Fondations. La mise en service de l'ouvrage est prévue début 2023.

1 - Perspective générale du pont de la Salpêtrière.

1 - General perspective view of La Salpêtrière bridge.

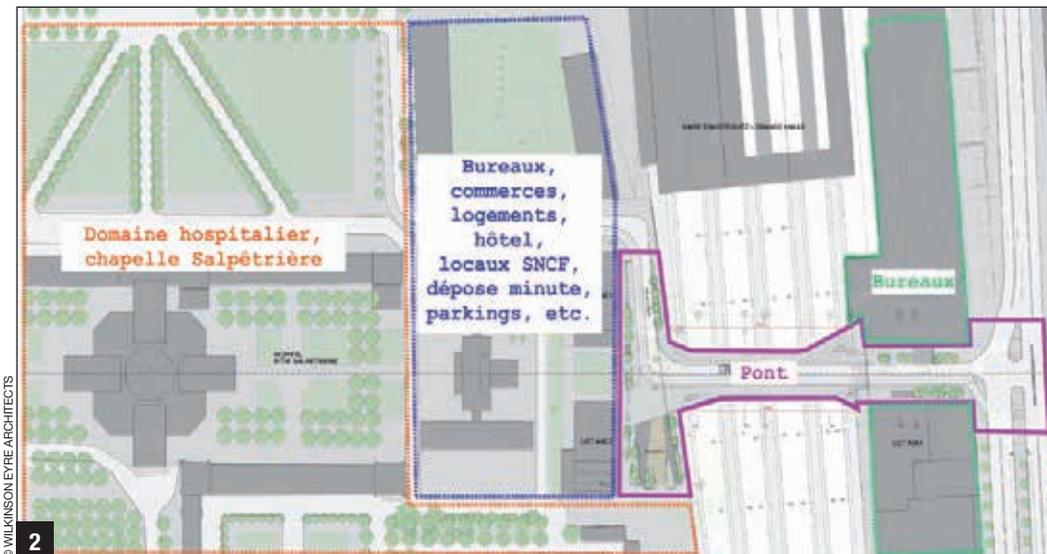
CONTRAINTES

L'environnement a pour conséquence d'imposer de nombreuses contraintes pour la conception de l'ouvrage dans sa disposition finale mais aussi pour la construction (figure 2).

INTERFACE FERROVIAIRE

Le domaine SNCF est une contrainte majeure dans ce projet puisque le pont enjambra 9 voies et 4 quais de la gare d'Austerlitz. Les principales contraintes amenées par le franchissement du faisceau ferré sont :

- De respecter le gabarit ferroviaire de 5,55 m ;
- De limiter l'encombrement de l'appui intermédiaire sur quai ;
- De prévoir des écrans de protection caténaire et anti-vandalisme de 2,50 m de hauteur ;



© WILKINSON EYRE ARCHITECTS
2

- De concevoir une structure stable au feu 2h ;
- De maintenir au maximum l'exploitation ferroviaire en phase travaux, et en phase de maintenance.

CONTRAINTES LIÉES À LA RATP

Côté Pitié Salpêtrière, plusieurs ouvrages RATP sont présents dans le périmètre du projet :

- Une trémie de ventilation qui constitue aussi une sortie de secours du tunnel de la Ligne 10. Elle était située à l'aplomb de la culée C0 projetée du pont, cette trémie a donc été déviée par la RATP avant les travaux du pont. Toutefois, la conception de la culée doit tenir compte de la présence de cette trémie ;
- Un ouvrage de dégagement abandonné, qui doit rester en place ;

2- Plan de situation.

3- Coupe longitudinale du pont de la Salpêtrière.

2- Location drawing.

3- Longitudinal section of La Salpêtrière bridge.

- La ligne de métro 10 à proximité immédiate des ouvrages du pont, de sa culée et des murs de soutènement.

Pour l'ensemble de ces ouvrages RATP, aucun report de charge n'est envisageable et une distance de sécurité

minimale de 3 m de part et d'autre de ceux-ci, totalement inconstructible, est à respecter.

DALLE DE COUVERTURE DES VOIES FERRÉES

Côté Nord, le pont devra s'appuyer sur la structure existante de la dalle. Cela représente une interface forte avec notamment les exigences suivantes :

- Le respect des réserves de portance des poteaux de la dalle ;
- Le maintien de la géométrie des coques préfabriquées en béton qui habillent la sous-face de la dalle. Leur forme et leur épaisseur ont été conçues pour créer des cantons de désenfumage en cas d'incendie et pour assurer un degré coupe-feu de 3 heures par rapport aux structures en surface.

CONTRAINTES RELATIVES AUX RÉSEAUX

Les réseaux existants dans la dalle de couverture existante, devront être maintenus et adaptés au projet du pont. Il s'agit principalement du réseau de chauffage urbain Cpcu et du réseau de climatisation Climespace. Les réseaux cités ne peuvent pas subir d'arrêt d'exploitation.

Par ailleurs, le pont doit permettre le passage de plusieurs réseaux, soit deux gaines Cpcu Ø 280, deux gaines Climespace Ø 225 et une gaine commune pour Telecom et Evesa.

CONTRAINTES ARCHITECTURALES

En plus des contraintes déjà citées, la présence de monuments historiques à proximité du pont a eu un impact sur le choix de son architecture.

LA CONCEPTION

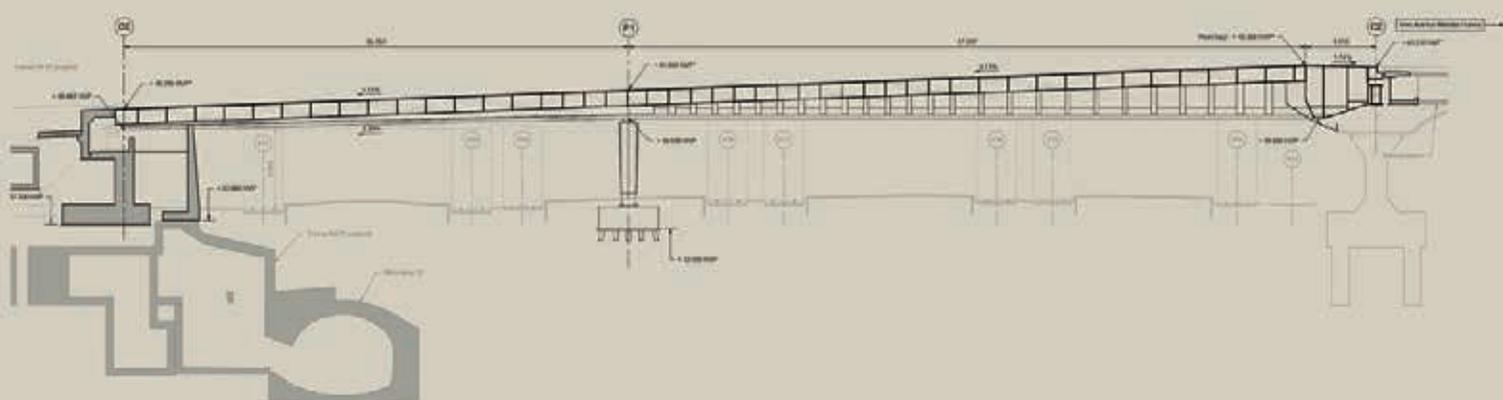
CONCEPTION ARCHITECTURALE

Le pont de la Salpêtrière s'inscrit dans un site contrasté du point de vue de la diversité des architectures et des différentes matérialités. L'ouvrage ouvrira une perspective unique sur la chapelle de la Salpêtrière. Le concept architectural ambitieux a conduit à une structure au fonctionnement complexe et une mise en œuvre sophistiquée.

CONCEPTION STRUCTURELLE

La solution retenue est un ouvrage entièrement métallique de 87 m de long et constitué de deux travées de 35 m et 52 m (figure 3). L'ouvrage présente une largeur variable de 19 m en zone courante à 32 m aux extrémités. ▷

COUPE LONGITUDINALE DU PONT DE LA SALPÊTRIÈRE



3

© ARCADIS

La différence d'altimétrie aux extrémités, le respect du gabarit ferroviaire et le parti architectural ont conduit à retenir une structure de hauteur variable (1,15 m à 3,35 m).

Le tablier est dimensionné pour deux phases d'exploitation : à sens unique à la livraison, puis à double sens.

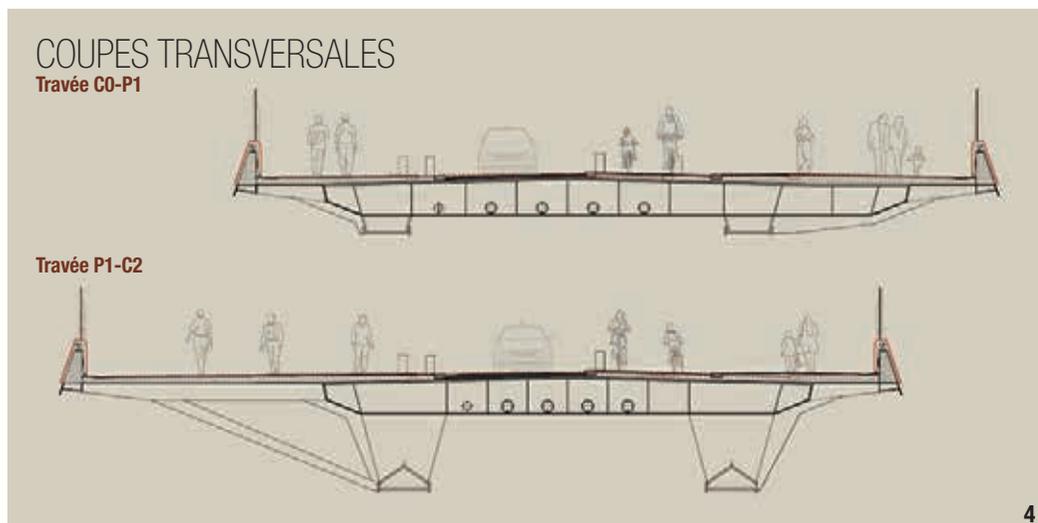
La travée C0-P1, est composée d'un caisson multicellulaire en partie supérieure et de deux caissons sous-jacents, de hauteur et d'espacement variables. Sur la travée P1-C2, le tablier est constitué de deux poutres Vierendeel.

Sur cette deuxième travée, de larges trottoirs sont portés par des consoles et des bracons. L'ouvrage donne alors la priorité à l'espace piéton (figure 4). Chaque élément de structure est unique, puisque le tablier varie en hauteur, en largeur, et que les poutres principales ont un espacement variable.

À noter que la stabilité au feu 2h a été étudiée et justifiée par le bureau d'étude Efectis, sans peinture intumescente. La culée C0 est fondée sur 16 pieux Ø 1200 mm de 19 m de longueur. En sa partie centrale, la semelle enjambe la trémie RATP, avec une portée de 13 m. Certains pieux doivent être équipés d'un double tubage avec un vide annulaire pour éviter le report de charge sur la structure existante RATP.

L'appui P1 est constitué de deux fûts métalliques, protégés à l'extérieur et remplis à l'intérieur par du béton, ce qui leur confère la stabilité au feu de 2h exigée. Compte tenu de leur implantation sur quai, 50 micropieux Ø 300 mm sont prévus pour les fondations.

L'appui C2 ne constitue pas une culée à proprement parler, mais une poutre qui permet de transférer les charges du tablier vers les poteaux de la dalle existante. Cette dernière doit être renforcée ponctuellement pour



recevoir les nouvelles charges du pont. Le schéma statique tient compte des contraintes de site. Longitudinalement, le déplacement est bloqué sur l'appui C0 et libre sur les appuis P1 et C2 ; transversalement, les déplacements sont bloqués sur une file d'appui. En C0, l'appui côté sud est libre longitudinalement pour limiter l'effet de torsion.

Côté C0, le projet comprend la réalisation de 120 m de murs de soutènement de 7 m de hauteur maximale, et un renforcement de sol par inclusions rigides pour supporter le remblai support de l'aménagement définitif situé à 7 m de la cote actuelle.

POINTS DE CALCULS SPÉCIFIQUES

Plusieurs modèles ont été effectués à l'aide de la méthode des éléments finis sur le logiciel Sofistik. Pour tenir compte des contraintes bi-directionnelles et du voilement local dans les plaques, la méthode des contraintes réduites (EN 1993-1-5) a été utilisée.

4- Coupes transversales.

5- Contrainte d'accès au quai (zone de travail) depuis la gare.

6- Zone de travail pour l'appui central au milieu du quai - travaux de micropieux.

4- Cross sections.

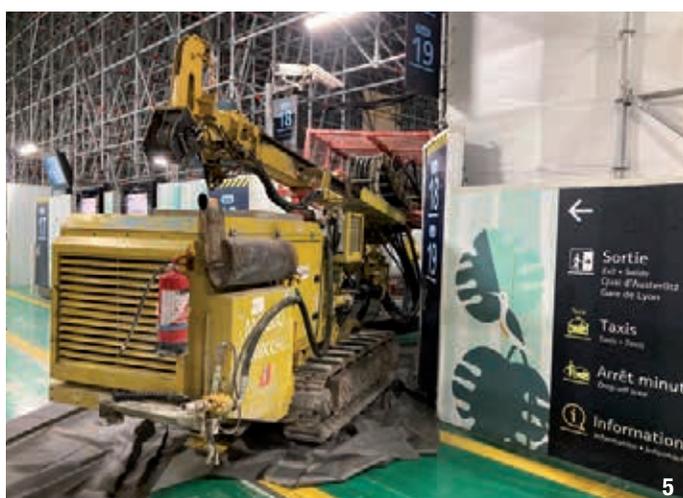
5- Constraint of access to the platform (work area) from the station.

6- Work area for the central support in the middle of the platform - micropile works.

AVANCEMENT DU CHANTIER À FIN JUIN 2021

Le chantier a démarré début juin 2020 avec des travaux préparatoires sur les quais de la gare et des travaux d'installation dans la zone de la culée C0. Dans cette partie située au sud du pont, les travaux de terrassement et de fondations sont achevés. Une partie des travaux de génie civil est réalisée et laisse place aux travaux de charpente métallique avant de poursuivre sur l'élévation du génie civil et le remblaiement permettant de constituer le futur aménagement sur les belvédères au sud du pont.

Concernant les travaux de la charpente métallique en cours, des caissons métalliques constituant le tablier sont posés et assemblés sur les palées provisoires déjà mises en place (lancement et assemblage). La première phase de lancement sera réalisée dès lors que les premiers tronçons de charpente seront assemblés dans cette zone qui fait office de plateforme d'assemblage.





7

© ARCADIS

Au niveau de l'appui central situé sur un quai de la gare d'Austerlitz, les travaux de fondations et de génie civil des semelles des piles sont terminés. Les fûts de la pile centrale sont terminés et les palées de lancement sont assemblées et prêtes à accueillir la charpente métallique.

Au nord, au niveau de l'appui C2, les travaux préparatoires à la réalisation de la culée sont entamés.

TRAVAUX SUR QUAI

Les travaux de la pile centrale située sur le quai constituent l'une des spécificités du projet avec la réalisation des travaux dans un contexte de maintien de l'exploitation dans la gare. Pour cela une zone de clôture rigide est érigée afin d'isoler et sécuriser la zone de travaux vis-à-vis des voyageurs, des équipements ferroviaires et des trains. Cette situation a conduit à travailler dans une zone à espace limité. À cela s'ajoutent des travaux de rénovation de la toiture de la gare, objet d'un

7- Bétonnage des semelles de la pile P1 à l'aide d'une pompe à béton depuis la zone culée C0.

8- Palées de lancement autour des fûts métalliques de la pile centrale.

9- Clôture défensive le long d'une voie ferrée.

7- Concreting the foundation slabs of pier P1 using a concrete pump from abutment area C0.

8- Launching bents around the steel shafts of the central pier.

9- Defensive fence along a railway line.

autre marché, créant comme contrainte supplémentaire des accès réduits par l'emprise des échafaudages (figure 5). Dans ce contexte particulier, il a fallu adapter les méthodologies de travaux tant pour le choix des engins que pour l'acheminement de matériels qui se fait en fermeture de gare.

Pour les travaux réalisés à ce jour dans cette zone, les principales difficultés ont été la réalisation des micropieux droits et inclinés dans une zone exiguë (figure 6) avec des déplacements limités pour la foreuse. À titre d'exemple, le passage de la foreuse d'une semelle à une autre (chaque fût de pile étant fondé sur une semelle sur micropieux distincte) nécessite de quitter la zone de travaux et de passer par le quai afin de contourner la clôture et accéder à l'autre semelle.

D'autre part, le ferrailage des semelles enterrées a été réalisé sur place, avec une quantité importante d'aciers, dans une fouille limitée à la taille de la semelle.

Le bétonnage des semelles a été réalisé sous Interruption Temporaire de Circulation ferroviaire (ITC) avec mise en place d'une pompe à béton depuis la zone culée C0 avec une portée de 56 m (figure 7).

Après les travaux de semelles, les fûts de pile ont été grutés et posés.

Les palées de lancement ont été assemblées sur place (figure 8).

CLÔTURE DÉFENSIVE

La plupart des travaux du pont sont à proximité des voies ferrées.

Pour limiter les interruptions de circulation des trains, une clôture défensive ayant pour but de limiter les risques d'interaction avec les voies ferrées est mise en place au sud du pont afin de permettre de réaliser, en toute sérénité vis-à-vis de la sécurité ferroviaire, les fondations et le génie civil des murs de soutènement et de la culée C0.

La clôture joue un rôle anti-intrusion vis-à-vis du domaine ferroviaire. ▷



8

© ARCADIS



9

© ARCADIS



10 © ARCADIS

Cette clôture défensive dimensionnée pour reprendre des efforts de choc, a été érigée après la démolition d'un ancien mur en maçonnerie remplacé, à terme, par le futur mur de soutènement du belvédère. Les travaux de celle-ci ont été réalisés sous ITC continue de la voie contiguë.

Cette clôture défensive est constituée de deux types de structure : des profilés bois sur des blocs béton pour la zone la plus éloignée des voies et des profilés métalliques fichés à l'aide d'une tarière creuse aux abords des voies (dans la zone dangereuse de l'emprise ferroviaire, par dérogation).

Un bardage métallique est plaqué sur ces structures (figure 9).

Des filets de protection sont mis en partie supérieure pour couvrir le risque

d'intrusion d'objets ou de matériels dans le domaine ferroviaire jusqu'à une hauteur de 4 m. Une partie de la clôture se trouvant à l'intérieur de la zone interdite vis-à-vis des installations caténaïres (rayon de 3 m autour des éléments sous tension), les filets métalliques reliés au câble de mise au rail sont disposés sur les profilés métalliques pour constituer une cage de Faraday (protection vis-à-vis du risque électrique).

PLATEFORME DE MONTAGE, PALÉES ET GRUTAGE

Le tablier du pont devant franchir les voies ferrées sera lancé depuis la zone culée CO qui constituera la plateforme d'assemblage et de lancement de la charpente métallique. Cette plateforme

10- Palées d'assemblage (en jaune) et de lancement (en rouge) - zone de montage du tablier.

11- Assemblage des tronçons de la charpente sur palées provisoires.

10- Assembly bents (yellow) and launching bents (red) - deck assembly area.

11- Assembly of frame sections on temporary bents.

est située à 6 m au-dessus du TN. Elle est constituée de palées d'assemblage et de lancement (figure 10).

Le tablier est décomposé en 47 tronçons fabriqués en usine, de différentes dimensions et géométries et dont le poids varie entre 6 t (pour les tronçons sur encorbellement) et 130 t (pour les tronçons principaux).

Une fois livrés sur chantier, les tronçons sont grutés sur les palées provisoires (figures 11 et 12), réglés les uns par rapport aux autres avant de démarrer les opérations de soudage pour le raboutage.

La zone de plateforme étant limitée, l'assemblage du tablier est prévu en deux parties correspondant aux deux travées du pont et le lancement sera ainsi réalisé en deux phases pendant



11 © ARCADIS



© ARCADIS
12

deux week-ends d'ITC qui seront espacés de cinq mois. Entre ces deux phases, l'avant-bec sera en porte-à-faux au-dessus des voies, pendant cette période.

Le système de lancement est complexe, compte tenu de l'espacement variable

12- Grutage d'un caisson principal en cours.

12- Crane handling of a main caisson underway.

des poutres principales et de la structure en poutres Vierendeel. Ces phases de construction sont dimensionnantes pour la structure suite aux modifications de phasage de l'entreprise.

Une des particularités du lancement réside sur le fait que l'avant-bec mis en place devra être déposé par éléments au fur et à mesure de l'accostage côté culée C2 qui repose sur les appuis de la dalle de couverture existante.

GESTION DES ITC

De nombreuses phases de travaux du pont nécessitent des ITC d'une ou plusieurs voies de la gare d'Austerlitz. Ces travaux ont été programmés 3 ans à l'avance et ont lieu le week-end ou la nuit.

Les travaux sous ITC doivent être menés avec la présence d'un Représentant de Sécurité Opérationnelle (RSO), habituellement un agent SNCF. Sur ce chantier, la mission RSO est assurée par Arcadis, ce qui permet de faciliter l'organisation des opérations sous ITC en réduisant au maximum le délai des procédures administratives SNCF et en veillant à l'intégration en amont des règles de sécurité ferroviaire dans les méthodologies de travaux. Parallèlement, le maître d'œuvre a été missionné HTI (Habilitation des Travaux sur Infrastructures ferroviaires) afin d'être garant de la conformité technique des voies après chaque ITC, avant la reprise des circulations des trains. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

REMBLAIS : 15 000 m³
INCLUSIONS RIGIDES : 3 420 m
MICROPIEUX : 2 200 m
PIEUX : 1 070 m
BÉTON : 3 400 m³ dont 600 m³ de béton blanc
ARMATURES : 430 t
CHARPENTE MÉTALLIQUE : 2 150 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Semapa
MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis (Mandataire) / Wilkinson Eyre Architects / Arpentere Paysages
GROUPEMENT ENTREPRISE : Razel-Bec (Mandataire) / Eiffage Métal / Franki Fondations
BUREAU DE CONTRÔLE : Seco
COORDONNATEUR SPS : Coordica Conseil
CONTRÔLE EXTÉRIEUR CHARPENTE : Ioa
MISSION G4 : Arcadis

ABSTRACT

LA SALPÊTRIÈRE BRIDGE: AN EXCEPTIONAL STRUCTURE IN PARIS

CLAIRE RAVETTI, ARCADIS - MOMAR MBAYE, ARCADIS - LAURENT REINHARD, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

La Salpêtrière bridge is a steel bridge 87 metres long passing over the platforms of Austerlitz station between the new buildings on the railway track cover slab and La Salpêtrière hospital. The numerous environment-related constraints and architectural options resulted in a complex project in both the design and construction phases. In particular, the work above the railway area strongly influenced the initial construction options, with a large number of temporary suspensions of traffic, access problems and 2-hour fire resistance. These constraints were logically taken into account in the works phase, following on from the design engineering. □

PUENTE DE LA SALPÊTRIÈRE: UNA OBRA FUERA DE LO COMÚN EN PARÍS

CLAIRE RAVETTI, ARCADIS - MOMAR MBAYE, ARCADIS - LAURENT REINHARD, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

El puente de la Salpêtrière es un puente metálico de 87 m que cruza los andenes de la estación de Austerlitz entre los nuevos edificios, sobre la losa de cobertura de las vías férreas y el hospital de la Salpêtrière. Las numerosas restricciones que impone el entorno y las decisiones arquitectónicas han dado luz a una obra compleja, tanto en la fase de diseño como en la realización. En particular, la intervención sobre la zona ferroviaria determinó claramente las opciones iniciales de realización, con un gran número de interrupciones temporales de la circulación, unos accesos difíciles y una resistencia al fuego de 2 horas. Lógicamente, estas restricciones, previamente definidas en los estudios de diseño, se integraron en la fase de obras. □



1
© FRANCE MACCAFERRI

REMBLAIS RENFORCÉS MacRes® BIFURCATION A10/A71 À ORLÉANS (45)

AUTEUR : CLOTHILDE BONNET-BALLON, INGÉNIEURE D'ÉTUDES, FRANCE MACCAFERRI

LE PLAN DE RELANCE AUTOROUTIER A MIS EN ÉVIDENCE L'AUGMENTATION CONTINUE DU TRAFIC SUR L'A10 ENTRE L'A19 ET L'A71. DANS CE CONTEXTE, L'AMÉNAGEMENT DE L'AUTOROUTE A10 AU NORD D'ORLÉANS A NOTAMMENT POUR OBJECTIF DE FLUIDIFIER LA CIRCULATION AVEC LA CRÉATION DE NOUVELLES VOIES ET L'ADAPTATION DES BIFURCATIONS AUTOROUTIÈRES. POUR LES TRAVAUX DE RÉAMÉNAGEMENT DE LA BIFURCATION A10/A71, LES MURS CONTIGUS AUX CULÉES C1 ET C3 ONT ÉTÉ RÉALISÉS EN REMBLAIS RENFORCÉS DE TYPE MacRes®, PROCÉDÉ DÉVELOPPÉ PAR MACCAFERRI.

INTRODUCTION

Les remblais renforcés décrits dans cet article constituent les murs en retour des culées C1 et C3 de l'ouvrage PSI986. Ce viaduc permet de relier l'A71 à l'A10 par la bretelle Vierzon-Tours en enjambant l'A10 (Paris-Tours). Pour chaque culée, 3 murs en MacRes® sont réalisés : les 2 murs en rampe et un mur positionné à l'arrière de la culée porteuse qui ferme le remblai renforcé et crée un espace d'inspection sous la culée.

DESCRIPTION DE LA SOLUTION

Le système MacRes® (figure 2) de Maccaferri est constitué de panneaux en béton préfabriqués dont les dimensions standard sont 1,5 m x 1,5 m pour une épaisseur minimale de 14 cm. Les renforts géosynthétiques de type ParaWeb® sont des bandes constituées d'un faisceau de fibres polyester à haute ténacité contenues dans une gaine en polyéthylène. Cette association apporte au renfort d'excellentes performances à long terme, ce qui lui

1- Vue générale du MacRes® d'Orléans.

1- General view of the Orléans MacRes® system.

permet de bénéficier d'un coefficient de réduction global (incluant le coefficient de réduction au fluage, à l'endommagement et à la dégradation chimique) le plus faible du marché. Les bandes

ParaWeb® sont reliées au parement au moyen d'amorces géosynthétiques MacLoop® (figure 3). La stabilité du massif est assurée par l'interaction entre les bandes de renfort et le remblai structural mis en place à l'arrière du parement. Le parement en béton joue uniquement un rôle esthétique et de confinement local du remblai.

DESCRIPTION DES OUVRAGES

La culée C1 (figure 4) est implantée le long de l'autoroute A71 contre la bre-

telle menant vers Vierzon. Les murs en retour en MacRes® forment une rampe en double face sur un linéaire de 73 m avec une largeur d'environ 10 m, le mur côté Est est prolongé pour atteindre un linéaire total de 115 m. La surface totale des MacRes® de la culée C1 est de 1 482 m² répartie en trois murs : côté Est (889 m²), côté Ouest (532 m²) et derrière la culée (61 m²). La hauteur maximale de 10,11 m est atteinte à proximité de la culée.

La culée C3 (figure 5) est située au nord-ouest de l'A10 (sens Paris-Tours). Cet ouvrage constitue une rampe sur 13,5 m avec une largeur entre mur d'environ 10 m. Les surfaces des murs MacRes® Est et Ouest sont de l'ordre de 117 m² chacun, avec 53 m² pour le mur à l'arrière de la culée C3.

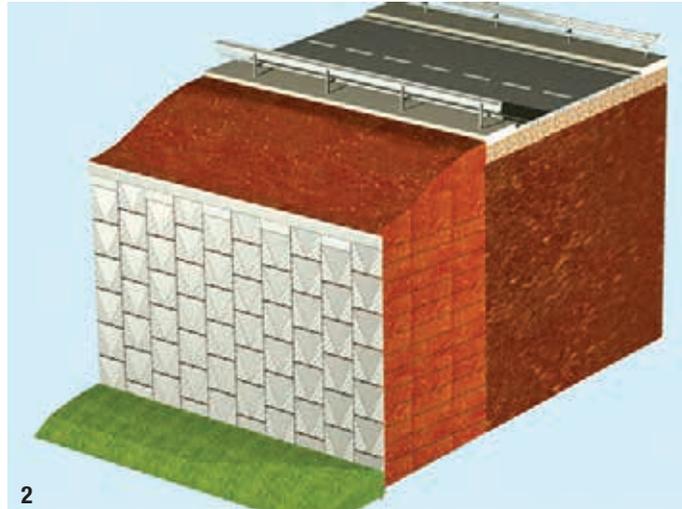
Pour cette culée, les murs MacRes® ont une surface totale de 287 m² pour une hauteur maximale de 9,55 m.

DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des ouvrages en remblai renforcé a été réalisé selon la norme NF P 94-270 "Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué". France Maccaferri a réalisé les vérifications de stabilité interne et externe des remblais renforcés MacRes®. Le dimensionnement permet de déterminer les résistances et les longueurs des renforts géosynthétiques à mettre en œuvre et de définir les sections où les écaïlles béton nécessitent un ferrailage. Les efforts appliqués sur l'ouvrage sont transmis aux renforts par frottement de ces derniers avec le remblai structurel. Pour chaque niveau de renfort, il convient donc de vérifier que le renfort a la capacité structurelle de résister aux efforts appliqués (vérification de la résistance du renfort) mais également que l'effort transmis peut bien être mobilisé par frottement avec le remblai structurel (vérification à l'adhérence).

L'une des particularités de ce chantier est l'utilisation d'un remblai traité à la chaux pour monter les remblais renforcés MacRes®. Cette variante au marché a été proposée par l'en-

© FRANCE MACCAFERRI



2



3

© FRANCE MACCAFERRI

2- Vue 3D du système MacRes®.

3- Vue arrière d'une écaïlle MacRes®.

2- 3D view of the MacRes® system.

3- Rear view of a MacRes® facing panel.

treprise adjudicataire afin de pouvoir réutiliser les matériaux issus du site. Après s'être assuré que les renforts ParaWeb® restaient compatibles avec ces matériaux traités, c'est une étude globale qui a permis de retenir cette solution. En effet, les renforts ParaWeb® peuvent être utilisés dans des conditions chimiques plus agressives qu'avec un remblai granulaire

d'apport. Pour l'aménagement de la bifurcation A10/A71, les remblais de type A2 ont été traités à 1 % de CaO. Les résultats d'essais de laboratoire ont montré des pH allant jusqu'à 11,9. Les matériaux retenus présentaient un faible angle de frottement (25° dans notre cas) et bien que la cohésion soit élevée (55 kPa), elle a été négligée au niveau des renforts conformément aux préconisations normatives. Les dimensionnements basés sur ces faibles caractéristiques géomécaniques ont conduit à l'utilisation de renforts plus résistants. Les efforts générés par ce type de remblai étant plus élevés, le report de charge au parement est également supérieur. Cela a pour conséquence la nécessité d'un ferrailage des écaïlles plus important en comparaison avec le dimensionnement issu d'un remblai granulaire d'apport. Ces éléments conduisent à une augmentation du coût du système MacRes®. Toutefois, cet aspect est compensé par la possibilité de réutiliser un remblai issu du site ne nécessitant pas l'apport de matériaux extérieurs. L'impact carbone est aussi plus avantageux puisqu'il évite la mise en décharge des matériaux de déblai, permet de limiter l'utilisation de matériau noble d'apport et diminue les circulations d'engins pour le transport des matériaux extérieurs. C'est ici une balance globale entre les études techniques, les aspects économiques et la considération environnementale qui a conduit au choix de l'utilisation d'un remblai traité à la chaux pour les ouvrages MacRes® du PSI986.

La présence d'une GBA en tête d'ouvrage a également été prise en compte dans le dimensionnement des renforts pour intégrer le cas de chocs accidentels de véhicule sur ce dispositif de sécurité. Cet effort a un impact sur les 2 m supérieurs de remblai sous l'assise de la GBA.

Pour les remblais renforcés des culées C1 et C3, trois types de renforts ont donc été retenus ; les plus résistants sont positionnés en pied d'ouvrage. Il s'agit des ParaWeb® ME 27, ME 36 et ME 54. La résistance à la traction de calcul des renforts géosynthétiques est déterminée à partir de la résistance nominale à la traction qui est réduite par des coefficients de réduction liés à l'endommagement mécanique (ρ_{end}), au fluage (ρ_{flu}) et aux agressions de l'environnement (ρ_{deg}) (voir tableau A). Pour les parties des ouvrages en rampe, les bandes de renfort ParaWeb® sont positionnées de manière à relier les deux parements (figure 6).

