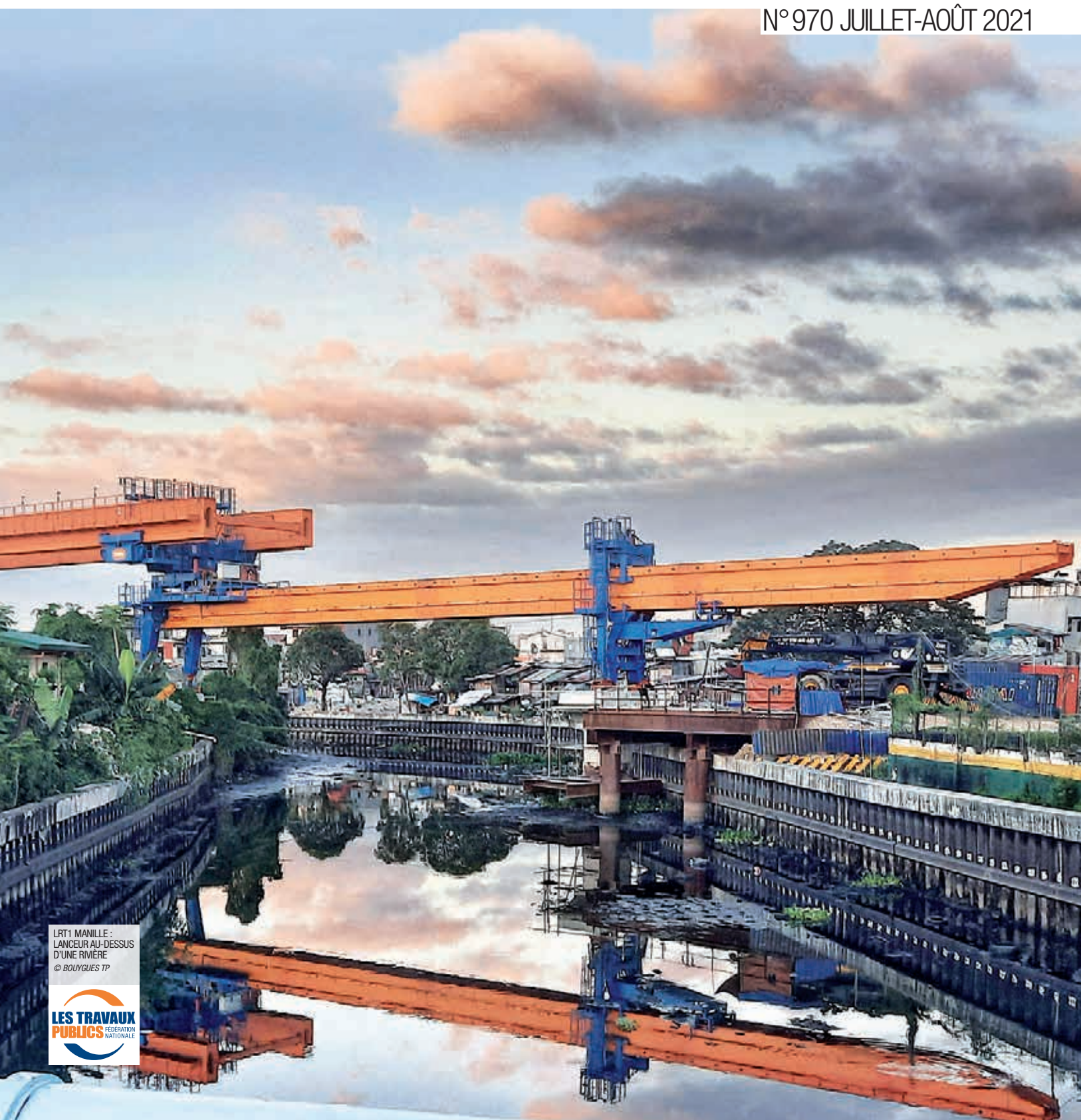


# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**INTERNATIONAL.** FONDATIONS DE LA TOUR F D'ABIDJAN. RENOVATION DU PONT FELIX HOUPHOUET-BOIGNY A ABIDJAN. BARRAGES SUR LA VOIE NAVIGABLE CANADIENNE TRENT SEVERN. VOTTING TUNNEL IN GERMANY. HIGH SPEED 2 (HS2) IN ENGLAND. LRT1 MANILLE. INSTRUMENTATION DES GRANDS OUVRAGES D'ART. LIGNE FERROVIAIRE S21 STUTTGART - ULM EN ALLEMAGNE. TUNNEL POUR CABLES ELECTRIQUES DANS LE DESERT D'ATACAMA - CHILI. HALFWAY RIVER BRIDGE AU CANADA

N° 970 JUILLET-AOÛT 2021



LRT1 MANILLE :  
LANCEUR AU-DESSUS  
D'UNE RIVIERE  
© BOUYGUES TP





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](http://www.probtp.com)



Directeur de la publication  
Bruno Cavagné

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

**Comité de rédaction**

Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Denis Etienne (Bouygues), Philippe Gotteland (Fnfp), 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 Vivian (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro

**Rédaction**

Monique Trancart (actualités),  
Marc Montagnon

**Service Abonnement et Vente**

Com et Com

Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copernic - 20 av. 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](http://www.revue-travaux.com)

**Édition déléguée**

Com'1 évidence

2, chemin dit du Pressoir

Le Plessis

28350 Dampierre-sur-Avre

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

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

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

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

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

# UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE DE SAISIR SA CHANCE À L'INTERNATIONAL



© DR

Les entreprises françaises de travaux publics disposent d'une compétence pluridisciplinaire internationalement reconnue. De grands chantiers en cours à l'étranger en témoignent : Bouygues construit les tunnels du métro de Melbourne, Vinci une nouvelle ligne de métro au Caire et Eiffage l'Auto-route de l'Avenir, la première autoroute à péage d'Afrique de l'Ouest. Juste avant le début de la pandémie, les entreprises hexagonales du secteur étaient celles qui travaillaient le plus à l'international après les entreprises chinoises.

Ce dynamisme a été entretenu par le *Plan d'Investissement pour l'Europe*, lancé en 2015. De grands projets d'infrastructures ont vu le jour, telle la création de la liaison ferroviaire transalpine Lyon-Turin. Au-delà de l'Union, les appels d'offre ne manquent pas non plus. Business France, de son côté, aide activement les PME et ETI de travaux publics à gagner des marchés à l'étranger. En 2019, ses équipes ont accompagné pas moins de 70 entreprises du secteur pour rencontrer de nouveaux partenaires et clients dans le monde.

Aujourd'hui, la multiplication des plans de relance ouvre des perspectives inégalées de marchés à l'international. Au sein de l'Union européenne, le *pacte européen pour le climat*, lancé le 9 décembre 2020, augmenté de 5,6 Mds € au titre du plan de relance

européen, vise notamment à développer des moyens de transport plus propres. Aux États-Unis, le plan de sauvetage de 1 900 Mds de dollars comporte lui aussi un large volet dédié aux infrastructures. En Chine, le plan de relance de 500 Mds € leur est presque entièrement dédié. On pourrait citer bien d'autres exemples encore.

Nos entreprises disposent d'un savoir-faire et d'une expérience qui les positionnent favorablement pour gagner les marchés ouverts dans le cadre de ces plans. Depuis une dizaine d'années, elles intègrent les innovations liées à la transformation digitale et les avancées apportées par l'intelligence artificielle. Elles se maintiennent ainsi à un haut niveau de compétitivité, qui leur permet de tirer leur épingle du jeu sur des marchés de travaux publics devenus très concurrentiels.

Néanmoins, la situation de nos entreprises de travaux publics reste assez contrastée en matière de développement export : les grands groupes continuent à se développer hors de nos frontières, mais les PME et ETI qui exportent restent minoritaires. Un effort s'impose donc pour aider les autres à se projeter à l'international. C'est tout l'enjeu de la *Team France Export* créé en 2018 à l'initiative de Business France avec les chambres de commerce et d'industrie et Bpifrance. Ensemble, nous avons créé une offre commune d'accompagnement à l'export couvrant le diagnostic, l'aide à la prospection, le financement et les garanties : il y a désormais un seul guichet en France pour tous ces services et des interlocuteurs uniques à l'étranger qui accompagnent les exportateurs dans plus de 100 pays.

À cette réforme de fond, gage de simplicité et d'efficacité accrues, s'ajoutent aujourd'hui les aides financières apportées par le volet export du plan de relance, doté de 250 M€ : le chèque export, le chèque V.I.E et le renforcement de l'assurance prospection sont autant d'incitations fortes pour les PME et ETI à partir ou repartir à la conquête de l'international. Jamais la France n'a offert aux entreprises de travaux publics de tels moyens opérationnels et financiers pour se lancer et faire rayonner dans le monde la créativité et le savoir-faire français. Il est temps de saisir sa chance !

**CHRISTOPHE LECOURTIER**

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE BUSINESS FRANCE



# INTER NATIONAL

HALFWAY RIVER BRIDGE, VUE DE PLOÛ CO. © EIFFAGE





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



14

**ENTRETIEN AVEC  
FANNY DASTUGUE**

CICA :  
REPRÉSENTER, DÉFENDRE, CONSEILLER  
LES ENTREPRISES DE CONSTRUCTION  
DANS LE MONDE

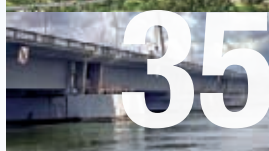
**20 PARIS LA DÉFENSE : SUR LA DALLE ET  
SOUS LA DALLE, DES QUARTIERS DE VIE**



28

**LA TOUR F  
D'ABIDJAN**

Les fondations



35

**LE PONT FÉLIX  
HOUPHOUËT-BOIGNY  
À ABIDJAN**

Les travaux de rénovation



42

**LA VOIE NAVIGABLE  
CANADIENNE  
TRENT SEVERN**

Reconstruction de barrages



50

**VÖTTING TUNNEL**

Missing section  
of the Freising western  
bypass



56

**HS2**

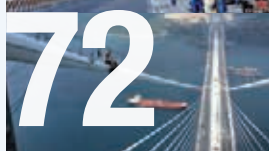
Chiltern tunnel south portal  
gathers pace



62

**LRT1 MANILLE**

Un lanceur progresse  
dans la ville



72

**INSTRUMENTATION  
DES GRANDS  
OUVRAGES D'ART**

De Rion-Antirion en 2004  
jusqu'à 1915Çanakkale en 2021



78

**LIGNE FERROVIAIRE  
À GRANDE VITESSE S21**

Stuttgart - Ulm en Allemagne



84

**RÉALISATION  
D'UN TUNNEL POUR  
CÂBLES ÉLECTRIQUES**

dans le désert d'Atacama au Chili



90

**HALFWAY RIVER BRIDGE**

Planning chaud  
contre hivers froids !









## DIX BARRAGES SUR LA TRENT SEVERN DANS L'ONTARIO LES CHARMES DE L'HIVER AU CANADA

**Demathieu Bard**, par sa filiale canadienne Construction Demathieu & Bard Inc., en groupement avec Marple Reinders Constructors Ltd., pour le maître d'ouvrage Parcs du Canada, avec pour concepteurs Snc Lavalin Inc., Stantec Consulting Ltd. et Cima Plus, reconstruit sur une durée de 5 ans une dizaine de barrages de régulation dans la région de Toronto. Le style historique des ouvrages est conservé. De sévères mesures environnementales obligent à réaliser la majeure partie des travaux en hiver ce qui, au Canada, n'est pas une sinécure. (Voir article page 42).





## PRIX ARCHITECTURE DE LA FONDATION JACQUES ROUGERIE : EN MER ET DANS L'ESPACE

La question de l'électricité pour vivre en mer est résolue dans la plupart des projets des lauréats du concours d'architecture Jacques Rougerie-Institut de France. Il faut aussi manger, se divertir, voire s'activer. L'Espace, quant à lui, inspire de l'habitat futuriste.



La station flottante de la Slovaque Lenka Patrakova, grand prix architecture et innovation pour la mer, tire parti des déchets flottants sur la mer.

Jacques Rougerie a donné le nom de Jules Verne à la 10<sup>e</sup> édition du concours international d'architecture de sa fondation à cause de cette phrase qu'il aurait prononcé : « *Tout ce qu'un homme est capable d'imaginer, d'autres hommes sont capables de le réaliser.* » Le fil conducteur du concours reste le biomimétisme pour « *bâtir les mondes résilients de demain.* »

Le "8<sup>e</sup> continent" remporte le grand prix "architecture et innovation pour la mer". La station flottante de Lenka Patrakova (Slovaquie) tire profit des déchets flottants à la surface de l'eau. Une barrière capte les plastiques tout autour et abrite une production d'électricité marémotrice.

Sous la station, le collecteur trie les déchets, les stockent avant leur transformation en matériaux recyclables. Des plantes poussent dans des serres et un équipement dessale l'eau de mer. Des laboratoires de recherche complètent le dispositif.

Le prix Focus de cette catégorie a été attribué au village sous la mer de Baptiste Bossier (France). L'Himanthalia est un centre de traitement des accidents de dépressurisation, de plaies et de maladies respiratoires grâce à la pression de l'eau. L'électricité est tirée de la mer. Le coup de cœur de la catégorie revient à Ægir de Henri Rousseau, Baptiste Loison et Yves Amoros (France), étudiants à

l'École nationale supérieure d'architecture (Ensa) de Nantes. Leur vaisseau ressemble à une énorme carapace de tortue posée sur l'eau. Ægir bouge doucement au gré des vagues : « *Ce géant des mers, (...) en captant les ondulations de la houle, produit une énergie permettant d'alimenter les infrastructures intérieures.* »

### → Fondation en racines

Un autre projet de l'Ensa de Nantes a remporté la mention spéciale catégorie "montée des océans". Anna Giraudeau-Warden, Marie-Line Bruneau et Hoang Nam ont conçu Dat Noi, sur le fleuve Dong Nai à Ho Chi Minh (Vietnam). L'îlot se déploie en étoile autour d'une maison communautaire. Il comprend des parcelles de culture (riz, fruits), de la pisciculture et des tours de logements.

Le grand prix "montée des océans" a été attribué à Alexandre Bausson (France) et Felipe Ruiz Valenzuela (Chili). Ils ont cherché à sauvegarder des maisons côtières au Ghana. Ils s'inspirent du système racinaire des palétuviers pour concevoir les fondations d'un habitat sur flotteurs.

Dans cette catégorie, Martin Pretorius, architecte, et Raphaël Trischler (concepteur 3D), d'Afrique du Sud, prix Focus, superposent structures et couches pour former des lotus flottants qui accueillent cultures, pêche et logements. De l'électricité est produite par les courants. Obtenir de l'eau est la fonction principale

du Nimbus, coup de cœur "montée des océans". Sa grande toiture tient lieu de membrane de distillation, transformant la vapeur d'eau en liquide. Projet de Kenton Sin et Chung Kin (États-Unis) pour l'Afrique subsaharienne.

### → Débris en orbite

En "architecture et innovation pour l'Espace", le grand prix a été gagné par l'équipe de Corallation avec Maria Martinez Ramirez (Espagne), Oliver Jungwirth, Dario Bergmann et Philipp Erkinger (Autriche). Ils récupèrent des débris en orbite et s'en servent pour construire vaisseaux spatiaux, drones, etc.

Le focus de la catégorie revient à Samer El Sayary (Égypte) pour Iris, « *ascenseur orbital et télescope* » inspiré du mécanisme oculaire.

### → Habiter dans l'Espace

Deux mentions spéciales ont été décernées : à l'Eurohab, habitat gonflable destiné aux astronautes sur la Lune (Peter Weiss, Allemagne, Jean-Jacques Favier, France) et à l'anneau à habiter au bord d'un cratère lunaire (Ekaterina Sharygina, Russie).

Prochain palmarès de la fondation : 1<sup>er</sup> décembre 2021<sup>(1)</sup>.

<https://fondation-jacques-rougerie.com> ■

<sup>(1)</sup> Deux éditions précédentes : Travaux n°949, mars 2019 page 14 et n°959, avril-mai 2020, page 15.

## JACQUES ROUGERIE, ARCHITECTE DU SOUS-MARIN

La fondation Jacques Rougerie, qui a remis ses prix pour la 10<sup>e</sup> fois (cf. ci-contre), a été créée en 2009 par l'Institut de France dont Jacques Rougerie est membre depuis 2008.

L'architecte, né en 1945, se forme aux Beaux-Arts, à l'Institut océanographique de Paris, à l'Université d'urbanisme de Vincennes (Paris 8) et aux Arts et métiers. En 1973-1975, il conçoit un village sous la mer aux Iles Vierges (États-Unis, mer des Caraïbes).

Il se passionne pour l'exploration et la colonisation des océans. Il participe au projet Seaorbiter, vaisseau de 58 m de haut dont 31 sous la mer, qui dérive au gré des courants. Il a conçu une fosse de plongée aérienne à Valenciennes (Nord) où le public peut voir les plongeurs évoluer dans l'eau (Centre aquatique Nungesser).

Parmi ses productions citons le Nausicaa, Centre national de la mer, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais), à la fois aquarium et centre scientifique et technique.

En 2015, il est l'architecte du musée d'archéologie sous-marine d'Alexandrie (Égypte).



Vision nocturne d'Ægir qui capte les ondulations de la houle pour produire l'énergie dont ont besoin les infrastructures intérieures.



### INFRASTRUCTURES : DISCUSSIONS FRANCO-ITALIENNES DANS LES ALPES-MARITIMES



© SNCF RÉSEAU DT PROVENCE/ALPES/CÔTE-D'AZUR

L'Italie s'est engagée à contribuer aux réparations suite à la tempête Alex sur les tronçons ferrés vers son territoire. Ici, chantier à Saint-Dalmas-de-Tende (Alpes-Maritimes).