TABLEAU A : RÉSISTANCE À LA TRACTION DES RENFORTS ParaWeb® UTILISÉS

Renforts utilisés	ParaWeb® ME 27	ParaWeb® ME 36	ParaWeb® ME 54
Résistance à la traction Nominale	27,4 kN	36,2 kN	54,3 kN
Coefficient de sécurité global	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,70$	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,62$	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,62$
Résistance à la traction de calcul	16,12 kN	22,31 kN	33,46 kN



MISE EN ŒUVRE DES REMBLAIS RENFORCÉS MacRes®

La pose des écailles MacRes® et des renforts ParaWeb® des culées C1 et C3 de l'ouvrage PSI986 a été réalisée par les équipes de France Maccaferri.

La fondation de l'ouvrage est constituée d'une semelle en béton maigre de section 35x15 cm disposée sous l'écaille en béton et sert de réglage à la pose. La parfaite planéité de la semelle est fondamentale pour le montage de l'ouvrage afin d'assurer l'emboîtement et l'alignement des panneaux les uns aux autres.

Les écailles du rang de base sont disposées en quinconce, par alternance d'une écaille de base de 75 cm de hauteur et une écaille standard de 1,50 m de hauteur. Avant remblaiement du premier rang de renfort, elles sont retenues à l'aide de tirants poussants et de serre-joints (figure 7). Un léger fruit (1 cm/m) côté remblai est assuré pour tenir compte d'un redressement

éventuel lors du montage et du compactage du remblai et éviter l'apparition d'un faux aplomb.

Le calage des écailles les unes par rapport aux autres est assuré par la mise en place de cales en bois permettant

la connexion latérale des écailles entre elles tout en évitant les contacts béton/béton. Ce calage assure également l'alignement des écailles entre elles. Pour éviter le passage de fines à travers les joints, des bandes de géotextile



4- MacRes® de la culée C1.

5- MacRes® de la culée C3.

6- Mise en place des renforts ParaWeb®.

7- Installation du premier rang d'écailles.

8- Rouleau de renfort ParaWeb®.

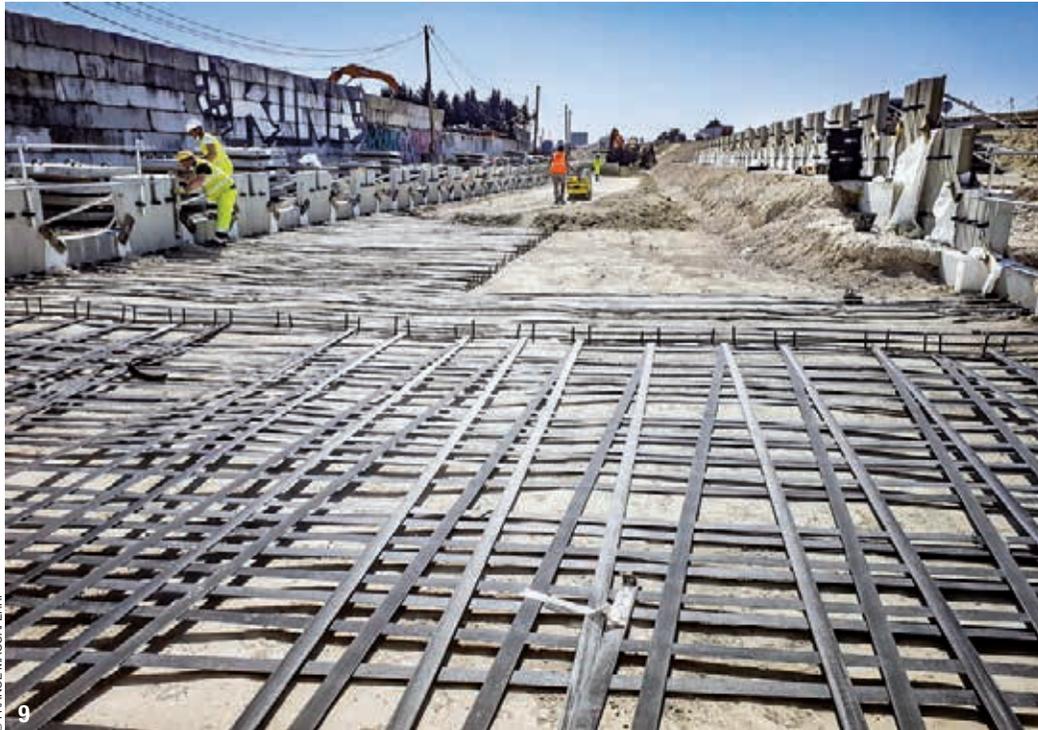
4- MacRes® on abutment C1.

5- MacRes® on abutment C3.

6- Placing ParaWeb® reinforcements.

7- Installing the first row of facing panels.

8- Roll of ParaWeb® reinforcement.



© FRANCE MACCAFERRI
9

non tissé de 200 g/m² sont disposées à l'arrière des écaïles au niveau des joints horizontaux et verticaux. La mise en place des renforts s'effectue dès que le niveau du remblai atteint la première amorce. Livrée sous forme de rouleau (figure 8), l'extrémité de la bande ParaWeb® est positionnée à l'arrière du massif renforcé. Pour la maintenir fixe pendant les phases de

9- Renforts Para-Web® culée C1.
10- Alternance des matrices Steiermark et Marne.

9- Para-Web® reinforcements on abutment C1.
10- Alternation of Steiermark and Marne moulds.

remblaiement, la bande est repliée sur elle-même sur 2 m de longueur, les 2 brins étant connectés par deux fers en forme de S. La bande est alors enroulée autour d'un fer à béton placé horizontalement en butée contre 2 fers à béton fichés dans le remblai et espacés de 10 cm. La bande peut alors être déroulée vers le parement et être passée autour de l'amorce MacLoop®.

Elle est ensuite étendue vers l'arrière du massif renforcé et passée autour de l'amorce située sur l'écaïlle en face pour les murs en rampe ou à nouveau passée autour du fer à béton horizontal pour les murs arrière aux culées (figure 9). Ces opérations sont répétées jusqu'à l'autre extrémité du rouleau. La connexion entre deux rouleaux est assurée par recouvrement sur une longueur de 2 m des deux extrémités des rouleaux ParaWeb® à l'aide de deux fers en acier en forme de S.

Une fois le remblaiement d'une hauteur de 75 cm effectué, il est possible d'installer la rangée supérieure avec des écaïles standard. Des joints EPDM de 2 cm d'épaisseur sont disposés à l'interface horizontale entre deux panneaux pour éviter le contact béton/béton.

En tête, les écaïles suivent le profil en long de la voirie. Les redans de tête de 19 cm sont cachés derrière la corniche métallique placée en tête d'ouvrage. En pied, la fondation présente des niveaux variables en fonction du profil topographique. Les écaïles sont posées horizontalement sur la semelle béton. Les différences de niveaux sont rattrapées par des redans de 75 cm qui correspondent à l'espacement vertical entre les rangs de renfort.

PHASAGE DU CHANTIER

Le phasage de ce chantier nécessitait une réalisation des remblais renforcés en deux phases permettant de réaliser le lançage de la charpente métallique du tablier. Tout d'abord, les ouvrages MacRes® ont été montés jusqu'au niveau supérieur du chevêtre. La descente de charge de la grue servant à la dépose de l'avant-bec a été retenue à 30 t maximum réparties sur 4 patins. Ceux-ci ont été modélisés par des surcharges de 200 kPa sur 1 m². Suite au lançage de la charpente puis à la réalisation du garde-grève, les remblais renforcés MacRes® ont été montés jusqu'à leur niveau définitif.

Au niveau des patins, les vérifications de stabilité ont été effectuées en phase provisoire afin de s'assurer que le dimensionnement était toujours valable. En effet, à ce stade la surcharge est plus importante tandis que la hauteur de mur est inférieure à celle de la configuration définitive.

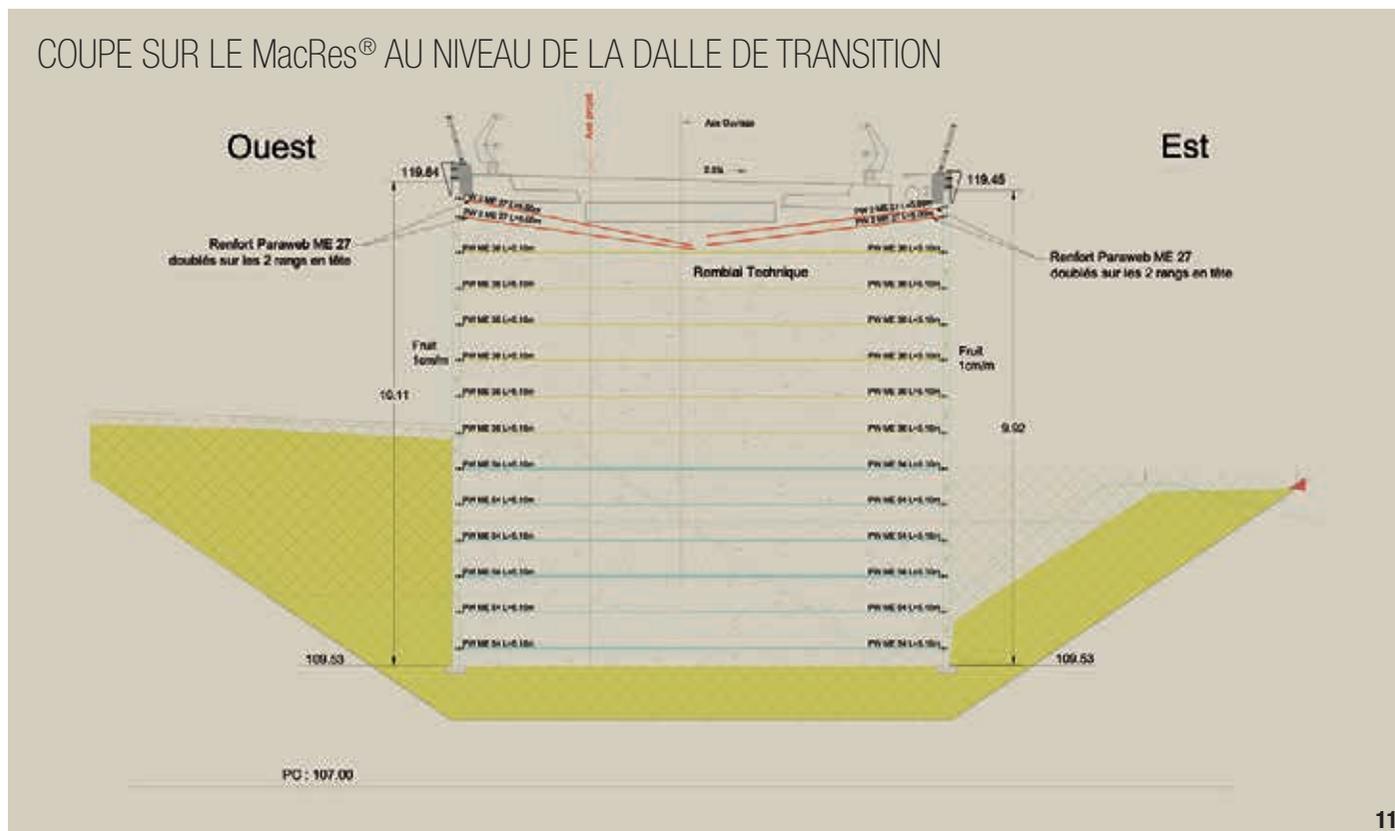
FINITION DES MURS

L'esthétique et l'aspect architectural revêtent un intérêt particulier pour ce chantier. Conformément au marché, deux modèles de matrice Reckli ont été utilisés.



© FRANCE MACCAFERRI
10

COUPE SUR LE MacRes® AU NIVEAU DE LA DALLE DE TRANSITION



L'une présente des stries diagonales "Steiermark 2/180", l'autre propose un motif bouchardé "Marne 2/64". L'ensemble de la culée et écailles MacRes®) présente un matricage de type Steiermark. Pour la culée C1, de surface plus importante, le matricage est réalisé en alternant trois colonnes d'écailles avec les matrices Steiermark (identique à la culée C3) avec une colonne à matricage Marne (figure 10).

En tête d'ouvrage, un garde-corps et une corniche métallique sont fixés sur des corniches en béton préfabriquées. Afin d'établir une jonction avec les murs MacRes® des fers en attentes ont été scellés dans les écailles MacRes® lors de leur préfabrication.

PARTICULARITÉS À PROXIMITÉ DE LA CULÉE

La présence de la dalle de transition au niveau des culées empêchait de positionner les renforts de la même manière que pour la partie courante. En effet, les rangées d'amorces supérieures se trouvent au même niveau que la dalle de transition. Les renforts ont donc été mis en œuvre avec un pendage vers l'intérieur du remblai de manière à passer au-dessous de la dalle. Dans cette configuration, les renforts ne peuvent pas relier les deux parements. Le dimensionnement particulier de



11- Coupe sur le MacRes® au niveau de la dalle de transition.

12- Jonction avec le chevêtre de la culée C1.

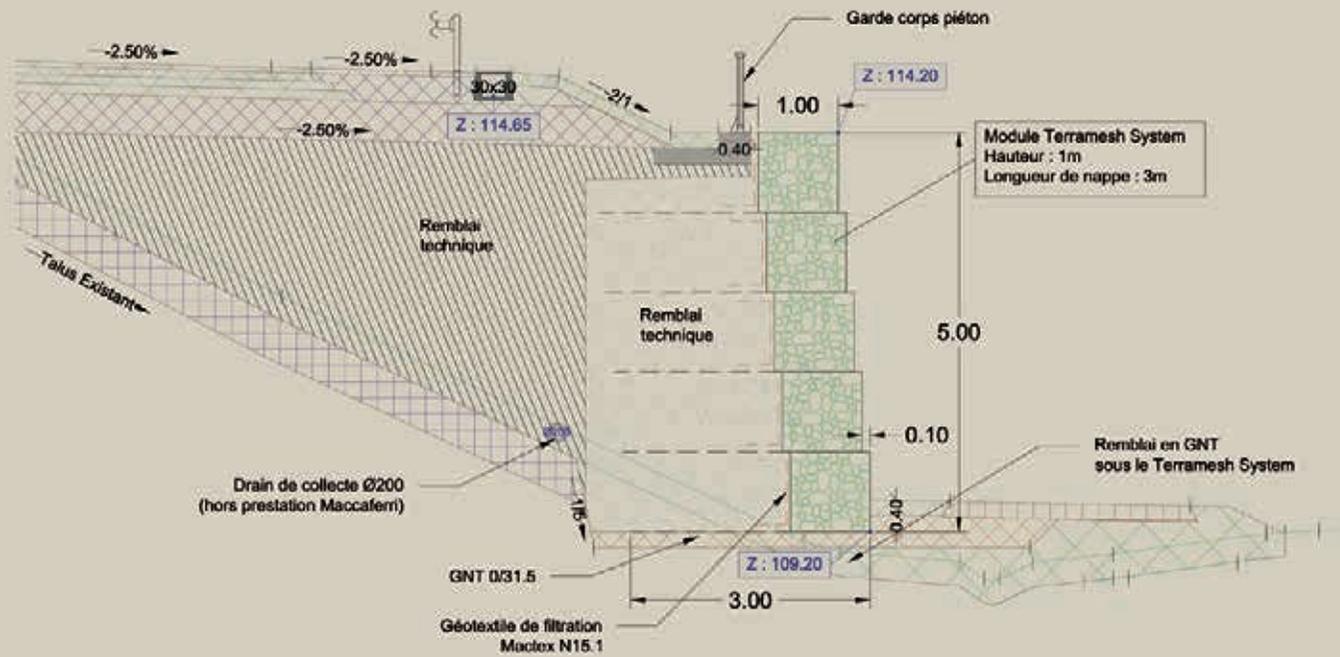
11- Cross section on MacRes® at the transition slab level.

12- Junction with the cap of abutment C1.

cette zone a donc conduit à doubler le nombre de bande ParaWeb® par amorce sur les deux rangs de tête sur tout le linéaire de la dalle de transition (figure 11).

Pour le mur de la culée C1, les écailles des murs en retour sont positionnées contre le chevêtre béton. Cette configuration est un souhait architectural et permet de cacher le mur en retour positionné derrière la culée (figure 12). Sur toute la hauteur du mur arrière à la culée, les bandes de renforts ont également été mises en œuvre selon un schéma particulier permettant de relier les différents murs entre eux. Cette configuration a notamment pour but de créer une meilleure jonction entre les murs.

COUPE DU Terramesh® System SOUT992



© FRANCE MACCAFERRI

13

OUVRAGES SOUT991 ET SOUT992

Dans le prolongement de la bretelle A10/A71, France Maccaferri a également participé à l'aménagement des murs SOUT991 et SOUT992 localisés en contrebas du côté Ouest de l'A71. La solution de soutènement retenue pour ces ouvrages est un remblai renforcé à parement minéral de type Terramesh® System (figure 13). Il s'agit d'un parement minéral de type gabion qui se prolonge par une nappe de grillage métallique en arrière de 3 m de longueur. Ces deux ouvrages sont situés de part et d'autre du portique PS990 ouvrant un passage sous l'A71. L'ouvrage Terramesh® System SOUT991

a une longueur de 117 m pour une hauteur moyenne de 4 m. Pour le SOUT992, l'ouvrage a un linéaire de 180 m avec une hauteur moyenne de 180 m avec une hauteur moyenne de l'ordre de 1280 m². Le remblai mis en œuvre est également le remblai traité à la chaux qui a été utilisé pour l'ouvrage MacRes®. □

13- Coupe du Terramesh® System SOUT992.

13- Cross section of Terramesh® System SOUT992.

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE MacRes® : 1 770 m²
AMORCES MacLoop® : 4200 u
RENFORTS ParaWeb® : 49200 m
Terramesh® System : 1 280 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Cofiroute
MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis ville & transport
ENTREPRISE : Groupement Guintoli / Nge GC / Siorat / Agilis / Eiffage Route / Matière
FOURNISSEUR DU SYSTÈME MacRes® : France Maccaferri

ABSTRACT

MacRes® REINFORCED FILLS, A10/A71 JUNCTION IN ORLEANS

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

The MacRes® reinforced soil system with precast concrete panel cladding developed by the Maccaferri group was selected for the execution of reinforced fills adjacent to abutments C1 and C3 of structure PS1986 as part of development of the junction between the A10 and A71 motorways north of Orléans, in the Loiret region of France. The technique chosen was the use of synthetic band reinforcements with high tensile strength offering high durability. This process made it possible to recycle materials coming from the site after first being treated with lime for execution of engineering backfill. The architectural finish was obtained by moulding all the MacRes® facing panels during their precasting. □

TERRAPLENES REFORZADOS MacRes® BIFURCACIÓN A10/A71 EN ORLEANS (45)

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

El sistema de suelo reforzado con revestimiento de paneles de hormigón prefabricados MacRes® desarrollado por el grupo Maccaferri ha sido elegido para la realización de los terraplenes reforzados contiguos a los estribos C1 y C3 del paso PS1986, en el marco de la mejora de la bifurcación entre la A10 y la A71, al norte de Orléans (45). La alternativa técnica se ha decantado por refuerzos mediante bandas sintéticas de alta resistencia a la tracción y durabilidad. Este procedimiento ha permitido reutilizar materiales extraídos del lugar, previamente tratados con cal para realización de los terraplenes técnicos. El acabado arquitectónico se ha logrado mediante el matizado del conjunto de las escamas MacRes® durante su prefabricación. □



**1- Alignement
des pylônes P3 à P5,
avec la gare inter-
médiaire CHU visible
en arrière-plan.**

**1- Alignment of
pylons P3 to P5,
with the mid-way
CHU station visible
in the background.**

© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE

LES PYLÔNES DU TELEO À TOULOUSE

AUTEURS : CHARLES CAYATTE, CHEF DE PROJET, SYSTRA - JEAN-FRANÇOIS FANET, INGÉNIEUR SYSTÈME, POMA - ÉRIC GOGNY, RESPONSABLE DU PÔLE OUVRAGES MÉTALLIQUES, SYSTRA - ARNAUD LEMAIRE, INGÉNIEUR STRUCTURES MÉTALLIQUES, SYSTRA - WILLIAMS SZMIDT, INGÉNIEUR DÉVELOPPEMENT, POMA

TELEO EST LE NOUVEAU NOM DU TÉLÉPHÉRIQUE TOULOUSAIN (ANCIENNEMENT TÉLÉPHÉRIQUE URBAIN SUD - "TUS"). CE PROJET EST LE FRUIT DE DIAGNOSTICS ET DE CONCERTATIONS MENÉS AVEC L'ENSEMBLE DES PARTENAIRES DE LA MÉTROPOLE DEPUIS 2006, QUI ONT ABOUTI AU PROJET DÉFINITIF PRÉFIGURÉ PAR LES TRAVAUX DÉMARRÉS DURANT L'ÉTÉ 2019. CE TÉLÉPHÉRIQUE, INSCRIT AU PROJET MOBILITÉ 2020-2025-2030 DE LA MÉTROPOLE, PERMETTRA DE RELIER LES SITES DE L'ONCOPOLE, DU CHU RANGUEIL, ET DE L'UNIVERSITÉ PAUL SABATIER EN SEULEMENT 10 min.

INTRODUCTION

Le téléphérique sera connecté à l'ouest au réseau de transport en commun (LINEO 5), et, à l'est, au métro Ligne B (station Université Paul Sabatier). Favorisant la mobilité douce et maillon fort de l'intermodalité, la municipalité a accompagné le projet de TELEO par la construction d'un parking de 500 places à proximité de la station Oncopole. Il inaugurera ainsi le premier maillon de la "Ceinture Sud" définie au Plan de Déplacement Urbain. Il répondra à un besoin croissant de mobilité sur le secteur Sud toulousain et permettra une desserte efficace du CHU Rangueil pour les patients, mais également pour les étudiants de l'Institut Universitaire du Cancer de Toulouse et de l'Université Paul Sabatier.

CHOIX DU TÉLÉPHÉRIQUE DÉBRAYABLE 3S

Le choix d'un transport par câble de 3 km s'est rapidement imposé pour permettre le franchissement des éléments naturels et de la topographie du site (100 m de dénivelé) : les ballastières, la Garonne, les coteaux de Pech-David. Il s'agit toutefois d'un choix innovant, peu de transports par câble en milieu urbain ayant vu le jour en Europe. Le choix entre un monocâble et la technologie 3S s'est opéré pendant la phase de consultation du groupeur titulaire. Le maître d'ouvrage a finalement opté pour la technologie 3S au regard des avantages majeurs par rapport à une technologie monocâble (usuellement appelée "Télécabine").



© PHOTOTHÈQUE WWW.REMONTEES-MECANIQUES.NET

2- Pylône 3S standard en treillis.

2- Standard lattice 3S pylon.

En effet, le Téléphérique Débrayable 3S est une technologie de transport par câble qui marie les caractéristiques d'un téléphérique multicâble à celles des appareils débrayables.

Le 3S est composé de 3 câbles ("Seile" en allemand, d'où 3S) : 2 câbles porteurs assurent le supportage des véhicules tandis que le câble tracteur disposé en boucle assure leur mouvement sur la ligne. L'ensemble des véhicules (au nombre de 15 sur TELEO) circulent sur les câbles porteurs dans un mouvement unidirectionnel continu. À leur arrivée en station, les véhicules ralentissent jusqu'aux zones de quai après découplage du câble tracteur sans ralentissement de ce dernier.

Il permet le franchissement de grandes distances avec un nombre de pylônes réduit. Là où cinq pylônes suffisent à assurer le tracé d'environ 3 km de TELEO, une solution de type monocâble aurait nécessité une vingtaine d'ouvrages de ligne. Comparé au monocâble, le téléphérique 3S offre une stabilité accrue au vent.

Les vitesses atteintes sont également supérieures aux vitesses admises actuellement sur un appareil monocâble avec, à la clef, une réduction des temps de trajets.

On note aussi une réduction des nuisances sonores sur ces appareils.

Enfin, il offre des cabines spacieuses pour le transport de ses passagers (34 places sur TELEO à comparer aux 10 places habituelles des "Télécabines"). Une fois en gare, les cabines circulent à très faible vitesse, jusqu'à un arrêt complet, ce qui est propice à un débarquement et un embarquement confortables, et offre aussi une accessibilité PMR optimale.

Sur les 3 km de linéaire du projet, seuls cinq pylônes, de 30 à 70 m de hauteur, sont nécessaires pour supporter la ligne.

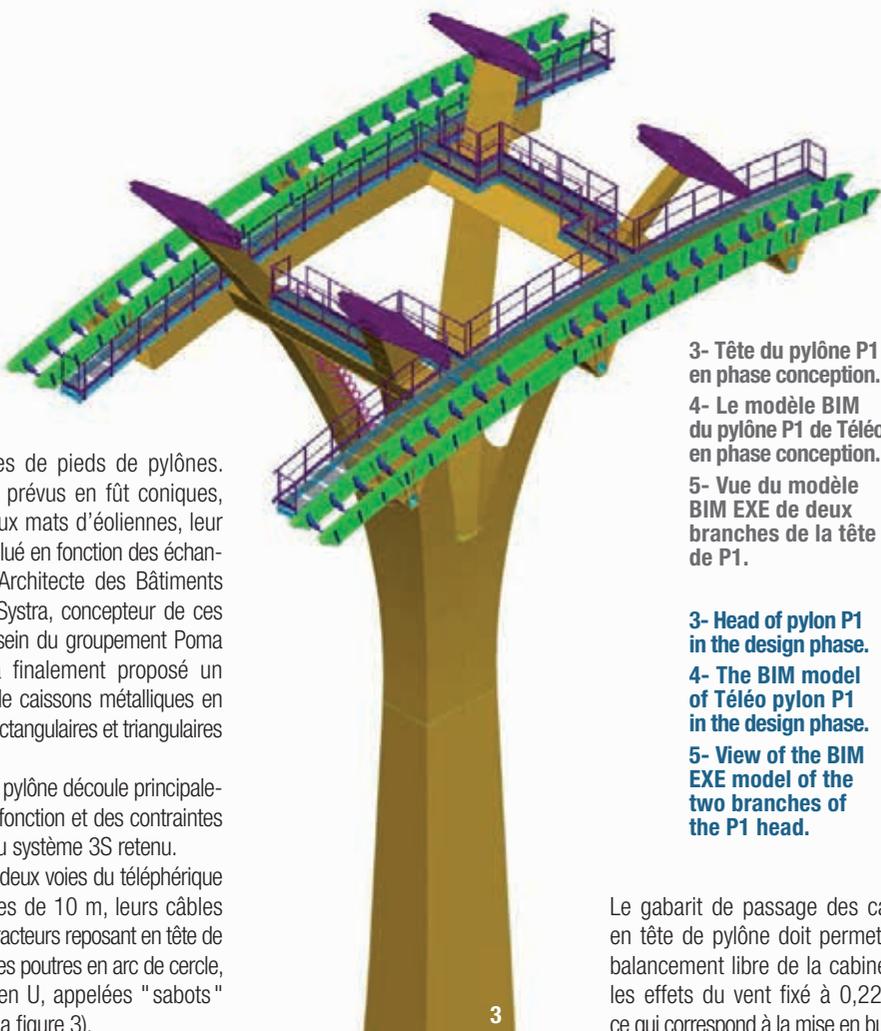
L'ESTHÉTIQUE DES PYLÔNES

Les pylônes de téléphériques sont usuellement des structures en treillis métalliques (figure 2) peu esthétiques et présentant une emprise au sol importante. Le groupement retenu a fait le choix de proposer une structure monolithique, la plus élancée possible, pour une meilleure insertion au site, mais aussi pour réduire

les emprises de pieds de pylônes. Initialement prévus en fût coniques, similaires aux mats d'éoliennes, leur dessin a évolué en fonction des échanges avec l'Architecte des Bâtiments de France. Systra, concepteur de ces pylônes au sein du groupement Poma mandaté, a finalement proposé un pylône fait de caissons métalliques en tôle raidis, rectangulaires et triangulaires (figure 4).

Le forme du pylône découle principalement de sa fonction et des contraintes inerrantes au système 3S retenu.

En effet, les deux voies du téléphérique sont écartées de 10 m, leurs câbles porteurs et tracteurs reposant en tête de pylône sur des poutres en arc de cercle, de section en U, appelées "sabots" (en vert sur la figure 3).



3- Tête du pylône P1 en phase conception.

4- Le modèle BIM du pylône P1 de Téléo en phase conception.

5- Vue du modèle BIM EXE de deux branches de la tête de P1.

3- Head of pylon P1 in the design phase.

4- The BIM model of Téléo pylon P1 in the design phase.

5- View of the BIM EXE model of the two branches of the P1 head.

Le gabarit de passage des cabines en tête de pylône doit permettre un balancement libre de la cabine sous les effets du vent fixé à 0,223 rad, ce qui correspond à la mise en butée de

LE MODÈLE BIM DU PYLÔNE P1 DE TÉLÉO EN PHASE CONCEPTION

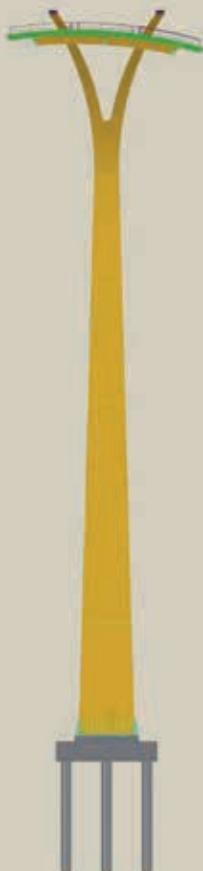
Vue isométrique



Élévation transversale



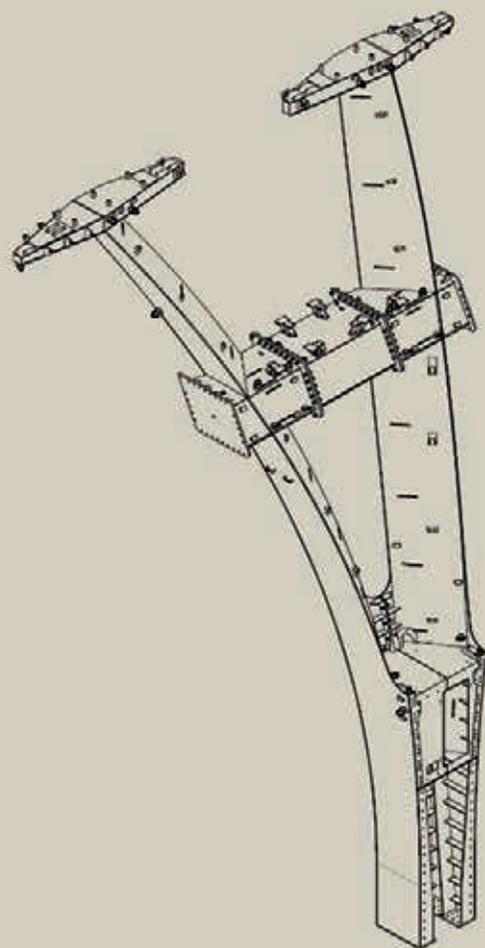
Élévation longitudinale



4

© SYSTRA

VUE DU MODÈLE BIM EXE DE DEUX BRANCHES DE LA TÊTE DE P1



5

© POMA



6a

© POMA



6b

© POMA



6c

© POMA

la suspen-
te sur le chariot du véhicule, auquel sont ajoutés 30 cm par sécurité. Ainsi, la distance laissée libre entre les gabarits des cabines des deux voies n'excède pas 1,5 m transversalement au point le plus étroit du fût sous la tête de pylône. Aussi, pour pouvoir supporter les sabots, il a été décidé de séparer le fût en deux branches transversales inclinées s'écartant du fût unique pour venir au plus près possible des sabots. Longitudinalement, les sabots ont une longueur développée allant jusqu'à 21,5 m. Il était donc difficilement envisageable de les encastrer en un unique point sur la tête de pylône, d'autant que les moments autour d'un axe transversal à la ligne dans ces sabots sont loin d'être négligeable. Il a donc été décidé de séparer aussi le fût en deux branches longitudinales pour venir supporter chaque sabot en deux points. Ainsi, les pylônes présenteraient quatre branches en tête.

Au-dessus de chaque sabot, une structure, appelée "potence de décâblage" (en mauve sur la figure 3), doit permettre d'installer un système provisoire permettant de lever les câbles porteurs et tracteurs lors des interventions de maintenance ou de déplacement des câbles porteurs.

En rupture avec ce qui se fait habituellement sur les pylônes de téléphérique, consistant à disposer des poutres treillis transversales servant à la fois à porter les sabots de lignes et les potences de décâblages, il fût décidé de prolonger les 4 branches des têtes de pylône pour venir supporter de courtes potences de décâblages venant en surplomb des sabots. Ces potences de décâblages sont aussi prolongées vers l'axe de la ligne pour venir supporter les câbles de communications tendus entre les pylônes.

Pour donner un peu d'élégance à ces structures, avant tout dessinées pour

6- Divers essais sur la maquette du tiers supérieur du fût de P4.

7- Graphes d'essais déplacement/vitesse de vent, sans augmenter et en augmentant l'amortissement.

6- Various tests on the model of the upper third of the P4 mast.

7- Graphs of displacement/wind speed tests, without increasing and increasing damping.

satisfaire des critères fonctionnels, il fût décidé d'inscrire les arêtes de chaque branche dans un arc de cercle uniforme depuis les potences de décâblage, en tête de pylône, jusqu'au haut du fût du pylône, arc de cercle qui est aussi tangent avec les arêtes du caisson rectangulaire formant le fût du pylône. Les quatre branches sont de section triangulaire pour donner un peu plus de transparence aux têtes de pylône. Un cadre formé des quatre poutres horizontales en caissons trapézoïdaux, à hauteur des sabots, relie les quatre branches en tête de pylône pour la rigidifier, les deux caissons longitudinaux de ce cadre sont cintrés avec le même rayon que les sabots et les supportent en trois ou quatre points. La figure 5, extraite des plans d'exécution, illustre

bien le passage d'un caisson rectangulaire à des bras triangulaires en montrant le raidissage intérieur des caissons, les brides d'assemblages et les diaphragmes horizontaux nécessaires. Toutes les têtes de pylône sont quasi identiques en termes de proportions, seules les légères différences d'inclinaisons des sabots pour chaque pylône les différenciant. Les fûts en caissons rectangulaires, constitués de tôles raidies de 16 à 40 mm d'épaisseur maximale, ont tous les mêmes dimensions en tête, leurs dimensions en pied augmentant avec la hauteur de chaque pylône.

Par exemple, le fût du pylône P1, de 70 m de hauteur, fait environ 5 m x 5,5 m en pied.

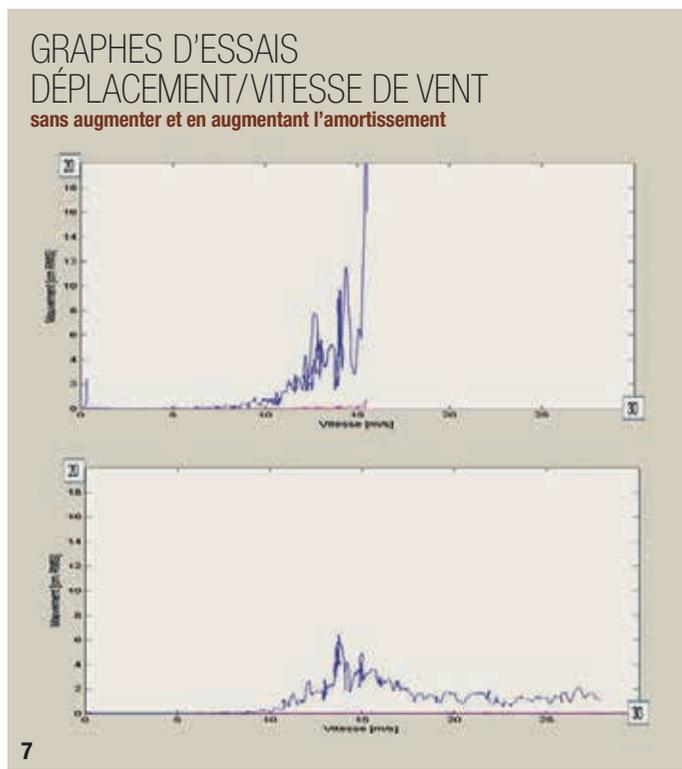
Finalement, les pylônes semblent donc être des structures identiques émergeant plus ou moins du sol selon leur hauteur et prenant la forme d'un sceptre à quatre branches en tête.

LES FONDATIONS DES PYLÔNES

On retrouve le long du tracé le schéma géologique classique de Toulouse consistant en un modèle bicouche comportant des formations superficielles (alluvions, colluvions et remblais) reposant sur un substratum épais constitué par les molasses toulousaines.

Tous les pylônes sont fondés sur des semelles sur groupes de pieux, allant jusqu'à 8 pieux de 0,8 ou 1 m de diamètre et 18 m de profondeur, sous une semelle de 10 m x 10 m x 2 m de dimension maximale. Les hauts des semelles étant situés 50 cm sous le terrain fini, des plots de 70 cm de hauteur permettent l'assise des pylônes.

La zone d'implantation des pylônes P3 et P4, encadrant la gare CHU, étant situés sur une zone à risques modérés de glissement de terrain selon le Plan de Prévention des Risques de Mouvements de Terrains (PPRMT), un enrochement a été réalisé en amont de P3, ▷





8

© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE

et un risque de glissement superficiel, déterminé en fonction de la stratigraphie autour de l'ouvrage, a été pris en compte dans le dimensionnement de la fondation du pylône P4.

Les pylônes sont ancrés dans les plots des semelles de fondations par l'intermédiaires de tiges d'ancrage précontraintes, 96 unités de diamètre 45 mm par exemple sur le pylône P1.

LE VENT SUR LES PYLONES

Une des actions majeures agissant sur un pylône est le vent. Le vent engendre des sollicitations, et bien sûr des déplacements en tête de pylône, qui peuvent être préjudiciables pour le fonctionnement de la ligne et génère des cycles de contraintes dans le pylône pouvant conduire à des phénomènes de fatigue. De plus, L'excitation du pylône par l'effet du vent peut, dans certains cas, conduire à des phénomènes d'instabilité tels que le galop ou le flottement. Les calculs d'avant-projet ont montré que les pylônes étaient très sensibles aux effets du détachement tourbillonnaire provoquant la flexion du pylône transversalement à la direction du vent. En effet, la section étant proche du carré, le nombre de Strouhal est élevé et la vitesse critique du vent au détachement tourbillonnaire est faible. Des essais en soufflerie ont alors été réalisés sur une maquette de pylône de la ligne pour vérifier le comportement au vent de ces structures sous



© POMA

9

8- Tête de pylône avec joint vertical soudé avant mise en peinture.

9- Assemblage de la tête du pylône P1 vue du sol.

10- Assemblage de la tête du pylône P1 vue d'un drone.

8- Pylon head with vertical joint welded before painting.

9- Assembly of the head of pylon P1 viewed from the ground.

10- Assembly of the head of pylon P1 viewed from a drone.



10

© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE

différents angles d'attaque. Les essais effectués sur le pylône P1 de 70 m de hauteur ont permis de mettre en évidence une vitesse critique de détachement tourbillonnaire autour de 15 m/s accompagnée d'un possible phénomène de galop lorsque l'amortissement de la structure est trop faible. L'apparition de phénomènes d'instabilité n'étant pas acceptable, des solutions ont dû être recherchées pour pallier ce problème. Celui-ci peut

être résolu en augmentant la raideur du pylône, mais au prix d'une grande consommation d'acier. Il est aussi possible d'ajouter des ailettes ou cornières sur les faces ou les arêtes du fût rectangulaire, pour casser la formation des tourbillons de Von Karman. Plus d'une trentaine d'essais furent menés sur une maquette modélisant le tiers supérieur

11- Zoom sur l'assemblage d'une tête de pylône.

12- Tête de pylône vue du sol - les amortisseurs dynamiques accordés sont visibles au centre.

13- Hélicoptère déroulant une câblette au-dessus des sabots de P2 en début de phase de tirage des câbles.

14- Pylônes P2 et P3 pendant le tirage des câbles.

11- Focus on the assembly of a pylon head.

12- Pylon head viewed from the ground - the tuned dynamic dampers are visible in the centre.

13- Helicopter unreeling a cablet above the shoes of P2 at the start of the cable pulling phase.

14- Pylons P2 and P3 during cable pulling.



© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE



© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE



13

© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE



14

© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE

du pylône P4, en combinant plusieurs forme et tailles d'ailettes et de cornières d'angles, mais aucune ne permet de garantir à 100 % l'absence de risque d'instabilité pour le pylône tout en préservant au mieux son esthétique (figure 6).

Il a été préféré d'augmenter l'amortissement de la structure par l'ajout d'amortisseurs dynamiques accordés (ADA) en tête de pylône. Des essais ultérieurs, faisant varier le taux d'amortissement, ont montré que, pour un taux d'amortissement de 3%, les déplacements du pylône pouvaient être contenus et atteindre 15 cm environ pour une vitesse de 15 m/s. Le mouvement continue à se produire pour des vitesses de vent supérieures mais avec des déplacements qui décroissent pour atteindre 5 cm à une vitesse de 18 m/s (cf. graphes de la figure 7).

Le taux d'amortissement est aussi à fixer en vue de la vérification du pylône à la fatigue sous les effets du vent. Il convient alors de limiter les contraintes dans les zones sensibles par la limitation des déplacements de la structure, la relation entre ces deux composantes étant linéaire. L'amortissement cible doit permettre de limiter le déplacement à une valeur inférieure à un déplacement maximal occasionnant un spectre de contrainte admissible et donc un endommagement inférieur à 1 suivant la règle de Miner. Le spectre de contraintes est obtenu sur la base d'un nombre de cycles réparti suivant une loi statistique de Weibull en fonction de la vitesse de vent.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION DES PYLÔNES ET LEUR FABRICATION EN ATELIER

Les études d'exécution des pylônes ont été menées en interne chez Poma. ▷



15
© DR

La contrainte principale a été de respecter au mieux l'esthétique du pylône définie par l'équipe de conception Systra, tout en prenant en compte les contraintes de transport sur site et de montage des pylônes dans des délais courts.

La ligne TELEO traversant une Réserve Naturelle Régionale et une zone classée Natura 2000, le tirage des câbles du téléphérique ne pouvait se faire qu'à une période précise de l'année afin de ne pas impacter la faune protégée présente sur le site. Aussi, le groupement Poma ne disposant que d'une fenêtre de quelques mois pour réaliser le montage des cinq pylônes avant de pouvoir lancer les câbles, il a été décidé de diviser chaque pylône en segments satisfaisant les gabarits de transport, segments qui devaient être boulonnés sur site. Le recours à des joints soudés entre les segments de pylônes ne devait être qu'exceptionnel.

Tous les segments constituant le fût et les branches de chaque pylône permettent un assemblage par brides boulonnées situées exclusivement à l'intérieur des caissons, afin de respecter au mieux l'esthétique définie en conception.

Seuls les caissons trapézoïdaux du cadre horizontal situé au niveau des sabots, en tête de pylône, étaient de trop petites dimensions pour être accessibles de l'intérieur, ils sont donc les seuls à présenter des brides d'assemblage boulonnées visibles.

La figure 5, extraite des plans d'exécution de la tête du pylône P1, illustre bien

plusieurs points évoqués ci-dessous. Le seul joint soudé par pleine pénétration, réalisé sur site, est l'assemblage vertical, des branches situé sur les faces supérieures du fût, faces perpendiculaires à l'axe de la ligne (bande verticale sombre sur la figure 8, avant mise en peinture), assemblage impossible à réaliser avec des brides boulonnées de dimensions satisfaisantes pour maintenir l'accessibilité aux têtes des pylônes par l'intérieur.

L'autre facteur jouant sur la taille et le nombre des segments constituant le pylône fût la capacité des engins

15- Pylône P5 vu depuis la gare d'extrémité UPS, câbles mis en place et tendus.

16- P3 et P4, avec la gare CHU entre les deux pylônes.

15- Pylon P5 viewed from the UPS terminal station, with cables installed and tensioned.

16- P3 and P4, with the CHU station between the two pylons.

de levage, deux grues de 400 et 700 t étant mobilisées sur le chantier, avec des colis à lever jusqu'à une hauteur de 90 m (figures 9 et 10 montrant l'assemblage du pylône P1 d'une hauteur de 74 m hors tout, depuis le sol et depuis un drone).

Les essais sur site ont mis en évidence une fréquence propre du pylône P3 de 0,67 Hz dans la direction transversale à la ligne (0,72 Hz théorique) et 0,76 Hz dans le sens longitudinal (0,80 Hz théorique). L'amortissement structurel mesuré pour ce pylône était de 0,28 % environ avec un ADA inactif.



16



© TISSEO INGENIERIE - AIRIMAGE
17

Une fois l'amortisseur activé, l'amortissement mesuré atteint 3,10% pour ce même pylône et 5,50% pour le pylône P4, ce qui a été jugé acceptable pour limiter la fatigue et les déplacements excessifs de la tête des pylônes. Les ADA sont visibles sur la figure 12, ce sont les cylindres gris en acier galvanisé disposés entre les branches de la tête du pylône.

Le chantier se déroulant en plusieurs phases sur environ une année, l'amortissement structurel du pylône doit être adapté en fonction des phases de montage (pylônes seuls, puis avec câbles nus, puis avec câbles en charge).

Chaque pylône, en fonction de ses caractéristiques et de sa position le long de la ligne du téléphérique, verra son amortissement structurel augmenter ou diminuer grâce à l'effet des câbles tendus entre les pylônes et leur prise au vent, et demandera un ajustement du réglage des ADA en tête.

17- Premier essai de circulation de cabine au droit de P5, gare UPS en arrière-plan.

17- First cabin running test at the level of P5, UPS station in the background.

Le déroulage des câbles du TELEO a commencé en novembre 2020, par le tirage de câbles entre la gare Oncopole et le pylône P3 à l'aide d'un hélicoptère (figure 13). Il s'est poursuivi jusqu'au printemps 2021 (figures 1, 15 et 16). Aujourd'hui, tous les câbles porteurs, tracteurs et de communication sont en place, et les premiers essais de circulation de cabine ont débuté à la fin juillet 2021 (figure 17). Suivront les tests et phases de marche à blanc avant une ouverture au public prévue fin 2021.

CONCLUSION

Les pylônes du téléphérique Téléo sont des ouvrages uniques dans le paysage français, comme dans le monde du transport par câble, loin des ouvrages treillis habituellement mis en œuvre pour supporter les systèmes téléphériques.

Ce sont des ouvrages en caissons métalliques raidis de dimensions et de conception complexes, d'un élanement important, stabilisés par des ADA en tête, qui marquent le paysage de leur présence et agissent comme un signal pour ce qui sera le plus long téléphérique urbain de France à son inauguration. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

CHARPENTE MÉTALLIQUE DES PYLÔNES :
environ 1 100 t hors équipements
BA DES PIEUX ET SEMELLES : 1 100 m³
ARMATURES : 135 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Tisseo Collectivités
MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE : Tisseo Ingénierie
EXPLOITANT : Tisseo Voyageurs
AMO TECHNIQUE : Groupement Ingerop / Cabinet E.R.I.C. / Cabinet Cabanes é Neveu
GROUPEMENT DE CONCEPTION/RÉALISATION/MAINTENANCE : Poma / Bouygues Travaux Publics Régions France / Systra / Seti / Sequences / Altiservices
OCTA : Bureau Veritas
COORDONNATEUR SPS : Elyfec
CONTRÔLE EXTÉRIEUR GÉOTECHNIQUE : Alios
CONTRÔLE EXTÉRIEUR STRUCTURES MÉTAL : Institut de Soudure

ABSTRACT

PYLONS OF THE TELEO IN TOULOUSE

CHARLES CAYATTE - JEAN-FRANÇOIS FANET, POMA - ÉRIC GOGNY, SYSTRA - ARNAUD LEMAIRE, SYSTRA - WILLIAMS SZMIDT, POMA

The Toulouse cableway Teleo will be able to connect the sites of the Oncopole, CHU Rangueil hospital and Paul Sabatier University (UPS) in only 10 minutes. This 3S disengageable cableway, a large-capacity cable transport system, will be the longest urban cableway of this type in the world. The TELEO pylons are structures formed of stiffened steel caissons, unique of their kind, 30 metres to over 70 metres high, carrying the two cable ways, 10 metres apart, with heads in the shape of a sceptre with four branches. Formed of segments of transportable maximum dimensions, bolted together on the inside to keep the design as pure as possible, and fitted with tuned dynamic dampers at the top to stabilise them against the effect of winds, these pylons are unique structures in the transport world. □

LOS PILONOS DEL TELEO, EN TOULOUSE

CHARLES CAYATTE - JEAN-FRANÇOIS FANET, POMA - ÉRIC GOGNY, SYSTRA - ARNAUD LEMAIRE, SYSTRA - WILLIAMS SZMIDT, POMA

El teleférico de Toulouse TELEO permitirá enlazar el Oncopole, el Hospital Universitario Rangueil y la Universidad Paul Sabatier en tan solo 10 minutos. Este teleférico desembragable basado en el sistema 3S de transporte por cable de gran capacidad será el teleférico urbano de este tipo más largo del mundo. Los pilonos del TELEO son construcciones en cajones metálicos rigidizados, únicos en su clase, de 30 a más de 70 m de altura y que soportan las dos vías del teleférico, distantes de 10 m, con unos cabezales en forma de cetro con cuatro ramas. Formados por segmentos de dimensiones máximas transportables, empalmados entre sí por el interior para preservar una línea lo más depurada posible y provistos de amortiguadores dinámicos fijados a los cabezales para estabilizarlos bajo el efecto del viento, estos pilonos constituyen estructuras únicas en el mundo del transporte. □



1
© EIFFAGE

LE VIADUC DU LOT À MENDE, PREMIER PONT ROUTIER À DOUBLE ACTION MIXTE EN FRANCE

AUTEURS : CLÉMENT AMOURETTE, RESPONSABLE D'ÉTUDES, CEREMA - OLIVIER GRASSET, CHEF DE PROJET, SIR MÉDITERRANÉE - MATHIEU FEREGOTTO, CHARGÉ D'AFFAIRES EN GÉOTECHNIQUE, CEREMA - AMAURY HERRERA, POLE INSTRUMENTATION, CEREMA - FABIO MASOTTI, CHEF DE PROJET, EIFFAGE MÉTAL

L'AMÉNAGEMENT DE LA RN88 RELIANT TOULOUSE À LYON, VIA L'A75, COMPREND L'OPÉRATION DE CONTOURNEMENT DE MENDE (LOZÈRE) APPELÉE "ROCADE OUEST DE MENDE" (ROM). CETTE ROCADE RELIERA À TERME L'ACTUELLE RN88 À LA RD42 PUIS À LA RD806 ET NÉCESSITE LE FRANCHISSEMENT DE LA VALLÉE DU LOT. LE VIADUC DU LOT EST LE PREMIER PONT ROUTIER À DOUBLE ACTION MIXTE RÉALISÉ EN FRANCE, UNE TECHNIQUE PERMETTANT D'AMÉLIORER LA ROBUSTESSE DES OUVRAGES BIPOUTRES MIXTES ACIER-BÉTON, À COÛT COMPARABLE.

LA DOUBLE ACTION MIXTE : UNE INNOVATION POUR LES OUVRAGES ROUTIERS FONCTIONNEMENT DES BIPOUTRES MIXTES ACIER-BÉTON

Les ouvrages de type bipoutres mixtes acier-béton figurent parmi les structures les plus populaires dans la gamme de portée de 30 à 130 m, à la fois pour leur facilité de mise en œuvre et pour leur coût de réalisation limité. Dans les ouvrages hyperstatiques, le fonctionnement des sections mixtes sur pile est moins favorable car le béton tendu fissure rapidement et une large partie des éléments métalliques est

comprimée, ce qui amène un risque de flambement.

Contrairement aux sections en travée, le mode de ruine est ici fondé sur l'instabilité de la section (risque de déversement sur pile) et non sur la résistance plastique. Aucune capacité de redistribution n'est mobilisable dans ce cas. L'épaississement des semelles sur piles ainsi que de bonnes dispositions constructives permettent de maîtriser la fissuration de la dalle et d'assurer la sécurité structurale, mais reste une hétérogénéité dans la robustesse des sections, plus grande en travée que pour les zones sur pile (différence liée notamment à la capacité de redistribution d'efforts).

**1- Tablier
en cours de
construction.**

**1- Deck
undergoing
construction.**

LA DOUBLE ACTION MIXTE

La double action mixte a pour objectif d'augmenter la robustesse du tablier dans les zones sur pile. Elle consiste à connecter aux ailes inférieures une dalle en béton armée en plus de la dalle

supérieure. Cette dalle inférieure n'est présente qu'au droit des piles (zones de moment négatif), de manière à :

- Augmenter l'inertie des sections grâce au béton comprimé ;
- Augmenter la rigidité transversale des poutres par l'entretoisement très rigide des semelles inférieures apporté par la dalle inférieure, diminuant significativement le risque de déversement en service.

La connexion d'un hourdis inférieur continu dans les zones sur pile augmente donc la résistance ultime des sections grâce à l'augmentation de l'inertie et grâce à la modification du mode de ruine, qui passe d'une ruine

par instabilité à une ruine plastique (exploitation de la ductilité des matériaux et capacité de redistribution des efforts), d'où une augmentation de la robustesse.

Dans les faits, l'augmentation de l'inertie sur pile permet d'optimiser la charpente.

La technique a déjà été utilisée à l'étranger, en Espagne plus particulièrement (pont de Bexiti-Borriol à Castellon ou pont de Rajadell à Manrese). En France, trois ouvrages ferroviaires de la LGV Bretagne-Pays-de-la-Loire ont été réalisés en double action mixte par le groupe Eiffage, avec cependant des objectifs structuraux relativement différents des ponts routiers, basés davantage sur une limitation des effets

2- Profil en long du viaduc - zones DAM en rouge.

3- Coupe transversale.

4- Semelle inférieure en début de zone DAM.

5- Entretoisement en zone DAM.

2- Longitudinal profile of the viaduct - DCA zones in red.

3- Cross section.

4- Lower foundation slab at start of DCA zone.

5- Bracing in DCA zone.

dynamiques et des déformations de gauchissement.

Le viaduc du Lot est donc le premier ouvrage routier à double action mixte en France.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

CONTEXTE GÉNÉRAL ET PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le projet de rocade ouest de Mende est la réalisation d'une route nouvelle de 2,5 km entre l'entrée d'agglomération Ouest de Mende par la RN88.

Par ce viaduc de 323 m de long, la rocade franchit la plaine du Lot, une voie SNCF et une voie communale.

Le type d'ouvrage retenu est un bipoutre mixte à 5 travées (53 m - 3x75 m -

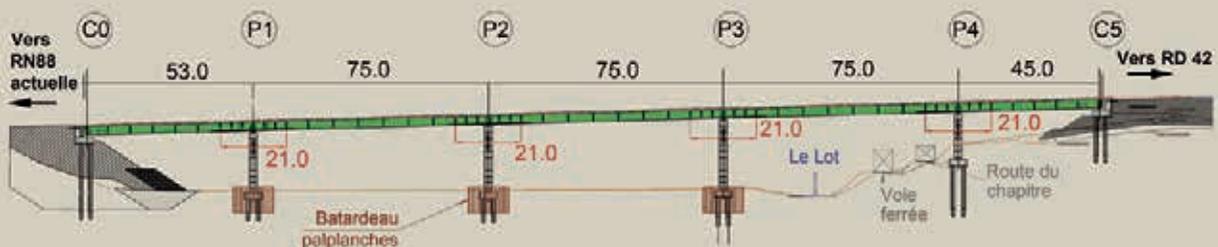
45 m) à hauteur constante. L'ouvrage, constitué d'un tablier unique, supporte une chaussée bidirectionnelle ainsi que deux bandes multifonctionnelles dédiées aux modes doux (piétons et cycles). La largeur roulable est de 10 m et la largeur totale de 11,50 m.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DÉLICATS

Les marnes qui forment le sous-sol de la plaine alluviale et des coteaux ont d'excellentes caractéristiques mécaniques lorsqu'elles sont saines, mais sont très fréquemment altérées en haut de la série. Les pentes de coteaux sont surmontées d'éboulis à matrice argileuse et éléments caillouteux d'épaisseur très variable. ▷

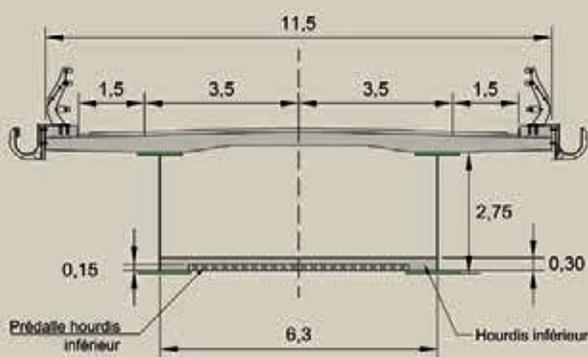
PROFIL EN LONG DU VIADUC

Zones DAM en rouge



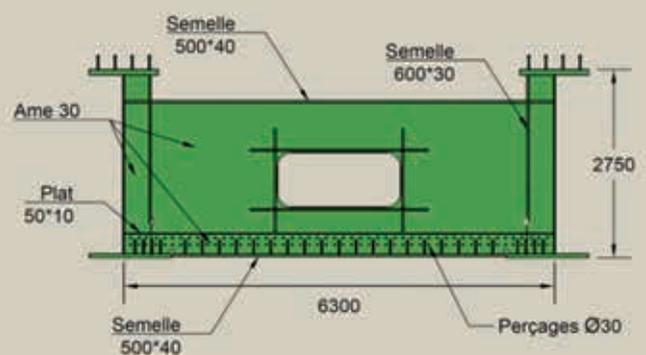
2

COUPE TRANSVERSALE



3

ENTRETOISEMENT EN ZONE DAM



5



4

© DIR

© CEREMA

Sur les coteaux, les terrains supérieurs sont de nature argileuse à caillouteuse avec des lentilles parfois plus sableuses.

Cette hétérogénéité implique un fonctionnement hydrogéologique complexe et peu prévisible : les arrivées d'eau parfois importantes en pression peuvent être interceptées, notamment par des travaux de forage ou d'excavation.

Compte tenu de ces contraintes, l'ensemble des appuis de l'ouvrage a fait l'objet de fondations profondes. Au total 500 m de pieux tubés de 1,00 m et 1,10 m de diamètre ont été réalisés afin de fonder l'ouvrage sur la marne compacte. La culée C5 a fait l'objet

6- Instrumentation pour l'évaluation des efforts.

7- Instrumentation pour l'évaluation des efforts dans les poutres.

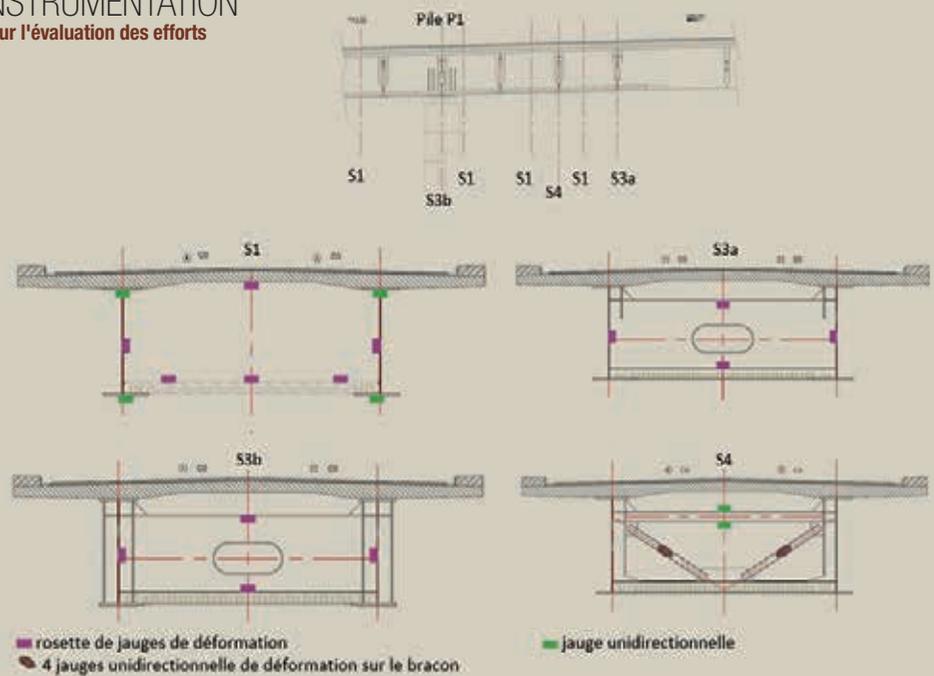
8- Instrumentation pour l'évaluation du gradient thermique.

6- Instrumentation for force measurement.

7- Instrumentation for measuring forces in the girders.

8- Instrumentation for measuring the thermal gradient.

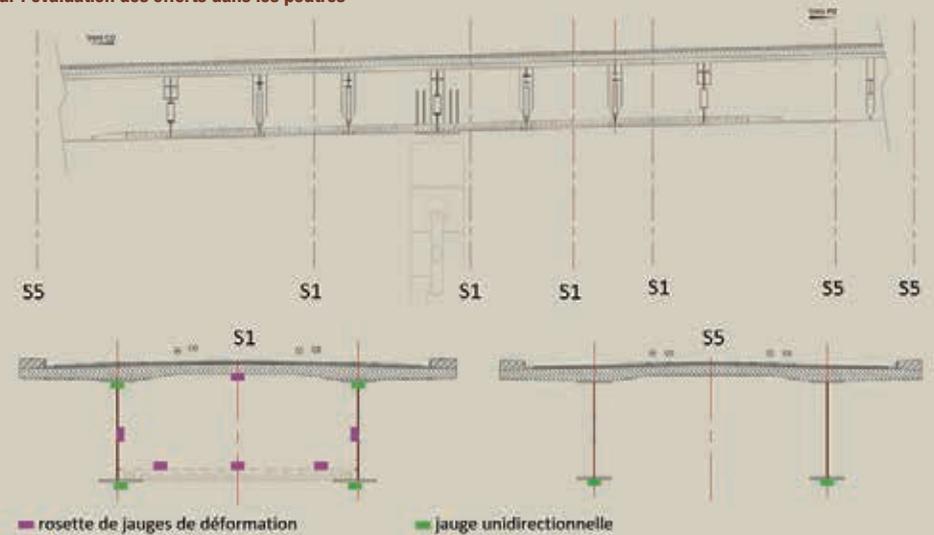
INSTRUMENTATION pour l'évaluation des efforts



6

© CEREMA

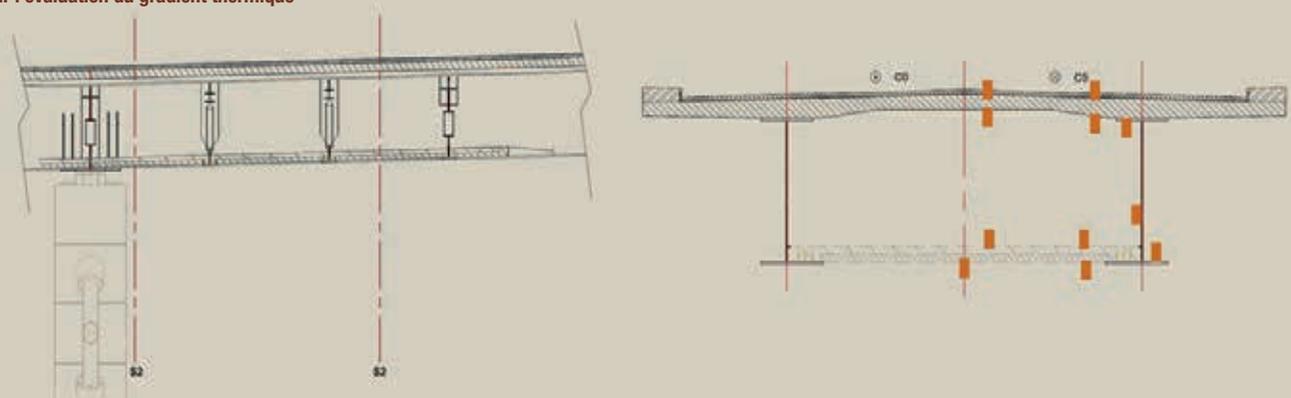
INSTRUMENTATION pour l'évaluation des efforts dans les poutres



7

© CEREMA

INSTRUMENTATION pour l'évaluation du gradient thermique



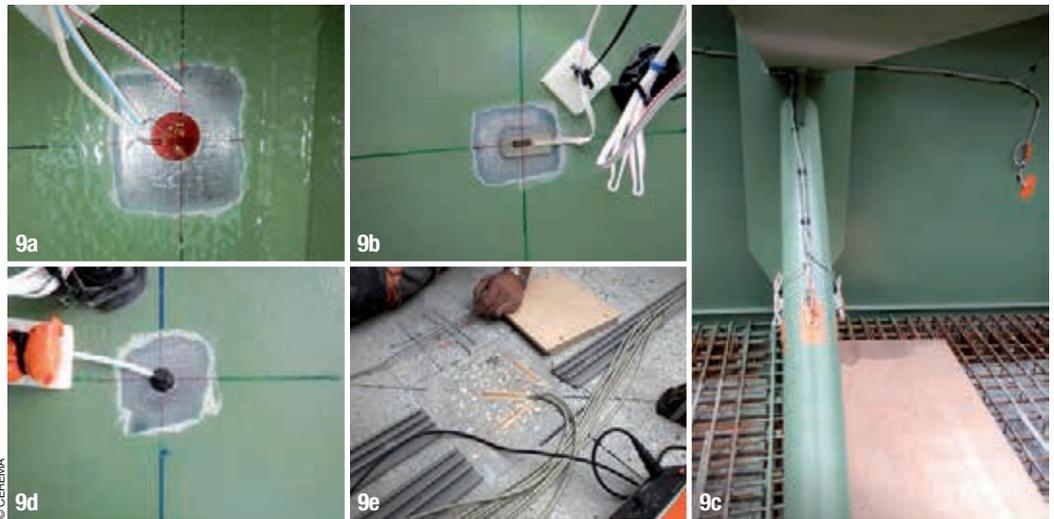
8

© CEREMA

9- Capteurs
 a- rosette de déformation sur acier,
 b- jauge unidirectionnelle sur acier,
 c- instrumentation sur bracon,
 d- sonde de température de surface,
 e- rosette de déformation sur béton.