Ce sera un pont et non un tunnel. Ainsi en a décidé la Commission intergouvernementale pour l'amélioration des liaisons franco-italiennes dans les Alpes du Sud (CIG Alpi Del Sud) à propos du rétablissement des accès du tunnel routier de Tende (Alpes-Maritimes), à la frontière franco-italienne, suite aux destructions de la tempête Alex (octobre 2020), lors de sa réunion du 5 mai. Le pont a penché plus lourd dans la balance qu'un tunnel grâce à deux études. L'Azienda nazionale autonoma delle strade (Anas, Agence nationale autonome des routes) avait formulé deux hypothèses : un pont qui franchit le lit de la Cà ou un tunnel qui passe dessous. En pesant le pour et le contre, notamment en gestion des matériaux, autorisations administratives, coûts, l'Anas s'est exprimée en faveur d'un pont. La délégation française, de son côté, avait proposé une solution proche suite à une étude confiée au Cerema. Elle s'est donc ralliée à l'avis de la société des

routes et autoroutes de l'État italien. Le projet d'un nouveau pont est sur les rails. Une commission technique et un comité de sécurité vont suivre le projet développé par l'Anas avec l'appui de la commission technique avant sa validation par la CIG. Sont impliqués les représentants des régions du Piémont, de Ligurie, de Provence/Alpes-Côte-d'azur et du département des Alpes-Maritimes. Lors de la réunion du 5 mai, a été évoqué le partage du coût des réparations sur la voie ferrée entre Breil-sur-Roya et Tende, dont le trafic venait de reprendre. SNCF Réseau a déboursé 20 millions d'euros avec l'État, la Région et le Conseil départemental<sup>(1)</sup>. L'Italie s'est engagée à verser 5 millions d'euros pour les travaux sur les tronçons en direction de son territoire : au nord de Tende et au sud de Breil. → **400 m de voie au sud de Breil** La direction territoriale Sud de SNCF Réseau et le Rete ferroviaria italiana (RFI) devaient finaliser un accord pour recons-

truire 400 m de voie sur le tronçon au sud de Breil (remblai de Cottalorda). La CIG les a pressés pour que ce soit fait en décembre voire avant. Par ailleurs, le groupe de travail sur la régénération de la ligne Cuneo-Vintimille en Italie à l'est de la frontière devait se réunir fin mai en vue de présenter ses conclusions le 30 septembre, date de la prochaine réunion de la CIG. Les régions Paca, de Ligurie et du Piémont souhaitent que cette ligne fasse partie du Réseau transeuropéen de transport (RET-T), ce qui ouvrirait l'accès à des financements européens pour les travaux. → **Travaux électriques à Vintimille** La gare de Vintimille qui marque la frontière en train près de la Méditerranée, fait l'objet d'un projet de réaménagement de son installation électrique de façon à améliorer la desserte par les trains italiens.

<sup>(1)</sup> Cf. *Travaux* avril-mai 2021, n°968, page 9.

### 1,5 MILLIARD POUR LA NOUVELLE-AQUITAINE

La région Nouvelle-Aquitaine compte 1 856 km de petites lignes pour lesquelles un protocole d'accord entre la Région et l'État en avril prévoit un investissement de 1,524 milliard d'euros. Vingt-et-une lignes de desserte fine ont besoin d'être régénérées\*. Rappelons que la Nouvelle-Aquitaine regroupe l'Aquitaine, le Limousin et le Poitou-Charentes, ce qui en fait la plus vaste région française. Une convention fixera la répartition des participations financières, ligne par ligne, entre l'État, la Région et SNCF Réseau. Les régions Sud (Provence/Alpes/Côte-d'Azur), Bourgogne/Franche-Comté, Grand-Est et Centre/Val-de-Loire ont également signé des protocoles récemment.

\* Détail sur : [www.ecologie.gouv.fr/presse](http://www.ecologie.gouv.fr/presse), 22 avril.



© TONY DROUILAS/SNCF RÉSEAU

Travaux dans le secteur de Chaniers, en 2020, au sud-est de Saintes (Charente-Maritime) dans le cadre du précédent contrat de plan État-région.

### ÉCO-ORGANISME DÉCHETS INERTES

Vingt entreprises adhérentes de syndicats ou fédérations de produits et matériaux de construction\*\* ont décidé de créer un éco-organisme pour valoriser les déchets inertes du bâtiment (33 millions de tonnes par an). L'éco-organisme financera le traitement des déchets inertes et améliorera les performances de la filière du recyclage. Son organisation et fonctionnement devaient être précisés début juillet.

\*\* Fib, Routes de France, Sfic, SNBPE, SNRoc, Unicem, UNPG.



## VILLES INCLUSIVES

L'Organisation des nations unies pour les établissements humains (ONU-Habitat) et l'Université Gustave Eiffel vont coopérer pour transformer des villes en Tunisie et y inclure les plus démunis, buts présents à l'agenda 2030 de l'ONU. Sont visés les sans-abris et les migrants.

Un mémorandum d'accord a été signé entre les deux partenaires à la mi-mai, ONU-Habitat étant représenté par le bureau du Caire (Égypte).

L'université veut développer son action à l'international, ici sur le cas spécifique tunisien. L'accord porte sur trois axes : villes transformées et inclusives, inclusion des personnes les plus vulnérables et soutien à la mise en œuvre de l'objectif de développement durable n°11 (établissements humains ouverts à tous, sûrs, résilients et durables).

## MOBILITÉS : L'IDRRIM CONSULTE

Le ministère de la Transition écologique a confié à l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrrim) la préparation du volet infrastructures routières de la stratégie d'innovation "Digitalisation et décarbonation des mobilités", ceci dans le cadre de la 4<sup>e</sup> édition du programme d'investissements d'avenir (PIA4). L'Institut consulte les acteurs des infrastructures sur l'éco-conception, la recyclabilité, la multifonctionnalité énergétique des routes et l'automatisation du transport routier.

[www.idrrim.com/actualites-presse/2021-02-26,8282.htm](http://www.idrrim.com/actualites-presse/2021-02-26,8282.htm)

## GRAND PRIX DE L'URBANISME : RÉINVENTER DES TERRITOIRES ABÎMÉS



© ANTOINE ESPINASSEAU

Transformation de l'usine métallurgique Cail Babcock à Lille (Nord) en un quartier mixte, ici fin 2018.

Le grand prix de l'urbanisme 2021 a été décerné à l'agence d'architectes-urbanistes, AUC, fondée en 1996 par Djamel Klouche, Caroline Poulin et François Decoster. Alessandro Gess est associé depuis 2021. Le jury, présidé par la directrice générale de l'Aménagement, du

Logement et de la Nature, a apprécié l'intelligence des situations de l'AUC, son art pour réinventer des territoires abîmés (friches ou autres), pour imaginer des formes urbaines denses et de qualité, et ses propositions de nouveaux communs (rez-de-chaussée, espaces publics).

L'équipe avait participé à European n°5 en travaillant sur le corridor Anti-Potemkine à Villeteuse (Seine-Saint-Denis), à la fin des années 1990. Actuellement, elle est présente notamment à Bruxelles (Belgique) sur la transformation du Centre Monnaie et sur l'élaboration du plan communal. À Singapour, elle participe à la réflexion sur l'ancienne base aérienne Paya Lebar.

### → Régénération de Lyon/Part-Dieu

Autres conceptions qui marquent son parcours : les Courtilières à Pantin (Seine-Saint-Denis), Fives Cail Babcock à Lille (Nord), régénération du secteur Lyon/Part-Dieu, quartier Pleyel à Saint-Denis (Seine-Saint-Denis).

Djamel Klouche et François Decoster enseignent à l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles ainsi qu'à la School of Design and Environment de l'Université nationale de Singapour.

### → Deux nominés

Le jury a salué deux autres professionnels : Laurent Davezies, économiste, enseignant, consultant, auteur de plusieurs ouvrages, et l'agence TVK avec Pierre-Alain Trévelo et Antoine Viger-Kohler, qui travaille notamment sur les infrastructures et leur environnement. ■

## DÉVELOPPER LES SOLS PLANTÉS EN VILLE

Nancy (Meurthe-et-Moselle) va commencer cet été la végétalisation de cinq cours d'école. Avec moins de bitume et plus de terre, la ville veut créer des îlots de fraîcheur et les ouvrir au grand public hors temps scolaire. Les plantations favorisent la biodiversité et la pluie s'infiltrer dans le sol. Des "chemins d'eau" (caniveaux) collecteront les eaux pluviales et pourront servir à des fins pédagogiques. Pour préciser le projet, trois paysagistes ont conduit des ateliers avec enfants, parents, enseignants, personnel périscolaire.

### → Mesures coercitives

Nancy est une des 18 villes à avoir répondu à l'enquête sur la lutte contre l'artificialisation des sols de l'Observatoire des villes vertes, créé par l'Union nationale des entreprises du paysage (Unep). D'autres villes s'intéressent à l'évolution

de leurs cours d'écoles comme Paris, Montpellier (Hérault), Nice (Alpes-Maritimes) et Poitiers (Vienne).

Quatorze des 18 villes font appel à des paysagistes et inscrivent des obligations dans leurs plans locaux d'urbanisme.

Marseille (Bouches-du-Rhône) a établi un zonage des zones pavillonnaires et y impose 40 à 70 % d'espaces verts dont 2/3 en pleine terre.

### → Retenir les habitants

La verdure rend les villes plus attrayantes. « L'argument de l'attractivité va sûrement jouer pour beaucoup, (...) en anticipation de prochains confinements, afin d'éviter un exode trop important d'habitants fuyant les grandes places urbaines pour plus de vert, » estimait en février Laurent Bizot, co-président de l'Observatoire des villes vertes. ■



© VILLE DE NANCY

Plan de la cour de l'école Émile Gallé à Nancy (Meurthe-et-Moselle). En haut, un chemin d'eaux pluviales.



## L'APPRENTISSAGE MACHINE APPLIQUÉ AUX INFRASTRUCTURES EN SERVICE



La passerelle Saint-Laurent de Grenoble a été équipée ce printemps en capteurs et caméras pour la recherche MorphoIA.

La fondation Ferec va accorder de 30 000 à 40 000 euros à 9 sujets de recherche en "intelligence artificielle (IA) appliquée aux infrastructures en service", thème de son appel à projets 2020, a-t-elle fait savoir en mars. Il est question ici d'apprentissage machine (machine learning), un des champs d'étude de l'IA. L'apprentissage machine donne aux ordinateurs la capacité d'apprendre à partir d'un grand nombre de données et à résoudre des tâches sans avoir été programmés pour cela (source Wikipedia). Le projet Adoucir du Cerema Endsum<sup>(1)</sup> avec l'Université Gustave Eiffel vise à créer un programme de calcul (algorithme) à partir d'images de surface d'un ouvrage d'art couplées à des images radar, afin de détecter et expliquer la présence de fissures (aide au diagnostic). Pour que l'algorithme perçoive une fissure et en propose des causes, il faut

créer un modèle qui est appris à partir d'un certain nombre de cas existants annotés et dont il tire une probabilité d'appartenance à telle ou telle catégorie (fissure ou non).

Là où par le passé, les gestionnaires travaillaient éventuellement sur quelques images et les caractéristiques de l'ouvrage, l'algorithme applique le modèle sur les images d'un pont afin de localiser un endroit suspect. Et il peut disposer de données sur tout un ouvrage grâce à une collecte par drone ou autre système. Treize projets utilisant l'IA avaient été auditionnés par la Fondation sur 28 dossiers.

### → Se dégager de la température

La passerelle Saint-Laurent (Grenoble), rénovée en 2018<sup>(2)</sup>, a reçu début 2021 capteurs et caméras pour être site de recherche du Morpho IA de MorphoSense. Le système cherche à fusionner

des données caractérisant la structure à un moment T0 à des données variables comme la météo et le passage de piétons. « L'objectif est de cataloguer toutes les sources de sollicitation, de les classer et de détecter automatiquement les anomalies et de prédire leurs effets sur la structure, » écrit l'entreprise. Autre projet retenu : Correltemp de Sixense Monitoring. Il s'agit d'enlever l'impact de la température sur la mesure. La respiration-dilatation d'un ouvrage, source d'une variation réversible, peut générer des erreurs d'interprétation si elle n'est pas isolée du reste et quantifiée.

### → Géoréférencer des réseaux enterrés

Les recherches des autres lauréats portent sur la surveillance d'un ouvrage sans recours à un modèle mécanique de celui-ci (Maadison de Sites), le géoréférencement des réseaux enterrés (Dégre, Cerema), les dégradations de pistes d'aéroport (Easy-DD (A)2, Service technique aviation civile), les risques naturels (Rina, Cerema), la biodiversité (Ocap, Terroiko) et le collage dans les chaussées (Smart TCscan, UGE).

<https://fondation-ferec.fr> (actualité 1<sup>er</sup> avril). ■

<sup>(1)</sup> Évaluation non destructive des structures et des matériaux.

<sup>(2)</sup> Travaux n°945, octobre 2018, page 11.

## GARE DE GAND EN TRAVAUX

Eiffage Benelux a remporté une partie des travaux de modernisation de la gare de Gand-Saint-Pierre (Belgique). La Société nationale des chemins de fer belges (SNCB) qui a conçu la nouvelle gare, a confié ce chantier au groupement mené par Antwerpse Bouwwerken et Valens, deux filiales d'Eiffage.

L'opération se monte à 100 millions d'euros dont 86 pour Eiffage. Elle s'insère dans un plan pluriannuel entre la SNCB, Infrabel, De Lijn, la ville de Gand et la Région flamande. Davantage de trains sont amenés à y circuler et l'intermodalité avec les autres modes de transport y est développée.

Cette transformation de la gare comprend des aménagements en rez-de-chaussée et au 1<sup>er</sup> sous-sol, le renouvellement de voies et de quais. Ceux-ci seront couverts et serviront de support à des panneaux solaires. L'installation de pompes à chaleur fait partie du projet. La gare n'est pas fermée pendant les travaux organisés par phases et sous méthodologie Bim dynamique. Ce qui permet, par exemple, de visualiser la construction et les mouvements de déblais et de matériaux afin de limiter l'impact du chantier.



Les quais de la gare de Gand-Saint-Pierre (Belgique) seront couverts.

## APPEL À PROJETS 2021

Les candidats au prochain appel à projets de la Fondation d'entreprise recherche collective pour la construction et les infrastructures (Ferec) ont jusqu'au 10 septembre 2021 pour envoyer leur dossier.

Thème : développement d'études, de méthodes, d'indicateurs pour analyser l'empreinte environnementale de solutions techniques (émissions de gaz à effet de serre et économie circulaire).

<https://fondation-ferec.fr>



### COLAS EN CÔTE D'IVOIRE

Colas Afrique a remporté deux nouveaux contrats en Côte-d'Ivoire, en mai. Livraison : automne 2023.

Le 1<sup>er</sup> contrat de 157 millions d'euros porte sur le renforcement de la Route de l'Est, soit 133 km entre Agnibilérou et Bondoukou, à proximité du Ghana, d'une part, et la transformation d'une piste de 33 km en route entre Agnibilérou et Takikro, commune frontalière, d'autre part. Ce lot inclut 30 ouvrages hydrauliques. Ce contrat comprend également 4 ouvrages d'art, deux entre Aniassué et Vonkoro, toujours à l'est, et Sémien et Guiglo, à l'ouest de Daloa. Le second contrat s'élève à 23 millions d'euros pour des travaux de voirie et réseaux divers dans les villes traversées. En 2020, Colas Afrique a achevé l'élargissement et le renforcement de la Route du Nord, soit 125 km entre Bouaké et Kanawolo.



© COLAS

Élargissement et renforcement de la Route du Nord sur 125 km achevés en 2020.

## EGIS SE RENFORCE EN AUSTRALIE ET SE DIVERSIFIE EN ANGLETERRE

Indec a rejoint le groupe Egis, en mars. La société australienne, spécialisée dans le conseil, le développement et la gestion de projets d'infrastructures de transport, est implantée à Melbourne, Sydney et Brisbane.

Créée en 1982, elle est bien connue des autorités gouvernementales qui lui ont confié de grands projets : l'expertise technique pour le nouveau métro de Melbourne, la certification indépendante de la réfection du réseau ferré régional des Nouvelles-Galles, et la vérification du projet de métro de Brisbane.

Egis, par l'incorporation d'Indec, renforce sa présence en Australie dans les transports, l'urbanisme, la défense et l'eau. Les actionnaires d'Indec conservent une participation importante et continuent de diriger la société.

Le groupe français assure déjà la maintenance de tunnels routiers depuis près de trente ans. Il a également développé son activité en ingénierie-conseil dans les transports ferroviaires et urbains à Sydney et à Melbourne, et en Nouvelle-

© INDEC



Indec qui a rejoint Egis, avait réalisé les études de faisabilité de la reconstruction du centre de maintenance de tramways Preston à Melbourne (2016, Australie).

Zélande, avec le City Rail Link d'Auckland. Dans un tout autre domaine, le nucléaire, Egis se diversifie dans les déchets radioactifs à travers une prise de participation majoritaire en mars dans Galson

Sciences, située à Oakham, à l'est de Leicester (East Midlands).

Galson Sciences se dédie à la gestion et au stockage des déchets, un maillon du nucléaire sur lequel Egis n'est pas encore actif. « La société réalise des études multidisciplinaires couvrant tous les aspects des déchets radioactifs incluant l'inventaire, le traitement, le conditionnement-emballage, le transport, l'entreposage-stockage, est-il écrit dans un communiqué. Elle dispose d'une expertise particulière pour la préparation des dossiers de sûreté (...) y compris en démantèlement, solutions temporaires et déchets orphelins, les études de criticité et de coût. »

### → 30% du CA à l'international

La société anglaise réalise 30% de son chiffre d'affaires à l'international.

Egis prend part à des projets de réacteurs pressurisés européens (EPR) en France, Finlande, Chine et Royaume-Uni. Il contribue à Iter, réacteur expérimental de fusion nucléaire (Cadarache, Bouches-du-Rhône). ■

## SNCF RÉSEAU VALORISE SON EXCÉDENT DE FIBRE OPTIQUE

SNCF Réseau met à disposition son réseau de fibre optique. L'entreprise a déployé près de 20 000 km de fibre le long des grands axes du réseau ferré national pour ses besoins propres de télécommunication, sur lesquels peuvent

se greffer d'autres utilisateurs. Pour cela, elle a créé une filiale, Terralpha.

La technologie de transmission, DWDM, regroupe plusieurs faisceaux de lumière à l'intérieur d'une même fibre optique. Des flux peuvent y circuler indépendam-

ment les uns des autres. Terralpha propose donc de l'ultra haut débit numérique avec des vitesses de transmission de 10 ou 100 gigabits par seconde, selon les besoins du client. À titre de comparaison, le très haut débit se situe au-dessus de 30 mégabits/sec (1 Gbit = 1 000 Mbits).