10- Système d'instrumentation
 a- supervision du système,
 b- boîtier d'acquisition des données.

11- Mise en place de prédalle en zone DAM.



9- Sensors
 a- strain gauge rosette on steel,
 b- unidirectional gauge on steel,
 c- instrumentation on brace,
 d- surface temperature sensor,
 e- strain gauge rosette on concrete.

10- Instrumentation system,
 a- system supervision,
 b- data acquisition unit.

11- Placing a pre-cast slab in position in DCA zone.



d'une conception particulière avec l'utilisation d'un remblai allégé de 20 000 m³ en pouzzolane.

CONCEPTION DU TABLIER ET APPLICATION DE LA DOUBLE ACTION MIXTE

Le tablier du viaduc du Lot intègre le procédé de double action mixte. Une dalle inférieure en béton armé est donc connectée aux poutres au droit des piles (figures 2 et 3).

Pour connecter la dalle inférieure, les semelles inférieures ont été élargies ponctuellement autour des zones de piles intermédiaires uniquement vers l'intérieur (figure 4).

La présence du hourdis inférieur sur pile créé une section fermée, beaucoup plus raide en torsion que dans les zones de travées. Un entretoisement spécifique a donc été conçu pour les zones d'appui : trois diaphragmes et quatre cadres en K se succèdent afin de limiter la distorsion de ces zones fermées. Le principe du dimensionnement consiste à cumuler de manière sécuritaire le fonctionnement "caisson"

des sections fermées avec le fonctionnement en distorsion des sections ouvertes (type "Courbon"). En travée, l'entretoisement des poutres est assuré par des profilés (figure 5).

Le hourdis inférieur consiste en une dalle armée de 300 mm de hauteur régnant entre les poutres sur les 21,0 m

de longueur des zones sur appuis. La continuité de ce hourdis inférieur est assurée par les aciers longitudinaux qui traversent les diaphragmes percés en partie basse.

Afin de simplifier la mise en œuvre du hourdis inférieur, celui-ci a été réalisé en deux phases : des prédalles parti-

cipantes de 150 mm, dans un premier temps non connectées, mises en œuvre sur la charpente avant lançage, puis le béton de seconde phase, réalisé avec la charpente sur appuis provisoires.

APPUIS

Les piles intermédiaires consistent en deux fûts elliptiques entretoisés par des croix métalliques et surmontés d'appareils d'appui en élastomère fretté munis à la fois de dispositifs anticheminement et de butées sismiques de sécurité. Les culées sont enterrées en tête de talus. Les piles sont fondées sur deux rangées de quatre pieux de diamètre 1 100 mm, tandis que les culées sont fondées sur deux rangées de trois pieux de diamètre 1 000 mm. Ces pieux sont ancrés dans le substratum marneux. Pour s'affranchir des frottements négatifs au niveau des culées, les remblais d'accès ont été réalisés au préalable, avec un suivi des tassements à l'aide de boules tassométriques. Les pieux sont de type "forés tubés, virole perdue" (FTP), et ont été contrôlés par auscultation sismique.





12
© DIR

ÉTUDES D'EXÉCUTION RÉSULTATS

L'ensemble des études d'exécution a été réalisé avec les logiciels ST1 (principalement pour la flexion longitudinale) et SCIA (pour les études particulières). La flexion longitudinale a été justifiée avec les hypothèses conservatrices décrites plus haut. Les études d'exécution ont notamment montré que les sections en travée et sur piles étaient toutes deux de classe plastique, avec donc une capacité de redistribution et une robustesse améliorée.

Du fait de l'innovation technique que représente la double action mixte, de nombreux modèles ont été réalisés : un modèle ayant pour but de déterminer la torsion dans le tablier, un modèle destiné à connaître la répartition des efforts de torsion dans les différents diaphragmes ainsi que les modèles de détail destinés à la justification des diaphragmes et leur raideur. Ces études ont montré que l'entretoisement mis en œuvre répond aux sollicitations déterminées avec des hypothèses sécuritaires. Le tablier a été lancé avec les prédalles du hourdis inférieur ainsi qu'une partie du ferrailage supérieur, ce qui majore les sollicitations par rapport à un lançage de bipoutre simple. Les études ont cependant montré qu'il n'existait pas de risque de déversement pendant cette phase provisoire.

INSTRUMENTATION DU TABLIER

Afin d'optimiser la modélisation de l'ouvrage, une instrumentation (figures 6, 7, 8 et 9) a été mise en œuvre afin de quantifier :

- La diffusion des efforts dans la zone d'about du hourdis inférieur ;
- La répartition des efforts dans les poutres en zone DAM et en dehors de celle-ci ;
- Le gradient thermique.

Le système d'instrumentation, qui comprend 150 points de mesures, est un système modulaire conçu et mis en œuvre par le Cerema Méditerranée. Il est basé sur un système d'acquisition Gantner Instrument supervisé par le logiciel Sysadyp, avec une capacité de mesure en continue à 100 Hz et un envoi des données en temps réel sur Internet (figure 10).

L'instrumentation doit permettre l'acquisition des mesures pendant certaines phases clés de travaux (bétonnage du hourdis supérieur notamment, épreuves) et à la mise sous circulation. Une comparaison de ces dernières par rapport aux mesures théorique sera faite par la suite.

12- Premier lançage.

13- Lançage du tablier.

12- First launching.

13- Deck launching.

L'ouvrage a été ensuite assemblé par tronçons et lancé hors gabarit. Il a été ensuite descendu au niveau des appuis définitifs. Les hourdis, inférieur puis supérieur, ont été coulés par pianotage.

CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique est issue de l'usine Eiffage Métal à Lauterbourg en acier de nuances S355 K2+N, N, NL et ML.

Le tablier a été divisé en 15 tronçons et expédiés par convoi exceptionnel, puis assemblés et soudés sur plateforme en 8 phases.

Le système de protection par peinture a été appliqué entièrement en usine, ce qui a permis de limiter les reprises

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX CHRONOLOGIE

Les travaux ont été réalisés sur une durée de 36 mois.

Les travaux ont démarré par les terrassements des deux culées, puis de la plateforme de lançage côté CO.



13
© DIR

14- Pile P1 lors de la mise sur appuis.

14- Pier P1 during placing on supports.

sur chantier après soudage, compte tenu des conditions atmosphériques (climat montagneux). Au niveau des hourdis supérieurs et des prédalles en zone DAM (figure 11), un retour du film de peinture a été appliqué. À l'interface entre l'hourdis inférieur (zone DAM) et l'âme des poutres principales, un plat filant de protection 50x10 mm a été mis en place pour limiter l'écoulement d'eau entre le béton et l'âme du PRS. Ce plat a été soudé en atelier.

Compte tenu de la place limitée sur plateforme (longue de 75 m entre la culée et la RN88 existante), la mise en place a été faite par 8 lançages successifs. Les piles sont reliées par croix métalliques à partir de tubes diamètre 508 mm. Aux extrémités la croix est connectée au bossage des piles par des goujons (figures 12 et 13).

Les bossages des piles ont été réalisés autour de l'extrémité de la croix.

Les appareils d'appui en élastomère fretté sont posés sur des platines engravées (pré-scellés, avant lancements) dans le bossage. Les platines supérieures et inférieures sont équipées de dispositifs anti-cheminement. Les taquets anticheminement sont boulonnés coté intérieur de l'ouvrage pour permettre le remplacement des appuis. Toutes les opérations autour des appareils d'appui (à la fois pendant travaux de réalisation à la fois pour la manutention de l'ouvrage) ont nécessité une préparation spéciale et planification du fait de l'espace restreint entre la plateforme de travail et le hourdis inférieur.



14
© DIR

CHIFFRES CLÉS

TERRASSEMENT : déblais 20 000 m³, remblais 50 000 m³

BÉTON ARMÉ POUR FONDATIONS PROFONDES : 530 m³
(l'ensemble des appuis étant fondé sur pieux)

BÉTON ARMÉ DES APPUIS : 1 900 m³

BÉTON ARMÉ DES HOURDIS INFÉRIEUR ET SUPÉRIEUR : 1 500 m³

ACIER DE STRUCTURE : 1 000 t

MONTANT MARCHÉ DE L'ENSEMBLE VIADUC ET GIRATOIRE : 11 millions € HT

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Dreal Occitanie

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sir Méditerranée

AMO : Cerema

ENTREPRISES : Gtm Sud-Ouest – Eiffage métal

BET : Aia – Eiffage métal

Le chantier a fortement subi l'impact de la pandémie Covid-19 et a été interrompu pendant 2 mois de mars à mai 2020.

Les spécificités de la double action mixte au sein de la mise en place de charpente métallique (figure 14) sont :

- Goujons sur semelle inférieure des poutres principales ;
- Continuité du ferrailage de part et d'autre des éléments transversaux ;
- Poids supplémentaire dalle inférieure (environ 100 t au moment du lançage) : dimensionnement des appareils de lançage en conséquence ;
- Comportement plus rigide lors du lançage, qui comporte des réactions parasites parfois importantes, mais sans conséquence sur la résistance des sections. En zone DAM l'ouvrage a un comportement très rigide vis-à-vis de la torsion. Ce phénomène a été étudié en calcul afin de maîtriser un éventuel tassement d'appui lors du lançage ou une dénivellation transversale trop importante lors de la descente sur appuis. Les résultats montrent qu'un déplacement fictif de 10 mm sur une poutre génère des contraintes négligeables vis-à-vis du comportement de l'ouvrage.

Le lançage a été réalisé sur chaises à balancelle avec glissement sur patins en téflon. Chaque appui (sur plateforme et sur appuis définitifs) était équipé de vérin et d'un guidage latéral en téflon. Un treuil de traction et de retenue était installé. La descente sur appui a été faite par phasage successifs sur chaque ligne d'appui. Ont suivi le coulage du tablier et la réalisation des superstructures.

CONCLUSION

Les travaux se sont achevés début juin 2021. La mise en service de la déviation est prévue fin 2023. □

ABSTRACT

LOT VIADUCT AT MENDE, THE FIRST DOUBLE COMPOSITE ACTION ROAD BRIDGE IN FRANCE

CLÉMENT AMOURETTE, CEREMA - OLIVIER GRASSET, SIR MÉDITERRANÉE - MATHIEU FEREGOTTO, CEREMA - AMAURY HERRERA, CEREMA - FABIO MASOTTI, EIFFAGE MÉTAL

For the Lot viaduct, the double composite action (DCA) technique is being used for the first time in France for a road bridge. *This innovation consists in reinforcing the strength of the areas on piers by connecting a lower deck section to the deck's steel girders. This technique requires adaptations to the design of the steel frame, in particular stiffening of the girders' bracing. This structure, 323 metres long with five spans (53 m, 3x75 m, 45 m), is the first stage of the Mende bypass via highway RN88.* □

EL VIADUCTO DEL LOT, EN MENDE, PRIMER PUENTE VIAL DE DOBLE ACCIÓN MIXTA EN FRANCIA

CLÉMENT AMOURETTE, CEREMA - OLIVIER GRASSET, SIR MÉDITERRANÉE - MATHIEU FEREGOTTO, CEREMA - AMAURY HERRERA, CEREMA - FABIO MASOTTI, EIFFAGE MÉTAL

El viaducto del Lot marca la primera aplicación de la técnica de la doble acción mixta a un puente vial en Francia. *Esta innovación consiste en reforzar la solidez de las zonas soportadas por pilas, conectando un forjado inferior a las vigas metálicas del tablero. Esta técnica requiere adaptaciones del diseño de la estructura metálica, en especial una rigidización del arrostramiento de las vigas. Esta construcción de 323 m de longitud con cinco luces (53 m - 3x75 m - 45 m) es la primera etapa de la circunvalación de Mende por la carretera nacional RN88.* □



1

© ACTOPHOTO

AMÉNAGEMENT DE L'A480 À GRENOBLE POUR PLUS DE MOBILITÉ

AUTEURS : CÉDRIC LECOQ, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL GRANDS PROJETS, SPIE BATIGNOLLES VALÉRIAN -
XAVIER ABAD, DIRECTEUR DU PROJET A480, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

À L'ORIGINE, L'A480 AVAIT ÉTÉ CONÇUE COMME UN AXE DE LIAISON DESTINÉ À ACCUEILLIR QUOTIDIENNEMENT 75 000 VÉHICULES. OR LA FRÉQUENTATION EST ACTUELLEMENT DE 100 000 VÉHICULES PAR JOUR. L'A480 DOIT ÊTRE REPENSÉE ET RÉAMÉNAGÉE POUR S'INTÉGRER AU PLAN DE DÉPLACEMENTS À L'ÉCHELLE DE L'AGGLOMÉRATION DE GRENOBLE ET DU DÉPARTEMENT AFIN D'OFFRIR UNE MOBILITÉ LOCALE INTERCONNECTÉE. IL S'AGIT DE DÉSENGORGER LES 12,5 km DE CETTE AUTOROUTE URBAINE MISE EN SERVICE POUR LES JEUX OLYMPIQUES DE 1968.

L'objectif de ces travaux est de fluidifier la circulation autour de Grenoble et de sa métropole et de diminuer le temps de transport des usagers tout en assurant plus de sécurité et une meilleure intégration paysagère de ces infrastructures dans leur environnement urbain.

Le groupement d'entreprises est en charge des travaux de terrassements, ouvrages d'art, réseaux, assainissement et chaussées sur un tronçon de 4,5 km pour la mise à 2x3 voies dans les deux sens de circulation entre l'échangeur

du Rondeau et la sortie "Fontaine" (figure 2).

Cet élargissement à 2x3 voies doit impérativement être accompagné d'une voie réservée au covoiturage et à des lignes de bus et cars express afin de ne pas engendrer de trafic supplémentaire. À l'élargissement s'ajoutent le doublement du passage supérieur (PS) du Vercors par la réalisation d'un ouvrage supplémentaire, la régénération et le doublement de la portée du passage supérieur de Louise Michel et le prolongement du passage supérieur Catane

1- Vue d'ensemble côté Sud, avec le pont de Catane.

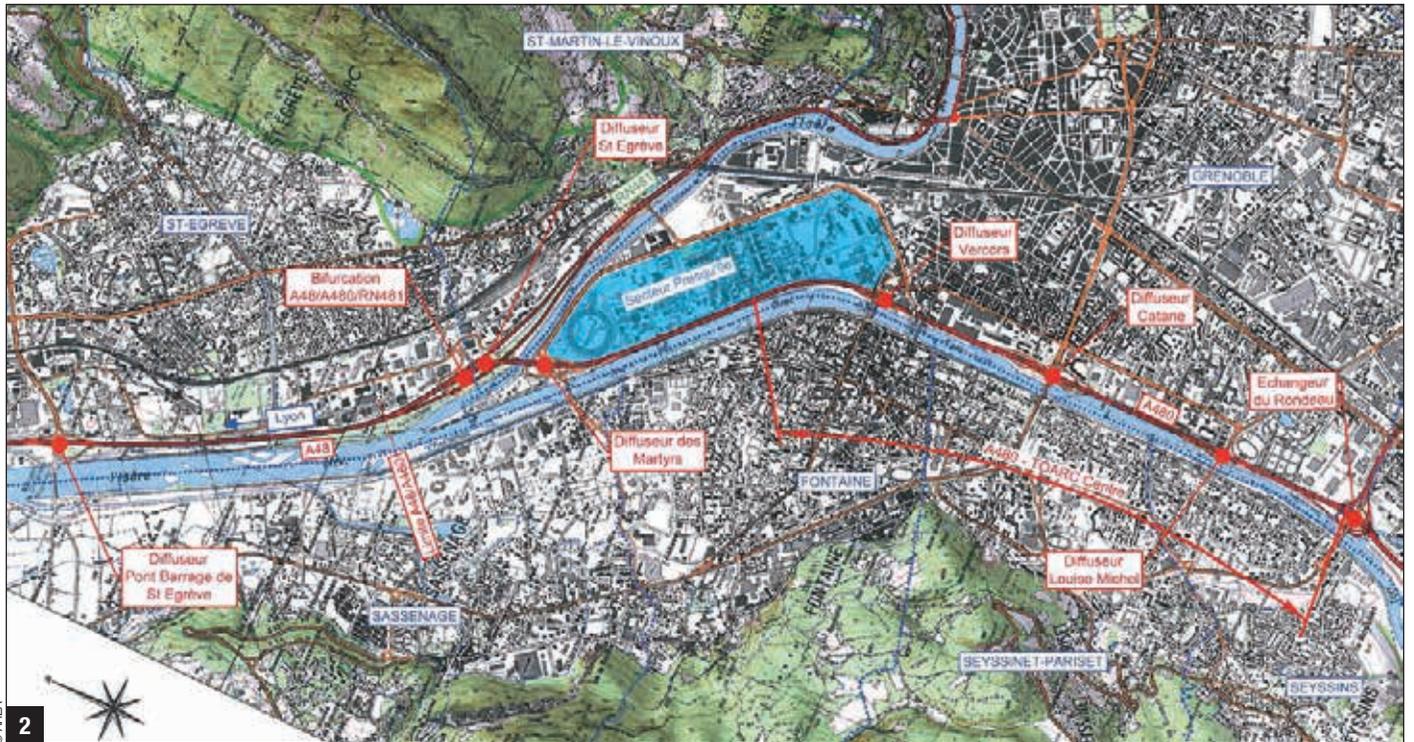
1- General view of South side, with Catane bridge.

par le ripage d'un pont cadre fermé (figure 1).

Pour pallier les difficultés liées au maintien en exploitation de l'autoroute et garantir la sécurité de tous, le groupement a proposé une alternative limitant

le nombre de coupures de nuit afin de diminuer la gêne des automobilistes. Il aura également dû faire face à des contraintes telles que l'insertion du projet entre la ville et la rivière Drac, ainsi qu'à l'acceptabilité du chantier.

Ces travaux d'envergure, devenus indispensables, ont été lancés en 2019. Lors du chantier, il a fallu créer des voies de circulation, les déplacer, les supprimer, en créer de nouvelles pour permettre aux usagers de continuer de rouler, avec le moins de gêne possible, tous les jours (figure 3). De nombreux



déplacements des sections courantes et des bretelles ont eu lieu, nécessitant la mise à jour hebdomadaire des plannings et l'adaptation en continu des Dossiers d'Exploitation Sous Circulation (DESC) soumis à l'autorité préfectorale. La gestion de projet avec le recours à la méthode du Last Planner System (LPS) a été déployée en utilisant les outils du Lean Construction : cela a permis le maintien du planning général malgré les nombreux aléas subis par le projet (intempéries, Covid, etc.).

2- Plan de situation.
3- Travaux de déviation de la circulation.

2- Location drawing.
3- Traffic diversion works.

RETOUR SUR LES DIFFÉRENTES PHASES DE TRAVAUX : FONDATIONS - PIEUX - PALPLANCHES

De nombreuses techniques de fondations et de soutènement sont utilisées le long du tracé de l'A480. Des parois clouées provisoires et/ou définitives, associées à du béton projeté, permettent de créer l'espace nécessaire à la construction des futurs ouvrages.

Les murs de soutènement et les bassins hors nappe sont réalisés à l'abri de tels soutènements.

Lorsque la nappe est interceptée par les bassins à créer, on utilise alors la technique des pieux sécants, voire du fonçage de palplanches. Ces rideaux relativement étanches permettent, associés à des tampons de béton, de réaliser les levées de bétonnage hors d'eau.

Un rideau quasi continu de palplanches est déployé le long du Drac avec une double utilité : réaliser un soutènement vertical et protéger l'autoroute des affouillements. En effet, l'autoroute A480 a la particularité d'être également la digue de protection de Grenoble contre les crues du Drac.

Enfin, les ouvrages d'art ou certains écrans anti-bruit nécessitent le recours à des fondations profondes. Des pieux de diamètre 600 à 1 000 mm reprennent les descentes de charges importantes des culées d'ouvrages, tandis que des micropieux sont utilisés lorsque l'exiguïté des lieux ne permet pas l'exécution de pieux traditionnels.

TERRASSEMENT - ASSAINISSEMENT

Depuis 2 ans, les équipes multi-métiers du groupement réalisent notamment des travaux de terrassement, remblais d'ouvrage, sols renforcés, assainissements, réseaux secs, équipements, chaussées et parements architecturaux et phoniques.





4

© SPIE BATIGNOLLES VALÉRIAN

L'utilisation de sols renforcés, associés ou non avec des panneaux en béton armé préfabriqués, a été massivement déployée le long du sens Sud-nord - côté ville de Grenoble (figure 4). Cette technique a l'avantage de s'affranchir de l'utilisation de fondations profondes, en reconstituant un remblai vertical de forte capacité apte à encaisser des descentes de charges importantes. Les terrassements, les réseaux d'assainissement et les réseaux secs se sont terminés en août 2021. Le mois de septembre a permis de finir de déployer les murs anti-bruit. S'en est suivie la reprise totale des chaussées dans les deux sens, afin d'appliquer la dernière couche en enrobés drainants.

CHAUSSÉES - ENROBÉS

La chaussée sera finalement élargie, sur des structures renforcées. Il est à noter la présence d'un revêtement de chaussée phonique qui atténuera à terme les émissions de 2 db : il est constitué d'enrobés drainants (figure 5). En octobre 2021, cette dernière couche va être appliquée en pleine largeur, de nuit, sous fermeture autoroutière. Les structures seront préalablement défilchées par rabotage afin de ramener un tapis final conforme en termes de confort routier. La signalisation horizontale et verticale définitives seront alors opérationnelles : la signalisation temporaire sera occultée.

TRAVAUX SPÉCIFIQUES : LE RIPAGE DU PONT DE CATANE

Le 17 août 2020 s'est déroulée une opération impressionnante du chantier d'aménagement de l'A480 : après

1 an de préparation, un portique de 2135 t de béton et d'acier a été juxtaposé par ripage au pont de Catane, en 20 minutes seulement, l'objectif de cette opération étant d'adapter la totalité du pont pour le passage de l'A480 à 2x3 voies (figures 6 et 7). Le ripage du cadre a mobilisé 4 Kamag de 26 m de long (remorques hydrauliques autopropulsées sur pneus), avec une précision de pose de 2 cm maximum, qui a nécessité un gros travail de synchronisation.

Cette nouvelle partie de pont a été installée à côté des plus anciennes datant de 1958 et 2005. Durant les travaux, la circulation a été maintenue pour les

piétons, les cyclistes et les bus relais. Le cadre en béton mesure 8,70 m de haut, 20,75 m de large et 18,20 m de long. Il a été préfabriqué dans l'axe de sa position définitive, ce qui a permis d'éviter un ripage transversal. La construction de l'aire de préfabrication et le ripage lui-même ont impli-

4- Sols renforcés.

5- Enrobé de la bretelle d'accès.

4- Reinforced soils.

5- Slip-road asphalt.

qué de lourds travaux préparatoires :

- Déviation de la bretelle d'entrée Catane ;
- Aménagement d'une plateforme haute ;
- Terrassement de la plateforme de préfabrication, à l'abri d'une paroi clouée ;
- Substitution de sol sur 70 cm pour obtenir 50 MPa de portance ;
- Démolition des murs en retour de la culée et de la paroi clouée existantes ;
- Sciage et démolition d'une partie des semelles de l'ancienne culée ;
- Mise en place d'une nappe drainante à l'arrière du voile Est.



5

© SPIE BATIGNOLLES MALET

UN PROJET ÉCOLOGIQUE DISPOSITIF DE PROTECTION DES EAUX

Les autoroutes construites durant les années 1970 n'étaient pas soumises aux règles que nous connaissons aujourd'hui. Elles étaient généralement dépourvues de dispositif de protection des eaux.

Le projet prévoit d'aller plus loin que les réglementations actuelles, avec notamment la création de nombreux bassins de traitement des eaux avant leur rejet dans le Drac ou l'Isère, construits sous les chaussées pour ne pas occuper d'espace supplémentaire.

Situés le long des autoroutes et de certains grands axes routiers, ces bassins ont pour vocation la collecte et la décantation au quotidien des eaux de ruissellement de la chaussée. Ils permettent notamment de retenir les huiles et les hydrocarbures. Dans l'emprise de travaux, il n'y avait pas la place de faire des bassins aériens. La décision a été prise de réaliser des bassins souterrains pour récupérer les eaux de pluie : les travaux sont donc plus longs à réaliser.

Tout un circuit de collecte des eaux est ainsi mis en place, par le biais de caniveaux à fente, de grilles et de regards. Elles cheminent jusque dans les bassins, où se trouve à nouveau un circuit pour faire décanter les particules présentes dans ces eaux pluviales qui concentrent la grande majorité des polluants. En sortie de ces grands réservoirs,



© ACTOPHOTO

6- Préparation au ripage du cadre.
7- Fin du ripage du pont de Catane.

6- Preparation for frame skidding.
7- End of Catane bridge skidding.

voirs, des cloisons siphonides piègent aussi les huiles et hydrocarbures restant en surface, car plus légers que l'eau, avant leur restitution au milieu. Enfin, sur chaque bassin construit, des vannes permettent d'isoler une pollution accidentelle en cas de besoin.

Lorsque les eaux sont décantées et aux normes de rejet, elles sont pompées dans le Drac avec un suivi, des stations de pompage, des alarmes, des téléalarmes, tout ceci étant piloté à distance. Ces dispositions sont très respectueuses de l'environnement. Le Drac va avoir de nouvelles digues, ainsi qu'une jolie promenade sur ses berges. Pour finir, les opérateurs ont prévu la plantation de 50 000 arbres en bordure de l'autoroute, dans l'espoir de réduire la pollution atmosphérique liée au trafic routier (figure 8).

CONSTRUCTION DE BASSINS DE RÉTENTION

Dans le cadre des travaux d'aménagement de l'A480, sont construits 17 bas-

sins anti-pollution : 5 à ciel ouvert et 12 enfouis pour la plupart sous la plateforme de l'autoroute.

Pour le TOARC Centre, il s'agit de créer 7 bassins sur 4,5 km : c'est un ratio très élevé.

Les travaux sont très contraints par le peu de place disponible, la présence de nombreux réseaux enterrés, d'ouvrages d'art et d'écrans acoustiques à construire. Il faut également s'assurer d'avoir des équipements de collecte et de traitement des eaux pas trop profonds pour que les eaux rejetées s'écoulent le plus possible par gravité jusqu'au Drac.

Trois de ces sept bassins se situent plus bas que le niveau du Drac nécessitant des stations de pompage additionnelles pour une évacuation vers cet exutoire.

Ces constructions en milieu confiné ajoutent un challenge technique supplémentaire car ces bassins s'apparentent à de vrais ouvrages d'art, calculés comme des ponts et auxquels il faudra accéder facilement pour l'exploitation et la maintenance.

Actuellement à l'air libre, le bassin de Catane passera totalement inaperçu puisqu'il sera enfoui en partie sous la chaussée et en partie sous le talus de l'accotement (figure 9).

Ses dimensions interpellent : alors que les bassins traditionnels dépassent rarement les 50 m de long, celui-ci atteindra 80 m ! De quoi stocker jusqu'à 1 500 m³ de volume utile à tout moment.



© AREA-WZA



8

© ACTOPHOTO

MOINS DE BRUIT POUR LES RÉSIDENTS

Jusqu'à présent, l'A480 était dotée de 900 m linéaires d'écrans de protection acoustique à hauteur du quartier Mistral et du pont de Catane. Dans le nouveau projet, il y en aura 6000 m, dotés d'une meilleure intégration urbaine et paysagère. L'horrible mur gris a été démoli pour laisser place à un nouvel ouvrage totalement végétalisé et absolument acoustique.

Cet ouvrage est constitué de gabions sur 6 km, le long de l'A480 (figure 10) avec rehaussement de 6 m à 8 m de la protection entre le quartier Mistral et l'autoroute. Ce dernier tronçon de mur

anti-bruit est en train d'être installé. Érigé sur 600 m de long, 8 m de haut et 5 m de large, il longe la cité Mistral. Le remplissage des gabions en galets, matériau qui absorbe le bruit. Il sera végétalisé l'hiver prochain.

LE CHANTIER DE L'A480 SE FLUIDIFIE GRÂCE AU LEAN

La méthode *Lean management* consiste à gérer dans le temps et dans l'espace les coactivités, afin que tout se passe du mieux possible, avec le moins d'interaction néfaste entre les corps de métiers sur le chantier. Elle s'appuie sur plusieurs types de réunions collabora-

8- Aménagements aux abords du Drac.

9- Bassin de Catane.

10- Mur anti-bruit en gabions.

8- Developments in the surrounds of the Drac.

9- Catane basin.

10- Noise-abatement wall of gabions.

tives, les premières définissant le cadre et le planning global de l'opération. Un *buffer* a été prévu, il s'agit d'un tampon de 6 mois qui permettrait de terminer les travaux en 30 mois.

Une fois par mois, le jeudi matin, la réunion Lean "études" identifie les personnes, ainsi que les dates d'envoi des documents au maître d'œuvre et aux différents services, afin de disposer d'un bon pour exécution des travaux le jour J. La démarche se décline ensuite dans un Lean "conduite de travaux" tous les jeudis après-midi. Avec un système de Post-it, la programmation des travaux est mise à jour sur une échéance de 3 semaines, échangeur



9

© ACTOPHOTO



10

© ACTOPHOTO



12
© SPIE BATIGNOLLES
GÉNIE CIVIL

11- Vue d'ensemble côté Nord.
12- Réunion Lean.

11- General view of North side.
12- Lean management meeting.

par échangeur, métier par métier, jour par jour. Chacun s'engage à effectuer telle tâche à telle date. Puis, c'est déployé auprès des chefs de chantier semaine par semaine. La planification

s'affine au jour le jour sur un mode collaboratif (figure 12). Cette démarche de plus en plus utilisée dans nos entreprises a été impulsée parce que le projet s'y prêtait bien :

8 corps de métiers différents, un planning relativement tendu qui pouvait être optimisé, une démarche sur un grand linéaire avec de fortes interactivités. Ce système remet les conducteurs de travaux et les chefs de chantier au centre du débat : il a été associé à une solution de digitalisation des process qui les aide également à s'extraire de la gestion quotidienne des données. La majeure partie des travaux, démarrés en mars 2019, s'est terminée cet

été afin d'assurer une livraison de l'ouvrage A480 auprès du client en fin d'année 2021 (figure 11).

Le chantier de l'A480 a entamé sa dernière ligne droite. Alors que la phase de balisage la plus longue, consistant à élargir l'autoroute sur les côtés, est terminée, le renforcement du terre-plein central (TPC) touche à sa fin et laisse la place à l'application des enrobés drainants en octobre, point d'orgue du projet ! □

CHIFFRES CLÉS

- Déblais : 220 000 m³
- Remblais : 170 000 m³
- Couche de forme : 90 000 m³
- Sols renforcés : 7 000 m²
- Chaussées : 120 000 t
- 4 700 mètres d'élargissement en l'agglomération
- 8 500 m³ de déblais et 5 000 m³ de remblais pour le bassin enterré de Catane
- 10 000 m³ de déblais et 4 600 m³ de remblais pour le bassin à ciel ouvert de Rondeau
- 4 700 m de rideaux de palplanches côté Drac
- Jusqu'à 150 collaborateurs mobilisés en période de pointe

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Area / Aprr

MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis (mandataire) / Ingérop

GROUPEMENT : Spie Batignolles Valérian (mandataire), Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Malet, Demathieu Bard, Soletanche Bachy France, Soletanche Bachy Fondations Spéciales, Balineau, Pass

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF THE A480 IN GRENOBLE FOR GREATER MOBILITY

CÉDRIC LECOQ, SPIE BATIGNOLLES VALÉRIAN -
XAVIER ABAD, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

Undergoing development supervised by project manager APRR Group, the A480, on the edge of the city of Grenoble (Isère region of France), prefigures the urban expressways of the 21st century. The A480, 15 km long, is a motorway artery that no longer satisfactorily meets the inhabitants' mobility needs. To correct this situation, AREA is undertaking major development works which will last until 2022. An urban expressway is above all an infrastructure that must be integrated into its environment. For this purpose, it must have a special architectural treatment, high-quality landscaping and very specific facilities for protection of the environment and the frontage residents. □

ACONDICIONAMIENTO DE LA A480 EN GRENOBLE PARA UNA MAYOR MOVILIDAD

CÉDRIC LECOQ, SPIE BATIGNOLLES VALÉRIAN -
XAVIER ABAD, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

La A480, objeto de obras de acondicionamiento a las afueras de la ciudad de Grenoble (Isère) bajo la dirección del grupo APRR, prefigura lo que serán las autopistas urbanas del siglo XXI. De 15 km de longitud, la A480 es un nodo de autopistas que ya no responde correctamente a las necesidades de movilidad de los habitantes. Para remediar esta situación, AREA está llevando a cabo importantes obras de acondicionamiento que se prolongarán hasta 2022. Una autopista urbana es ante todo una infraestructura que debe integrarse en su entorno. Para ello, debe recibir un tratamiento arquitectónico particular, ordenaciones paisajísticas de calidad y equipos muy específicos de protección del medio ambiente y los vecinos. □



DOUBLEMENT DE L'AUTOROUTE A10 - RÉALISATION DU VIADUC DE COURTINEAU

AUTEURS : SYBILLE COUREAUD, RESPONSABLE CONCEPTION ET VISA, INGÉROP -
JEAN-BRUCE BOISSON, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, ETPO -
NICOLAS QUERE, INGÉNIEUR TRAVAUX PRINCIPAL, NGE GC

DANS LE CADRE DU PLAN DE LA RELANCE AUTOROUTIÈRE, LES TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT DE L'AUTOROUTE A 10 ONT POUR OBJECTIF UNE MISE À 2x3 VOIES ENTRE VEIGNÉ ET SAINTE-MAURE-DE-TOURAIN. LE FRANCHISSEMENT DE LA VALLÉE DU COURTINEAU IMPOSE LA CONSTRUCTION D'UN OUVRAGE D'ART SUPPORTANT 3 FUTURES VOIES DE CIRCULATION. LES FORTES CONTRAINTES TECHNIQUES, ENVIRONNEMENTALES ET ARCHITECTURALES ONT CONDUIT LES CONCEPTEURS À OPTER POUR UN CAISSON EN BÉTON PRÉCONTRAIT RÉALISÉ PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS.



PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet de doublement de l'autoroute A10 s'inscrit dans le plan de relance autoroutière consistant en la modernisation des infrastructures autoroutières afin de soutenir la croissance économique des territoires, fluidifier le trafic et faciliter les accessibilités tout en améliorant la sécurité des usagers.

Ce doublement concerne la réalisation d'une voie supplémentaire dans chaque sens de circulation pour passer de 2x2 voies de circulation à 2x3 voies entre Tours (au niveau de l'échangeur A10/A85) et Sainte-Maure-de-Touraine sur environ 25 km.

1- Vue aérienne - Aménagements provisoires.

2- Vue aérienne de l'ouvrage.

1- Aerial view - Temporary developments.

2- Aerial view of the structure.

Les travaux ont été décomposés en de nombreux marchés dont un marché principal de travaux qui comportant quatre lots qui prévoient la réalisation de deux viaducs neufs mais

également des travaux sur de nombreux autres ouvrages d'art : mise en conformité des viaducs existants vis-à-vis de l'assainissement, démolition de passages supérieurs existants type PRAD et reconstruction, élargissement de passages inférieurs existants type PICF ou PIPO, réalisation de murs de soutènements et d'écrans acoustiques neufs, allongement de buses hydrauliques existantes et réalisation d'un bassin enterré neuf pour le traitement des eaux de la plateforme. La mise en service est prévue fin 2023. Le lot 2 concerne la réalisation du viaduc neuf de Courteineau (viaduc en caisson précontraint de 210 m de long construit par encorbellements successifs).

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La vallée de Courteineau est située sur les communes de Saint-Epain et Sainte-Maure-de-Touraine, dans le département d'Indre-et-Loire, en région Centre-Val-de Loire.

Ce nouvel ouvrage vient en doublement des deux viaducs existants (ouvrages de 212 m à six travées de type Homberg) et permettra de supporter un sens de circulation (Sud-Nord) constitué de trois voies routières de 3,5 m (figure 2). L'autre sens de circulation sera réparti sur les deux viaducs existants (deux voies par viaduc). Les travaux ont démarré en novembre 2019, après une période de préparation de 4 mois et se dérouleront jusqu'en début 2022. ▷

CONTRAINTES ET ENJEUX DE LA VALLÉE

Le site d'insertion du nouveau viaduc dans le paysage de la vallée du Courtimeau

Infrastructures

-  Viaduc
-  Zone d'insertion du futur viaduc

Occupation du sol

-  Espaces ouverts de type prairies, jardins
-  Espaces Boisés Classés (EBC)

Enjeux écologiques (source : Etude des Oiseaux, AFDL, Association Courtimeau, 2015)

-  Vallée de Courtimeau - ZNIEFF continentale de type II et corridor écologique selon le SRCE Centre-Val de Loire. Elle constitue un habitat pour de nombreuses espèces animales et végétales dont certaines sont protégées à proximité et sur le site d'insertion du nouveau viaduc : Epiphygène des vignes et Criquet pansu (enjeux moyens), Azurée des cyprès, Laithe digitale et Azurée des Coronilles (enjeux assez forts), Odonate de Jaubert (enjeu fort), airovaise à pattes blanches (enjeu très fort)

-  Cours d'eau et étangs
-  Zones humides

Patrimoine et loisirs

-  Éléments de patrimoine à préserver au titre du code de l'urbanisme (PLU de Saint-Epain)
-  Val de Courtimeau - itinéraire de la boucle vélo «boucle n°37 - Les trogots de Courtimeau»
-  Chemin de Grande Randonnée ; le GR655 est un chemin de Saint-Jacques de Compostelle

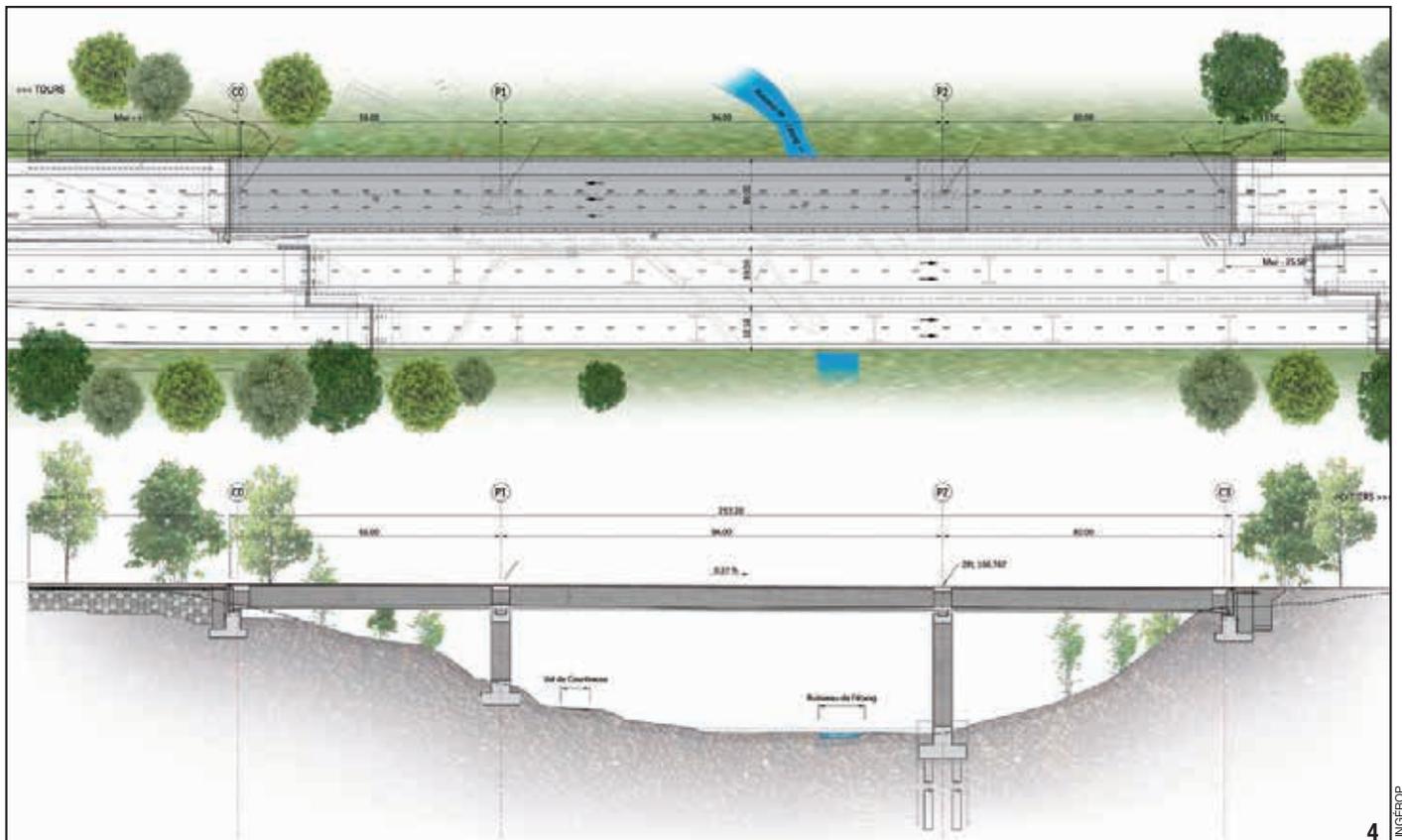
Éléments remarquables à proximité de l'A10

-  Habitats troglodytiques
-  Caves et grottes dans les creux de la vallée
-  Grands arbres et végétation dense servant à l'intégration des viaducs dans le paysage, notamment par le mouvement des feuillages, les variations d'ombre et de lumière qu'ils apportent devant la façade des ouvrages d'art



3

© INGEROP



4

© INGEROP

CONTRAINTES DE SITE LA VALLÉE DE COURTINEAU

La vallée de Courtineau présente de nombreuses contraintes, enjeux environnementaux et écologiques (figure 3).

Elle constitue un cordon boisé qui traverse le plateau agricole de Sainte-Maure-de-Touraine. Le ruisseau de l'Étang, affluent de la Manse, serpente au fond de la vallée qui se caractérise de fait par des zones humides. Identifiée comme corridor écologique par le SRCE Centre-Val-de-Loire, la vallée du Courtineau constitue également une ZNIEFF continentale de type II. Elle abrite de nombreuses espèces animales et végétales, dont certaines sont protégées.

Sur sa rive droite, la route du Val de Courtineau permet le franchissement de la vallée et dessert les habitations de riverains. La vallée est empruntée par un itinéraire cyclable : la boucle n°37, "les Troglos de Courtineau" qui mène vers la chapelle Notre-Dame-de-Lorette, inscrite à l'inventaire des Monuments Historiques.

Sur le versant Sud, les espaces boisés sont protégés en tant qu'Espaces Boisés Classés (EBC) par les PLU des communes.

Des caves et des grottes dont des habitations troglodytes sont présentes dans le coteau Sud.

À ces contraintes s'ajoute l'exigüité du site car la vallée présente un dénivelé de l'ordre d'une quarantaine de mètres depuis le plateau avec des coteaux à pentes très abruptes.



5
© GROUPEMENT ETPO - NGE GC

3- Contraintes et enjeux de la vallée.

4- Insertion du projet dans la vallée.

5- Pile P2.

6- Culée C3.

3- Constraints and challenges of the valley.

4- Integration of the project into the valley.

5- Pier P2.

6- Abutment C3.

INTÉGRATION DU VIADUC DANS LA VALLÉE

Le nouvel ouvrage doit permettre de franchir la vallée sur une longueur d'environ 210 m en préservant au maximum le fond de la vallée et en évitant la route du Val de Courtineau ainsi que le lit majeur du ruisseau de l'Étang. Les contraintes et enjeux du site (figure 4) ont amené à concevoir un ouvrage permettant :

- De limiter le nombre d'appuis en fond de vallée ;
- De réduire au maximum l'impact visuel dans la vallée ;

→ D'intégrer au mieux le nouvel ouvrage vis-à-vis de la vallée mais également des riverains.

Le choix du type d'ouvrage s'est porté sur un viaduc en caisson en béton précontraint (hauteur constante) permettant d'avoir des portées importantes. La hauteur constante amène une similitude avec les viaducs existants.

Les appuis ont été conçus en les allégeant au maximum. La solution retenue est un viaduc en caisson béton précontraint de trois travées (du nord au sud : 56 m - 94 m - 60 m) de 210 m de long.

La réalisation est prévue par encorbellements successifs avec des voussoirs coulés en place. Seulement deux appuis intermédiaires sont réalisés dans la vallée :

- Pile P1 à l'ouest de la route du Val de Courtineau ;
- Pile P2 à l'est du ruisseau de l'Étang.

Des écrans acoustiques ont été prévus en rive d'ouvrage pour limiter le bruit vis-à-vis des riverains.

CONTRAINTES D'ACCESSIBILITÉ

L'ouvrage est réalisé en site particulièrement contraint et à proximité de voies en exploitation (autoroute A10 et route du Val de Courtineau). En effet, l'ouvrage définitif se situe à moins de 3 m de l'autoroute existante et la pile P1 vient joxter la route du Val de Courtineau.

Pour réaliser ce type d'ouvrage (construction par encorbellements successifs) et compte tenu des contraintes définies précédemment (site en exploitation, exigüité du site, dénivelé important depuis la plaine, contraintes environnementales, etc.), des aménagements spécifiques ont été nécessaires (figure 1) :

- Balisage lourd le long de l'autoroute en exploitation ;
- Plateformes de chantier et pont provisoire pour permettre le franchissement du ruisseau de l'Étang et accéder à la pile P2 ;
- Échangeur de chantier et piste pour accès à la culée C3 ;
- Échafaudage d'accès aux têtes de pile et à la culée Nord ;
- Accessibilité aux différentes zones hors de l'autoroute en exploitation :
 - Piste de chantier,
 - Escaliers d'accès dans le coteau au nord et au sud ;
- Grue à tour au droit des deux piles permettant les approvisionnements des matériaux pour la réalisation des piles et du tablier après réalisation de plateforme spécifique ; ▷



6
© GROUPEMENT ETPO - NGE GC



7
© GROUPEMENT ETPO - NGE GC

- Grue en tête de la culée C0 permettant la réalisation de la culée, la préfabrication et l'approvisionnement des cages d'armatures des voussoirs ;
- Mise en place d'un tunnel de protection pour limiter les risques de chutes d'objet au droit de la route du Val de Courtineau ;
- Réalisation de 5 bassins d'assainissement provisoires dans la vallée et dans les coteaux pour le traitement des eaux de chantier.

La route du Val de Courtineau a été légèrement déviée vers le sud au démarrage des travaux pour permettre la réalisation de la pile P1 et permettre d'agrandir l'espace de stockage sur cette zone.

LES PILES

Les piles sont constituées de deux fûts rectangulaires de 2,1 m (l) x 4,5 m (L) espacés de 2,3 m (l) en béton C35/45. Ce vide permet de laisser passer la lumière et de limiter l'impact visuel. Les fûts sont jointifs en tête et en pied via un chevêtre en tête de 3,40 m de haut et d'un raidisseur en pied de 2,3 m de haut.

Les fondations des deux piles réalisées en C30/37 ont des caractéristiques différentes du fait de la géologie du terrain en place.

La pile P1, se située à proximité de la route du Val de Courtineau et de fait à proximité du coteau rocheux, est fondée superficiellement sur une semelle de 8,8 m (L) x 8,7 m (l) x 2,5 m (H). Elle s'appuie directement sur le rocher.

7- Bétonnage du VSP1.

8- VSP1.

7- Concreting segment VSP1.

8- Segment on pier VSP1.



8
© GROUPEMENT ETPO - NGE GC

La pile P2 située en fond de vallée à proximité du cours d'eau est fondée sur six pieux tubés en tête de diamètre 1,76 m de 17,6 m de long. La semelle en tête de pieu fait 15,85 m (L) x 10,44 m (l) x 3 m (H).

Les fûts des piles de 18,151 m de haut pour la pile P1 et 26,3 m pour la pile P2 ont été réalisés respectivement en quatre levées et six levées. Afin de garantir un cycle de réalisation d'une levée tous les 2,5 jours, un outil coffrant spécifique (figure 5) permettant un bétonnage en simultané des deux fûts de pile a été élaboré. Le béton C35/45 a été formulé avec un ciment CEM V afin de composer entre l'obtention d'une résistance à jeune âge conforme au cycle de réalisation et la garantie du critère RSI.

LES CULÉES

Les culées, réalisées en C35/45 situées en tête de coteau, reposent directement sur le bloc rocheux et sont fondées superficiellement.

Elles comportent de manière classique pour des culées perchées : un chevêtre, un mur garde-grève, des murs en retour et une dalle de transition.

Les culées ont été réalisées après terrassement du bloc rocheux et des remblais de la plateforme autoroutière. La réalisation de la culée C0, au nord,

a nécessité la réalisation d'une paroi clouée permettant le maintien de la plateforme autoroutière en phase provisoire mais également en phase définitive, la culée du nouvel ouvrage étant décalée en arrière de celle de l'ouvrage existant. La culée se prolonge au nord par un mur en sol renforcé de 45 m de long (surface 160 m²) en rive permettant de maintenir la future plateforme autoroutière compte tenu de la présence du coteau.

La culée C3 (figure 6), au sud, a été réalisée après confortement du sol : injections puis réalisation d'une paroi tirantée (14 tirants Dywidag Ø 47 mm - Longueur 22 m) permettant de reconstituer l'intégrité du bloc rocheux. Étant décalée en avant par rapport à la culée existante, elle est prolongée par des murs de soutènement en béton armé le long de la plateforme autoroutière existante.

LE TABLIER

Le tablier est un caisson en béton C45/55 précontraint réalisé par encorbellements successifs avec des voussoirs coulés en place.

Le caisson a une hauteur constante de 5 m, le hourdis supérieur permettant d'accueillir la nouvelle infrastructure a une largeur totale de 16,46 m. Le hourdis inférieur a une largeur de 6,5 m. Les âmes sont inclinées.

Le tablier est constitué de deux fléaux de 91 m de long et de deux parties sur cintre. La décomposition du tablier est la suivante :



9- Équipage mobile côté Poitiers.

9- Équipage mobile côté Poitiers.
10- Vue aérienne - Fléau 2.

9- Mobile rig on Poitiers side.
10- Aerial view - Cantilever section 2.

- Partie sur cintre côté C0 (Nord) : 7,835 m de long ;
- Voussoirs courants (13 par demi-fléau) : 3,205 m de long ;
- Voussoirs sur pile : 7,5 m de long ;
- Voussoirs sur culée : 2,8 m de long jusqu'à l'axe de l'appui ;
- Voussoirs de clavage : 3,254 m de long ;

→ Partie sur cintre côté C3 (Sud) : 8,633 m de long.

Le phasage général de réalisation est le suivant :

- Réalisation du fléau P1 (3500 t) ;
- Réalisation du fléau P2 (3500 t) ;
- Réalisation des parties sur cintre ;
- Clavage côté C0 ;
- Clavage entre les fléaux P1 et P2 ;
- Clavage côté C3 ;
- Mise en place de la précontrainte extérieure ;
- Réalisation des superstructures.

PRÉFABRICATION DES CAGES D'ARMATURES DU TABLIER

Afin d'améliorer les cadences de réalisation des voussoirs et les conditions de pose, et ainsi améliorer la sécurité des salariés, les cages d'armatures

de béton armé des voussoirs ont été préfabriquées sur des gabarits depuis l'aire de préfabrication installée à l'arrière de la culée Nord.

Les armatures ont été préfabriquées en deux parties :

- U inférieur comprenant les armatures du hourdis inférieur et des âmes ;
- Hourdis supérieur.

VOUSSOIRS SUR PILES

Avant démarrage des voussoirs sur piles, des prédalles sont préfabriquées. Ces dernières servent de coffrage en sous-face du voussoir et permettent de conserver un coffrage constant avec les voussoirs courants pour la partie sur pile.

En effet, le tablier recevant un sens de circulation, il a une pente transversale unique à 2,5%. La mise en place des appareils d'appui nécessite d'avoir sur pile une sous-face du tablier horizontale. L'ajout des prédalles rattrape la pente du tablier sans prévoir un coffrage spécifique.

Pour les voussoirs sur pile, une plateforme de travail qui intègre également l'ensemble des dispositifs de sécurité et de circulation des compagnons est positionnée sur le chevêtre (figure 7). Les deux voussoirs sur pile étant décalés dans le temps, le même outil est réutilisé d'une pile à l'autre.

Le béton utilisé est un C45/55. S'agissant d'une partie d'ouvrage massive et afin de respecter l'élévation maximale du béton et satisfaire au critère RSI, le ciment utilisé est un CEM III (figure 8).

FLÉAUX

Après réalisation des voussoirs sur pile, des équipages mobiles (figure 9) sont installés de part et d'autre du voussoir sur pile.

Les équipages, conçus spécifiquement pour ce chantier, intègrent en plus des équipements nécessaires à la réalisation des voussoirs, les équipements de sécurité et d'accessibilité pour les compagnons.

Le tablier est réalisé de part et d'autre de chaque pile par paire de voussoirs pour permettre une réalisation symétrique et de fait une stabilité du fléau (figure 10). Cette stabilité est assurée par des câbles de clouage verticaux constitués de deux paires de 19T15S bouclés dans le chevêtre de chaque pile. Ils sont ancrés dans des blocs d'ancrage provisoires disposés sur l'extrados du tablier. Les têtes de piles sont équipées de cales provisoires au nombre de 8 assurant également la stabilité.



10- Vue aérienne - Fléau 2.

Chaque voussoir de 3,205 m de long est maintenu pendant la construction par des câbles intérieurs au béton (dans les goussets supérieurs du caisson). Cette précontrainte, dite de fléau, est activée après obtention d'une résistance suffisante sur le voussoir précédemment coulé. Onze des treize voussoirs de chaque demi-fléau sont tenus par deux câbles 19T15S (un dans chaque gousset). Les deux derniers voussoirs reçoivent quatre câbles 19T15S.

Pour permettre d'améliorer la cadence de réalisation et permettre un déplacement de l'équipage mobile avant mise en tension des câbles, les armatures de liaison des voussoirs ont été dimensionnées pour permettre l'avancement des équipages mobiles uniquement sur béton armé. La formulation du béton a été définie pour satisfaire cette possibilité d'avancement de l'équipage mobile avec une résistance de 12 MPa et la mise en tension des câbles de précontrainte de fléaux à 22 MPa. Cela a permis d'avoir une cadence par paire de voussoirs de 4j.

Afin de garantir le cycle durant l'hiver, des chaudières ont été installées dans les centrales à béton, pour obtenir un béton chaud pendant les périodes hivernales. Un système d'étuvage, mis en place en fin de bétonnage de chaque voussoir, permet de garantir une température 10°C supérieure à la température ambiante extérieure. Grâce à ces deux dispositions, l'obtention des résistances minimales permettant de garantir le cycle a pu être assurée avec des températures nocturnes négatives.

Chaque voussoir a fait l'objet d'un contrôle permanent de nivellement afin d'appliquer à chaque déplacement de l'équipage mobile les contreflèches de construction et permettre in fine les clavages et garantir la géométrie générale de l'ouvrage.



© GROUPEMENT ETPO - NGE GC

11- Travée sur cintre CO.

11- Span on arch CO.

PRINCIPALES QUANTITÉS

POIDS DU TABLIER : 8800 t
BÉTON : 8000 m³
ARMATURES DE PRÉCONTRAITE : 160 t
ARMATURES DE BÉTON ARMÉ : 1000 t
DEBLAIS : 16000 m³
PERSONNEL EN POINTE : 50

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Cofiroute
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingérop
LOT 2 : Groupement Etpo / Nge GC
PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS/FOURNISSEURS/PRESTATAIRES :

- Bureau d'études : Arcadis (génie-civil) - Apc (études géotechniques) - Etpo / Nge GC (Méthodes)
- Fondations profondes (yc bouchon injecté) : Nge Fondations
- Mur en sol renforcé : Terre Armée
- Armatures de béton armé : Welbond
- Précontrainte : Aevia
- Béton : Gme Unibéton / Bml
- Coffrage des piles : Clrm
- Équipage mobile et Coffrages VSP/VSC : Ersem
- Terrassement : Guintoli
- Soutènement (paroi clouée ou tirantée) et injection : Armor Fts
- Appareils d'appui : Freyssinet
- Corniche-caniveau-écran : Pont Equipement
- Barrières de sécurité : Desami
- Étanchéité : Eurovia

PARTIES SUR CINTRES

Les parties sur cintre sont exécutées depuis des étalements lourds (figure 11).

Ces étalements sont constitués de tubes métalliques, de profilés et de platelages. Les poteaux de ces échafaudages sont fondés sur des plots côté Nord et sur longrine sur micro-pieux côté Sud.

Le coffrage du tablier du voussoir sur culée est réalisé à partir du coffrage des voussoirs sur pile qui sont réutilisés.

CLAVAGE

Le clavage du tablier est réalisé à partir de l'équipage mobile ayant permis la réalisation des voussoirs courants.

Des câbles de continuité de précontrainte, dit "câbles éclisses", sont positionnés en partie inférieure du tablier dans le béton afin de reprendre les charges de ce voussoir de clavage et rendre continu l'ouvrage. Trois paires de câbles 19T15S sont prévus.

CÂBLES EXTÉRIEURS

Les câbles extérieurs sont mis en place après clavage de l'ensemble du tablier (tablier continu). Ils permettent de reprendre les surcharges et les charges permanentes hors poids propre du tablier repris par les câbles de fléaux.

Le viaduc de Courtineau est équipé de câbles extérieurs prévus en 27T15S. Le nombre maximal de câbles se situe dans la travée centrale de 94 m : 5 câbles 27T15S.

Les câbles les plus longs agissent sur deux travées pour une longueur de 157 m. □

ABSTRACT

DOUBLING THE A10 MOTORWAY - CONSTRUCTION OF THE COURTINEAU VIADUCT

SYBILLE COUREAUD, INGÉROP - JEAN-BRUCE BOISSON, ETPO - NICOLAS QUERE, NGE GC

Doubling the A10 motorway over 25 km between Tours and Sainte-Maure-de-Touraine requires the creation of a new crossing over Courtineau valley. Section 2 of the main works contract, costing €14.9 million, involves the construction of this new structure carrying three new traffic lanes (South-North direction), in parallel to the two existing viaducts which support a two-lane dual-carriageway (North-South direction). The constraints and challenges of Courtineau valley led to the choice of a prestressed concrete structure 210 metres long built by successive cantilevering, having a 94-metre main span and with a cast-in-situ deck of constant height. □

DUPLICACIÓN DE LA AUTOPISTA A10 - REALIZACIÓN DEL VIADUCTO DE COURTINEAU

SYBILLE COUREAUD, INGÉROP - JEAN-BRUCE BOISSON, ETPO - NICOLAS QUERE, NGE GC

La duplicación de la autopista A10 a lo largo de 25 km entre Tours y Sainte-Maure-de-Touraine requiere la creación de un nuevo paso sobre el valle de Courtineau. El lote 2 del contrato principal de obras, con un coste de 14,9 millones de euros, consiste en la realización de esta nueva construcción, que soportará tres nuevas vías de circulación (sentido Sur-Norte), en paralelo a los dos viaductos existentes, que soportan 2x2 vías (sentido Norte-Sur). Dadas las restricciones y desafíos que impone el valle del Courtineau, se ha optado por una construcción de 210 m de longitud de hormigón pretensado, formado por ménsulas sucesivas con una luz principal de 94 m y un tablero de altura constante colado in-situ. □

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

SPÉCIAL INNOVATION

957



INTERNATIONAL

962



ÉNERGIE

967



SOLS ET FONDATIONS

958



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

963



VILLE ET PATRIMOINE

968



ÉNERGIE

959



OUVRAGES D'ART

964



TRAVAUX SOUTERRAINS

969



MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

960



SOLS ET FONDATIONS

965



INTERNATIONAL

970



TRAVAUX SOUTERRAINS

961



SPÉCIAL GARES

966



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

971



*Offre valable jusqu'au 30/06/22



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 957 x | <input type="checkbox"/> 962 x | <input type="checkbox"/> 967 x |
| <input type="checkbox"/> 958 x | <input type="checkbox"/> 963 x | <input type="checkbox"/> 968 x |
| <input type="checkbox"/> 959 x | <input type="checkbox"/> 964 x | <input type="checkbox"/> 969 x |
| <input type="checkbox"/> 960 x | <input type="checkbox"/> 965 x | <input type="checkbox"/> 970 x |
| <input type="checkbox"/> 961 x | <input type="checkbox"/> 966 x | <input type="checkbox"/> 971 x |

Soit un montant total de :
_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 30/06/22 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi «informatique et des libertés» du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 ÉVIDENCE**

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



© WILLY BERRÉ

CONSTRUCTION D'UN PEM ET D'UN PRA À MONTAIGU

AUTEURS : TOMAS DE RIDDER, INGÉNIEUR MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
MAXIME VILLANI, RESPONSABLE STRUCTURE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
FRANÇOIS FONTAINE, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
GRÉGOIRE BOUGIE, DIRECTEUR DE TRAVAUX, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

EN GROUPEMENT AVEC VCT, ETF ET BOTTE, LES ÉQUIPES DE L'AGENCE DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION INFRA-GÉNIE CIVIL OUEST (MANDATAIRE), ONT EN CHARGE, EN GARE DE MONTAIGU, LA CONSTRUCTION D'UN PONT-RAIL (PRA) ET LA CRÉATION D'UN PASSAGE SOUTERRAIN POUR LE FUTUR PÔLE D'ÉCHANGE MULTIMODAL (PEM). LES TRAVAUX SONT MENÉS POUR SNCF RÉSEAU ET VISENT À RENDRE LA GARE ACCESSIBLE AUX PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE (PMR), FACILITER ET SÉCURISER SON ACCÈS PAR TOUS LES MODES DE DÉPLACEMENT ET APPORTER PLUS DE CONFORT AUX VOYAGEURS.

DESCRIPTION DES TRAVAUX

Le projet prend place autour de la gare de la commune de Montaigu en Vendée située sur la ligne SNCF entre Nantes et Saintes. Il consiste en deux opérations principales : la construction d'un pont rail (PRA) à 500 m au nord-est de la gare et la création du Pôle d'Echanges Multimodal (PEM) à la gare de Mon-

taigu. Cette dernière reste ouverte et opérationnelle pendant toute la durée du chantier.

Le PRA est un pont cadre en béton armé de classe C40/50, préfabriqué en fond de fouille, au sud des voies ferrées. L'ouvrage a une hauteur de 6,85 m, avec une ouverture droite de 11,25 m et une traverse d'épaisseur variable

1- Dépose du 1^{er} tablier auxiliaire du PRA.

1- Removal of the first auxiliary deck of the rail bridge.

allant jusqu'à 1,26 m. Il est complété de quatre murs en ailes. Deux des murs en ailes sont liaisonnés directement aux pénétrations de l'ouvrage lors de sa phase de préfabrication et les deux autres sont subdivisés en sept éléments, préfabriqués sur une zone dédiée au nord des voies. Ces derniers devant être posés à la grue dans un second temps, puis



© WILLY BERRÉ
2

liaisonnés au reste de la structure par des joints à embrèvements avec des bandes d'étanchéité collées.

Ce pont rail doit permettre le passage d'une double voie de circulation et d'un trottoir cyclable et piéton. Une des particularités de l'ouvrage est qu'il a un biais relativement important (112°) créant une dissymétrie de charge lors de son transport par remorques auto-motrices.

Le PEM consiste en la construction d'un passage souterrain en béton de classe C35/45 de 23 m sous les voies

2- Mise en place d'un camarteau béton sur le PRA.

3- Mise en place du premier tablier auxiliaire du PEM.

2- Placing a concrete stack on the rail bridge.

3- Placing the first auxiliary deck of the multimodal transport hub.

ferrées, constitué de deux parties coulées en place, au nord et au sud des voies, et de quatre cadres préfabriqués pour la zone située dans l'emprise du réseau ferroviaire. Les quatre cadres ont été préfabriqués sur place en vue d'être positionnés durant l'Opération Coup de Poing (OCP) n°3. Leurs dimensions sont de 3,80 m de haut, 5,10 m de large et une longueur comprise entre 3,65 m et 4,55 m pour un poids allant jusqu'à 80 t. Les colis sont de taille variable pour prendre en compte à la fois la capacité de levage de la grue

et la présence de câbles passant au-dessus des voies (caténaires, feeder et CDPA). L'épaisseur de la semelle, de la traverse et des piédroits est de 40 cm. Deux escaliers et deux rampes d'accès adaptés PMR, d'une centaine de mètres de long, viennent parachever cet ouvrage et permettront l'accès aux quais de la gare pour tous les voyageurs.