### → Pour les gros utilisateurs

Ces niveaux de débit intéressent les opérateurs de réseaux téléphoniques, les hébergeurs et opérateurs de data centers, les grands industriels, la SNCF et les réseaux d'initiatives publiques relevant des collectivités territoriales. En mai, l'offre était disponible autour de Paris, Toulouse, Lille, Valenciennes (Nord), Lyon, Marseille et Bordeaux.

SNCF Réseau qui entretient, modernise et assure la sécurité des 28 000 km du réseau ferré exploité, contribue ainsi à l'extension d'un réseau internet performant sur le territoire. Jusqu'ici, les télécommunications de la compagnie passaient par du câble en cuivre. ■



© SNCF RÉSEAU

La fibre optique utilisée par SNCF Réseau comprend plusieurs faisceaux sur lesquels peuvent transiter d'autres données numériques.



## 650 MILLIONS D'EUROS IRONT À LA RECONVERSION DE FRICHES



L'ancienne halle Sulzer à Mantes (Yvelines) va abriter une université, un équipement culturel et une allée plantée.

Les arbres qui ont poussé à l'intérieur de la halle Sulzer à Mantes (Yvelines) vont être remplacés par une pépinière où pousseront les végétaux de la Zac Mantes Université dont la halle fait partie. La structure métallique de 300 m de long, 30 de large et 28 de haut où étaient assemblés des moteurs de bateaux abritera une université, une grande allée plantée et un équipement culturel. La toiture et tous les murs sauf un vont être démolis. Ce projet du département des Yvelines, estimé à 150 millions d'euros et conduit

par l'Établissement public d'aménagement du Mantois Seine Aval, est un des lauréats des 2 appels à projets de l'État "friches" dévoilés fin mai.

### → Plus de 3 millions de logements

L'appel "recyclage foncier", piloté par les préfets de région, a rencontré un grand succès - 1 119 dossiers reçus dont 441 éligibles. Un quart des projets sont également inscrits dans les dispositifs "Action cœur de ville" ou "Petites villes de demain".

Les friches de cet appel couvrent 1 200 hectares au total sur lesquels il est prévu

de construire plus de 3 millions de logements et plus d'un million de mètres carrés d'activités.

### → Aide aux études et aux travaux

Le second appel à projets, sous l'égide de l'Ademe, est réservé aux sites pollués ou miniers.

Doté de 30 millions d'euros, il bénéficiera à 75 projets en études et 36 en travaux sur 165 ha (300 000 m<sup>2</sup> de logement et 400 000 m<sup>2</sup> d'activités).

Au total, 650 millions seront accordés à des reconversions de friches qui contribuent à limiter l'étalement urbain. ■

## LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS PASSE UN MARCHÉ D'ASSISTANCE EN BIM

La Société du Grand Paris (SGP) fait appel à un groupement d'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) pour l'accompagner dans l'implantation du Bim à tous les niveaux, de la conception aux dossiers des ouvrages exécutés.

Le groupement mené par Axima Concept a remporté le marché avec ACTH, SXD et Vianova Systems France. Axima Concept et SXD sont des entités de la Bim Factory d'Engie Solutions.

La SGP n'en est pas à ses débuts en matière de Bim puisqu'elle y recourt pour les marchés de maîtrise d'œuvre et la réalisation des lignes du Grand Paris Express.

À travers la mission d'AMO de quatre ans renouvelables, le maître d'ouvrage veut « encourager l'ensemble de ses partenaires à développer des initiatives parti-

cipant à ses objectifs de support opérationnel à la gestion du projet, en les élargissant au travers d'une conception multi-métiers en Bim et d'une direction de l'exécution des travaux en coactivités multiples. »

Des maquettes numériques seront produites en avant-projet et en représentation du "tel que conçu". Le Bim s'applique ensuite aux études d'exécution, au suivi des travaux puis au "tel que construit" (dossiers des ouvrages exécutés).

### → Formation incluse

Le groupement devra aussi accompagner la SGP en formation et en assistance à l'utilisation des outils. Il mettra sur pied un référentiel de données unique et partagé par tous pendant toute la durée de vie du projet, et préparera la documentation numérique. ■



Les architectes produisent déjà des vues en Bim. Ici image de la station Saint-Denis-Pleyel obtenue à partir d'une maquette Bim.

### 1<sup>er</sup> PRIX BOUSSINESQ

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS) a remis pour la 1<sup>re</sup> fois son prix Boussinesq en mai.

Le prix en l'honneur de Joseph Boussinesq (1842-1929), hydraulicien et mathématicien, a été accordé à Alexandre Lopes pour sa thèse sur « la détermination du module du cisaillement des sols sous faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique innovante. » Cette recherche a été menée dans le cadre du projet national Approches de reconnaissance des sols et de conception des ouvrages géotechnique avec le pressiomètre (Arscop).

Le sujet de thèse sera exposé lors d'une prochaine réunion du CFMS.

### INSPECTIONS TÉLÉVISUELLES

L'association Ingénierie de maintenance du génie civil (IMGC) publie des recommandations (48 pages) pour les techniques d'inspection télévisuelles des structures de génie civil, par exemple les drones, qui se développent sans cadre réglementaire ou normatif.

L'ouvrage, téléchargeable, guide les professionnels dans le choix de la meilleure solution parfois indispensable dans les endroits d'accès dangereux, le plus souvent en complément d'autres méthodes. Il propose un cadre de travail et d'échange entre intervenants, et précise la restitution des interventions ainsi que leurs limites.

[www.imgc.fr](http://www.imgc.fr)

### GÉOTHERMIE : CONFÉRENCE ET CONGRÈS

Les conférences sur la géothermie reprennent. La seconde conférence sur les géosciences et l'ingénierie pour la transition énergétique (GET 21) se tient à Strasbourg (Bas-Rhin) du 23 au 25 novembre. En 2022, du 17 au 21 octobre, Berlin (Allemagne) accueillera le congrès European Geothermal.

[www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)

[www.europeangeothermalcongress.eu](http://www.europeangeothermalcongress.eu)



### DOLMEN : 1<sup>re</sup> ASSEMBLÉE

L'assemblée constitutive du projet national de recherche collaborative (PNR) Dolmen s'est tenue le 5 juillet. Le projet "Développement d'outils et de logiciels pour la maçonnerie existante et neuve" a obtenu son statut de PNR le 16 décembre 2020 après des travaux de faisabilité par un comité de spécialistes\*.

Dolmen ne traite la maçonnerie qu'en génie civil (ponts, murs de soutènement, tunnels, quais, barrages, etc.), avec des blocs de pierre et de brique, avec ou sans liant. Les ouvrages en démolition sont inclus. Désormais, les participants vont travailler sur sept axes. 1<sup>er</sup> axe, transversal : constituer un corpus d'ouvrages de référence (autour d'une vingtaine).

Axe 1 : caractérisation du matériau composite.

Axe 2 : évaluation des structures (logiciels métiers).

Axe 3 : dimensionnement des constructions neuves (outils métiers et innovations).

Axe 4 : maîtrise des incertitudes et des risques, c'est-à-dire intégrer les incertitudes dont les chargements exceptionnels dus au changement climatique (crues, séisme, etc.), défauts dans les fondations, etc.

Axe 5 : analyse développement durable.

2<sup>d</sup> axe transversal : transfert et valorisation.

[www.pndolmen.fr](http://www.pndolmen.fr)

\* Cf. Travaux n°964, novembre 2020, page 6.



© ASSOCIATION DES BATISSEURS EN PIERRE SECHE

Décoffrage du pont de Chaldecoste (Lozère), ouvrage en pierres de schiste qui a contribué à la faisabilité du projet Dolmen.

## CONCOURS INNOV DAY TP : LARGE PALETTE D'INNOVATIONS



© CHAB

Essai de l'Insa Lyon sur la chaussette Chab avant sa déformation par le béton.

Un produit textile a remporté le concours de l'innovation des travaux publics, Innov Day TP<sup>(1)</sup>. Le jury et des internautes ont plébiscité une chaussette dans laquelle est coulé le béton d'un pieu de fondation. Associée à du ferrailage, elle convient dans les sols meubles ou comportant des vides. Ses mailles se déforment et retiennent le béton, l'empêchant de migrer dans les couches géologiques. La chaussette peut remplacer 25 m de tube acier.

La "solution textile pour fondation" était présentée par la société Chab, créée par trois fabricants de textiles techniques de la région lyonnaise : Balas Textile, CTMI, et SMB Bord Côte, avec l'Institut national des sciences appliquées de Lyon.

L'Insa a procédé aux essais de déformation et de résistance à la pression dans une chaussette de 600 mm de diamètre et 2 m de haut, dispositif équivalent à une colonne de plus de 30 m de béton. Là où un textile "classique" explose, la Chab résiste à la perforation et à la contention. L'entreprise prépare un protocole pour essais réels en 2021-2022. Le gagnant du concours où 49 innovations étaient en compétition, a aussi été lauréat dans la catégorie "green technologies" (16 innovations). Les deux autres finalistes dans ce domaine étaient Supraways avec de petits véhicules suspendus, sans conducteur, et Sripath Technologies avec le Relixer, huile biosourcée qui réactive le bitume de l'asphalte à recycler.

→ Écrans pare-blocs sur arbres

La catégorie "sobriété énergétique" a attiré 7 innovations. NGE Fondations est

lauréat avec ses écrans forestiers d'interception de blocs. Les arbres tiennent lieu d'ancrages et de poteaux au lieu d'être coupés au profit d'éléments en métal, à condition d'avoir plus de 20 cm de diamètre et d'être en bonne santé. L'entreprise a transposé aux écrans forestiers

le protocole expérimental de mesure en grandeur réelle des écrans pare-pierres, afin de tester la solidité de chaque configuration.

À ses côtés deux finalistes : Pim Mobility, application mobile d'offres de mobilité et mobilier urbain, et la SFTP pour la limitation des émissions sonores d'extracteurs d'air à fort pouvoir filtrant (désamiantage). La catégorie "transitions numériques et robotiques" a rassemblé 26 innovations. Lauréat : Paintup, bras robotisé pour ravalement de façades.

→ Communiquer en 3D sans peine

Géolithe Innov était un des deux finalistes. Sa solution Rim-Nat résout le problème de la transmission des données en 3D entre acteurs qui conduit parfois à se rabattre sur la 2D. Là, les participants collaborent en 3D sans avoir de logiciel spécifique.

Second finaliste : Futurmap avec son service en ligne Lignemap, plateforme d'agrégation de données géographiques. ■

<sup>(1)</sup> Organisé par Indura, la FRTP Auvergne/Rhône-Alpes et Innov'Infra.



© NGE FONDATIONS

Les arbres tiennent lieu de poteaux et d'ancrages pour retenir les blocs.







**setec**

L'ingénierie géotechnique  
à forte valeur ajoutée  
[www.terrasol.com](http://www.terrasol.com)

4<sup>ème</sup> pont d'Abidjan - Côte d'Ivoire

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, Port de Nouméa, 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), Réservoirs Al-Zour (Koweït), Barrage Singrobo (Côte d'Ivoire), Tour Mohamed VI (Maroc), Pénétrante de Tizi Ouzou (Algérie), TER de Dakar (Sénégal)...

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

## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

*Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu, à quelle date et dans quelles conditions (à distance ou en présentiel).*

#### • 30 AOÛT AU 1<sup>er</sup> SEPTEMBRE

**Infra Bim Open 2021**

Lieu : Lyon

[www.infrabimopen.com](http://www.infrabimopen.com)

#### • 6 AU 8 SEPTEMBRE

**Le souterrain, espace d'innovations**

Lieu : Paris

[www.aftes2020.fr](http://www.aftes2020.fr)

#### • 13 AU 15 SEPTEMBRE

**Semaine de l'innovation transport et logistique**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

[www.sitl.eu](http://www.sitl.eu)

#### • 14 AU 16 SEPTEMBRE

**Construction days**

Lieu : Lyon

[www.construction-days.com](http://www.construction-days.com)

### NOMINATIONS

#### EPA PARIS-SACLAY :

**Pierre Joutard est nommé directeur général adjoint chargé de l'aménagement et du développement durable en remplacement de Franck Caro, à l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay.**

#### MAISON DE L'ARCHITECTURE :

**Léa Mosconi a été élue présidente de la Maison de l'architecture d'Île-de-France. Elle succède à Mme Dominique Boré.**

#### TERRALPHA :

**Luc Lallemand est le PDG de Terralpha, filiale de SNCF Réseau créée en 2021 (voir actualité). Anne Bosche-Lenoir en est la présidente et Gabriel Chenevoy, le directeur général.**

## Bibliographie

### RISQUES SUR LES MURS DE SOUTÈNEMENT EN MAÇONNERIE

Le Cerema s'est inspiré de la méthode de maîtrise des risques pour les ouvrages d'art du Sétra, pour en concevoir une dédiée aux murs en maçonnerie.

La maçonnerie sèche ou avec joints est la technique employée sur plus de la moitié des murs de soutènement du réseau routier national non concédé. Selon le Cerema, « *des ouvrages présentant d'importantes déformations peuvent résister pendant des années alors que d'autres s'effondrent sans signe avant-coureur en raison, par exemple, d'une défaillance de fondation.* » La seule surveillance visuelle ne permet donc pas de détecter des pathologies menaçant la stabilité. La méthode consiste à analyser et à classer ces murs en fonction des aléas (agressivité du milieu, augmentation des sollicitations, résistance



géotechnique en pied défaillante), de leur vulnérabilité à ces aléas, et de la gravité des conséquences en cas de problème.

Objectif : hiérarchiser les actions de surveillance et d'entretien.

L'ouvrage *Analyse des risques appliquée aux murs en maçonnerie* est paru en janvier et compte 76 pages dont la mention des guides complémentaires.

**Téléchargeable gratuitement sur : [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr), rubrique ressources puis publications. ■**



# CICA REPRÉSENTER, DÉFENDRE, CONSEILLER LES ENTREPRISES DE CONSTRUCTION DANS LE MONDE

La CICA, (*Confederation of International Contractors' Associations*) représente l'industrie de la construction - Travaux Publics et Bâtiment - à l'échelle mondiale. Cette industrie qui implique des entreprises de toutes tailles, des plus petites aux plus grandes, réalise un chiffre d'affaires global de 7 000 milliards de dollars américains et emploie environ 120 millions de collaborateurs. La mission de la CICA est de servir, promouvoir et valoriser son image à travers le monde. C'est une association internationale à but non-lucratif de fédérations ou de syndicats professionnels représentant les entreprises de construction de leurs régions respectives et dont les membres s'engagent à se conduire de manière éthique.

**Entretien avec Fanny Dastugue, directrice générale de la CICA.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Fanny Dastugue, directrice générale de la CICA.

**Fanny Dastugue, directrice générale de la CICA, nous en dit plus sur cette association dont les membres contribuent, par les travaux qu'ils réalisent, à la croissance, à la modernisation et à l'amélioration du cadre et de la qualité de vie ainsi qu'à la transition écologique.**

**Quelles sont les origines de la CICA ?**

La CICA (*Confederation of International Contractors' Associations*) a été créée à Tokyo en 1974 pour représenter l'in-

dustrie de la construction à l'échelle mondiale et son siège social est statutairement à Paris, dans les bureaux de la FNTP, ce qui en fait un instrument français d'influence important. Son président est Irwin Perret, ingénieur diplômé de l'Université métropolitaine de Caracas au Venezuela.

La CICA regroupait à l'origine toutes les associations continentales de la construction : la FIEC (Fédération de l'Industrie Européenne de la Construction), pour l'Europe, la FIIC (*Federación Interamericana de la Industria de la Construcción*), pour l'Amérique latine,

FIGURE 1, 2 ET 3 © MARC MONTAGNON



2



3



## FANNY DASTUGUE : PARCOURS

Fanny Dastugue est diplômée de l'Institut d'Études Politiques de Bordeaux (2010) dans la spécialité "relations internationales" et titulaire d'un Mastère de Droit, Économie et Gestion de l'Université Montesquieu de Bordeaux IV (2010).

Elle a également participé à un programme d'échange avec l'Université de Berkeley, en Californie, sur le thème "media et politique globale".

Elle commence sa carrière comme analyste des risques pour la région MENA (*Middle-East and North Africa*) au Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale à Paris (2011-2012).

Entre 2012 et 2013, elle rejoint la Coface (Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur), devenue BPI, en tant qu'analyste des risques politiques et crédits commerciaux, à Londres, d'abord, puis à Paris.

Entre 2013 et 2014, elle rejoint le groupe international d'assurances spécialisées Hiscox, en charge de la clientèle privée.

Elle entre à la FNTF en 2014 en tant que chargée de missions internationales, notamment pour le SEFI (Syndicat des Entrepreneurs Français Internationaux) et la CICA (*Confederation of International Contractors' Associations*).

Depuis 2018, Fanny Dastugue est directrice générale de la CICA.

la FUSCA (*Federation of United States and Canada*) pour les États-Unis et le Canada, l'IFAWPCA (*International Federation of Asian and Western Pacific Contractors' Associations*), pour l'Asie au sens large, incluant l'Australie et la Nouvelle Zélande, la FAC (*Federation of Arab Contractors*), pour les entrepreneurs des pays arabes.

De ce fait, la CICA est une confédération des fédérations continentales mais son action ne se limite pas à des sujets internationaux car elle représente toutes les entreprises de ces associations, aussi bien les majors de la construction que les petites entreprises de Travaux Publics et de Bâtiment dans le monde. Depuis la création, les choses ont évolué. En 2021, la CICA ne regroupe plus que la FIEC et la FIIC mais a tissé des liens avec d'autres associations qui l'ont rejointe : l'OCAJI (*Overseas Construction Association of Japan, Inc.*), quasiment depuis la création et l'IBA (*Israel Builders Association*) en janvier 2019, ainsi que des entreprises qui la soutiennent à titre individuel.

La CICA représente les intérêts du secteur de la construction au niveau mondial et vis-à-vis des institutions internationales, telles que la Banque Mondiale et toutes les banques multilatérales présentes dans chacune des "régions" du monde : par exemple, la Banque Interaméricaine de Développement (BID), la Banque Asiatique de Développement (BAD) mais aussi le Fonds Monétaire International, les Nations-Unies, l'Organisation Mondiale du Commerce, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques, la Chambre de Commerce Internationale... Elle entretient également des relations étroites avec les autres secteurs industriels et les associations professionnelles, les insti-

**2- Japon : la CICA (*Confederation of International Contractors' Associations*) a été créée à Tokyo en 1974 pour représenter l'industrie de la construction à l'échelle mondiale.**

**3- France : le siège de la CICA est statutairement à Paris, dans les bureaux de la FNTF.**

**4- Allemagne : les critères environnementaux et sociaux ont été repris par la KfW (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*), l'équivalent allemand de l'AFD.**

**5- États-Unis : l'initiative "Blue Dot Network" lancée par l'administration américaine travaille au développement d'une certification "infrastructure de qualité".**

tutions spécialisées et les organisations non-gouvernementales.

Elle agit par ailleurs en tant que club pour les entrepreneurs de toutes tailles et en tant que vecteur de bonnes pratiques au niveau international interagissant avec les organisations publiques du monde entier.

La CICA représente l'industrie de la construction et parle en son nom sur les questions techniques, économiques, financières, juridiques et politiques d'intérêt international. Elle offre un forum pour la coopération et l'interaction avec les fédérations membres et les institutions liées.

### Comment les actions de la CICA sont-elles organisées ?

Nous organisons régulièrement des missions auprès des institutions internationales pour faire connaître les positions et propositions du secteur. Les sujets traités ont été préparés antérieurement par 8 groupes de travail : contrats de construction, construction 5.0, financement à long terme

des infrastructures, santé et sécurité, banques multilatérales de développement, partenariats public-privé, bonne préparation des projets, anti-corruption et intégrité.

### Pourriez-vous présenter synthétiquement les objectifs de chacun de ces groupes ?

Le groupe de travail "bonne préparation des projets" est l'un des plus anciens puisque sa création remonte à 2009. Il est dirigé actuellement par Michel Démarre, ancien délégué général du Syndicat des Entrepreneurs Français Internationaux (SEFI) et ancien président de l'association des entrepreneurs européens internationaux (EIC).

L'absence de "pipelines" de projets d'infrastructure dans les pays en développement et émergents et le trop grand nombre de projets qui ne se concrétisent pas sont principalement dus au manque de préparation des projets. Afin de remédier à cette situation, la CICA travaille ainsi à la bonne préparation des projets depuis 2004 et propose de mettre en œuvre le concept de "projet bien préparé" qui a été introduit en novembre 2009 lors de la réunion des directeurs des achats des banques multilatérales à Thessalonique.

Le concept de projet bien préparé - *Well-Prepared Project* - a ensuite été réintroduit avec succès dans les recommandations du G20 à Cannes en 2011. Il établit clairement les exigences d'un projet réussi en termes de qualité des travaux ainsi que de respect des budgets et des échéanciers.

L'objectif est de fournir un ensemble de recommandations ou de directives aux pays et aux institutions (notamment les banques multilatérales de développement et les institutions de financement ▷

© MARC MONTAGNON

4



© MARC MONTAGNON

5





du développement) impliquées dans l'investissement dans les infrastructures dans les pays en développement et émergents.

Ces recommandations viseront à améliorer la qualité de la préparation et de la mise en œuvre des projets.

La première application du concept de projet bien préparé dans le contexte de ce groupe de travail de la CICA est le secteur routier. Elle est actuellement engagée dans des discussions et travaille conjointement avec la Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils (FIDIC) et l'Association Mondiale de la Route (PIARC).

### En ce qui concerne les banques multilatérales de développement (BMD) ?

Le groupe de travail sur les banques multilatérales de développement, présidé par Richard Touroude, délégué général du SEFI, se concentre principalement sur le suivi des évolutions liées aux politiques de passation des marchés : les exigences environnementales, sociales, de santé et de sécurité (ESHS), le renforcement des capacités, la prise de décision sur l'optimisation des ressources, les appels d'offres internationaux, l'intégrité et la lutte contre la corruption.

Nous organisons dans ce cadre des missions du secteur de la construction au siège des BMD ainsi que des réunions régulières avec leurs directeurs des achats. En effet, depuis 2005, la CICA, avec les *European International Contractors* (EIC) et la Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils (FIDIC), est partenaire des groupes de travail consultatifs successifs mis en place par la Banque Mondiale dans le cadre de sa réforme des marchés publics.

## CICA : ORGANISATION ET ACTIONS

**Le conseil d'administration de la CICA comprend un président et des vice-présidents élus pour un mandat de deux ans, ainsi qu'un trésorier. Les anciens présidents sont membres d'office du conseil. À noter qu'actuellement, le trésorier est M. Daniel Tardy, ancien président de la FNTP, de la FIEC et de la CICA (entre 2010 et 2012).**

**Il se réunit généralement deux fois par an, alternativement à Paris, siège social de la CICA, et à l'invitation de la Fédération nationale de l'un des pays-membres.**

**La direction est en charge de la vie statutaire de la confédération ainsi que de la communication au sein de la CICA via la coordination des groupes de travail et la planification d'événements spécifiques.**

**Elle rassemble informations, études, rapports... sur les sujets liés aux activités internationales des entreprises de construction et anime les groupes de travail rassemblant les experts de la profession sur les concessions et autres formes de PPP, la réforme de la passation des marchés des banques multilatérales de développement, les procédures de règlement extra-judiciaire des litiges, la manière de gérer les appels d'offres, les projets bien préparés et les meilleures pratiques.**

**Elle est en liaison avec les principales organisations internationales (ONU, OCDE, OMC...) et avec les banques multilatérales de développement (BM, BAD, ASDB, BID, etc.), les agences bilatérales d'aide au développement (KfW, AFD, DFID, FMO, etc.) ainsi qu'avec la Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils (FIDIC). Elle participe à des groupes de travail, réunions, conférences, colloques, etc., organisés par ces institutions afin de faire connaître les positions et propositions du monde de l'industrie de la construction.**

### Pour le financement à long terme ?

C'est à l'occasion de la réunion du conseil d'administration de la CICA à Paris du 17 novembre 2014 qu'il a été décidé de créer un groupe de travail axé sur le financement à long terme des infrastructures. Son intérêt a été confirmé lors de la réunion du conseil d'administration à Brasilia le 27 avril 2015 et conforté lors de la table ronde sur "le marché du financement à long terme et ses sources" organisée dans

**6- Israël : l'IBA (Israel Builders Association) a rejoint la CICA en janvier 2019.**

**7- États-Unis : des missions sectorielles sont organisées à l'étranger, la principale se tenant à Washington, au printemps.**

le cadre de la réunion internationale sur les infrastructures et les PPP organisée par la Chambre Brésilienne de la Construction (CBIC), après la réunion du conseil de CICA à Brasilia. Le groupe est désormais dirigé par Roger Fiszelson, Conseiller et ancien Directeur général de la CICA.

S'il est unanimement reconnu que la création et le maintien des infrastructures de services publics sont indispensables à la mise en place d'une économie prospère, les conditions pour y parvenir sont encore très insuffisamment remplies. L'insuffisance des capacités publiques de financement est la plupart du temps citée comme la principale raison de ces déficiences. Le recours aux techniques de Project Finance/PFI et des partenariats public-privé est présenté comme la solution. Aussi utile soit-elle, cette approche est insuffisante pour répondre aux immenses besoins mondiaux en infrastructures à l'horizon 2030, selon les sources un besoin annuel de financement allant de 3 trillions à 6,9 trillions de dollars, peu accessible en l'état pour la plupart des pays émergents et en développement. L'objectif de ce groupe de travail est de faire reconnaître la contribution des infrastructures au développement, à la croissance économique et à l'emploi respectueuse des impératifs du développement durable adoptés par l'ONU :

- Identifier précisément les conditions requises pour déclencher un financement à long terme ;
- Diffuser les solutions et les propositions de l'industrie de la construction.

### Qu'en est-il du groupe de travail "contrats de construction" ?

Le groupe de travail sur les contrats de construction est présidé par l'avocat chilien Alex Wagemann. Il a été



© TRAVEL INSIDE

6



© MARC MONTAGNON

7





8

© CICA



9

© CICA

introduit par l'assemblée générale de la CICA à Paris le 6 novembre 2018. Ce groupe de travail se concentre sur l'amélioration des conditions contractuelles des normes d'ingénierie et de construction avec un accent particulier sur les modèles de contrats FIDIC.

Bien que les normes contractuelles d'ingénierie et de construction soient des options appropriées pour le développement de projets pertinents, ces normes relèvent d'une pensée traditionnelle. Elles n'intègrent pas forcément les approches collaboratives, ne prennent pas en compte clairement la promotion de technologies qui améliorent la productivité, et en particulier ne prennent pas toujours en compte en profondeur la vision des entrepreneurs. Dans ce contexte a émergé l'idée de développer un groupe de travail, axé sur l'amélioration des conditions contractuelles des normes d'ingénierie et de construction.

Les objectifs de base de ce nouveau groupe sont de présenter formellement la vision des entreprises de construction lors des consultations préparatoires aux nouvelles éditions des modèles de l'éventail de contrats FIDIC (*FIDIC Rainbow Suite*), mais également d'apporter à nos membres des informations sur les autres types de contrats disponibles pour les marchés à l'international, par exemple les contrats proposés par NEC (*New Engineering Contracts*) ou la Chambre de Commerce Internationale (ICC).

### À quand remonte la création du groupe "santé-sécurité" ?

Le groupe de travail sur la santé et la sécurité a été officiellement lancé en juin 2020. Il est présidé par Nir Yanushevsky et co-présidé par Ziv Lazar, respectivement spécialiste du secteur public et des contrats et responsable des données et de l'économie au

**8- États-Unis : réunion de la CICA à Washington au printemps 2018 avec la Banque Mondiale et le Fonds Monétaire International.**

**9- Brésil : lancement du groupe de travail sur " le marché du financement à long terme des infrastructures " à Brasilia en avril 2015.**

**10- Chantier du Colorado River Bridge en aval du barrage Hoover sur le fleuve Colorado réalisé par Obayashi Corporation.**

**11- Chantier d'infrastructures minières de la GAC (Guinea Alumina Corporation) en Guinée.**

sein de l'association israélienne de la construction.

La santé et la sécurité sur les chantiers sont des préoccupations quotidiennes des entrepreneurs et ne doivent pas être considérées comme un fardeau, comme c'est parfois le cas aujourd'hui, mais comme une opportunité pour les entreprises. En effet, un changement d'organisation des chantiers peut conduire à une augmentation de la productivité et une réduction des coûts.

La pandémie actuelle a souligné la nécessité d'un groupe de travail sur la santé et la sécurité, au vu de ses conséquences sur le secteur de la construction et de la nécessité d'intégrer les nouvelles technologies numériques.

### La question des " partenariats public-privé " est plus d'actualité que jamais. À quel niveau le groupe intervient-il ?

Le groupe de travail sur les PPP est dirigé par Fernando Lago, directeur de la Stratégie à la Chambre argentine de la construction.

Il entend diffuser auprès des gouvernements, des institutions finançant le développement et des entreprises des connaissances sur les avantages et les conditions minimales à remplir pour une utilisation réussie des PPP ainsi que collecter et diffuser de nouvelles réglementations sur les PPP, couvrant entre autres l'amélioration du cadre

institutionnel et juridique pour faciliter l'utilisation des programmes de PPP. Il vise aussi à délivrer des prises de position pour répondre aux préoccupations et aux propositions opérationnelles du secteur de la construction à cet égard.

### Quant au groupe " anti-corruption et intégrité " ?

Le groupe de travail sur la lutte contre la corruption et pour l'intégrité vise à élaborer une politique anti-corruption de la CICA. Il est présidé par Sergio Torretti, ancien président de la Chambre Chilienne de Construction (CCHC).

Son objectif est d'émettre un point de vue global sur la façon de prévenir la corruption, tant du côté de l'entrepreneur que du client en prenant en compte plusieurs concepts : aspects juridiques, gouvernance, leadership et formation, technologie.

La combinaison de ces concepts vise à accroître la confiance et l'intégrité, générant de réels progrès dans la lutte contre la corruption.

### Enfin, " Construction 5.0 ", sans doute l'un des plus en pointe ?

Le groupe de travail " Construction 5.0 " est présidé par Carlos Bascou, membre de la Chambre Chilienne de la Construction (CCHC) et co-présidé par Jean-Louis Marchand, ancien président de la Fédération Européenne de l'Industrie de la Construction (FIEC).



© OBAYASHI CORPORATION

10



© CICA

11





Il vise à promouvoir l'alignement des innovations technologiques et numériques du secteur de la construction avec la dimension sociétale dans le cadre des 17 objectifs de développement durable des Nations-Unies et de l'Accord de Paris sur le Climat.

"Construction 5.0" résulte d'ailleurs de la fusion des anciens groupes de travail Construction 4.0 et Construction Durable.

"Construction 4.0" incluait des éléments tels que le BIM, les drones, les robots et l'intelligence artificielle, y compris le Big Data et la réalité augmentée. La dimension 5.0 ajoute l'aspect social de la numérisation, y compris la mise en œuvre des objectifs de développement durable (ODD) en alignant, par exemple, les indicateurs-clés de performance (KPI) de l'industrie sur le Programme de développement durable à l'horizon 2030 des Nations-Unies. L'objectif du nouveau groupe "Construction 5.0" pour l'année 2021 sera d'élaborer des recommandations et un plan d'action concret pour le secteur de la construction sur les meilleures pratiques pour la construction durable et l'innovation. L'objectif serait de définir des fenêtres d'opportunité principalement autour de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de la réduction de la consommation d'énergie du point de vue des entrepreneurs (ex : cadre de recyclage, portefeuilles d'investissement permettant de réduire les émissions de carbone, etc.). Le périmètre d'action concret et les KPI associés permettant de mesurer l'influence et l'impact du secteur de la construction dans la réalisation des Objectifs de Développement Durable (ODD), seront définis pour les 2 prochaines années. La dimension "Construction 4.0" est complémentaire de la construction

durable et vice-versa car les technologies nouvelles et numériques permettront d'atteindre les objectifs de construction durable. L'utilisation de la robotisation, de l'intelligence artificielle, y compris du Big Data et de la réalité augmentée, devrait améliorer la surveillance des projets de construction et les performances du secteur de la construction en vue de fournir des bâtiments/infrastructures durables et intelligents.

### Comment la confédération organise-t-elle les contacts avec ses membres ?

Nous organisons deux assemblées générales par an, l'une traditionnellement à Paris, à l'automne, l'autre, au printemps, accueillie par l'un des pays-membres.

Lors de ces assemblées générales, sont abordées les questions statutaires et administratives et sont présentés les rapports des groupes de travail. Un séminaire thématique est organisé en marge des assemblées, auquel sont conviés des participants extérieurs. En complément de ces AG, sont organisées des missions sectorielles à l'étranger, la principale se tenant à Washington, au printemps.

Nous participons également aux réunions annuelles de la Banque Mondiale et du Fonds Monétaire International ainsi qu'à des réunions spécifiques, par exemple de l'US EXIMBANK (*Export-Import Bank of the United States*), l'agence officielle de crédit à l'exportation (ECA) des États-Unis, équivalent américain de BPI France. Nous réalisons également des missions avec la Banque Africaine de Développement (BAD), à destination, en particulier, des entreprises européennes travaillant sur ce continent. Avec la BAD, nous orga-

nisons notamment des réunions sur la formation professionnelle au cours des chantiers, un sujet qui nous est cher, car il permet de former du personnel local en Afrique au niveau bac+2 afin notamment de développer le secteur local et contribuer à l'émergence de partenaires locaux expérimentés pour de futurs projets.

La CICA participe également tous les ans au B20 (*Business 20 dialogue*) dont les représentants font des recommandations directes aux gouvernements du G20. Le B20 sert de plateforme de dialogue entre les décideurs politiques, la société civile et les entreprises à un niveau international. Chaque année, les forums du B20 et du G20 sont accueillis par un État-membre différent. Actuellement, le B20 compte 706 membres provenant de 39 pays. La CICA y est présente pour le financement des infrastructures et la lutte contre la corruption.

### La CICA met-elle des documents à la disposition de ses membres ?

Elle publie depuis 2009 un bulletin mensuel qui fournit à ses membres, amis et parties prenantes des informations précieuses sur les événements, nouvelles et autres activités de la Confédération. L'un des plus récents, de mars 2021, contient un document très

important relatif à la méthode globale d'évaluation des projets dite "Glopram - *Global Project Assessment Method*". Il s'agit d'un nouvel outil pour combler le fossé entre l'analyse coûts-bénéfices (ACB) et les décisions budgétaires. Vincent Piron, spécialiste économie et transports, et Jeanne Amar, maître de conférences à l'Université de la Côte d'Azur proposent avec le "Glopram" une méthodologie d'évaluation de la rentabilité fiscale à moyen et long terme générée par les différentes catégories d'infrastructures, suivi et encouragé par CICA et la FNTP.

Cette méthode globale permet d'évaluer un projet d'infrastructure dans son ensemble en prenant en compte non seulement les ressources socio-économiques qu'il engendre mais également son impact budgétaire. Elle est désormais en phase opérationnelle. Elle couvre à la fois la construction de nouvelles infrastructures et l'entretien/réhabilitation des infrastructures existantes. Elle fournit une évaluation plus détaillée de la soutenabilité de la dette publique contractée pour la construction des infrastructures.