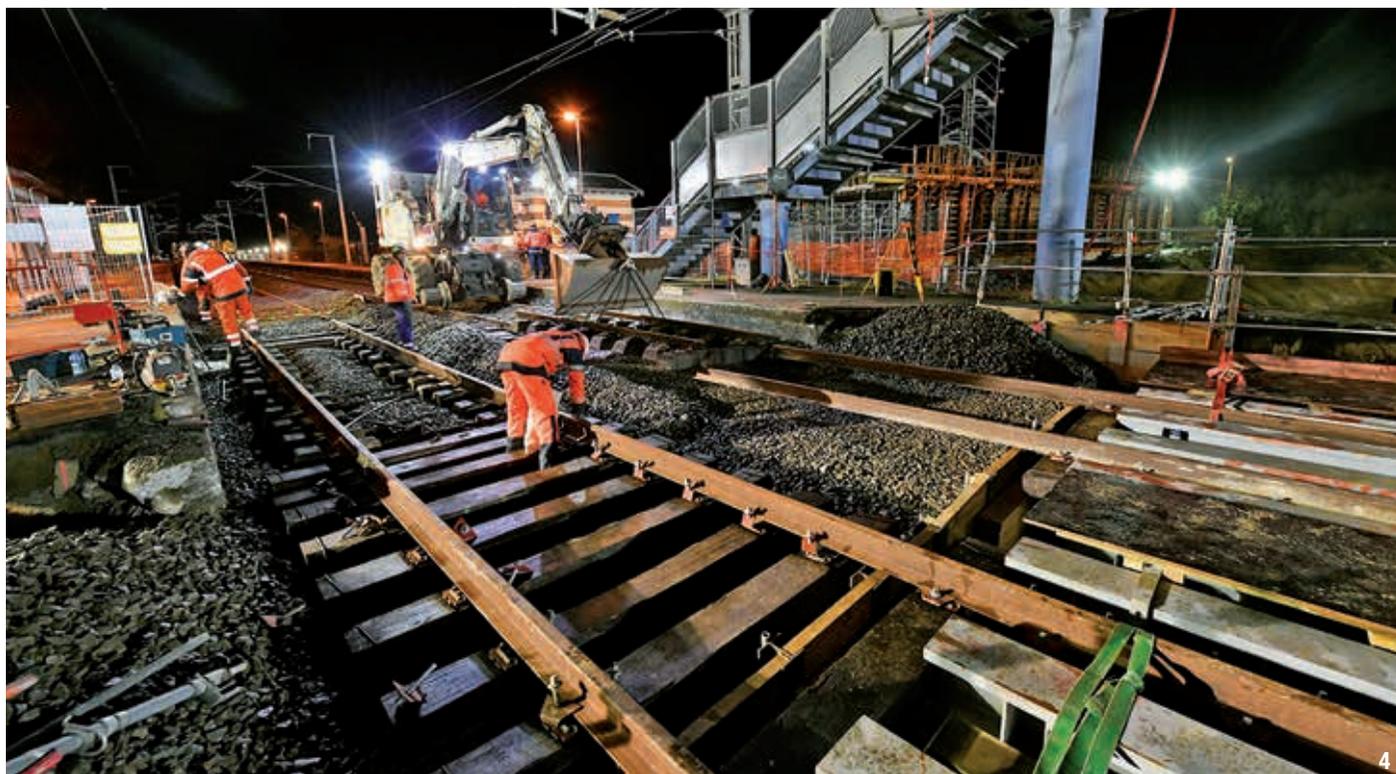
Les deux ouvrages ont été préfabriqués pour limiter au maximum les durées des OCP.

Pour la réalisation des deux ouvrages, la nature du sol a eu un impact majeur sur le déroulement des travaux.

En effet, la présence d'un granite avec une compacité extrêmement élevée impliquait des durées de terrassement non compatibles avec un maintien de la circulation ferroviaire. Pour remédier à cette difficulté, des tabliers auxiliaires, fournis par la SNCF, ont été mis en place sur des camarteaux en béton, préfabriqués sur site, au droit des futurs ouvrages. Ces ponts provisoires ont permis la réalisation des travaux de terrassement du rocher en journée, tout en maintenant la circulation des trains sur les deux voies impactées par les travaux. ▷



© WILLY BERRÉ
3



© WILLY BERRE 4

Le déroulement du chantier s'est donc totalement organisé et phasé autour de quatre périodes d'OCP principales, la troisième OCP étant double puisque des travaux étaient engagés en simultané sur le PEM et le PRA.

Ces opérations sont effectuées dans un laps de temps court avec de nombreuses tâches à réaliser, et nécessitent une préparation préalable de plusieurs mois.

Deux principaux risques pouvaient impacter les OCP :

→ Une défaillance mécanique des engins de levage et de ripage. Ce risque était contrôlé par la présence de mécaniciens sur le chantier pendant l'ensemble des phases critiques. De plus, les services de maintenance des prestataires et des fabricants du matériel étaient d'astreinte pour intervenir et assister le personnel sur chantier si besoin ;

→ Le risque climatique et notamment le vent qui, s'il était trop important, aurait empêché toute utilisation de la grue. Dans le cas de conditions météorologiques trop défavorables, la seule solution était d'attendre une diminution de la vitesse du vent pour procéder aux opérations de levage.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Avant le début des OCP, un certain nombre d'opérations ont été réalisées

de nuit, sous interruption temporaire de circulation des trains et consignations caténaires (ITC+CC) :

→ Des blindages ont été mis en place autour des fondations des poteaux caténaires et des fondations de la passerelle métallique existante qui étaient trop proches des futures fouilles ;

→ Des parois berlinoises tirantées ont été réalisées de part et d'autre des voies, au niveau du PEM pour la construction des futures rampes

4- Mise en place des panneaux de voies par Etf.

5- Plan d'installation de chantier OCP3.

4- Placing of the track panels by Etf.

5- Site layout plan OCP3.

PMR qui permettront l'accès au souterrain ;

→ Des travaux de minage ont été réalisés au nord et au sud du PRA pour faciliter les terrassements des futures voies routières.

D'autres opérations ont également permis de sécuriser la zone, comme la mise en place d'un Tancarville au niveau du futur PRA permettant de passer l'ensemble des réseaux au-dessus de la fouille et de parer au risque d'accident sur le chantier.

PLAN D'INSTALLATION DE CHANTIER OCP3



5

DEVIATHEU BARD



6
WILLY BERRÉ



7
WILLY BERRÉ

OPÉRATIONS COUP DE POING 1 ET 2

Les deux premières opérations coup de poing, d'une durée de 32 h étaient de même nature :

- Le weekend du 12/13 décembre 2020, deux tabliers auxiliaires de 30,60 m et 76 t ont été installés en lieu et place du futur PRA ;
- Le weekend du 13/14 mars 2021, deux tabliers auxiliaires de 22 m et 56 t ont été installés à la position du futur passage souterrain du PEM.

Les équipes du groupement se sont relayés 24 heures sur 24 pendant ces deux weekends pour réaliser :

- La dépose des voies ferrées existantes ;
- Le terrassement de la fouille (figure 6) pour la pose des camarteaux et des tabliers auxiliaires. La nature du sol rendant les opérations de terrassement et de réglage du fond de fouille particulièrement complexes ;

6- Terrassement de la fouille par Vct.

7- Mise en place d'un mur en aile préfabriqué du PRA.

8- Modèle 3D du PRA avec les remorques automotrices et le système de maintien et de butonnage de l'ouvrage.

9- PRA préfabriqué avant le ripage.

6- Excavation earthworks by Vct.

7- Putting in place a prefabricated wing wall of the rail bridge.

8- 3D model of the rail bridge with the self-propelled trailers and the structure retaining and shoring system.

9- Prefabricated rail bridge before skidding.

- La pose des camarteaux préfabriqués en béton fondés superficiellement dans les arènes granitiques (figure 2) suivie de la pose des tabliers auxiliaires métalliques prééquipés de leur panneau de voie (figure 3). Ces éléments ont été mis en place avec des grues mobiles installées spécifiquement pour les OCP (respectivement de capacité 750 t et 700 t). Les tabliers auxiliaires étaient équipés d'accotements amovibles pour garantir la sécurité à la fois sur le chantier et pendant l'exploitation des voies ;
- Le remblaiement derrière les camarteaux par couches successives pour garantir la portance de la plateforme ferroviaire ;
- La repose des voies ferrées (figure 4) pour la reprise de la circulation ferroviaire à la fin des opérations.

Une fois les tabliers auxiliaires en place, les opérations de terrassement sous l'intrados ont pu commencer. En raison de la dureté du sol, les équipes de terrassement ont réalisé une partie de

l'extraction des roches à l'explosif sous ITC (Interruption Temporaire de Circulation) des trains, de part et d'autre des voies ferrées. Au niveau du PRA, compte tenu de la profondeur de la fouille, une paroi clouée a été réalisée pour stabiliser les talus. La semaine précédant l'OCP n°2 (sur le PEM), les prévisions météorologiques étaient défavorables pour le weekend avec des rafales de vent prévues à plus de 85 km/h.

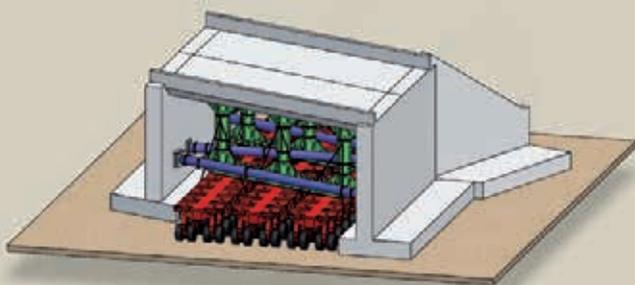
Un vent trop important pouvait empêcher l'utilisation de grue et donc décaler la réouverture des voies à la fin du weekend. Des compléments d'analyse et des adaptations de méthodologie ont néanmoins permis d'avoir une validation de la maîtrise d'ouvrage quelques heures avant le démarrage de l'OCP. Les conditions légèrement plus clémentes que prévues et une bonne anticipation des aléas ont permis de rendre les voies avec une avance satisfaisante.

OPÉRATION COUP DE POING 3

La troisième opération a eu lieu les 22, 23 et 24 mai 2021 sur une durée ▷

MODÈLE 3D DU PRA

avec les remorques automotrices et le système de maintien et de butonnage de l'ouvrage



8
SCALES



9
WILLY BERRÉ



10

© WILLY BERRÉ



11

© WILLY BERRÉ

totale de 45h et a mobilisé plus de cent-vingt personnes dans les deux zones du chantier (figure 5). Plus particulièrement, pour les travaux de génie civil réalisés par Demathieu Bard, c'est une équipe de 45 personnes, renforcée ponctuellement avec des compagnons de André Btp (filiale nantaise du groupe Demathieu Bard) qui a œuvré sur le chantier tout au long de l'OCP. Le weekend a débuté avec l'interruption du trafic ferroviaire et la dépose des caténaires afin de permettre la dépose des voies ferrées. Les équipes de génie civil ont pu, à la suite, retirer les tabliers auxiliaires (figure 1) et procéder à l'évacuation des camarteaux sur les deux ouvrages.

L'OCP s'est poursuivie sur la zone du PRA par le ripage transversal sur 26 m du pont rail à l'aide de douze remorques modulaires autopropulsées munies de trois power packs (figures 8 et 9).

L'ensemble était équipé d'une structure de supportage métallique permettant de répartir précisément les charges dans l'ouvrage définitif et de reprendre les efforts horizontaux de freinage et d'accélération.

Trois butons reprenant jusqu'à 100 t d'effort de compression bloquaient les déplacements vers l'intérieur des piédroits lors du transport de l'ouvrage. Les butons étaient équipés de cales biaisées de part et d'autre pour garantir la répartition des efforts dans les piédroits et étaient préchargés par des vérins pour limiter les déplacements lors de la prise en charge de l'ouvrage. Un premier déplacement de l'ouvrage a eu lieu dans la semaine avant l'OCP pour vérifier l'ensemble des équipements et assurer le bon fonctionnement avant le weekend. À l'achèvement de

la pose définitive de l'ouvrage dans les tolérances imposées par la maîtrise d'œuvre, les sept murs en aile préfabriqués de hauteurs variables (de 2,5 m à 7,1 m de haut) ont été mis en place à l'aide d'une grue mobile 750 t (figure 7).

Côté PEM, les quatre cadres préfabriqués de l'ouvrage du passage souterrain d'un poids maximal de 80 t ont été mis en place à l'aide d'une grue 700 t sur un lit de sable nivelé (figure 10). Un clavage béton étant prévu entre les pièces préfabriquées pour garantir la continuité de l'ouvrage.

Une fois les ouvrages en béton en place et les raccords d'étanchéité réalisés, le remblaiement a pu commencer. À noter qu'au droit du PEM, deux

10- Mise en place des cadres préfabriqués du PEM.

11- Utilisation d'un convoyeur à bande pour l'apport en matériaux par Vct.

12- Passerelle métallique existante (plan d'archive).

10- Placing the pre-fabricated frames of the multimodal transport hub.

11- Use of a belt conveyor for supplying materials by Vct.

12- Existing steel foot bridge (archive drawing).

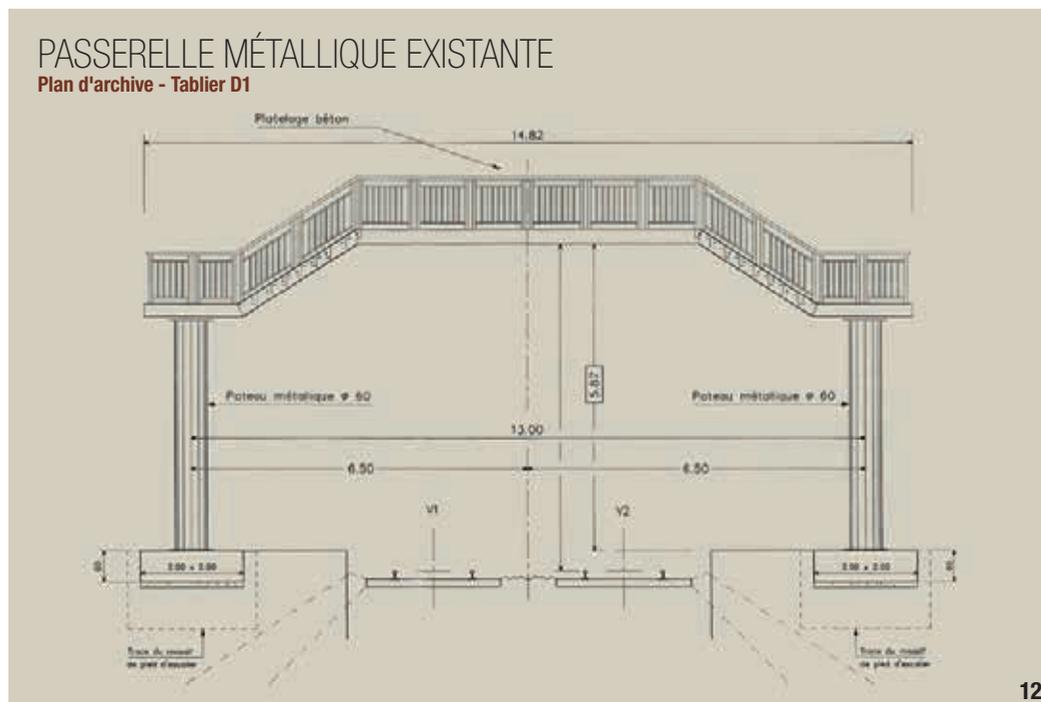
convoyeurs à bande ont facilité l'apport en matériaux au droit de la zone de remblaiement, ce qui a permis d'optimiser les cadences de cette opération (figure 11). Cette méthodologie a permis une meilleure maîtrise des délais pour cette OCP.

L'OCP s'est achevée par les opérations de ballastage et de repose des panneaux de voie et enfin la remise en place des caténaires.

À la fin du weekend, les tabliers auxiliaires ont été chargés par les grues sur des remorques extra-longues pour leur retour aux zones de dépôt SNCF.

OPÉRATION COUP DE POING 4

Lorsque le passage souterrain et les escaliers d'accès du PEM ont été



12

© SNCF EQUIPEMENT



© WILLY BEFFRE
13

achevés, ils ont été mis en service et ouvert au public.

La passerelle existante (figure 12) a alors été fermée et la quatrième opération coup de poing a pu avoir lieu. Cette opération, qui est aussi la plus courte,

13- PRA en cours de préfabrication.

13- Rail bridge undergoing prefabrication.

a eu lieu le weekend du 28/29 août, sur une durée de 12 h. Elle a permis la dépose de la passerelle existante qui enjambe les voies.

La passerelle a été déposée en trois levages principaux, les deux escaliers d'accès et le tablier principal. Cette OCP s'est achevée avec la dépose des quatre poteaux supports actuels de la passerelle.

PRÉSENTATION DU MATÉRIEL UTILISÉ

Pour la réalisation de ces ouvrages, une grande partie du matériel a été fournie directement par la société de matériel du groupe Demathieu Bard (DBSM). Les éléments verticaux ont été réalisés avec des banches Simpra (figure 13) conçues spécifiquement pour Demathieu Bard Construction et limitant le nombre de tiges dans le béton. L'étalement était constitué de matériel Touréshaf Mills, offrant une sécurité renforcée lors du montage et du démontage et de plateaux coffrants spécifiques permettant directement le coffrage des goussets. Le coffrage des rampes a été réalisé en panneaux Doka Framax qui permettent une très grande flexibilité pour la réalisation de voiles à hauteur variable. L'ensemble des études de coffrage et d'étalement a été réalisé à la direction technique dans les bureaux de Woippy (57). Enfin une grue GTMR (Grue à Tour à Montage Rapide) a permis de réaliser une très grande partie des levages courants pendant toute la durée du chantier en apportant suffisamment de flexibilité sur les deux sites. □

CHIFFRES CLÉS

BÉTON COULÉ SUR PLACE : 1500 m³

ARMATURE POSÉES : 230 t

PAROIS BERLINOISES TIRANTÉES : 700 m²

VOIES FERRÉES DÉPOSÉES/REPOSÉES : 1200 m

TERRASSEMENT : 32 800 m³ dont 20 000 m³ dans le rocher

REMBLAIEMENT : 9 500 m³

MATÉRIEL PRINCIPAL POUR L'OCP3 :

- 2 grue Liebherr : une de 750 t et une de 700 t
- 12 remorques automotrices
- 11 pelles mécaniques (de 5 à 40 t)
- 5 dumpers et 4 camions 8*4
- 2 tapis convoyeur (29 et 22 m)
- 4 pelles et 1 dumper rail-route
- 1 bourreuse type 109

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MOE/MOA : SNCF réseau

GROUPEMENT CONSTRUCTEURS :

- Génie Civil : Demathieu Bard (Mandataire du groupement)
+ prestataires manutention :
 - Scales pour le ripage par remorques modulaires autopropulsées
 - Mediaco pour le levage des tabliers auxiliaires et la pose des quatre cadres préfabriqués de l'ouvrage du passage souterrain
- Terrassement : Vinci Construction Terrassement
- Travaux ferroviaires : Etf
- Soutènements : Botte Fondations

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF A MULTIMODAL TRANSPORT HUB AND A RAIL BRIDGE AT MONTAIGU

TOMAS DE RIDDER, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - FRANÇOIS FONTAINE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GRÉGOIRE BOUGIE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

In four lightning operations, Demathieu Bard, Botte, Vct, Etf and their subcontractors set up two main structures around Montaigu Station. Long months of preparation and substantial human and material resources were deployed to perform these operations. Four temporary auxiliary decks enabled excavation of the rocks while keeping the tracks in service. A rail bridge was then placed in position by skidding on self-propelled trailers. An underpass was prefabricated and hoisted into position by crane with a 750-tonne mobile crane. All the operations were carried out successfully, within the deadlines set by the client. □

CONSTRUCCIÓN DE UN POLO DE INTERCAMBIO MULTIMODAL Y UN PUENTE FERROVIARIO EN MONTAIGU

TOMAS DE RIDDER, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - FRANÇOIS FONTAINE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GRÉGOIRE BOUGIE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Cuatro operaciones relámpago han permitido a Demathieu Bard, Botte, Vct, Etf y sus subcontratistas erigir dos construcciones claves alrededor de la estación de Montaigu. Estas operaciones han precisado largos meses de preparación y la movilización de importantes medios humanos y materiales. Cuatro tableros auxiliares provisionales han permitido excavar las rocas manteniendo las vías en servicio. A continuación, se ha construido un puente ferroviario por ripping sobre remorques automotores. Utilizando una grúa móvil de 750 t, se ha instalado un paso subterráneo prefabricado. El conjunto de las operaciones se ha realizado con éxito, en los plazos fijados por el cliente. □



1

© DEMAIN ARCHITECTURE PAYSAGE

RÉHABILITATION ET TRANSFORMATION DU PONT DE FER DE MOULINS

AUTEURS : LAURENT KASAZIAN, DIRECTEUR DE PROJET, QUADRIC - PASCALE GUICHON, EXPERT ÉTUDES ET DIAGNOSTIC, QUADRIC - DIEGO ROMERO, ARCHITECTE, DEMAIN ARCHITECTURE PAYSAGE - NADINE BOURLEAU, MAÎTRE D'OUVRAGE, MOULINS COMMUNAUTÉ

ACHEVÉ EN 1859, LE PONT DE FER EST UN OUVRAGE EMBLÉMATIQUE DE LA VILLE DE MOULINS. IL A JOUÉ UN RÔLE MAJEUR DANS LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL DE LA VILLE AU XIX^e SIÈCLE ET AU DÉBUT DU XX^e SIÈCLE. IL EST DÉSFFECTÉ DEPUIS DEUX DÉCENNIES. L'AGGLOMÉRATION MOULINOISE A CHOISI DE LE RÉHABILITER AFIN DE CRÉER UN NOUVEAU LIEN ENTRE LES DEUX RIVES DE L'ALLIER. IL S'AGIT AINSI DE RÉNOVER UN OUVRAGE MÉTALLIQUE ANCIEN ET DÉGRADÉ AFIN DE LE TRANSFORMER EN UNE PASSERELLE PIÉTONNE DESTINÉE À DEVENIR UN NOUVEAU MARQUEUR DE LA VILLE.

LE CONTEXTE

La ville de Moulin a entrepris une métamorphose de ses berges avec pour but de reconnecter le cœur de l'agglomération avec son patrimoine paysager, architectural et environnemental, en renforçant le caractère naturel des lieux, en valorisant des relations entre ville et rivière (habitat, activités touristiques, promenades pédestres et cyclables...) et en améliorant l'esthétisme général des berges. En ce sens des aménagements des berges de l'Allier ont été réalisés, principalement en rive droite, en faveur des déplacements en modes doux. Aujourd'hui un seul ouvrage permet le franchissement de la rivière pour une circulation essen-

tiellement routière. Dans la logique de reconquête des berges il a été décidé de réhabiliter le pont de Fer en passerelle mode doux pour constituer l'un des trois franchissements de l'Allier sur le territoire de la ville de Moulin. Il viendra ainsi compléter les franchissements du pont Régemortes et du deuxième pont routier situé bien plus au nord, prévu pour l'automne 2023.

L'OUVRAGE EXISTANT

Le pont de Fer ou pont Noir est un ouvrage emblématique de la ville de Moulin, il s'agit en effet de l'un des premiers ponts métalliques d'envergure construits en France (figure 2). Propriété de la SNCF, il a été remis à

1- Vue aérienne de la passerelle finie.

1- Aerial view of the finished foot bridge.

et 42 m pour les travées intermédiaires. Le relatif déséquilibre des travées est compensé par la présence de massifs contrepoids au droit des culées formés d'une enceinte en béton remplie de remblai. La structure du tablier est composée de deux poutres métalliques rivetées de 2,80 m de hauteur espacées transversalement de 8,60 m et reliées par des entretoises espacées de 3,50 m. Elles ont été complétées peu de temps après sa mise en service par des entretoises intermédiaires suite à la constatation d'un fonctionnement peu satisfaisant de l'ouvrage sous charge importante.

Le tablier est appuyé sur des piles en béton de chaux cyclopéen de 2,0 m de



© QUADRIC

diamètre entourées de coques en fonte. Les colonnes sont liées deux par deux par d'imposantes croix de Saint-André de 6,50 m de hauteur. Les culées sont composées d'une voûte en maçonnerie reliant deux massifs verticaux situés sous les poutres principales du tablier. Elles sont fondées à travers les remblais et supportent un garde-grève ainsi que les murs en retour sur les deux rives. L'appui est assuré par des plaques métalliques sur pile et des appuis balanciers sur culée. Enfin, le pont est fondé à l'aide de caissons en fonte ancrés dans 2,75 m moyen de marnes vertes et jusqu'à 10 m de profondeur depuis l'étiage. Ces fondations ont été mises en place par air comprimé. L'ouvrage a eu une vie riche de plusieurs transformations en fonction des époques et des besoins avec, notamment, la suppression d'une voie ferro-

2- Vue de l'ouvrage avant travaux.

3- Dégradation de l'anticorrosion.

2- View of the structure before the works.

3- Deterioration of the corrosion protection.

viaire, l'ajout d'entretoises intermédiaires, la remise en état de l'ouvrage en 1944, l'ajout de cerclages métalliques autour des fûts en fonte, de nombreuses modifications de son profil en travers et de ses équipements et, aujourd'hui, sa transformation en passerelle piétonne.

LE DIAGNOSTIC

L'ouvrage étant ancien et inutilisé depuis plusieurs dizaines d'années, une campagne de diagnostic étendue a été menée afin d'en apprécier l'état et la portance. Ce diagnostic a révélé une détérioration modérée du tablier malgré une peinture de protection anti corrosion très dégradée voire inexistante par endroit (figure 3). Ce bon état relatif est dû à une bonne conception d'origine permettant une aération efficace du tablier, en effet seules les zones favorisant les retenues d'eau présentent des perforations.

Une analyse des peintures en place a révélé la présence de minium de plomb et de calamine. Preuve qu'aucune réfection récente n'a été réalisée. Les réfections successives ont été mises en œuvre par surcouches aboutissant à une épaisseur de complexe de

presque 1 mm. L'ensemble des coques des piles est fracturé et renforcé par des cerclages, eux-mêmes dans un état d'usure très avancé.

Les zones les plus inaccessibles ainsi que les piles ont été inspectées par drone télécommandé depuis la rive de l'ouvrage. Cette technique permet de reconstruire une image complète en haute résolution des poutres et des piles sans moyen d'accès lourd.

Ces images ont ensuite été examinées pour détecter des désordres éventuels. Un second passage du drone est ensuite opéré de manière à rediriger l'appareil vers des zones potentiellement plus critiques et analyser en direct les défauts.

S'appuyant sur des documents d'archive et les mesures réalisées sur site, la portance des structures principales et secondaires a été évaluée suivant les règlements de l'époque de construction.

Les chargements de passerelle sont en général largement couverts par les charges ferroviaires prises en compte pour ce type d'ouvrage. Néanmoins, la structure ajoutée, les objets et en particulier la "tour nuage" ont une masse non négligeable et induisent des efforts horizontaux inhabituels dont il convient de mesurer l'impact.

À noter qu'une conduite d'adduction d'eau potable de diamètre 600 mm doit rester en place et en service pendant l'ensemble des opérations de réhabilitation et de mise en œuvre de la passerelle. Cela a eu une influence sur les méthodes mais également la conception des différents éléments. ▷



© QUADRIC

LA RÉHABILITATION

Compte tenu du bon état relatif des peintures et de la surface totale des éléments métalliques existants, il a été choisi de ne réaliser qu'une réfection partielle de la peinture anticorrosion dans les zones rendues inaccessibles par la passerelle et les équipements mais aussi dans les zones soumises à l'humidité.

Les superstructures ferroviaires ainsi que les platelages de service ont entièrement été déposés à l'avancement depuis les deux rives à l'aide de matériel roulant sur rail (figure 4).

Ensuite, pour reprendre les zones dégradées et notamment les peintures, deux plateformes suspendues de 21,0 m de longueur ont été nécessaires. La première servait uniquement à la réalisation du grenailage, elle était ainsi couronnée d'une structure roulante posée sur l'aile supérieure des membrures des poutres principales. Du fait des projections conséquentes et de la présence de plomb dans les peintures, cette enceinte est rendue entièrement étanche (figure 5). Cette étape est par ailleurs rendue particulièrement longue et difficile du fait de la présence de calamine. Dans un second temps, les défauts de laminage, tôles manquantes, arrêtes vives et autres imperfections empêchant la réalisation de la nouvelle peinture anticorrosion ou le montage de la passerelle sont élimi-



4
© CMB

nés. Certaines entretoises sont renforcées afin d'accueillir les futurs objets d'animation le long de la passerelle. Enfin, le complexe est appliqué sur la charpente métallique existante. L'aire totale des poutres n'étant pas traitée, une surface complémentaire destinée à la reprise est prévue sur 45 cm. Cette surface sera alors avivée par tranches de 15 cm afin de retrouver les trois couches de peinture du complexe. Cela permettra de recouvrir par lit la peinture et éviter des zones de fragilité trop importante.

Les cerclages existants étant endommagés, des nouveaux éléments renforcés en acier ont été posés sur chaque pile afin de préserver l'intégrité de la coque en fonte. Les sommiers des piles ont également été étanchés pour pré-

4- Démontage des superstructures.

5- Chapiteau de grenailage.

4- Dismantling the superstructure.

5- Shotblast capping.

venir les infiltrations d'eau qui avaient pour effet de lessiver les bétons des piles. De la même manière les culées sont étanchées afin d'éviter les infiltrations d'eau à travers les massifs contre-poids responsables de la dégradation des appareils d'appui.

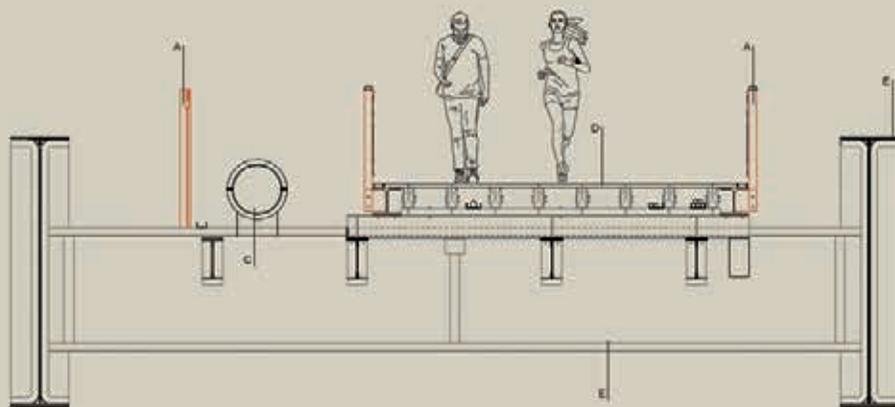
LE PROJET

Le projet consiste en la mise en œuvre d'une passerelle de 3,90 m de largeur sur la longueur totale de l'ouvrage. Elle est constituée d'une structure métallique recouverte d'un platelage en chêne de classe 4 adaptée aux conditions climatiques extérieures (figure 6). Le pas des entretoises hautes de 3,50 m et le pas des fixations des rails ont défini l'ensemble de la géométrie de la structure métallique de la passerelle (figure 7). En effet, dans l'optique de la fin de concession et la remise à la SNCF de l'ouvrage, il était nécessaire de ne pas modifier la structure des longerons supports de rails. Les fixations des HEB 240 constituant les traverses métalliques sont donc placées dans les anciennes réservations tous les 2,33 m. Un calage vertical fin des traverses a été nécessaire afin de reproduire un profil en long régulier pour la passerelle. Dans le but de faciliter la pose du platelage définitif, des lambourdes en bois sont disposées avec un pas latéral de 60 cm. La longueur de l'ouvrage impose que le platelage soit dimensionné pour le passage des véhicules légers de secours afin de pouvoir atteindre rapidement le centre de l'ouvrage depuis les deux rives. Il en découle des épaisseurs de lame de platelage de 50 mm. En outre, le traitement antidérapant de ces lames n'utilise pas de résine ou de revêtement



5
© CMB

COUPE TRANSVERSALE DE LA PARTIE COURANTE



- 6- Coupe transversale de la partie courante.
- 7- Structure métallique neuve.
- 8- Prototype.
- 9- Éclairage de la partie courante.
- 10- Éclairage des abords.

- 6- Cross section of the continuous section.
- 7- New steel structure.
- 8- Prototype.
- 9- Lighting of the continuous section.
- 10- Lighting of the surrounds.

© DEMAIN ARCHITECTURE PAYSAGE



© MOULINS COMMUNAUTE

© MOULINS COMMUNAUTE

architecturale et les dispositifs d'éclairages, tout en masquant un maximum d'éléments techniques.

En effet, les garde-corps sont équipés de barres LED liées à une centrale unique donnant la possibilité de créer des animations lumineuses en jouant sur les couleurs et les défilements. Ces installations sont mises en place sur les poutres encadrant le platelage et sont destinées à éclairer la sous face du garde-corps. Cette installation crée un éclairage indirect peu lumineux afin de ne pas provoquer une nuisance vis-à-vis des espèces nocturnes pouvant vivre en sous-face du pont. Le pont étant dans une relative pénombre, un éclairage peu intense est suffisant pour assurer une bonne visibilité aux usagers (figures 9 et 10). Des mâts d'éclairage viennent compléter le dispositif pour amener un éclairage plus direct avec pour objectif d'apporter un certain confort au public. Les piles du pont sont également mises en valeur à l'aide de spots lumineux placés au centre des croix de Saint-André. Compte tenu de la complexité du calepinage, de l'éclairage et de la volonté d'obtenir une finition de qualité, un prototype complet de la section courante d'une longueur de 3 m a été monté sur site (figure 8). Ce prototype aura été le support permettant de comparer les différentes couleurs pour les habillages et les différentes variantes d'éclairage (teinte, orientation, position...).