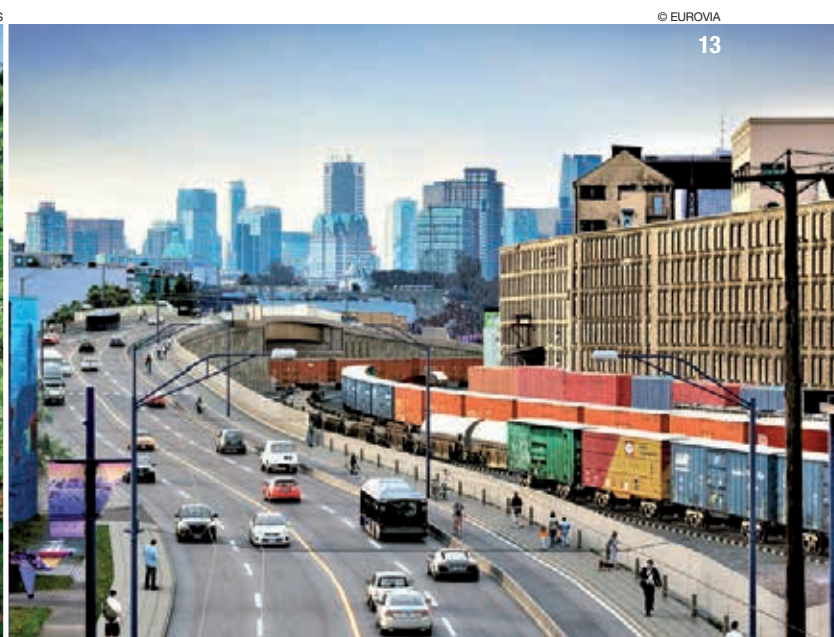
Le Glopram est un outil qui facilite la prise de décision pour les choix d'investissements publics et privés. Cette méthode est une indication neutre des dépenses et des rendements sociaux, environnementaux et économiques qu'une infrastructure générera au fil du temps. L'outil calcule les estimations des coûts et des avantages et prévoit la période de récupération. Il permet de prioriser les différents projets d'infrastructure et les procédures contractuelles en fonction de leur soutenabilité budgétaire.

Les bénéfices de la création d'infrastructures sont indéniables : création d'emplois, croissance économique,

**12- Construction de la route Tchetti-Savalou dans le département des Collines au Bénin par Colas.**  
**13- Pont routier Britannique réalisé par Eurovia Canada.**



© COLAS  
12



© EUROVIA  
13



attractivité territoriale et compétitivité... Il est essentiel d'y investir pour répondre aux besoins d'aujourd'hui et de demain. Malheureusement, les investissements sont bien en deçà des besoins et diminuent. L'une des raisons pourrait être la difficile évaluation de leurs incidences budgétaires à moyen et long terme.

Le Giopram s'inscrit dans ce que nous appelons "Quality Infrastructure", c'est-à-dire des infrastructures de qualité mais qui soient surtout durables.

En effet, nous avons vu apparaître sur le plan international des offres anormalement basses, émanant d'une concurrence asiatique qui pouvait paraître parfois déloyale ou en tout cas appliquant des critères différents de ceux que nous promovons. Cela concerne de nombreux maîtres d'ouvrage et, notamment dans les pays africains, qui commencent à se rendre compte des problèmes posés par les projets réalisés à des prix parfois bas mais dont la durabilité n'a pas toujours été prise en compte, alors que leurs conditions de financement ne sont pas toujours soutenables.

La démarche est menée en collaboration avec l'Agence Française de Développement (AFD) qui a renforcé son cahier des charges environnemental et social dans son dossier d'appel d'offres, en mettant d'ailleurs en évidence que le respect de ces critères d'exigence de qualité ne majorait pas systématiquement le coût final d'un projet.

Elle a été élargie à l'international pour renforcer les critères environnementaux et sociaux, afin d'éliminer les entreprises qui ne répondent pas à ces critères d'exigence. Un travail équivalent a été réalisé par la KfW (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*), l'équivalent allemand de l'AFD, ainsi que par la Banque Mondiale qui a modifié en ce sens son cahier des

## LE SEFI EN BREF

**Le SEFI (Syndicats des Entrepreneurs Français Internationaux) compte 14 membres : entrepreneurs du secteur de la construction et des infrastructures, entreprises spécialisées dans la fourniture d'installations et les contrats clés en main, concessionnaires de services, etc. Toutes ces entreprises offrent une large gamme d'activités allant de l'ingénierie aux services, en passant par construction/réhabilitation, packaging financier et juridique... : Bouygues Construction, Colas, Degremont, Eiffage, Eurovia, Razel-Bec, Sade, Spie, Spie Batignolles, Veolia Water Solutions & Technologies, Vinci Concessions, Vinci Construction, Vinci Énergies.**

**Le chiffre d'affaires international des sociétés du SEFI représente un pourcentage substantiel de leur chiffre d'affaires global (48% en 2019), soit 48 milliards d'euros.**

charges. Le Japon dispose également au travers de la JICA (*Japan International Cooperation Agency*) de dispositifs permettant de promouvoir des entreprises susceptibles de réaliser des infrastructures de qualité et durables. Globalement, cette démarche vise à éviter que des projets financés par l'AFD soient construits, notamment en Afrique, par des entreprises ne respectant pas les critères de qualité qu'elle préconise.

Toujours dans ce domaine, la CICA a rejoint l'initiative "Blue Dot Network" lancée par l'administration américaine en coopération avec le Japon et l'Aus-

tralie et désormais reprise par l'OCDE ayant pour objet indirect de lutter contre les offres anormalement basses faites notamment par les entreprises chinoises. "Blue Dot Network" travaille au développement d'une certification "infrastructure de qualité".

À ce titre, la CICA est membre de l'"Executive Consultation Group" qui doit définir les critères de cette certification à partir de standards internationaux existants pour mesurer la qualité d'un projet d'infrastructure.

### **Parmi les projets récents ou en cours, quels sont ceux que vous pourriez rappeler ou annoncer ?**

La CICA a participé à la création d'un Centre d'Excellence sur les Partenariats Public Privé, en collaboration avec l'IFEJI (Institut Français des Juristes Internationaux) et l'UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*). Ce centre d'excellence, basé à Genève au sein de l'UNECE a été officiellement inauguré le 21 mai 2015 à la FNTP. Il a pour objet de rassembler les bonnes pratiques pour les projets

en PPP, concessifs ou non-concessifs. Un autre projet que nous avons soutenu est le développement de la plateforme "Source", un outil informatique qui vise en particulier à la bonne préparation des projets de construction, développé par SIF (*Sustainable Infrastructure Foundation*, fondation également basée à Genève). Cet outil a bénéficié du financement des banques multilatérales de développement. Il a pour objet, via l'outil informatique "Source", de mettre en relation les auteurs de projets avec ceux qui voudraient les réaliser, en prenant en compte très en amont les différents aspects juridiques, environnementaux, sociaux, économiques et financiers.

À titre d'exemple, la BERD (Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement) a placé nombre de ces projets sur cette plateforme. Depuis l'origine, CICA a soutenu cette initiative et communiqué aux entreprises toutes les informations relatives à son utilisation.

### **Pour conclure ?**

Les activités de la CICA visent principalement à contribuer à l'expansion du marché des infrastructures en favorisant la constitution d'un "pipeline" de projets d'infrastructures résilientes, mais aussi à améliorer la sécurité contractuelle et financière des entrepreneurs et à diffuser des innovations techniques, managériales, environnementales et sociales.

Elle est engagée dans un dialogue continu avec les entrepreneurs ainsi qu'avec les organisations internationales et les institutions financières, les représentants de la société civile et les groupes de réflexion impliqués dans le secteur de la construction et des infrastructures et la presse spécialisée. □

**14- Montage d'une éolienne dans la péninsule du Jutland au Danemark.**

**15- Le réaménagement du canal de la centrale hydroélectrique de Larona en Indonésie.**

© LIEBHERR

14



© FREYSSINET

15







# CAN LA TECHNICITÉ LÀ OÙ ELLE EST NÉCESSAIRE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

**CAN, EST NÉE DE LA PASSION QU'ÉPROUVE, DEPUIS SON ENFANCE, SON FONDATEUR - MICHEL RICHARD - POUR L'ESCALADE ET L'ALPINISME. DE CE LOISIR PRATIQUÉ À HAUTE DOSE, IL A FAIT UNE ACTIVITÉ PROFESSIONNELLE À PART ENTIÈRE EN CRÉANT UNE ENTREPRISE QUI, EN 40 ANS, EST PASSÉE DU STADE ARTISANAL À CELUI D'UNE PME DE 450 COLLABORATEURS, DISPOSANT D'AGENCES ET DE FILIALES DANS 4 PAYS DANS LE MONDE ET QUI RÉALISE UN CHIFFRE D'AFFAIRES DE 72 MILLIONS D'EUROS EN PRATIQUANT UN MÉTIER TOUT AUSSI UNIQUE QU'EXIGEANT : LES TRAVAUX D'ACCÈS DIFFICILES EN MILIEUX NATUREL ET INDUSTRIEL. HISTOIRE ET RÉALISATIONS REMARQUABLES DE CAN AVEC LA COLLABORATION DE MARC VELU, DIRECTEUR COMMERCIAL ET EXPORT DU GROUPE.**

**T**out juste diplômé de l'ESSEC et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Michel Richard écrit le premier chapitre de son aventure professionnelle autour d'une idée audacieuse : exercer un métier qui n'existe

pas encore. C'est ainsi qu'il développe les travaux sur cordes.

L'histoire a pris naissance en 1973, à l'occasion d'un stage au Club alpin français. C'est là que Michel Richard fait la connaissance de François et

**1- Les équipes de CAN sur le chantier de Sainte Héline.**

Pascal Rambaud ainsi que de Jean-Jacques Lebouc et découvre le métier de plombier à la corde-à-nœuds, une activité qu'il pratique au quotidien. Mû par des qualités qui vont jaloner son parcours - rigueur, ténacité,



passion - et armé de son principal outil de travail "la corde-à-nœuds", il fonde en 1977 les "Établissements Michel Richard, plombiers à la Corde-à-Nœuds".

Après des débuts sur des bâtiments, c'est rapidement vers des chantiers "risques naturels" que s'oriente la jeune entreprise.

Dès 83, CAN prend pied hors de métropole, en Martinique.

L'entreprise ne se fixe ni limites, ni frontières. C'est ainsi que CAN UK, la filiale qu'elle ouvre près de Manchester, se développe rapidement en se forgeant un savoir-faire internationalement reconnu sur les plateformes offshore. La collaboration est fructueuse et l'Angleterre réserve son meilleur accueil à ces "Frenchie" spécialistes de "the

Knotted Rope". Par la suite, CAN UK, devenue CAN Geotechnical, deviendra indépendante à partir de 1985 après une séparation amiable. Par la suite CAN UK créera elle-même en Norvège une filiale basée à Stavanger, spécialisée dans le domaine de l'offshore pétrolier. En 2017, CAN Norvège se rapprochera de CAN qui prendra une

participation majoritaire dans son capital.

Fin 1986, Pierre Rousset de Pina, formé à la plongée en eau profonde, intègre la société. Lancée en 1987, O'Can intervient en Inde pour réaliser un diagnostic sur un barrage situé à proximité de Bangalore. Puis elle remplace des grilles sur les barrages de la Compa-

gnie Nationale du Rhône, se développe et innove. O'CAN conçoit notamment une technique de contrôle à ultrasons permettant aux plongeurs de descendre à la corde dans les soutes des pétroliers pour y effectuer des mesures d'épaisseur.

Changement de décor au printemps 1990 lorsque CAN réalise sur l'île de La Dominique une conduite forcée avec l'appui d'un blondin. La complexité de cette opération révélera les grandes capacités techniques et d'organisation de l'entreprise.

Toujours en quête d'innovation, elle poursuit l'amélioration des outils maison. Les chariots de forages légers (CFL) s'équipent désormais de châssis à roues adaptés et les blaireaux sont conçus sur un principe similaire avec des glissières montées sur des châssis. Année après année, CAN perfectionne ses instruments et construit son propre matériel.

En 1991, le barrage de Turkwel au Kenya exige la descente d'une pelle-araignée dans la paroi pour mariner les déblais et conforter le front de taille. La machine, destinée à aider à sécuriser le chantier en stabilisant tous les éléments qui menacent les ouvriers en train de forer, est acheminée par avion-cargo. Jour et nuit, quatre hommes de CAN œuvrent le long de la falaise pour accomplir le travail de sécurisation. ▷

## CAN GROUPE EN BREF

**CAN et ses filiales interviennent dans le monde entier en conception, réalisation et maintenance d'ouvrages d'infrastructures. Engagé dans les démarches qualité et sécurité depuis sa création, le groupe possède les plus hauts standards de certifications en matière de sécurité, de qualité et d'environnement :**

- CAN SAS ;
- CAN Algérie SARL ;
- O'CAN : travaux subaquatiques et hyperbares ;
- CAN AS (Norvège) ;
- FABRICAN AS (Norvège) - EPCI ;
- Civil Master (Engenharia em Altura) au Brésil ;
- VLM : travaux sur câbles, remontées mécaniques, téléphériques de chantier ;
- Voltige Benelux (Luxembourg) ;
- TSA Sogetras (Guadeloupe) : génie maritime, reprise d'ouvrages d'art, renforcement parasismique) ;
- TSA Sogedex (Antilles-Guyane) : désamiantage ;
- Formacan (Hauteur, Sécurité, Prévention) : formation aux travaux en hauteur et à toutes leurs problématiques.

**2- Le blondin sur le chantier de La Dominique (1990).**

**3- Descente d'une pelle "araignée" sur le barrage de Turkwel au Kenya (1991).**

**4- Le téléphérique de chantier sur l'île de Madère (1994).**



2

© CAN



3

© CAN



4

© CAN





5  
© CAN



6  
© CAN

En 1992, cap vers Madère pour un projet hydroélectrique qui nécessite l'installation d'un téléphérique de chantier pour le transport et la pose d'une conduite forcée. À noter que, sur ce volet, CAN fait le distinguo entre :

→ L'international avec des projets réalisés par ses filiales (ou participations) dans leurs territoires d'implantation : Algérie, Brésil, Luxembourg, Norvège.

→ Les marchés export, réalisés par les entreprises du groupe, en détachant du personnel français, avec des références variées en Albanie, Algérie, Angleterre, Belgique, Côte d'Ivoire, Dominique, Inde, Kenya, Liban, Madère, Mauritanie, Sainte Hélène, Sénégal, Singapour.

En 2006, sur la "Route du Littoral" à La Réunion, vingt-quatre hectares de falaises sont sécurisés par les équipes de CAN qui n'avaient jamais réalisé un chantier d'une telle dimension.

Fort de l'expérience acquise sur ce chantier de grande ampleur avec des

défis logistiques importants, CAN remporte l'année suivante, un chantier de confortement des falaises dominant le wharf de Jamestown sur l'île de Sainte Hélène (Atlantique Sud).

Puis un nouveau chantier de travaux maritimes vient conforter le savoir-faire des équipes de CAN à l'export, sur l'île de Carabane au Sénégal.

Du côté du Maghreb, CAN Algérie qui a été fondée en 2006 monte rapidement en puissance grâce au transfert de compétences et aux modules de formations assurés par Formacan. Formacan est l'organisme de formation, créée en 2006 qui permet d'assurer la formation au plus haut niveau du personnel de CAN.

En 2012, CAN prend une participation chez Civil Master au Brésil qui permet la réalisation du très grand chantier d'Agua Claras dans l'état du Minas Gerais.

La réussite de cette nouvelle aventure est le fruit d'un transfert de savoir-faire sur les techniques de forage, l'utilisation

**5- Le barrage de Komani en Albanie.**

**6- Intervention sur le couronnement du barrage de Komani.**

**7- Le chantier de la corniche d'Oran en Algérie.**

**8- À Annaba, en Algérie : conception/réalisation d'une paroi clouée pour la reconstruction de la CW15 suite à un glissement de terrain de grande ampleur.**

encore en 2016 avec l'acquisition de TSA Sogedex. La société antillaise spécialisée dans le désamiantage en milieu confiné permet à CAN d'ajouter une nouvelle corde à son arc.

Depuis 2013, Formacan s'adresse à tous les publics après avoir renforcé ses moyens techniques et humains. Salariés d'entreprises du secteur ou demandeurs d'emploi, chacun peut désormais emprunter la voie initiée par Michel Richard.

#### LA TRANSMISSION

2015 est marquée par l'arrivée de Cédric Moscatelli, en tant que successeur opérationnel. Après avoir forgé son expérience au sein d'un grand groupe de Travaux Publics, le nouveau directeur général est armé pour affronter les défis de demain.

#### CAN AUJOURD'HUI

L'entreprise est implantée en France métropolitaine et dans les DROM : Guadeloupe, Guyane et Martinique.



7  
© CAN



8  
© CAN





© CAN

9



10

© CAN



11

© CAN

Elle possède deux types d'implantation à l'étranger : des filiales dans lesquelles elle est majoritaire (Luxembourg et Norvège), des sociétés en participation avec des partenaires locaux (Algérie et Brésil). Sa base logistique (atelier et magasin) est basée au Reys de Saulce dans la Drôme qui constitue une plateforme de gestion centralisée des approvisionnements au service de toutes les entités du Groupe. Elle assure également la gestion optimisée des stocks, l'entretien et la vérification des matériels et des équipements, la préparation des expéditions pour les projets. Le département Recherche et Développement Innovation conçoit et met au

**9- Les équipes de CAN sur les flancs escarpés du site d'Agua Claras.**

**10- La mine de fer d'Agua Claras au Brésil.**

**11- Agua Claras : 90 000 m<sup>2</sup> de purges, 10 000 m<sup>3</sup> de blocs à évacuer, 89 000 d'ancrages, 82 000 m<sup>2</sup> de treillis, 22 000 m<sup>2</sup> de filets, 2 700 m de canaux de drainage.**

point des ouvrages de protection dans les domaines des risques naturels, industriels et urbains. Le département Innovation mobilise des moyens : drone, logiciels de traitements de données, logiciels de CAO, process BIM (Building Information Modeling) et des compétences en photogrammétrie, modélisation d'ouvrages en 3D, alliés aux expertises d'expérimentation, dimensionnement et simulation mécanique, et de conception d'ouvrages de protection contre les risques gravitaires/dissipation d'énergie mécanique. Le développement et l'utilisation des outils numériques permettent la modélisation des projets avec une grande précision

et les rendus visuels des ouvrages dans leur environnement permettent pour l'ensemble des acteurs une meilleure compréhension des enjeux et limitent fortement les aléas. L'ensemble permet d'apporter une valeur ajoutée technique et économique à la gestion des projets réalisés par CAN, que ce soit en phase conception, réalisation ou lors du rendu de DOE en fin de chantier au client avec en perspective la maintenance et l'exploitation des infrastructures.

L'entreprise noue par ailleurs des partenariats privilégiés avec des universités, et prestataires spécialisés afin de développer des solutions numériques répondant à ses applications métiers. ▷



© CAN



## MARC VELU : PARCOURS

Marc Velu est titulaire d'une licence en mathématiques de l'université de Paris VI (Pierre et Marie Curie - 1982) et ingénieur diplômé de l'École Centrale de Lyon (1984).

Après 2 ans de service national au Sénégal, il est ensuite chargé du développement industriel en Afrique avec CIS (1986) avant de devenir chef de projet chez Chovet Engineering entre 1987 et 1991 pilotant notamment plusieurs projets indus-

triels clés en main en Chine, Espagne, États-Unis et Turquie.

En 1991, il rejoint Pomagalski dont il devient responsable de zone export jusqu'en 2007 : premiers contrats Poma en Russie, Pologne, Turkménistan, Jordanie, Égypte, Turquie ; mise en place d'un réseau d'agents en Russie, Turquie, Slovaquie, République Tchèque, Pologne, bureau de représentation en Chine.

Depuis 2007, il est co-gérant de CAN Algérie et directeur commercial et export du groupe CAN chargé, notamment, de son développement en Algérie, Albanie, Brésil, Colombie, Maroc, Mauritanie, Royaume-Uni, USA...

12

Elle s'engage activement sur la réduction de son empreinte environnementale, en mesurant ses émissions GES, et en mettant en œuvre des solutions permettant de les réduire (sensibilisation des salariés aux enjeux climatiques, choix des fournisseurs, écoconduite, suivi et réduction de la consommation GNR...).

### QUATRE PÔLES D'ACTIVITÉ

Le Pôle Travaux Publics et Risques Naturels conçoit des solutions techniques et innovantes pour la protection des infrastructures (routes, rails, ...) contre les risques naturels gravitaires -

**12- Marc Velu, directeur commercial et export du groupe CAN.**

**13- Michel Richard, fondateur et président du groupe CAN.**

**14- Sur l'île de Sainte Hélène, la falaise surplombant le wharf.**

**15- La passerelle en cours de construction à Tintagel.**

© CAN



## MICHEL RICHARD : PARCOURS

Michel Richard est diplômé de l'ES-SEC (École Supérieure des Sciences Économiques et Commerciales - 1973) et de l'ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées - 1973). Il est également instructeur de haute montagne (1975) et titulaire d'une licence de soudeur en place, d'un certificat de préposé au tir électrique, souterrain et subaquatique et d'un CQP Cordiste niveau 2.

Entre 1973 et 1975, après une mission au Cameroun - Schéma directeur de Douala - et un service civil en Côte d'Ivoire en tant que chargé d'études à la DATAR (Direction de l'Aménagement du Territoire et de l'Action Régionale), il occupe un poste d'économiste - urbaniste à la ville de Saint-Quentin-en-Yvelines. En 1976, il crée " La Corde à Nœuds ", première entreprise de travaux acrobatiques, devenue en 1983 CAN S.A.

Il participe par la suite au développement de CAN en France et à l'international : Mecanroc, bureau d'études spécialisé dans l'analyse des risques naturels (1983), CAN UK (1983), CAN Caraïbes (1988), O'CAN (1989), Vertec USA (2000), CAN Asia (2002), GEOP, filiale spécialisée dans la commercialisation d'ouvrages de protection (2002), Aquacan, captage d'eau à niveau variable (2004), EMIE CAN, île de La Réunion (2005), CAN Algérie (2006), Formacan, centre de formation aux travaux difficiles (2006).

Entre 2007 et 2018, il prend des participations dans Civil Master (Brésil) et achète TSA Sogetras, entreprise travaux spéciaux (Guadeloupe).

13

chute de blocs, glissements de terrain, avalanche... La capacité de CAN à travailler loin et en autonomie depuis de nombreuses années lui permet d'intervenir à l'étranger sur les situations les plus complexes.

Le Pôle Maritime/Fluvial/Subaquatique conçoit et réalise des solutions techniques globales pour différents

types de travaux sur les infrastructures portuaires et fluviales, de production d'énergie hydroélectrique ainsi que sur les ouvrages d'art.

Le Pôle Industrie/Urbain réalise tous types de travaux de second œuvre et de maintenance en accès difficile, (travaux sur cordes, en milieu confiné) sur des sites industriels. Il propose des solutions



14

© CAN



15

© CAN





16

## CÉDRIC MOSCATELLI : PARCOURS

Cédric Moscatelli est ingénieur Supelec (1993) et titulaire d'un Master en administration des entreprises de L'IAE Paris-Sorbonne Business School (2013)

Il commence sa carrière en 1994 comme ingénieur d'affaires chez Cegelec avant d'intégrer Vinci Énergies en 1996 où il occupe la fonction de chef d'entreprise (1998-2005) de différentes sociétés de génie électrique du Groupe Vinci intervenant dans les

domaines tertiaires et industriels (notamment pour le projet LHC au CERN de Genève).

En 2005, il devient Directeur de Vinci Énergies (management de 6 filiales) avant de rejoindre en 2012 Vinci Concessions en tant que directeur de projet de la Direction de la Maîtrise d'Ouvrage et coordinateur de la démarche COOPERATE (démarche visant à fédérer les bonnes pratiques des concessions et de construction pour la maîtrise d'ouvrage de projets en financement structuré du Groupe Vinci - Airports, Buildings, Railways, Roads, Stadium, Engineering, QSE, Internal Processes autour des bonnes pratiques).

Il prend en 2013 pour le compte de Vinci Concessions la direction de la société de projet Bameo, (Filiale de Vinci Concessions, EDF, Méridiam), partenaire de VNF dans la réalisation du Contrat de Partenariat pour le remplacement de 29 barrages manuels sur l'Aisne et la Meuse et la réalisation de 3 microcentrales hydroélectriques.

En 2015, il rejoint le groupe CAN dont il est Directeur Général du Groupe (CEO).

Entre 2016 et 2019 il conduit la stratégie de croissances externes du groupe avec l'intégration de TSA Sogedex, désamiantage (Guadeloupe), VLM, travaux en montagne (Les Houches), Voltige Luxembourg, travaux en hauteur (Luxembourg), CAN Norway, travaux offshore pétrolier (Norvège).

techniques adaptées tant en conception qu'en réalisation clé en mains, ainsi que pour des opérations de maintenance et d'inspection. Ses équipes sont rom-

pues aux interventions complexes, en autonomie.

Le Pôle Ouvrages d'Art regroupe des savoir-faire et compétences autour

**16- Cédric Moscatelli, président exécutif du groupe CAN.**

**17- Chantier de démontage et de reconstruction de l'ouvrage historique d'Union Bridge.**

**18- Mauritanie : sécurisation d'une route d'accès pour Total EP.**

retenus pour présenter CAN se situent pour la plupart hors de France mais il va de soi que les références en France métropolitaine et dans les DROM sont tout aussi "hors du commun", c'est-à-dire d'exception au sens premier du terme.

### ALBANIE : PROTÉGER LES BARRAGES

En Albanie, où la production d'électricité est à 98 % d'origine hydroélectrique, impliquant le maintien en bon état de fonctionnement des barrages, il s'agit de protéger contre les chutes de pierres le barrage de Komani (600 MW) situé sur la rivière Drin. Les études et les procédures ont été effectuées en France et les travaux réalisés par une équipe déplacée sur le site en collaboration avec l'entreprise albanaise Albstar dont les équipes de CAN ont également formé le personnel.

Quatre types d'intervention ont été réalisées : protection de la tour de captage en rive droite, du couronnement du barrage en rive gauche, des tours d'équilibrage et de la centrale hydroélectrique. Les travaux financés par la BERD ont duré 7 mois et ont conduit à la réalisation de nombreux équipements de protection : 570 m<sup>2</sup> de filets HLE plaqués, 4070 m<sup>2</sup> de filets pendus, 80 m écrans pare-blocs 1000 kJ, 130 m d'écrans pare blocs 3000 kJ, 80 m de barrières anti-glissement, 125 m<sup>2</sup> grillage de protection et 90 m<sup>3</sup> de gabions.

### ALGÉRIE : TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

En Algérie, CAN est intervenue à plusieurs reprises pour des travaux lourds de confortement sur la corniche d'Oran et en Kabylie. ▶

de la réparation et de la construction d'ouvrages d'art. Il intervient dans les domaines suivants :

- Ouvrages métalliques ;
  - Maintenance, entretien et construction des ouvrages de génie civil.
- En plus de ces quatre pôles, le groupe commercialise des produits de protection testés et certifiés contre les risques naturels, les risques industriels, ou pour l'aménagement urbain et touristique. Ses produits sont développés dans un souci de performance, tout en privilégiant les aspects économiques, fonctionnels et l'intégration paysagère. Il accompagne les projets depuis la conception jusqu'à la réalisation :
- Risques naturels : barrière pare-blocs/écran déviateur/module de protection provisoire ;
  - Risques industriels : filets anti-explosion/tornade ;
  - Aménagements urbains et touristiques : passerelles suspendues/Point de vue, barrière anti-intrusion.

### DES CHANTIERS HORS DU COMMUN

Ce numéro de "Travaux" étant consacré à l'international, les chantiers



17



18



Compte tenu de l'importance des travaux, l'entreprise a d'ailleurs créé une filiale au sein de laquelle le personnel détaché de France a participé à la formation des équipes recrutées localement aux travaux sur corde, au forage, au béton projeté, à la pose de grillages, aux travaux héliportés. Grâce à ce transfert de savoir-faire, en 2021, la filiale est opérationnelle à 100% avec du personnel algérien et elle fonctionne en totale autonomie avec l'appui des conseillers techniques de CAN après avoir intégré notamment des techniques jusque-là inutilisées dans le pays tels les travaux par héliportage pour accéder, par exemple, au site de Bejaia en Kabylie pour l'implantation de pare-blocs sur les falaises du Cap Aokas qui surplombent une grotte fameuse et donnent une vue admirable sur le port de Bejaia et la station balnéaire d'Aokas.

### BRÉSIL : RÉAMÉNAGEMENT INTÉGRAL

Un transfert identique de savoir-faire a été réalisé pour aborder le très important chantier qu'a constitué, au Brésil, le réaménagement de la mine de fer d'Agua Clara à Nova Lima, exploitée par le groupe minier Vale, à proximité immédiate de Belo Horizonte. Cette mine gigantesque à ciel ouvert a été exploitée entre 1973 et 1992. Il s'agissait de stabiliser et d'aménager l'ancien front de taille circulaire, d'une hauteur de 300 m, qui présentait des risques d'affaissement de grande ampleur.

Le projet a été traité en collaboration avec Civil Master en s'appuyant sur une volonté affirmée de transfert de technologie pour assurer la réhabilitation d'un site considéré comme faisant partie du patrimoine historique du Brésil avec, à la clé, un important projet immobilier et environnemental pour développer de l'habitat à sa périphérie.

Les chiffres parlent d'eux-mêmes : 90 000 m<sup>2</sup> de purges, 10 000 m<sup>3</sup> de blocs à évacuer, 89 000 m d'ancrages, 82 000 m<sup>2</sup> de treillis à haute limite élastique, 22 000 m<sup>2</sup> de filets, 2 700 m de canaux de drainage, 9 000 m<sup>2</sup> de coffrages, 105 t d'armatures, 2 700 m<sup>3</sup> de béton...

Pour ce projet, CAN a proposé avec Civil Master une offre compétitive prenant en compte les caractéristiques des matériaux en place, la formation du personnel - jusqu'à 165 cordistes sur le chantier - l'introduction de chariots de forage légers (16 unités) adaptés aux travaux en falaise, l'utilisation d'hélicoptères (3 000 rotations) pour assurer le transfert et le transport de charges en



### CONFORTEMENT DE FALAISE : L'EXEMPLE DE VAUVENARGUES

**Pour le Conseil départemental des Bouches-du-Rhône, CAN a réalisé récemment le démantèlement d'une importante instabilité rocheuse située sur la commune de Vauvenargues.**

**Sur ce chantier, les mises en œuvre de parades actives (clouage, emmaillotage, butonnage) et de parades passives (écrans ETAG classe 3 et 4) ont toutes été exécutées via des approvisionnements par héliportage.**

**Les travaux de déconstruction sans vibration de l'éperon rocheux (480 m<sup>3</sup>) ont été réalisés par fragmentation de la roche avec un éclateur hydraulique, après carottage, et évacuation au blondin en pied de versant.**

**Cette solution d'évacuation par blondin gravitaire (téléphérique de chantier) a permis de limiter fortement l'impact sur l'environnement très sensible du site : pas d'élagage massif de la végétation ni de terrassement au niveau d'un versant boisé et relativement pentu, pas de circulation d'engins (type pelle araignée), pas de risque lié à l'amoncellement de blocs en versant.**

**La méthode a permis le démantèlement de 480 m<sup>3</sup> de blocs rocheux, la réalisation de 10 m<sup>3</sup> de butonnage et 915 m d'ancrages passifs, l'emmaillotage de 390 m<sup>2</sup> de falaise et l'installation de 270 m d'écrans ETAG classe 3 et 4.**

toute sécurité par rapport aux équipes de forage présentes sur le site, la mise en œuvre de pelles araignée, inconnues dans ce pays.

Tout cela a été possible grâce à une collaboration étroite entre CAN et Civil Master.

**19- Démantèlement d'une importante instabilité rocheuse située sur la commune de Vauvenargues (13).**

### SAINTE HÉLÈNE : LA LOGISTIQUE EN PREMIÈRE LIGNE

L'île de Sainte Héléne est devenue, au fil des années, un terrain de prédilection pour CAN puisque l'entreprise y a remporté, à quatre reprises, les appels d'offre internationaux lancés en 2007, 2010 et 2020 pour réaliser les travaux de protection du débarcadère et de ses installations contre les chutes de blocs de la falaise qui le surplombe, ainsi que l'élargissement du wharf de Jamestown.

D'une superficie de 122 km<sup>2</sup>, Sainte-Héléne est isolée au milieu de l'océan Atlantique à 2 000 km de l'Afrique et 2 900 km de l'Amérique du Sud.

Face à ses concurrents britanniques, CAN a été retenue tant pour l'originalité des solutions techniques proposées que pour sa capacité logistique à organiser l'opération, en proposant notamment d'intégrer, après formation, de la main d'œuvre locale ainsi que l'utilisation d'un hélicoptère. En l'absence d'aéroport sur le site, CAN n'a pas hésité à affréter un cargo depuis le port de Sète, en France, sur lequel ont été embarqués un hélicoptère démonté, l'ensemble des engins de forage et des fournitures à mettre en œuvre sur le site (filets, grillage et écrans pare-blocs) ainsi que le kérozène nécessaires pour la réalisation du chantier.

Les travaux de protection intégraient plusieurs dispositifs : écrans pare-pierre haute énergie avec confortements en béton sur les surplombs, grillage renforcé, ancrages passifs et actifs, 36 900 m<sup>2</sup> de filets suspendus Spider S4, 39 700 m<sup>2</sup> de grillage pendu, 526 m d'écrans pare-pierre.

CAN a renouvelé une approche comparable pour les chantiers suivants exécutés à Sainte Héléne, avec une large intégration de personnel local. L'emploi de personnel a été très apprécié par les autorités locales.

### TINTAGEL ET UNION BRIDGE : LA TECHNIQUE AU SERVICE DE L'HISTOIRE

Un autre chantier original est celui de Tintagel. Situé sur la côte sauvage des Cornouailles du Nord, le château de Tintagel est l'un des sites historiques les plus emblématiques de Grande-Bretagne. Mais le chemin menant au château a longtemps été difficile, avec plus d'une centaine de marches serpentant vers les ruines au sommet de la falaise. Associé à la légendaire figure médiévale du roi Arthur, le château de Tintagel était scindé en deux





© CAN

20



21

© CAN



22

© CAN

**20- Pour la Mairie de Carry-le-Rouet, sécurisation et confortement de parois rocheuses (MOE : Antea).**

**21 - Télécabine de l'Aiguille du Midi à la Pointe Helbronner : remplacement des 10 km de câble tracteur de la télécabine panoramique du Mont Blanc.**

**22- Conception et réalisation d'une piste d'accès aux vannes de vidange du barrage de Mares (19), mise en place des Acrosols sous la plateforme et mise en sécurité du site (SHEM en groupement avec VCT et Sage Ingénierie).**

**23- Pour la Mairie de Laroque-Gageac (Dordogne) : conception/réalisation de la sécurisation de l'abri du Fort troglodytique.**

sites depuis l'effondrement d'une arche naturelle voilà cinq siècles. Pour la première fois depuis plus de 500 ans, les deux moitiés séparées du château de Tintagel sont réunies grâce à une passerelle construite avec la collaboration de la filiale VLM, recréant la traversée historique du continent au promontoire.

L'une des principales considérations lors de la construction de la passerelle était la logistique : comment acheminer les matériaux de construction jusqu'au château au sommet d'une falaise. VLM a proposé l'installation d'un blondin automoteur de 5 t circulant sur plus de 360 m avec un pylône métallique de 20 mètres pour transporter les maté-

riels et les matériaux de fondations et assembler les éléments de la passerelle en porte à faux.

Une technique similaire a été mise en œuvre en 2020 par VLM pour le démontage et la reconstruction de l'ouvrage historique d'Union Bridge, pont suspendu par des chaînes datant de 1820 sur la rivière Tweed dans le Northumberland, entre l'Angleterre et l'Écosse.

Ces projets sont le fruit de la synergie entre les différentes entités du groupe CAN : depuis la conception, jusqu'à l'exécution des travaux, en intégrant l'étude géotechnique, la réalisation des ancrages, la modélisation 3D...

CAN s'appuie sur les valeurs partagées par l'ensemble de ses collaborateurs (engagement, esprit d'équipe, expertise et responsabilité) pour créer des solutions globales et innovantes pour les infrastructures d'un monde en mouvement.