LES ANIMATIONS

La passerelle étant très longue et offrant une vue vers le nord de l'Allier, des équipements particuliers ont été ajoutés sur trois zones de l'ouvrage afin d'en maximiser le potentiel. ▷

particulier, il est assuré par des saillies régulières et larges (10 cm).

La fixation des planches se fait donc par vis autoforante, ce qui a pour effet d'augmenter les cadences et diminuer la pénibilité du montage. Les éléments métalliques sont, quant à eux, galvanisés, assemblés et peints en usine, puis livrés sur site par module d'environ 5 m de longueur. Ils sont entreposés sur la berge en rive droite. Une grue lève ces modules jusqu'au tablier pour

assemblage sur la structure existante avec pour objectif de limiter les manutentions sur ouvrage.

La conception architecturale voulait que les montants des garde-corps courants soient le plus fins possible tout en respectant le pas des entretoises. Un pas au tiers de la distance entre celles-ci a donc été adopté soit 1,17 m. Ce choix ne permettait alors pas d'aligner tous les montants avec les traverses, les garde-corps sont ainsi disposés sur

un profilé HEB de torsion. Cette poutre servira également de support au liseré encadrant la structure et de point d'attache pour les éclairages inférieurs. Ce liseré métallique constitué d'un tube rectangulaire rattrapant l'épaisseur du platelage est reproduit sur l'ensemble de la structure et permet de délimiter visuellement la passerelle. Le choix d'un HEB en lieu et place d'un élément plus rigide en torsion a été guidé par les nécessités d'assemblage, de cohérence



11

© CMB

11- Montage du belvédère.

12- Vue architecte du belvédère.

13- Plan architecte du belvédère.

11- Assembly of the scenic lookout.

12- Architect's view of the scenic lookout.

13- Architect's plan of the scenic lookout.



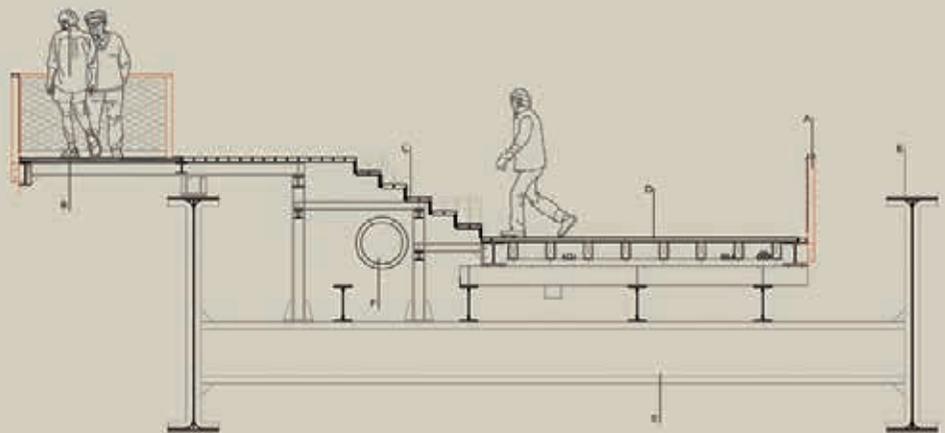
12

© DEMAIN ARCHITECTURE PAYSAGE

La conception et les dimensions de chacun de ces objets sont encore une fois intimement liées à la structure existante et notamment au pas des entretoises.

Deux animations sont relativement similaires, l'observatoire et le belvédère. Le premier est une avancée latérale destinée à surplomber la poutre Nord afin d'offrir un point de vue sur les berges sauvages de l'Allier. Il s'agit ici d'une structure métallique complémentaire qui a dû s'accommoder de la conduite secondaire (figure 11) et du pas des entretoises. Le second est un porte-à-faux qui surplombe l'Allier. Afin d'offrir un point de vue particulier aux utilisateurs, le belvédère (figures 12 et 13) est équipé de dalles de verre trempé sur une longueur de 2,0 m et une largeur de 11,0 m. L'ensemble des profilés est donc dimensionné en raideur du fait de la faible tolérance des dalles vis-à-vis des déformations différentielles. Les trois animations sont par ailleurs marquées par une rupture du schéma du platelage avec une dis-

PLAN ARCHITECTE DU BELVÉDÈRE

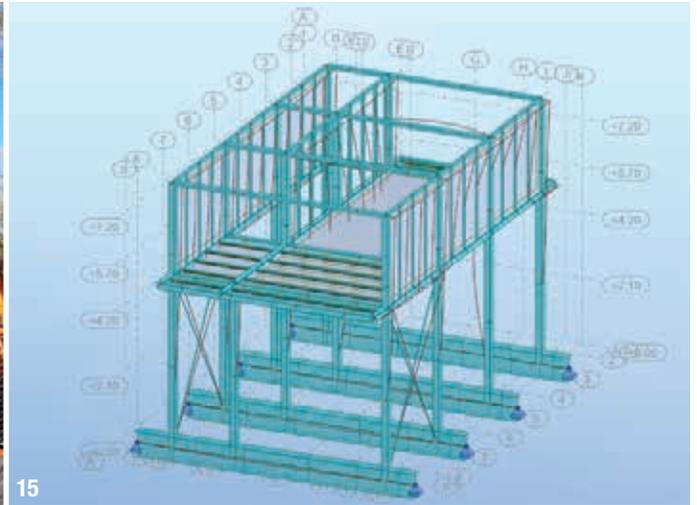


13

© DEMAIN ARCHITECTURE PAYSAGE



14
© MOULINS COMMUNAUTE



15
© QUADRIC

position en chevron au lieu de lames parallèles.

La tour nuage (figure 14) est une structure métallique tubulaire de 12,50 m par 6,50 m pour une hauteur d'environ 8,20 m, fixée sur les entretoises basses. Elle comporte un étage au niveau duquel est assemblé un filet hamac d'une dimension de 7,0 m par 4,50 m. La particularité de cette structure saillante verticale non contreventée dans le plan transversal, soumise au vent et équipée d'un hamac amenant essentiellement des charges horizontales, a nécessité d'apprécier les déformations à l'aide d'une modélisa-

14- Tour Nuage.
15- Modèle de calcul de la Tour Nuage.

14- Cloud Tower.
15- Design calculation model of the Cloud Tower.

tion complète de l'élément (figure 15). Cette tour est par ailleurs équipée d'un brumisateur permettant de recréer une ambiance de canopée et encourager l'utilisation du hamac. Le concepteur a

voulu qu'aucune plomberie ne traverse les éléments structuraux et des tubes secondaires servent au passage des réseaux nécessaires à cet équipement. La présence de cette brumisation a d'ailleurs conduit à la réfection complète de la protection anticorrosion autour de la tour nuage. De plus, un filet haut non escaladable entoure la structure à l'exception des deux balcons aménagés de part et d'autre de la tour. Compte tenu de ses dimensions, la structure métallique tour a été assemblée sur

les berges en contrebas du tablier puis levée à la grue pour prendre sa position finale. Contrairement aux autres éléments, elle a été peinte en partie sur site après finition des assemblages. Ces objets, comme l'ensemble de cette nouvelle passerelle, sont la somme de détails complexes aboutissant à une structure complète, cohérente et harmonieuse qui assure pleinement sa fonction de nouvel espace de vie pour les Moulinois tout en respectant le patrimoine. □

CHIFFRES CLÉS

- PLATELAGE BOIS : 1 500 m²**
- CHARPENTE MÉTALLIQUE NEUVE : 140 t**
- SURFACE DE REPRISE DE PEINTURE ANTICORROSION : 7 200 m²**
- BARRE ÉCLAIRAGE LED INTÉGRÉ : 300 u**
- COÛT DES TRAVAUX : 3,300 M€ HT**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Moulins Agglomération**
- MAÎTRE D'ŒUVRE DE L'OPÉRATION GLOBALE : Groupement Base / Artelia**
- MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LE PONT DE FER : Quadric (groupe Artelia), Atelier Lumière Pierre Nègre**
- ARCHITECTE : Demain Architecture Paysage**
- ENTREPRISE LOT STRUCTURE : Construction Métallique Bourbonnaise**
- ENTREPRISE LOT LUMIÈRE : Ceme**

ABSTRACT

RENOVATION AND CONVERSION OF THE MOULINS IRON BRIDGE

LAURENT KASAZIAN, QUADRIC - PASCALE GUICHON, QUADRIC - DIEGO ROMERO, DEMAÏN ARCHITECTURE PAYSAGE - NADINE BOURLEAU, MOULINS COMMUNAUTÉ

The Iron Bridge (or Black Bridge) is an emblematic structure of the town of Moulins. This property owned by SNCF has been handed over to the town of Moulins for a 30-year concession to make it into a soft transport foot bridge linking the two banks of the Allier. Built in 1858 entirely of iron, the deck has suffered moderate damage due to the lack of corrosion protection. After a complete diagnosis, the repair of the bridge was followed by its conversion into a foot bridge combining wood, metal, glass and concrete. Apart from this rather unusual frame, the bridge's originality is due to the existence of a scenic lookout, an observatory but also a tower on the structure designed to enliven the relative monotony of this new 330-metre living space for the inhabitants of Moulins. □

REHABILITACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL PUENTE DE HIERRO DE MOULINS

LAURENT KASAZIAN, QUADRIC - PASCALE GUICHON, QUADRIC - DIEGO ROMERO, DEMAÏN ARCHITECTURE PAYSAGE - NADINE BOURLEAU, MOULINS COMMUNAUTÉ

El puente de Hierro, o puente Negro, es una construcción emblemática de la ciudad de Moulins. Propiedad de SNCF, ha sido cedido al municipio de Moulins en el marco de una concesión de 30 años para convertirlo en una pasarela no motorizada que una las dos orillas del río Allier. Construido en 1858 y totalmente de hierro, el tablero ha sufrido deterioros moderados por la ausencia de protección anticorrosión. Tras un diagnóstico completo, se ha reparado el puente y, a continuación, se ha convertido en una pasarela que combina madera, metal y hormigón. Más allá de este marco poco común, la originalidad reside en la presencia sobre la construcción de un mirador, un observatorio y una torre, pensados para romper la relativa monotonía de los 330 m de este nuevo espacio de vida para los vecinos de Moulins. □



1
© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

UN PONT POUSSÉ SUR LA TÊT (PYRÉNÉES-ORIENTALES)

AUTEURS : JEAN-PIERRE VITU, DIRECTEUR DÉVELOPPEMENT, DIRECTION RÉGIONALE OCCITANIE -
FLORENT IMBERTY, DIRECTEUR DE LA DIRECTION INGÉNIERIE ET INNOVATION RAZEL-BEC

SUR LES RIVES DE LA RIVIÈRE TÊT DANS LES PYRÉNÉES-ORIENTALES, LES ÉQUIPES DE RAZEL-BEC PERPIGNAN ONT CONSTRUIT L'OUVRAGE D'ART OA6, UN PONT ROUTIER, EN SUIVANT LA MÉTHODE DES DALLES POUSSÉES DE PONTS MIXTES, UNE MÉTHODE BREVETÉE PAR RAZEL EN 1993 ET CONSTAMMENT MISE À JOUR DEPUIS. L'OA6, MAILLON FINAL D'UNE SÉRIE D'OUVRAGES RÉALISÉS PAR RAZEL-BEC SUR LA RD900, LA ROCADE DE PERPIGNAN, EST LONG DE 226 m ET COMPOSÉ DE TROIS PILES ET DEUX CULÉES, LARGE DE 14 m. LIVRÉ À L'ÉTÉ 2020, LE PONT A ÉTÉ OUVERT À LA CIRCULATION EN SEPTEMBRE 2020.

L'OUVRAGE

Constituée de quatre travées, trois piles en rivière et deux culées, la structure de l'ouvrage retenue est celle d'un bipoutre métallique : deux profilés en PRS (profilés reconstitués soudés) pour reprendre l'essentiel de la flexion, avec un tablier (dalle de compression) en béton armé (figure 1). Les trois piles architecturales sont fondées sur pieux. Sa section de 14,24 m offre deux voies de circulation et deux pistes cyclables.

L'attribution de chacun des matériaux dans leur domaine de prédilection est classique : deux poutres métalliques en bas ($H=2$ m environ) pour la flexion et une dalle mince en béton armé formant membrure de compression.

LA MÉTHODE

La méthode traditionnelle pour réaliser ce type de tablier consiste à mettre en place la charpente (généralement par lançage), puis à couler la dalle en

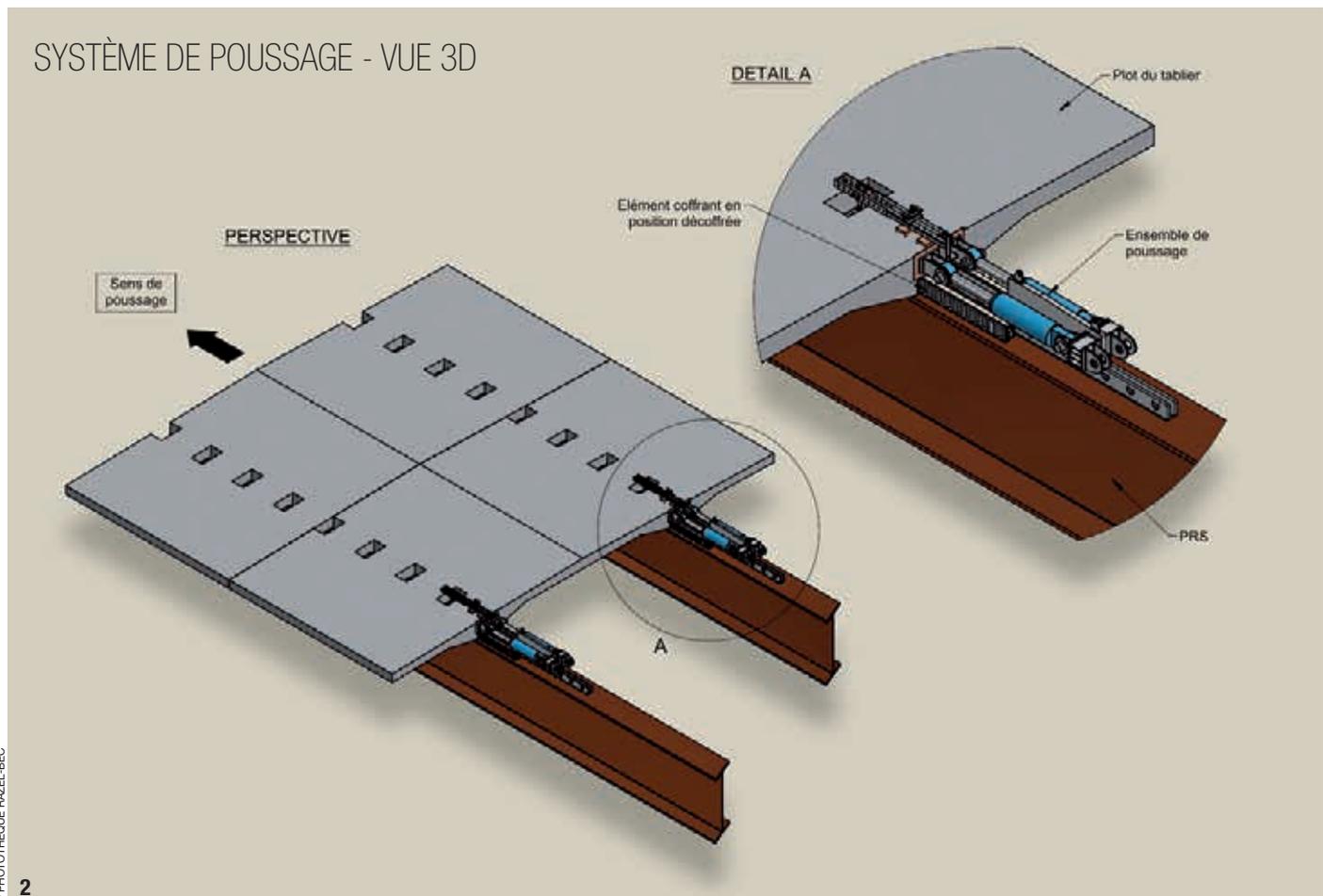
1- L'OA6 en cours de construction.

1- OA6 undergoing construction.

place par tronçons à l'aide de coffrages mobiles qui se déplacent sur les poutres. La connexion entre dalle et charpente est ainsi réalisée progressivement lors du bétonnage de chaque tronçon.

Les déformations ultérieures de la charpente créées par le bétonnage des plots successifs peuvent induire des tractions dans les plots en béton déjà connectés, notamment au droit des piles intermédiaires. Pour éviter ce phénomène, la technique du "piano-tage" a été développée ; elle consiste à bétonner en dernier les plots situés au droit des piles. Malgré ces précautions, la fissuration reste inévitable du fait du retrait au jeune âge du béton, gêné

SYSTÈME DE POUSSAGE - VUE 3D



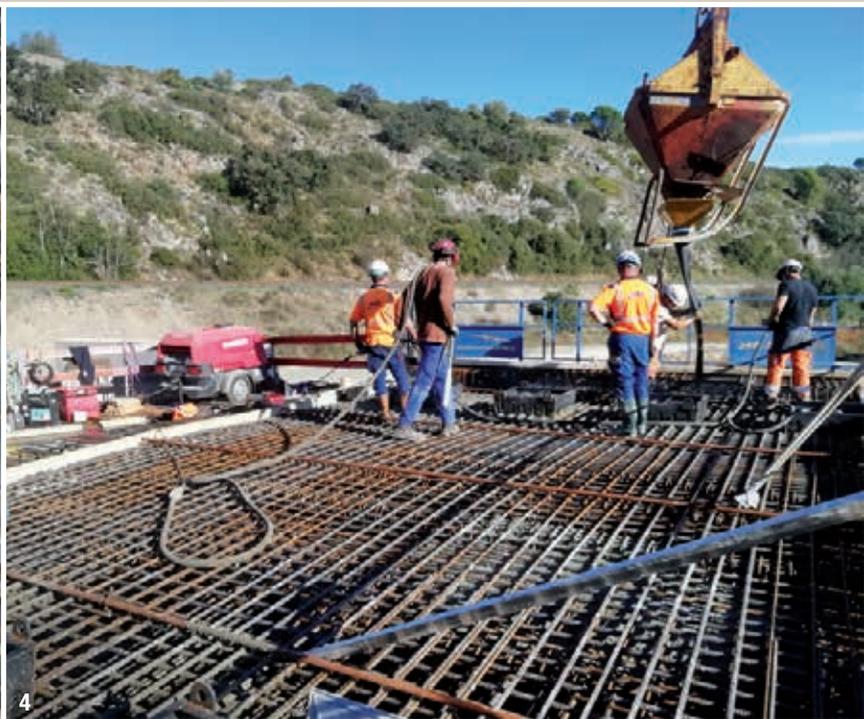
© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

2



3

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



4

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

par la connexion à la charpente, qui provoque des tractions longitudinales dans la dalle.
 Une méthode alternative souvent utilisée consiste à réaliser le tablier par dalles préfabriquées, clavées entre elles et à la charpente une fois posées. Cette méthode présente également des inconvénients : nécessité de moyens de levage lourds, manutention de charges au-dessus de la brèche, multiplication des joints de clavage et des

- 2- **Système de poussage - Vue 3D.**
- 3- **Coffrage des poches.**
- 4- **Bétonnage d'un plot.**

- 2- **Pushing system - 3D view.**
- 3- **Pocket formwork.**
- 4- **Concreting a block.**

recouvrements d'aciers longitudinaux, concentration de la connexion au droit des "poches" des dalles préfabriquées. L'objectif était donc de trouver une méthode combinant les avantages des deux solutions précédentes, sans leurs inconvénients : des plots de bétonnage suffisamment longs pour minimiser le nombre de joints transversaux, une connexion différée pour minimiser les tractions dues au retrait gêné et à la déformation de la charpente sous le

poids du béton, un travail en sécurité sur la berge, des outils réutilisables. La méthode trouvée, appelée méthode des dalles poussées (figure 2), consiste à couler le tablier en béton armé par tronçons sur une des berges, puis à le pousser en le faisant glisser sur les poutres métalliques à l'aide de vérins, tout en laissant un "tunnel" pour passer au-dessus des goujons de connexion, et des poches permettant la connexion différée (figure 3). ▷



5

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

Chaque plot, d'une longueur d'environ 6 m, est réalisé sur un cycle d'une journée. Le lendemain matin du bétonnage de chaque plot (figure 4), la dalle est poussée d'environ 6 m sur la charpente, puis un nouveau plot est bétonné contre le précédent.

Ce schéma permet ainsi de créer progressivement un tablier monolithique qui avance de la longueur d'un plot par jour jusqu'à atteindre l'autre extrémité. Une fois le tablier à sa place finale, il sera clavé de façon définitive à la charpente. On obtient ainsi un pont mixte particulièrement robuste et durable.

COMPLEXITÉ DE LA MÉTHODE

Cette méthode, en apparence simple, pose néanmoins quelques difficultés technologiques.

LE COULAGE ET LE POUSSAGE QUOTIDIEN D'UNE DALLE PAR JOUR

Bien que la dalle soit coulée sur la terre ferme, il faut installer une aire de pré-fabrication bien réfléchie pour avoir à proximité de grue les aciers prémontés. Le coffrage doit être équipé de procédés de décintrage hydraulique (figure 5)

5- Système de coffrage d'un plot.

6- Système de décoffrage d'un tunnel.

7- Vue des vérins de poussage.

5- Block formwork system.

6- System for formwork removal from a tunnel.

7- View of pushing jacks.

afin de décoller la dalle coulée dans les meilleurs délais. Plusieurs solutions existent : par exemple pour décoffrer les parois du tunnel de clavage (figure 6), un tuyau de pompier est mis en place entre le béton et le coffrage et de l'air comprimé est envoyé pour décoller et ramener les parois du coffrage avant poussage. Enfin, compte tenu de la fréquence du poussage, un béton dopé à prise rapide s'impose (15 MPa à 12h).

LE POUSSAGE

Le poussage s'effectue par deux ou quatre vérins hydrauliques de forte



6

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



7

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



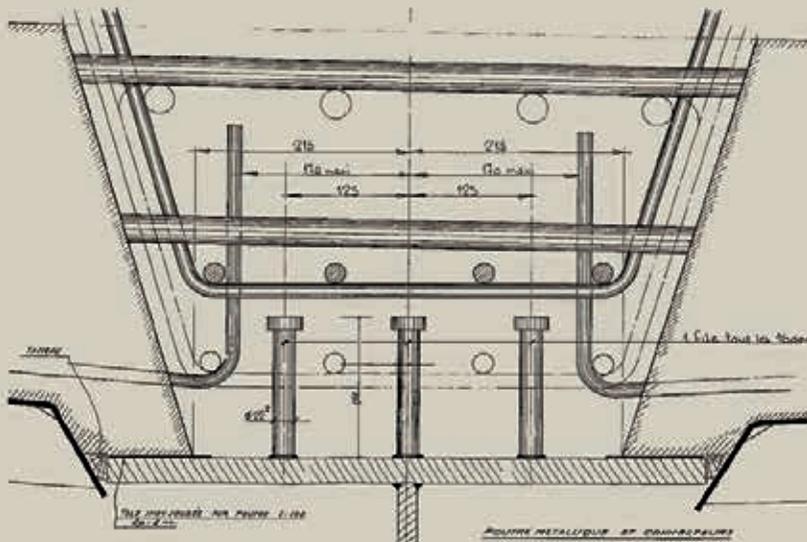
© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC
8

8- Dalle avant clavage.
9- Première génération de dalles poussées.
10- Deuxième génération de dalles poussées.

8- Slab before keying.
9- First generation of pushed slabs.
10- Second generation of pushed slabs.

puissance (400 t) alimentés par une station hydraulique (figure 7). Ces vérins sont fixés à deux crémaillères fixées à la charpente, et sont déplacés plusieurs fois lors du poussage pour obtenir la course de 6 m. Dans le cas de l'OA6, le poids de la dalle de l'ouvrage total représente environ 3 000 t. Le dispositif est constitué de quatre vérins regroupés par deux fonctionnant à 250 bars et fixés aux poutres longitudinales de la charpente par l'intermédiaire de crémaillères.

PREMIÈRE GÉNÉRATION DE DALLES POUSSÉES

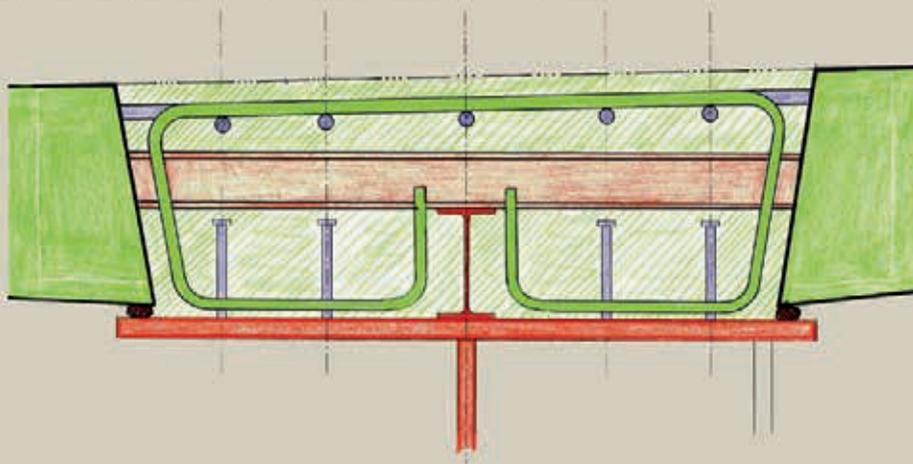


© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC
9

LE GUIDAGE

Bien évidemment il faut guider cette dalle gigantesque qui s'allonge et qui avance sur la charpente tous les jours. La surface de glissement consiste en un plastique de haute densité (par exemple Cestilène HD 500) peu coûteux mais dense et très lisse (1 t/m³). Un dispositif de guidage est fixé à l'avant de la première dalle, afin de diriger le train de dalles sur les poutres à la manière d'un train sur des rails de chemin de fer. Ce dispositif est complété par un guidage arrière au niveau de la zone de poussage. La dalle reposant seulement sur 3 à 5 cm de chaque côté du profilé, il faut soigner les poussées sur chacun des vérins pour respecter la trajectoire.

DEUXIÈME GÉNÉRATION DE DALLES POUSSÉES



© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC
10

LE CLAVAGE

Pour procéder au clavage (figure 8), il convient de remplir le tunnel de connexion avec les aciers de clavage des dalles pour noyer les connecteurs (goujons) soudés sur la poutre. Un béton dopé avec des granulats fins ou un béton autoplaçant est utilisé. Ce bétonnage de faible quantité s'effectue au travers de fenêtres de clavage. Après cette dernière étape, l'ouvrage est enfin prêt à être équipé (étanchéité, chaussée, équipement de sécurité, etc.) pour une mise en service rapide. ▷

ÉVOLUTION DE LA MÉTHODE DANS LE TEMPS

Une des principales difficultés de cette méthode est de pousser le tablier en réservant les connecteurs qui dépassent de la charpente et empêchent le glissement sur toute la surface de la poutre. La liaison doit être, de plus, le plus intime possible avec une grande surface de contact pour améliorer le clavage. Après plusieurs ouvrages réalisés, des solutions ont été successivement trouvées et mises en œuvre.

1^{re} GÉNÉRATION (1993-1995)

La solution a été pour la première fois mise en œuvre sur les quatre viaducs d'accès au pont sur le Canal de Tancarville sur l'A29.

À cette époque, la connexion était à ciel ouvert (figure 9) ; la dalle était réalisée en trois parties reliées par des fers à bétons de gros diamètre avec les inconvénients suivants : frottement direct du béton sur la charpente, difficultés de ferrailage des zones de clavage, préfabrication des dalles de tablier en trois éléments. Compte tenu de la faible zone de contact, de la précontrainte transversale était parfois nécessaire.

2^e GÉNÉRATION (1995-2000)

Dans la 2^e génération des ouvrages à dalle poussée, la connexion était toujours à ciel ouvert ; les trois éléments de dalle étaient reliés entre eux par un profilé métallique de liaison (figure 10). Un profilé complémentaire était soudé sur la charpente pour permettre le glissement de la dalle.

Six ouvrages ont été réalisés selon cette méthode :

→ Le viaduc de Varennes les Mâcon (figure 11) ;



© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

- Le pont sur le Fier à Annecy ;
- Le pont sur l'Allier à Brioude ;
- Le pont sur l'Orne à Caen ;
- Le pont sur les voies ferrées à la sortie de la gare de Lisieux ;
- Le viaduc de l'Orbiquet dans l'Orne.

Cette solution a permis de réduire les efforts de poussage (élimination du frottement direct béton/charpente) et d'améliorer le ferrailage de la zone de clavage ; mais la préfabrication du tablier en trois éléments et le besoin de précontrainte transversale restaient des inconvénients qui limitaient la performance de la méthode.

3^e ET ACTUELLE GÉNÉRATION

Suite aux retours d'expérience basés sur la dizaine d'ouvrages réalisés, la méthode des dalles poussées est devenue plus simple et plus efficace au cours des années. Cette 3^e génération

n'a plus de profilés de glissement ni de profilés transversaux de liaison entre les éléments de dalles. La connexion est réalisée dans un "tunnel" qui permet de réaliser la dalle d'un seul tenant. La surface de contact avec le béton de clavage est augmentée grâce aux cannelures du tunnel. Il n'y a plus besoin de précontrainte transversale ni de ferrailage dans le tunnel de clavage et enfin, la dalle est un véritable monobloc. Ainsi, les recherches et mises au point menées conjointement avec le réseau technique de l'Équipement (Setra et Cete) dans le cadre d'une charte pour l'innovation ont porté leurs fruits.

De nombreux ouvrages ont été réalisés à l'aide de cette technique ; on citera notamment le pont sur la ravine Bras Mouton sur la route des Tamarins à la Réunion, les ponts sur le Loir à Vendôme, le pont en arc de Reynes (figure 12) ou encore l'ouvrage d'art OA7 de la Rocade Ouest de Perpignan (voir encadré).

En 2021, outre le pont de l'OA6, les équipes de Razel-Bec ont achevé la construction du pont sur l'Agly, dans le cadre du contournement d'Estagel, selon la même technique. Le poussage s'est fait dans des conditions particulières : la charpente de cet ouvrage est biaisée et réalisée en acier autopatinable, avec des coefficients de friction plus importants.

11- Charpente de Varennes-lès-Mâcon prête pour le poussage.

12- Poussage pont en arc - Reynes, Pyrénées-Orientales.

13- Poussage pont sur le Lom, Cameroun.

11- Varennes-lès-Mâcon frame ready for pushing.

12- Arch bridge pushing - Reynes, Pyrénées-Orientales.

13- Pushing of bridge over the Lom, Cameroon.

LES EXPÉRIENCES AFRICAINES

Après avoir été utilisée avec succès en France sur de nombreux ouvrages, cette technique a été proposée par Razel-Bec sur plusieurs ponts mixtes en Afrique. Elle s'avère en effet particulièrement adaptée aux contraintes locales par rapport aux méthodes traditionnelles :



12

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



13

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



© PHOTO THÉÂTRE RAZEL-BEC
14

→ Les solutions en dalle préfabriquée nécessitent des moyens de levage lourd rarement disponibles dès qu'on s'éloigne des agglomérations ;
→ La réalisation de la dalle par équipages mobiles nécessite des investissements en matériel importants. Le premier ouvrage a été réalisé au Cameroun en 2013 : il s'agit d'un

14- L'ouvrage OA7.

14- Structure OA7.

pont de 130 m de longueur franchissant le Lom sur la Route Nationale 1, section Garoua/Boulai-Nandeke (figure 13). Depuis, plusieurs ouvrages ont été réalisés et sont en cours de réalisation en Afrique Centrale et Occidentale selon cette technique. On citera notamment le pont sur la Sanaga reliant Bat-

chenga à Ntui, au Cameroun, achevé en 2020. D'une longueur de 400 m, il a été construit en installant une aire de préfabrication à chaque extrémité du tablier et en poussant la dalle par les deux extrémités (deux fois 200 m). Cet ouvrage remarquable constitue à ce jour le record de longueur de tablier réalisé selon cette technique. □

L'OUVRAGE D'ART OA7 DE LA ROCADE OUEST DE PERPIGNAN

À l'instar de l'ouvrage d'art OA6, l'OA7 (figure 14), aussi réalisé par l'agence Languedoc-Roussillon de Razel-Bec et son cotraitant Urssa pour les travaux de charpente, s'inscrit dans le cadre de la Rocade Ouest de Perpignan. C'est un ouvrage mixte de 170 m de longueur sur le fleuve la Têt à Perpignan, constitué de trois piles en Y et de deux culées en béton armé.