CAN s'est toujours affranchi des limites, qu'elles soient géographiques ou techniques et aujourd'hui encore, son horizon offre un formidable potentiel d'exploration de pays, de métiers et d'activités. □



© CAN

23





© PIERRE FAKHOURY ORGANISATION

# LES FONDATIONS DE LA TOUR F D'ABIDJAN

AUTEURS : MICHEL BUSTAMANTE, DR. INGÉNIEUR, MBFONDATIONS - AMAURY LEROY, RESPONSABLE D'ÉTUDES, BUREAU D'ÉTUDES GREISCH - SÉBASTIEN BURLON, DIRECTEUR D'ÉTUDES, TERRASOL - FRANÇOIS LOUVEL, DIRECTEUR TECHNIQUE ET MÉTHODES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

**CULMINANT À PLUS DE 400 m DE HAUTEUR, LA FUTURE TOUR F D'ABIDJAN REPOSERA SUR UN ENSEMBLE DE 70 BARRETTES À POINTE INJECTÉE, DE PLUS DE 60 m DE PROFONDEUR. LA CONCEPTION DE CES FONDATIONS PROFONDES A COMBINÉ ESSAIS DE CHARGEMENT DE PIEUX AVEC VÉRINS EMBARQUÉS, ÉTUDES EN SOUFFLERIE DE LA STRUCTURE, MAIS ÉGALEMENT CALCULS D'INTERACTION SOL-STRUCTURE.**

## LE CONTEXTE DU PROJET

Abidjan, centre économique de la Côte d'Ivoire, s'est construite autour de la lagune Ebrié. En partie Nord se situe le quartier du Plateau, cœur administratif de la ville abritant la Présidence de la République, le siège de nombreux ministères, institutions financières et entreprises. Dans le but de regrouper les différentes administrations a été lancée dans les années 70 la construction de la cité administrative. Celle-ci comprend actuellement cinq tours, A à E, culminant à 110 m de hauteur pour la plus haute, la tour D. Un programme de réhabilitation de ces tours est en cours. En parallèle,

pour donner un nouvel élan à la cité, une nouvelle tour, la tour F, doit être édifée au nord des bâtiments existants. Pour symboliser ce renouveau, l'architecte Pierre Fakhoury en charge du projet a dessiné une tour de très grande hauteur (ITGH) à géométrie symétrique, évoquant un masque africain. Sa hauteur, plus de 400 m, la verra dominer les autres bâtiments et le nord d'Abidjan. Elle permettra d'accueillir des services administratifs et des bureaux mais comportera également un auditorium et un espace panoramique sous 30 m de plafond, destiné aux cérémonies protocolaires (figure 1). Concevoir un tel édifice de grande

## 1- La Tour F d'Abidjan.

### 1- The F Tower in Abidjan.

hauteur nécessite des fondations spécifiques pour répondre aux contraintes de portance mais aussi de tassements absolu et différentiel sous l'effet des différentes sollicitations. La tour, d'une masse globale d'environ 170 000 t repose par l'intermédiaire d'un radier épais (3,5 m) sur un ensemble de 70 barrettes de 1,52\*2,80 m à pointe injectée et de 59 à 64 m de profondeur.

## L'ENVIRONNEMENT GÉOTECHNIQUE

Abidjan se situe au sein d'un bassin de sédimentation qui comprend 2 compartiments séparés par la faille des lagunes distante de 6 km de la tour F.

Le compartiment Nord qui constitue le sol de fondation de la tour est stable d'un point de vue géodynamique et présente une épaisseur d'environ 130 m de sables argileux, sables et argiles. Au-delà, on trouve les grès du Crétacé, non atteints lors des reconnaissances.

Trois phases de reconnaissances successives ont été menées par le Labora-





© SPIE BARTIGNOLLES FONDATIONS

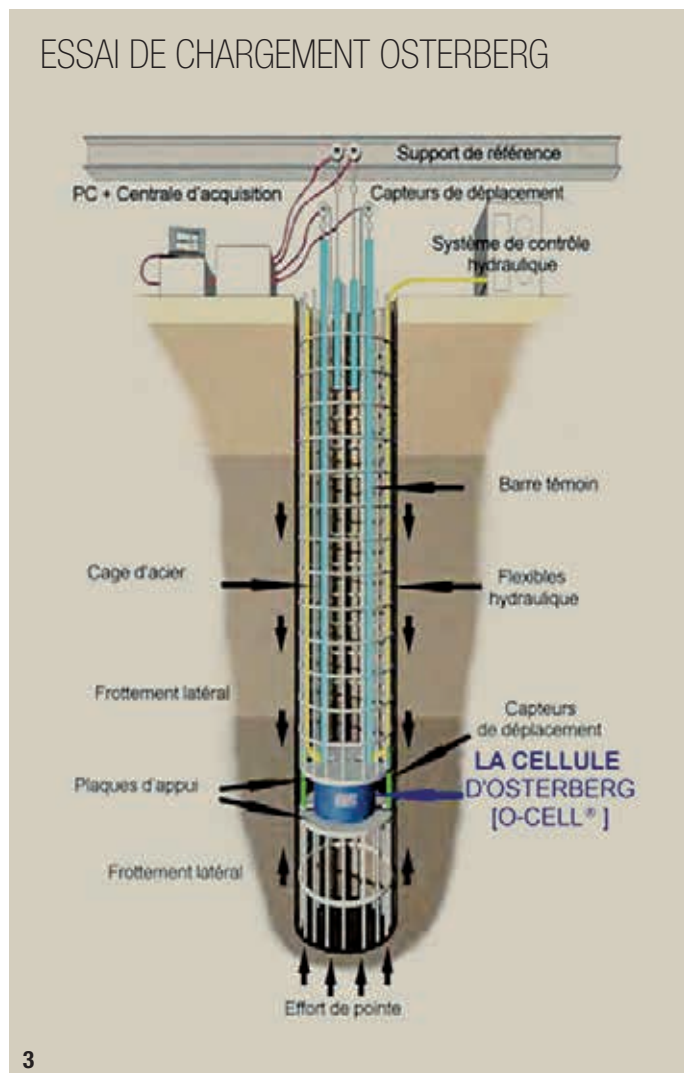
2

**2- Installation des vérins dans la cage d'armatures.**  
**3- Essai de chargement Osterberg.**

**2- Installation of jacks in the rebar cage.**  
**3- Osterberg loading test.**

toire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP) d'Abidjan. La première a eu lieu en 2016 (G1) et les suivantes en 2017 afin d'aboutir à la mission géotechnique G2PRO en 2018.

Au total, 2 sondages carottés de 35 m, 1 sondage destructif de 120 m et 13 sondages pressiométriques atteignant 90 m de profondeur ont permis de caractériser mécaniquement les terrains de fondation. Au droit du site, la stratigraphie n'est pas franchement contrastée : en partie supérieure, la formation se compose généralement d'un sable peu argileux rougeâtre, alors qu'en profondeur on trouve plutôt des sables fins à grossiers pouvant contenir des grains de quartz. Des lentilles d'argile sableuse de puissance parfois métrique peuvent également apparaître.



3

© FUGRO

Les pressions limites mesurées varient de 1,5 MPa au niveau du radier de la tour à près de 8 MPa en profondeur. Les modules pressiométriques associés passent respectivement de 18 MPa à plus de 100 MPa.

## LES ESSAIS DE CHARGEMENT DE PIEUX

L'importance de l'ouvrage nécessitait une validation préalable des approches du dimensionnement géotechnique et notamment de la pertinence des injections de pointe des barrettes.

À partir de la plateforme de travail située à 10 m sous le terrain naturel, deux pieux d'essai de 1,5 m de diamètre et de 50 m de profondeur ont pu être réalisés au droit des futures barrettes de l'ouvrage, à proximité d'un sondage pressiométrique. Chaque pieu comportait une cellule Osterberg composée de 2 vérins de chargement de forte capacité (figure 2). Ces essais de chargement avaient trois objectifs essentiels :

- 1- Définir le facteur de portance  $k_p$  minimal obtenu grâce à l'injection de pointe ;
- 2- Mesurer les frottements latéraux le long des pieux ;
- 3- Évaluer l'abatement des frottements latéraux en partie supérieure des fondations profondes de plus de 25 m.

Afin de répondre au 1<sup>er</sup> objectif, la cellule de chargement a été positionnée à 3 m de la base du pieu d'essai PE01, soit au plus près de la pointe de manière à atteindre sa rupture. Sur le pieu PE02, le dispositif a été positionné à 8 m au-dessus de la pointe de manière à mobiliser les frottements latéraux limites en partie supérieure. Ces dispositifs d'essais, peu utilisés en France, permettent d'appliquer des efforts très importants sur les fondations profondes : lors de leur mise en pression, les vérins noyés dans le béton des 2 pieux d'essai exercent des efforts égaux et opposés qui sollicitent à la fois le frottement en partie supérieure et la pointe en partie inférieure. Pour les 2 pieux, le dispositif a permis de développer des efforts de près de 21 MN (figure 3).

L'instrumentation des pieux comprenait : 4 capteurs de déplacements mesurant l'ouverture des vérins mais également trois séries de 2 piges positionnées dans des tubes spécifiques donnant le déplacement de la tête du pieu, le raccourcissement de la partie supérieure du pieu ainsi que l'enfoncement de la pointe du pieu.



**4- Coupe type du PE01.**  
**5- Effet de l'injection de pointe sur PE02.**

**4- Typical section of PE01.**  
**5- Effect of tip grouting on PE02.**

En complément, les frottements latéraux ont été mesurés au moyen de 7 séries de 3 jauges de déformation disposées à 120° et réparties le long du fût des pieux (figure 4).

Pour le 1<sup>er</sup> pieu d'essai l'effort maximal de 20,84 MN a conduit à un tassement de pointe limité à 33 mm sans aucune amorce de fluage ; après déduction des frottements latéraux sur les 3 m inférieurs, on en déduisait un coefficient de portance de 3,0 montrant ainsi l'efficacité de l'injection de pointe.

L'exploitation des déformations des jauges en fonction des efforts appliqués sur les deux pieux permettait de constater une bonne adéquation de valeurs de frottements avec la norme NF P 94-262 mais également que l'abattement du frottement en partie supérieure des fondations de plus de 25 m de profondeur était ici moins marqué. Enfin, l'instrumentation en partie basse des pieux montra que l'injection de la pointe ne se limitait donc pas uniquement à la base du pieu mais remontait sur quelques mètres en partie basse du fût.

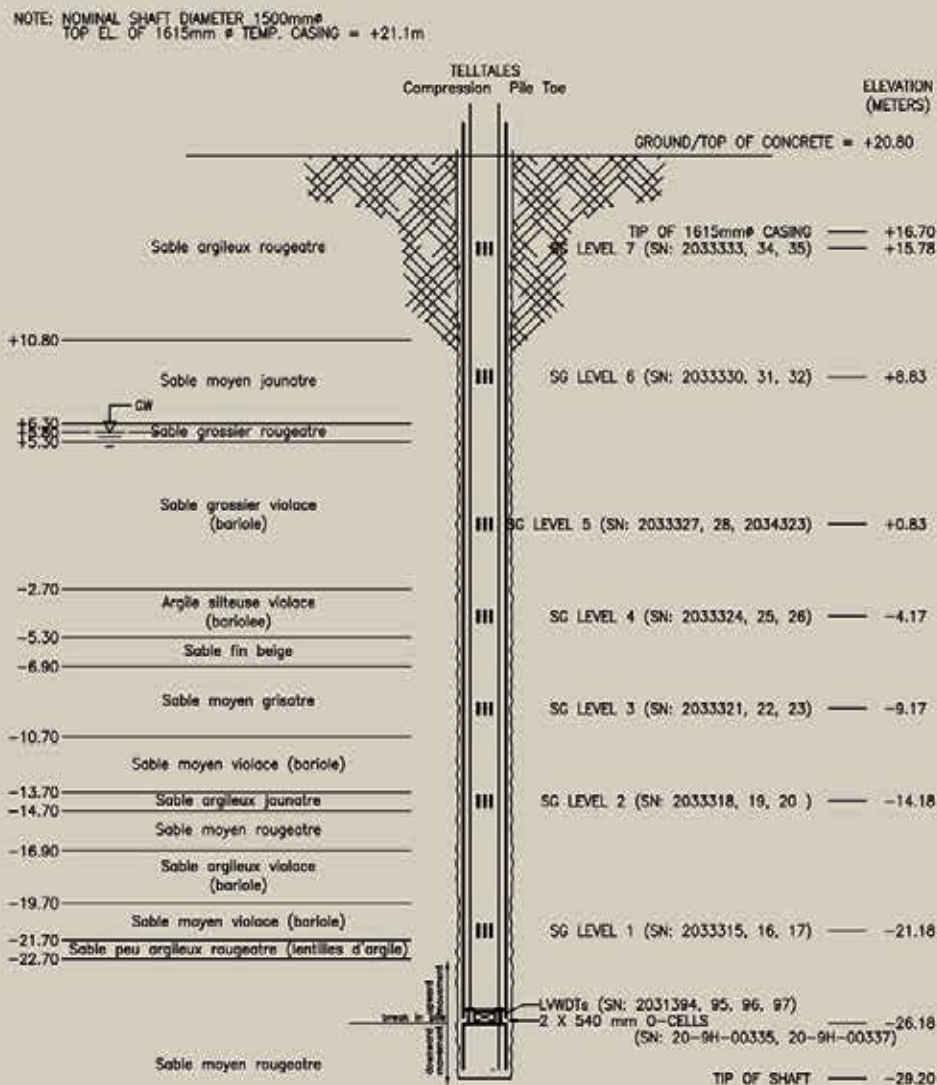
Afin de mieux appréhender les déformations générées lors des injections de pointe, les mesures des jauges de déformation ont débuté à l'issue du coulage du béton des pieux. Ces mesures ont bien montré l'effet des injections mais également qu'il n'y avait pas de déformations rémanentes (figure 5).

**LES ÉTUDES DE STRUCTURE**

La superstructure est composée d'un noyau central composé de voiles en béton armé (d'épaisseur variant de 80 cm à 35 cm) et d'une structure périphérique poteaux-poutres qui assurent conjointement le contreventement du bâtiment. Les planchers sont constitués de dalles en béton armé de 20 cm d'épaisseur supportées par des poutres radiales.

Les poteaux, inclinés, suivent les arêtes obliques de la géométrie. Leur diamètre varie de 180 cm au pied de la tour à 70 cm au sommet.

**COUPE TYPE DU PE01**

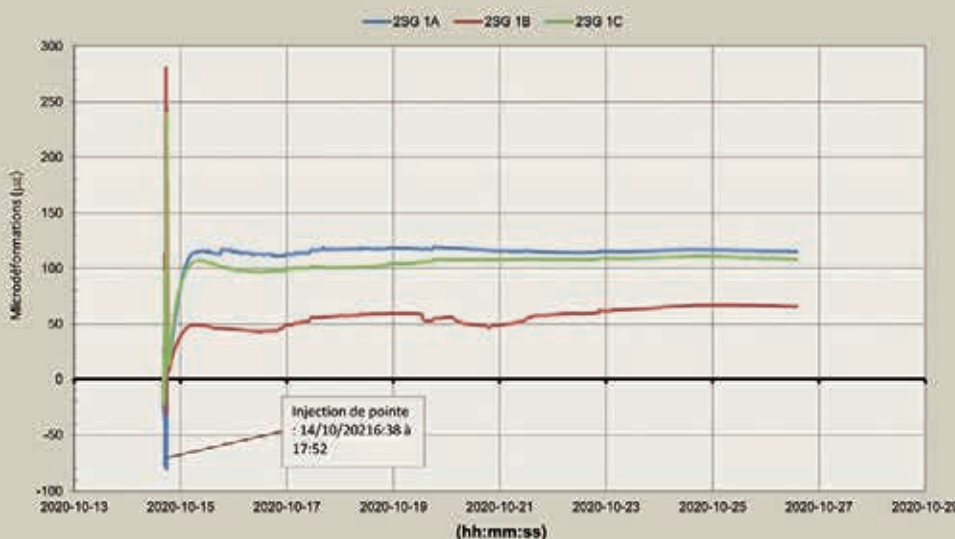


4

© FLUGRO

**EFFET DE L'INJECTION DE POINTE SUR PE02**

**Jauges (Niveau 1) lors du séchage**

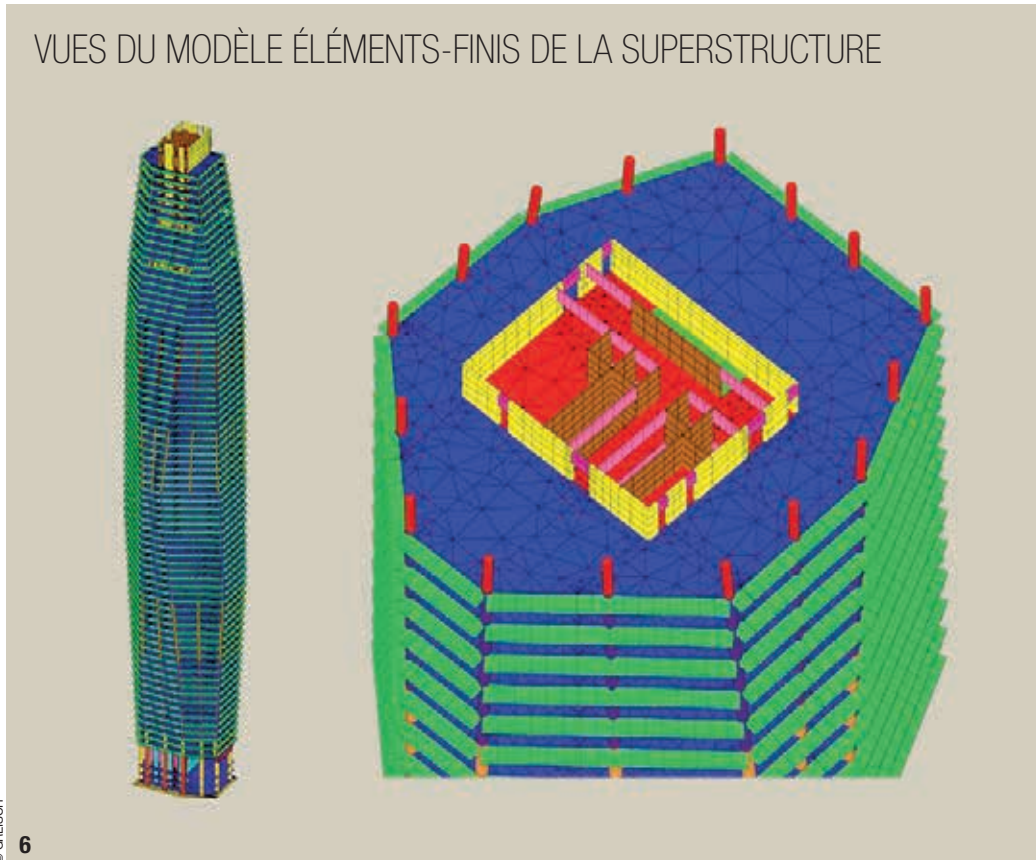


5

© FLUGRO



## VUES DU MODÈLE ÉLÉMENTS-FINIS DE LA SUPERSTRUCTURE



6- Vues du modèle éléments-finis de la superstructure.