Il est composé d'une dalle nervurée avec précontrainte transversale. Les plots sont préfabriqués en rive gauche de l'ouvrage et poussés sur la charpente selon le brevet déposé par Razel. Malgré la présence des nervures transversales compliquant le décoffrage des plots, une cadence moyenne de trois poussages hebdomadaires a pu être atteinte pour la réalisation du hourdis. L'utilisation de cette variante technique a permis aux équipes de convaincre le maître d'ouvrage également maître d'œuvre du projet, de la construction des ouvrages suivants dont l'ouvrage d'art OA6.

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 226 m de longueur
- 14,24 m de largeur hors tout
- 8 000 m³ d'alluvions prélevées dans la rivière pour réaliser une piste de chantier
- 15 000 m³ de terrassements
- 28 pieux de Ø 1 200
- 480 t d'armatures
- 2 700 m³ de béton armé

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales
MAÎTRE D'ŒUVRE : Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales
ENTREPRISES : Razel-Bec (mandataire), Urssa

ABSTRACT

A LAUNCHED BRIDGE OVER THE TET (PYRENEES-ORIENTALES)

JEAN-PIERRE VITU, DIRECTION RÉGIONALE OCCITANIE - FLORENT IMBERTY, RAZEL-BEC

This bridge, named OA6, is a double-girder composite structure with 4 spans and a deck 226 metres long and 14.24 metres wide. It is the latest in a long series of structures executed by Razel-Bec on the Perpignan ring road using a patented technique which convinced the project principal, also the project manager, Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales. This patented construction technique, initiated by Michel Placidi and developed by Razel-Bec about twenty years ago, can limit the risks of crack formation on the structure induced by the stresses incurred during conventional pouring by mobile rigs. It involves building the deck in blocks, putting in place "tunnel" formwork on the frame to avoid studs during pushing, and keying the deck to the frame only at the end of construction. □

UN PUENTE PRETENSADO SOBRE EL TÊT (PIRINEOS ORIENTALES)

JEAN-PIERRE VITU, DIRECTION RÉGIONALE OCCITANIE - FLORENT IMBERTY, RAZEL-BEC

Esta obra de fábrica, bautizada como OA6, es una construcción mixta bíviga con 4 luces y un tablero de 226 m de longitud por 14,24 m de anchura. Se trata de la última creación de una larga serie de obras realizadas por Razel-Bec en la vía de circunvalación de Perpiñán utilizando una técnica patentada. La empresa ha logrado convencer al promotor, que también se encarga de la dirección técnica del proyecto, el Consejo Departamental de Pirineos Orientales, del interés de esta técnica. Ideada por Michel Placidi y perfeccionada por Razel-Bec hace unos veinte años, esta técnica constructiva patentada permite limitar los riesgos de fisuración de la construcción inducidos por tensiones locales durante los vertidos clásicos mediante equipos móviles. Consiste en realizar el tablero por plots, instalando un encofrado llamado "túnel" sobre la estructura, lo que permite evitar los pernos durante el empuje y clavar el tablero a la estructura únicamente al final de la realización. □

NOUVEAUX APPUIS POUR LE TABLIER RÉHABILITÉ DU PONT FÉLIX HOUPHOUËT BOIGNY À ABIDJAN

AUTEURS : NICOLAS DESCAMPS, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE - GUILLAUME CADO, INGÉNIEUR RESPONSABLE DES ÉTUDES D'EXÉCUTION, EIFFAGE - SYLVAIN DECULTIEUX, DIRECTEUR TRAVAUX, EIFFAGE

DANS UN ENVIRONNEMENT LAGUNAIRE DIFFICILE, LES ÉQUIPES D'EIFFAGE GÉNIE CIVIL ET DE SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS ONT CONSTRUIT DE NOUVEAUX APPUIS POUR SUPPORTER LE TABLIER DU PONT FÉLIX HOUPHOUËT BOIGNY, PREMIER PONT D'ABIDJAN, INAUGURÉ EN 1958. L'OBJET DE CET ARTICLE EST DE DÉCRIRE LES TRAVAUX POUR RÉALISER LES NOUVEAUX APPUIS NÉCESSAIRES À LA REPRISE DU TABLIER, RÉALISÉS PAR EIFFAGE GÉNIE CIVIL, SACHANT QUE LA DESCRIPTION DES TRAVAUX DE FONDATIONS A DÉJÀ FAIT L'OBJET D'UN ARTICLE DANS *TRAVAUX* n°963 D'OCTOBRE 2020.



© EIFFAGE

INTRODUCTION

Inauguré en mars 1958 pour remplacer le pont flottant datant de 1929, le Pont Félix Houphouët Boigny (PHB) est le premier des trois ponts qui franchissent la lagune Ébrié d'Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire.

Le deuxième pont, Charles de Gaulle, fut inauguré en 1967 et le troisième, Henri Konan Bédié, bien plus tard en 2014 (figures 2 et 3).

Le PHB fut le seul pont d'Abidjan pendant 10 ans. Il relie le nord de la ville, ainsi que l'intérieur du pays et d'autres pays limitrophes comme le Mali et le

Burkina Faso, au port autonome, à l'aéroport international puis à la côte Sud du pays, par suite au Ghana. Il est le premier pont précontraint construit en Afrique, avec une section type voussoir, l'un des premiers ponts qui supporte deux types de trafic : routier au-dessus du tablier et ferroviaire à l'intérieur. Il reste toujours le seul support du trafic ferroviaire pour franchir la lagune.

Le PHB est un axe économique majeur de la Côte d'Ivoire et en plus d'être une fierté ivoirienne, il fut un symbole de progrès à travers l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest.

1- Nouveaux appuis et équipements tablier en place.

1- New supports and facilities of the deck in place.

DESCRIPTIF STRUCTUREL ET DÉGRADATION DE L'OUVRAGE, OBJECTIF DE LA RÉHABILITATION

Le pont principal est un pont à deux niveaux (route dessus/rail à l'intérieur), long de 372 m avec des travées de 2x8x46,5 m (figure 4).

La structure des travées consiste en une poutre caisson en béton précontraint, couvrant 41 m entre les appuis. Le tablier supporte le trafic automobile sur une chaussée de 14 m de large sur la dalle supérieure et le trafic ferroviaire à l'intérieur des caissons (une voie par caisson). Chacune des 7 piles est fondée sur 8 pieux de 1500 mm de diamètre et allant jusqu'à 70 m de profondeur. Quatre d'entre eux sont verticaux et les quatre autres sont inclinés à 15%.

Au niveau de la route, le pont principal est complété par un pont d'accès de 3 travées à chaque extrémité.

Au niveau de la voie ferrée, il y a seulement un pont d'accès à 2 travées du côté Nord.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Pour les fondations au milieu de la lagune, on trouve successivement :

- 10 à 12 m d'eau ;
- 20 à 24 m de vases molles ;
- 17 à 18 m de vases dures ;
- Puis différents types de sables ;
- Il n'y a pas véritablement de substratum, le niveau des fondations est donc de 55 à 60 m sous le niveau de l'eau.

Le phasage de construction et les pathologies de l'ouvrage ont été détaillés dans le n°946 de la Revue *Travaux*.

Il faut retenir que les principaux éléments de structure (semelles sur pieux et poutres-caisson du tablier) ont été préfabriqués à terre et transportés sur site à l'aide de barges. Les pieux ont été bétonnés en place à l'intérieur de



2a



2b

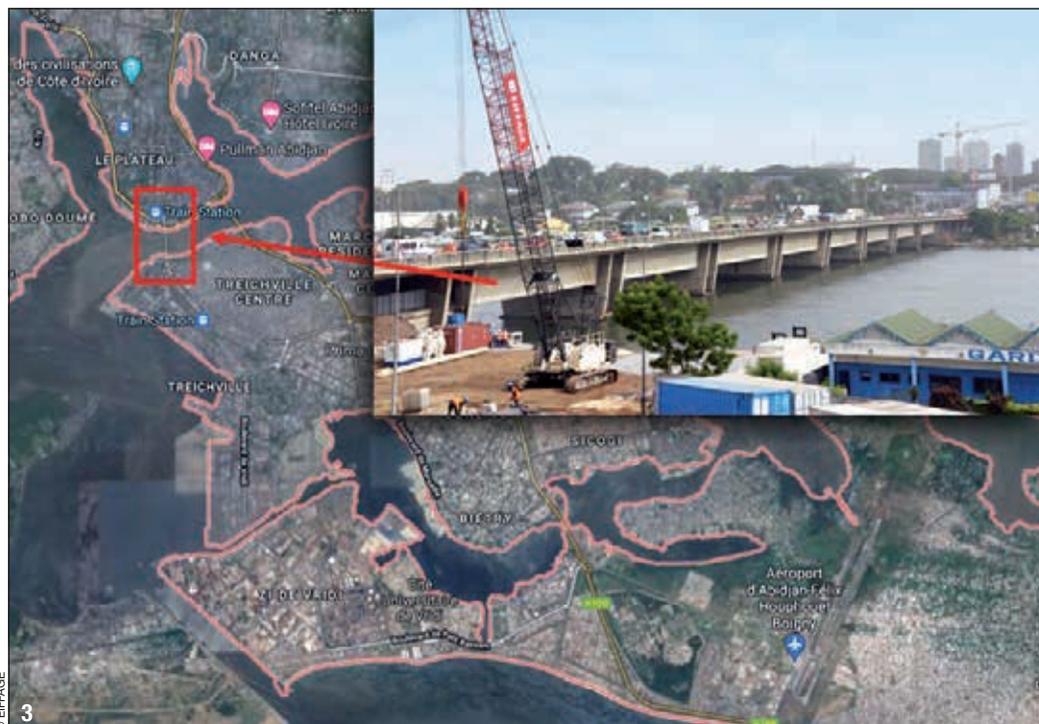
2- Pont flottant et inauguration PHB.

3- PHB - Plan de situation.

2- Floating bridge and PHB inauguration.

3- PHB Bridge - Location drawing.

© EIFFAGE



3

chemisages constitués d'éléments en béton précontraint.

En 1973, la campagne d'inspection subaquatique met en évidence une dégradation des pieux avec, dans certaines zones, la disparition complète du béton de chemisage, à la suite de quoi environ 20 pieux ont fait l'objet d'un confortement par chemisage en béton époxy exécuté à l'intérieur de 2 demi-coques métalliques.

Ces désordres ont pour cause potentielle des mouvements de terrain (glissement d'une langue de sable entre 2 couches d'alluvions) amorcés lors de la construction de l'ouvrage, ainsi que des chocs de convois de barges qui ont provoqué la fissuration initiale, l'environnement lagunaire agressif ayant fait le reste.

L'historique de la construction et des inspections a été décrit dans le numéro 970 de la revue *Travaux*. Ces inspections successives concluent à la nécessité d'une reprise complète des fondations, le confortement réalisé en 1974 n'apportant pas les garanties suffisantes à la pérennité de l'ouvrage. Outre les fondations, le béton à la base des piles a été particulièrement affecté par la salinité de la lagune, entraînant des zones très dégradées avec des renforcements apparents et des pertes importantes de section d'acier.

En comparaison, et compte tenu de son environnement, le tablier du pont a été bien préservé.

On note principalement la présence de fissures d'effort tranchant dans les âmes, liées à la conception initiale du câblage présent uniquement dans les hourdis supérieur et inférieur, donc inefficace pour comprimer les âmes près des appuis.

Par ailleurs un faïencage systématique du béton en sous-face du hourdis supérieur témoigne des dommages causés par les gaz d'échappement des locomotives diesel.

Une campagne d'investigation menée au démarrage du projet, sur six mois, permet de confirmer et d'établir une liste exhaustive des pathologies à réparer et d'affiner les études, de finaliser les quantitatifs à mettre en œuvre.

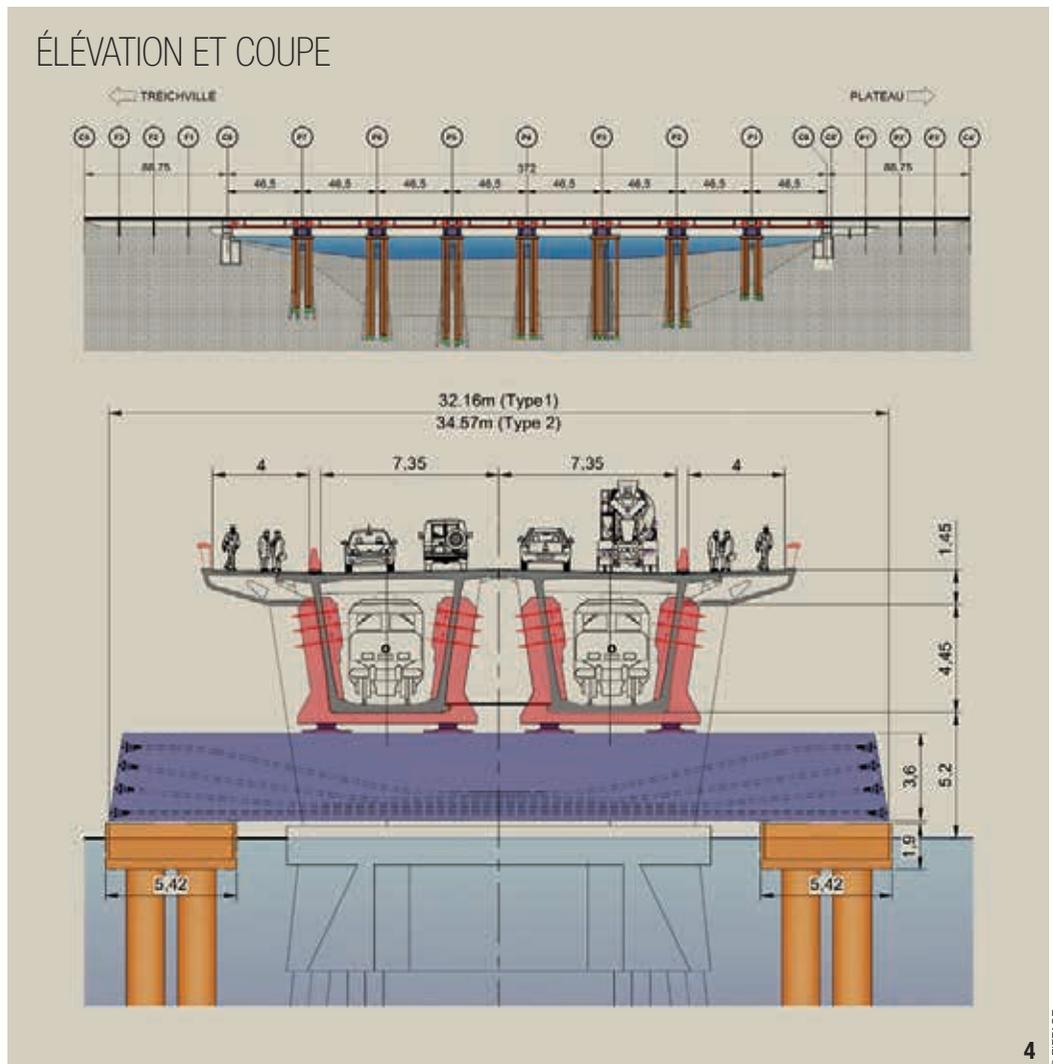
Sur les conseils des ingénieurs d'Eiffage Génie Civil Marine, l'utilisation d'une caméra acoustique, bien plus précise qu'une bathymétrie classique, a mis en évidence que certains des pieux existants ne sont pas à leur place et que les nouveaux pieux à réaliser interfèrent : pour trois piles sur huit, les semelles sont légèrement écartées des piles existantes, six poutres de transfert sont allongées de 2,40 m.

Les poutres caissons existantes du tablier sont, quant à elles, en très bon état par rapport aux prévisions : le béton, à l'exception de la sous-face du hourdis supérieur, n'a quasiment pas subi de dégradation, et les essais à l'arbalète pratiqués sur les câbles existants ont montré que leur tension résiduelle après 70 ans restait supérieure à celle prise en compte dans les calculs initiaux (900 MPa au lieu de 850 MPa). Or les calculs d'avant-projet avaient été basés sur l'hypothèse prudente d'une tension résiduelle de l'ordre de 600 à 700 MPa selon les cas. Ces informations, ainsi que la diminution de portée longitudinale résultant de la position des nouveaux appuis, ont permis de réduire d'un tiers la précontrainte externe additionnelle de renforcement prévue. Par ailleurs, elles ont permis de supprimer complètement les renforts par fibre composite prévus pour la flexion transversale du hourdis inférieur.

4- Élévation et coupe.

5- Travaux à réaliser.

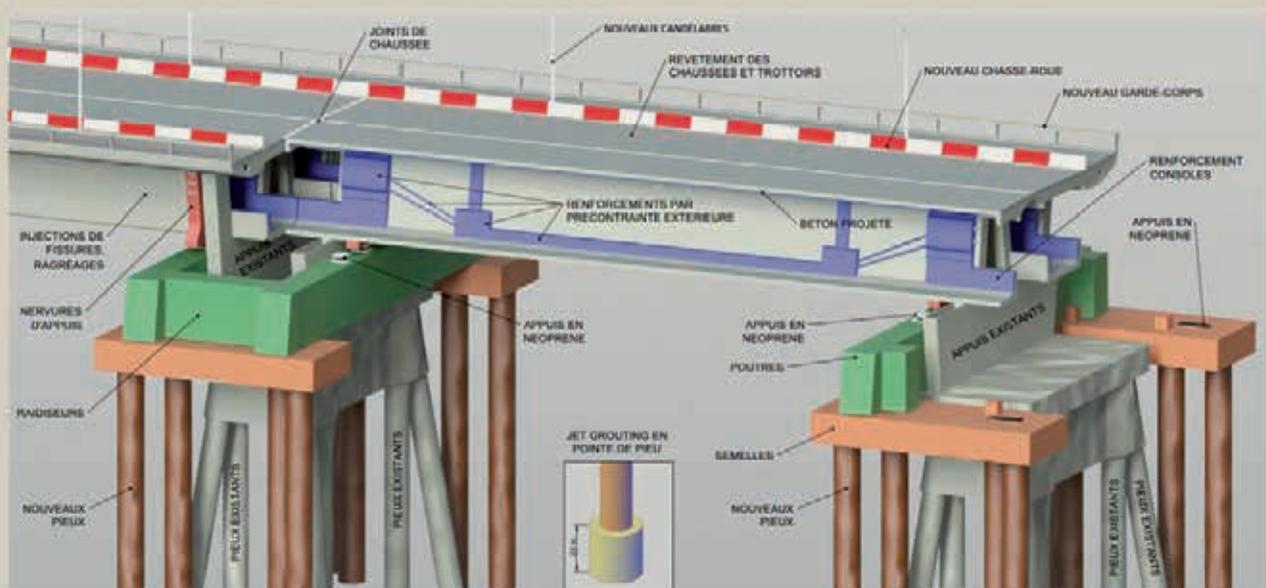
4- Elevation view and cross section.
5- Work to be performed.



4 © EIFFAGE

TRAVAUX À RÉALISER

- RENFORCEMENT DU CAISSON (PRECONTRAINTE ADDITIONNELLE, BÉTON PROJETÉ)
- NOUVEAUX APPUIS:
 - PIEUX
 - SEMELLES
 - POUTRES DE TRANSFERT
 - NERVURES
- SUPERSTRUCTURES ET EQUIPMENTS



5 © EIFFAGE



LE PROJET DE RÉHABILITATION

Tout en conservant le tablier et en maintenant les trafics routiers, ferroviaires et lagunaires, l'objectif principal de la réhabilitation consiste à transférer la charge du tablier sur des appuis entièrement nouveaux : fondations profondes (pieux forés tubés, renforcés en pointe par jet grouting), semelles sur pieux et poutres de transfert sur lesquelles le tablier est

6- Nouveaux appuis.
7- Quai et installations de préfabrication.

6- New supports.
7- Quay and precasting facilities.

à transférer. Ainsi, les anciens appuis sont totalement déchargés et leur état de vétusté ne représente plus un risque pour la pérennité de l'ouvrage.

Il s'agit également de renforcer le tablier en traitant les usures du temps : épaufrures, fissuration et faïençage, chaussées, voies ferroviaires, équipements tels que les candélabres et les gardes corps (figures 5 et 6).

ENVIRONNEMENT DU PHB

Les installations de chantier sont adjacentes au projet, dans une zone d'activité dense, et sont donc réalisées dans un espace restreint, surtout aux abords de l'ouvrage et le long de la lagune, côté Sud de celle-ci uniquement.

Pour les besoins du projet, il faut des bureaux entreprises et maître d'œuvre/maître d'ouvrage pour 80 personnes, des vestiaires pour 250 personnes, 2 centrales à béton (35 m³/h, pour plusieurs formules sensibles), un atelier. Plus près d'un quai d'à peine 50 m de long réalisé par l'entreprise, une zone d'installation pour les fondations (stockage et soudure des tubes des pieux Ø 1 500, y compris cages d'armatures, centrale de bentonite), et 2 zones de préfabrication pour les semelles et les poutres de transfert (figure 7).

ÉLÉMENT PARTICULIER : LA LAGUNE EBRIÉ

La lagune est un milieu naturel qui rend les conditions de travail difficiles et risquées. Il y a deux marées par jour, avec, par conséquent, un courant pouvant atteindre jusqu'à 7 nœuds qui s'inverse et une hauteur d'eau qui peut varier de 1,5 m. En période de crue, lors de fortes pluies, ou encore lors de décharge de barrages situés dans l'intérieur du pays, l'eau est troublée par des boues et le courant peut ne pas s'inverser même si la hauteur varie ; des tonnes de végétaux enchevêtrés sont charriés, avec des amoncellements possibles au niveau des piles de pont, des bateaux et des barges dont les ancrages sont plus sollicités. L'épaisseur des végétaux, communément appelés jacinthes d'eau, peut atteindre un mètre d'épaisseur, où l'on peut trouver des crocodiles et des serpents entre autres animaux, ceci sur plus de la moitié de la largeur de la lagune. La navigation devient alors périlleuse voire impossible, tant pour les bateaux-bus que pour les matériels maritimes. Pendant les travaux, il y a eu plusieurs cas de bateau-bus dont les hélices ont été bloquées et qui sont donc partis à la dérive pour parfois finir leur course contre une pile du PHB avant d'être remorquées vers un quai passager (figure 8).

CONCEPT

L'entreprise a organisé le travail de manière à minimiser les activités sur la lagune, réduire le nombre de personnes au minimum, sachant qu'une bonne partie de la population locale ne sait pas nager.

QUAI ET INSTALLATIONS DE PRÉFABRICATION





8a



8b

© EIFFAGE

Un des objectifs a aussi été de minimiser l'intervention de plongeurs. Pour ce faire, avant même de recevoir l'ordre de service fin novembre 2017, deux études de faisabilité sont réalisées.

RÉALISATION DES 14 SEMELLES

Après une première étude de faisabilité, il est décidé de réaliser des coffrages perdus en béton, qui seront suspendus aux tubes des pieux, étanchés, liaisonnés aux tubes puis vidangés pour permettre le ferrailage et le bétonnage des semelles proprement dites.

Une aire de préfabrication de coques de semelles est aménagée à proximité du quai. Le poids unitaire des éléments préfabriqués est limité à 7 t pour permettre leur déplacement et leur mise en œuvre depuis le tablier du pont avec une grue mobile de 60 t, capacité du pont oblige, de nuit ou le week-end pour réduire l'impact sur les trafics routier et piéton (neutralisation d'une voie sur quatre), et sur la lagune avec le pousseur nécessaire au chantier qui est équipé d'une A-frame. Les coques sont alors divisées en plusieurs éléments préfabriqués : trois qui composent le fond et deux pour les élévations.

Tous les éléments d'une même semelle sont préfabriqués les uns sur les autres pour une conjugaison des joints afin de limiter les problèmes d'étanchéité lors de l'immersion en lagune (figure 9).

LA SEMELLE P3 EST RÉALISÉE IN SITU

Suite à la collision d'un chaland en charge, l'un des pieux a tout simplement été cassé et son jumeau déplacé en tête. On a conclu que les deux pieux n'étaient plus viables. Aussi 2 autres pieux ont été réalisés, entraînant une augmentation de toutes les dimensions géométriques de la semelle : longueur,

largeur mais aussi hauteur. La réalisation d'éléments préfabriqués suffisamment légers s'est révélée impossible et il a donc été décidé de réaliser le caisson de semelle en place.

Un platelage a été suspendu aux pieux, au-dessus du niveau de la lagune, afin de réaliser un radier. Puis des voiles coffrantes pour la semelle. L'ensemble a été immergé par vérinage, étanché, liaisonné aux tubes des pieux et la semelle qui a ainsi pu être armée puis bétonnée (figure 10).

La réalisation des semelles était programmée sur 14 mois. Cette durée a été respectée, y compris le traitement imprévu de la semelle P3.

8- Lagune Ebrié.

9- Réalisation des semelles.

8- Ebrié lagoon.

9- Execution of foundation slabs.

4 câbles chacun) de type 31 T15S de classe 1860 MPa. Pour éviter d'induire des efforts parasites dans les pieux, elles reposent sur les semelles par l'intermédiaire d'appuis en élastomère fretté.

Parallèlement, la mise en tension de la totalité de la précontrainte ne pouvait être faite en une seule fois sous peine d'obtenir des contraintes inadmissibles dans le béton : la fabrication des poutres, la mise en tension des câbles et le transfert de la charge du tablier obéissent donc à un phasage précis pour répondre aux contraintes appliquées à chacune de ces différentes phases, celles-ci n'étant pas appliquées

RÉALISATION DES POUTRES DE TRANSFERT, ET TRANSFERT DU TABLIER SUR CES POUTRES

La section transversale des poutres est de 2 m de largeur x 3,60 m de hauteur. Chacune est précontrainte avec, pour les plus longues, seize câbles (4 lits de



9a



9b



9c



9d



9e



aux mêmes endroits (appuis sur cales, appuis sur semelles) et augmentant sans cesse (poutre creuse, remplissage, transfert de la charge du tablier). Après la deuxième étude de faisabilité, la séquence a été la suivante :

- Préfabrication minimum des poutres à terre : préfabrication de "baignoires" béton, section transversale

10- Semelle P3 EST.

11- Poutres de transfert.

**10- P3 EAST foundation slab.
11- Transfer beams.**

en U, seules les deux extrémités (zone d'ancrage de la précontrainte) de la poutre sont pleines ;

- Ripage sur une barge après avoir finalisé armatures et gaines de précontrainte à l'intérieur des "baignoires" ;
- Transport et installation de l'élément préfabriqué sur les nouvelles

- semelles sur pieux en profitant des différentes hauteurs de marée ;
- Mise en tension des 2 premiers câbles de précontrainte (câbles extérieurs du 2^e lit) ;
- Achèvement de la poutre de transfert avec le coulage du béton dans la "baignoire" ;
- Mise en tension des 8 câbles des deux lits supérieurs ;
- Transfert de 50 % du poids du tablier par l'intermédiaire de vérins hydrauliques ;
- Mise en tension des 6 câbles de précontrainte restants ;
- Transfert des 50 % restants du poids du tablier par l'intermédiaire des mêmes vérins hydrauliques ;
- Mise sur appuis définitifs (élastomères frettés également).

Le poids important des "baignoires" (de 340 à 360 t) conditionne le dimensionnement de la barge. Si les poutres avaient été bétonnées à 100 % lors de leur préfabrication, leur poids aurait été de 580 t à 622 t, la barge nécessaire aurait été beaucoup plus grande et ne serait pas passée entre les piles du pont, encore moins entre les nouvelles semelles.

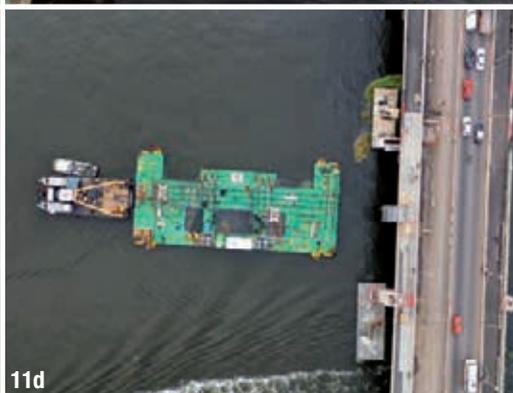
Dans un premier temps, le chantier a pu établir la faisabilité avec l'aide du BIEP (Bureau International Études et Projets, de la Direction Opérationnelle des Ressources Techniques et Performantielles d'Eiffage Infrastructures), en charge des études d'exécution, et des Ingénieurs d'Eiffage Génie Civil Marine.

Par suite, les études du ponton final ont pu être réalisées par le fournisseur Peschard International, qui a également fourni l'ensemble des matériels maritimes et était à la manœuvre lors de la pose des poutres sur les semelles (figure 11).

La réalisation des "baignoires" béton était programmée sur 8 mois, elle a duré 1 mois de plus en comptant les 6 poutres plus longues de 2,40 m. Leur pose devait durer 5,5 mois avec prudence, l'objectif étant 3 mois. Tout a été fait pour minimiser cette durée, réduite à 2,5 mois : 14 poutres en 12 semaines, soit plus d'une poutre par semaine.

RÉALISATION DES 28 NERVURES D'APPUIS

Afin de transférer la charge du tablier sur les nouveaux appuis, sur les poutres de transfert, les poutres caissons du PHB sont renforcées au niveau de leur future zone d'appuis, 2x2 nervures pour 7 piles.



© EIFFAGE

© EIFFAGE

Toujours pour éviter de travailler à partir de la lagune, des passerelles et coffrages sont suspendus au tablier et les nervures sont réalisées avant la pose des poutres pour optimiser la durée globale de la pose de celles-ci puis des transferts de charge du tablier.

La réalisation des nervures, était programmée sur 8,5 mois, elle en a duré 11 compte tenu de quelques retards de déviations du trafic ferroviaire et autres réseaux électriques.

CONCLUSION

Les travaux sont terminés et l'ouvrage a été livré en juillet 2021.

La réhabilitation du Pont Félix Houphouët Boigny d'Abidjan aura été un tremplin pour la reprise des activités d'Eiffage Infrastructures en Côte d'Ivoire.

À travers celle-ci, le chantier a donné l'opportunité à l'entreprise de recruter et former du personnel en Côte d'Ivoire et de jeunes expatriés africains et français.

La solution technique variante conçue par l'ingénierie interne a donné lieu à la mise en œuvre des méthodes inno-



12a



12b



12c



12d

© EIFFAGE

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON

- Pieux : 6000 m³
- Semelles : 2100 m³
- Poutres de partie préfabriquée : 1800 m³
- Poutres de partie coulée en place : 2000 m³
- Renforcement tablier : 950 m³

ARMATURES

- Pieux : 330 t
- Semelles : 515 t
- Poutres de transfert : 540 t
- Renforcement tablier : 200 t

PRÉCONTRAINTE

- Poutres de transfert : 250 t
- Renforcement du tablier : 60 t

12- Nervures.

12- Ribs.

vantes décrites dans cet article, ce qui a été très motivant pour tous et vecteur d'acquisition de compétences, y compris pour l'ensemble des sous-traitants, locaux et étrangers (figure 1). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Agéroute

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sgi - Setec tpi - Setec Côte d'Ivoire

ENTREPRISE : groupement Eiffage Génie Civil - Spie Batignolles Fondations

CONTRÔLE EXTERNE : Egis

BAILLEUR DE FONDS : Agence Française de Développement

CONSEIL TECHNIQUE DU BAILLEUR DE FONDS : Daniel Poineau

ABSTRACT

NEW SUPPORTS FOR THE RENOVATED DECK OF FELIX HOUPHOUËT BOIGNY BRIDGE IN ABIDJAN

NICOLAS DESCAMPS, EIFFAGE - GUILLAUME CADOU, EIFFAGE - SYLVAIN DECULTIEUX, EIFFAGE

In a difficult lagoon environment, the teams of Eiffage Génie Civil and Spie Batignolles Fondations built new supports for the deck of Félix Houphouët Boigny Bridge (PHB), the first bridge in Abidjan inaugurated in 1958. This bridge is an artery essential for the road and rail traffic of Abidjan and for the economy of the Ivory Coast and the neighbouring countries, and the project was a real challenge involving the use of innovative techniques. □

NUEVOS APOYOS PARA EL TABLERO REHABILITADO DEL PUENTE FELIX HOUPHOUËT BOIGNY, EN ABIYÁN

NICOLAS DESCAMPS, EIFFAGE - GUILLAUME CADOU, EIFFAGE - SYLVAIN DECULTIEUX, EIFFAGE

En un complejo entorno de lagunas, los equipos de Eiffage Génie Civil y Spie Batignolles Fondations han construido nuevos apoyos para soportar el tablero del puente Félix Houphouët Boigny, principal puente de Abiyán inaugurado en 1958. Arteria básica de la circulación vial y ferroviaria de la ciudad y de la economía de Costa de Marfil, así como de los países vecinos, este proyecto ha supuesto un enorme desafío y ha permitido aplicar técnicas innovadoras. □



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

Engineering a Better Solution

Depuis plus de 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI



  **Élargissement à 2x3 voies,
Contournement Nord-est
de Metz (57)**

Remblai renforcé Terramesh® minéral