7- Influence des raideurs de fondations sur les déplacements de la tour.

8- Influence des raideurs de fondations sur les moments dus au vent en pied de tour.

6- Views of the finite element model of the superstructure.

7- Influence of foundation stiffnesses on tower movements.

8- Influence of foundation stiffnesses on moments due to wind at the base of the tower.

Les poteaux les plus chargés reprennent une charge en service de l'ordre de 10 000 t au pied de la tour.

Le radier général de la tour présente une épaisseur de 3,5 m avec des évidements locaux pour les fosses d'ascenseur.

L'analyse structurelle est menée sur la base d'un modèle éléments-finis inté-

grant l'ensemble de la superstructure ainsi que le radier, appuyés sur des ressorts ponctuels de raideurs correspondant aux résultats du modèle géotechnique (figure 6).

La limitation des déformations transversales représente un des critères de dimensionnement prépondérant de la superstructure. Des essais en souffle-

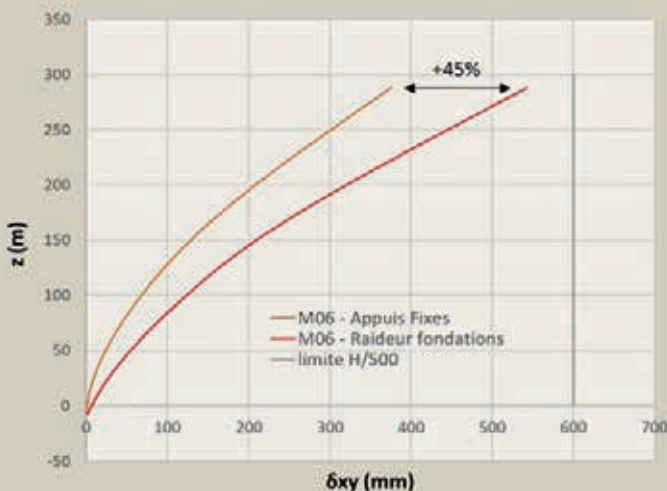
rie ont été menés sur maquette rigide de manière à déterminer des charges de vent statiques équivalentes sur la construction en tenant compte de propriétés dynamiques de la structure (analyse modale).

La prise en compte de la rigidité du système de fondation dans cette analyse est indispensable puisqu'elle peut

modifier considérablement le comportement dynamique du bâtiment (une plus grande flexibilité augmente les périodes des modes propres fondamentaux) ainsi que les charges de vent. La raideur court-terme prise en compte pour les barrettes dans les analyses de vent correspond à une amplification d'un facteur 3 des raideurs long-terme. ▷

## INFLUENCE DES RAIDEURS DE FONDATIONS SUR LES DÉPLACEMENTS DE LA TOUR

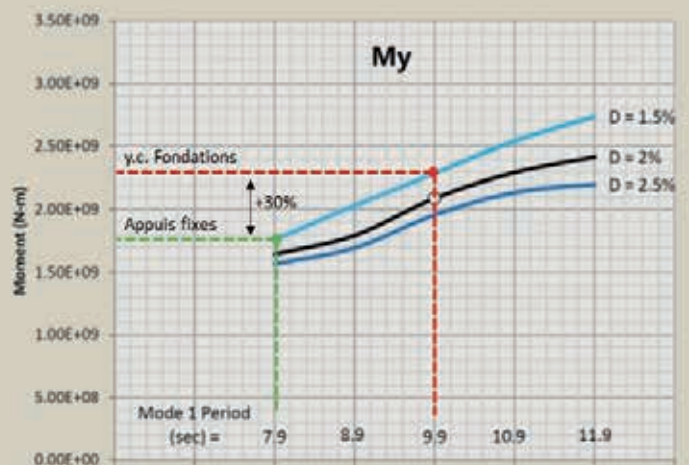
Déplacement  $\delta_{xy}$  (T = 10 ans)



7

© GREISCH

## INFLUENCE DES RAIDEURS DE FONDATIONS SUR LES MOMENTS DUS AU VENT EN PIED DE TOUR



8

© GREISCH



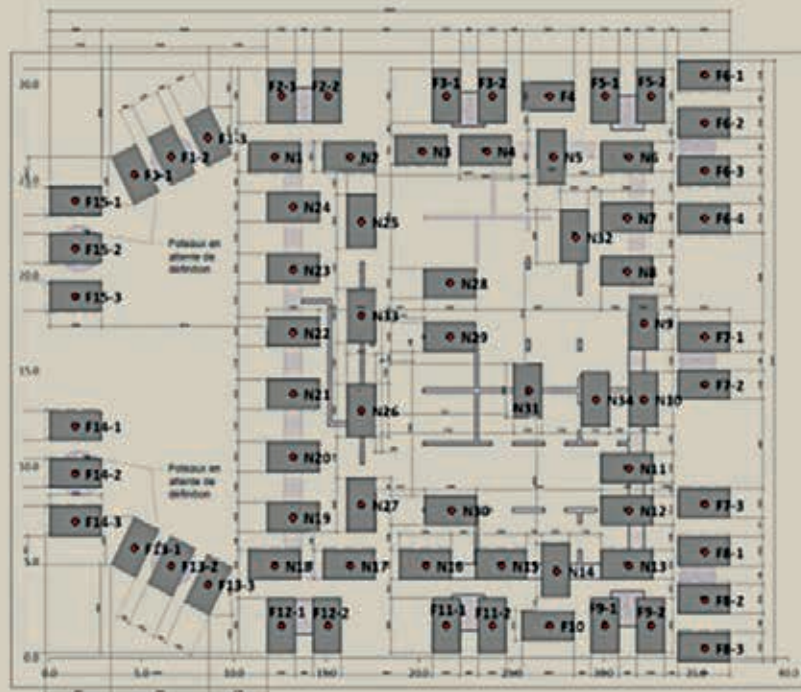
Les fréquences propres fondamentales de la tour passent de 0,14 Hz sur appuis fixes à 0,10 Hz en intégrant la raideur du système de fondations. Une étude de sensibilité a montré que cette diminution des fréquences propres génère une augmentation de l'ordre de 30% des efforts de vent sur la structure. Cette augmentation ayant à son tour un impact sur les fondations, une interaction itérative sol-vent-structure est indispensable pour converger vers une prise en compte correcte des différents phénomènes (figures 7 et 8). Au cours de différentes itérations, les descentes de charges sur barrettes ainsi que les tassements obtenus sont comparés au modèle géotechnique de manière à valider la convergence des deux approches et de l'interaction sol-structure. Lorsque la convergence est atteinte, l'analyse structurelle - et notamment le dimensionnement du radier - peut être menée sur la base du seul modèle structure alors calibré vis-à-vis des raideurs de fondations.

#### L'INTERACTION SOL-STRUCTURE

Le système de fondation comprend le radier de forte épaisseur qui contribue à la rigidité de l'infrastructure et à l'homogénéisation des charges entre les barrettes centrales situées à l'aplomb du noyau et les barrettes périphériques (figure 9). Les barrettes ont été arrêtées dans des terrains présentant une pression limite suffisante pour maîtriser les tassements globaux et éviter les effets de fluage. Un rapport de 2 à 3 est en général recherché entre la contrainte transmise par le radier et la pression limite nette des terrains dans lesquels les barrettes sont ancrées. Ici, la contrainte transmise par la tour est de l'ordre de 1,6 MPa tandis que la pression limite nette des terrains à la base des barrettes est de l'ordre de 4 MPa (l'injection de la pointe des barrettes permet de valider ce rapport de l'ordre de 2,5).

Les effets d'interaction sol-structure jouant un rôle fondamental dans la conception du système de fondation, à la fois sous chargement vertical (tassements absolus et différentiels, rotations, sollicitations internes et descente de charges) et horizontal (rotation et flèche horizontale, effets du 2<sup>nd</sup> ordre), il est nécessaire de procéder à une estimation, la plus appropriée possible, de la raideur des barrettes tenant compte des effets de groupe qui se manifestent et qui tendent à assouplir leur raideur apparente (notamment en partie centrale).

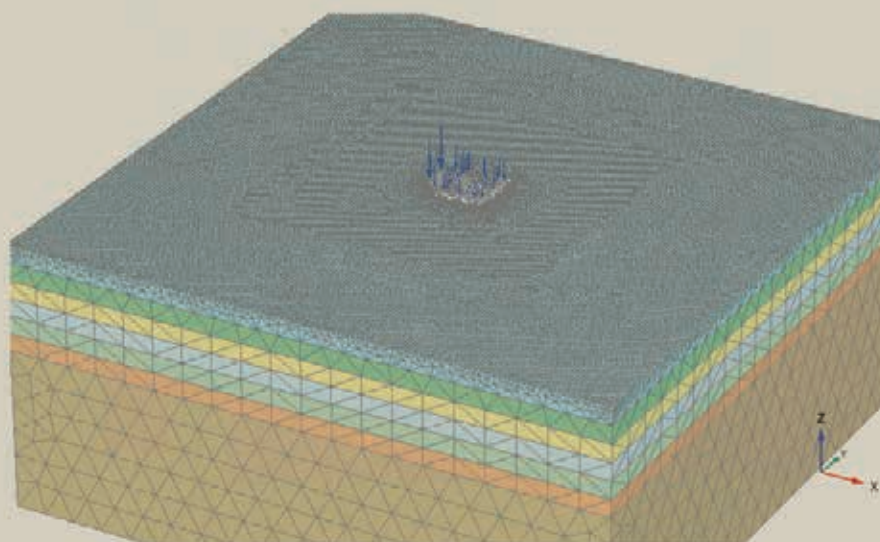
### PLAN DE FONDATIONS



9

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS

### VUE D'ENSEMBLE DU MAILLAGE



10

© TERRASOL

La conception des systèmes de fondation de la Tour F a ainsi nécessité la mise en œuvre de procédures d'interaction sol-structure spécifiques associant des modèles éléments finis en trois dimensions avec le logiciel Plaxis 3D (figures 10 et 11) et des modèles hybrides avec le logiciel Tasplaq déve-

9- Plan de fondations.

10- Vue d'ensemble du maillage.

9- Foundation plan.

10- General view of meshing.

loppé par Terrasol. Ces modèles hybrides combinent des méthodes de résolution numérique classique, comme la méthode des éléments finis, avec des méthodes analytiques permettant un gain conséquent en temps de calcul et une possibilité accrue de procéder à de vastes études paramétriques, ce qui



est toujours appréciable pour des projets complexes à concevoir dans des délais courts.

Pour la Tour F, l'utilisation d'une méthode hybride basée sur des courbes d'influence déterminées numériquement a permis de grandement accélérer les procédures d'interaction sol-structure nécessaires et de faciliter le dialogue entre les ingénieurs géotechniciens et ceux de structure.

Un calcul 3D complet a néanmoins été réalisé de manière à confirmer les résultats obtenus. La confrontation entre les modèles numériques et hybrides avec des écarts inférieurs à 5% a permis de valider pleinement la fiabilité et la robustesse de la conception proposée.

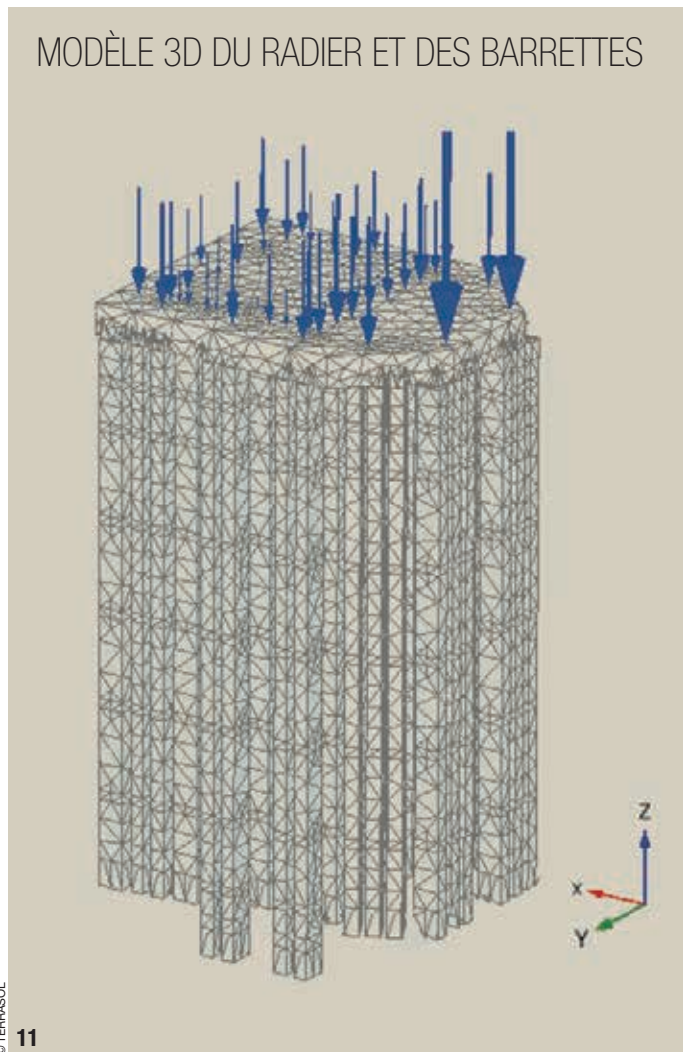
L'utilisation d'un modèle Plaxis 3D a permis d'accéder à la distribution des efforts à la base des barrettes et le

**11- Modèle 3D du radier et des barrettes.**

**12- Vue générale du chantier.**

**11- 3D model of the foundation raft and barrettes.**

**12- General view of the site.**



© TERRASOL



© SPIE BÂTIMENTS FONDATIONS

long de leur fût, permettant ainsi une meilleure compréhension de la répartition des charges : les barrettes situées en périphérie du radier et supportant les façades sont capables de mobiliser du frottement axial pour équilibrer les charges qu'elles reçoivent tandis que les barrettes situées sous le noyau mobilisent principalement de la pointe.

**LES TRAVAUX**

Le pré-terrassment de 10 m a permis d'atteindre une plateforme de travail à 20,8 NGCI, située environ 1,5 m au-dessus du niveau bas du futur radier (figure 12).

Les travaux de forage des barrettes sous boue bentonitique débutaient un mois après la fin des essais de pieux, au moyen d'une benne à câbles Stein montée sur un porteur Liebherr HS885. Les manutentions étaient assurées par une grue Sumitomo SC1000.

La compacité des sables s'est révélée très variable, conduisant à des durées de forage allant de 20h à plus de 70 h par barrette. Les contrôles de verticalité de forage menés sur chaque barrette au moyen du Taraben ont montré que les déviations restaient inférieures à 0,7%.

Les calculs ont montré que seuls les 20 m supérieurs des barrettes devaient recevoir un ferrailage structurel.

Au-delà, les cages d'armatures assuraient le support des tubes de diamètre 3/4" nécessaires à l'injection de la pointe et celui des tubes 50/60 permettant le contrôle par auscultation sonique de 12 barrettes.

Afin de s'affranchir des conditions de circulation en ville, les bétonnages d'une durée de 6h pour 250 m<sup>3</sup> ont eu lieu de nuit.

Chaque barrette a reçu 4 boucles d'injection formées de tubes métalliques percés à leur base de plusieurs trous protégés chacun par une manchette en caoutchouc. Préalablement aux travaux d'injection, plusieurs essais ont permis de définir les dosages en ciment des coulis mais également le temps de prise optimal du béton avant le claquage à l'eau des manchettes (figures 13a et 13b). Finalement, deux passes d'injection ont été réalisées avec une centrale de type Obermann VS 111 au travers d'obturateurs installés en tête de barrettes : la première au moyen d'un coulis assez faiblement dosé (C/E=0.5) permettant une meilleure imprégnation des sables puis une seconde avec un coulis plus fortement dosé (C/E=1.5) conférant sa résistance au contact béton/sol. ▷



Des critères d'arrêt de l'injection fonctions du soulèvement des barrettes, de la pression et du volume d'injection ont été définis afin de garantir l'efficacité de l'opération.

Deux barrettes ont été équipées de tubes 102/114 permettant le carottage de leur fond par le biais d'une foreuse de type Klemm KR804, afin de vérifier la qualité du contact entre le béton en pointe de barrette et le sol sous-jacent injecté.

Un petit laboratoire de chantier a été installé sur site ; il comprenait, outre les contrôles usuels de la boue, du béton frais et des coulis d'injection, une presse de 1500 KN permettant l'écrasement des éprouvettes béton. À l'issue de la réalisation des barrettes, un terrassement sur 1,5 m a été exécuté afin de permettre le recépage de la tête des fondations en vue de la réalisation du radier.

Il a été procédé aux travaux en tenant compte de plusieurs contraintes propres au projet et au site. Tout d'abord, l'emprise au sol de la tour étant de petite taille, l'ensemble des 70 barrettes a été réalisé sur une surface d'environ 37 m x 32 m. Une bonne coordination fut donc nécessaire afin de permettre un travail simultané optimal des deux grues de grande capacité, la circulation des touppies de béton et des camions d'évacuation de déblais ainsi que les



13a



13b

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

travaux de terrassement et de recépage. Par ailleurs, les barrettes étant proches les unes des autres, un phasage rigoureux a été établi en tenant compte des temps de prise du béton pour garantir un travail en sécurité et éviter tout risque de perturbation de la qualité des fondations réalisées, tout en libérant un maximum d'espace pour permettre en parallèle l'exécution des travaux de recépage.

**13a & 13b- Essais de claqua-ge du béton.**

**13a & 13b- Concrete failure tests.**

Enfin, le respect des délais, malgré l'exiguïté du site et la forte compacité des terrains en profondeur, fut un enjeu de taille au vu de l'importance de ce projet pour l'État ivoirien dans le cadre du développement de la cité administrative d'Abidjan. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- **Durée des travaux de fondations : 7 mois**
- **70 barrettes de 1,52 x 2,80 m de 59 et 64 m de profondeur**
- **Longueur forée : 4 170 m**
- **Béton : 17 750 m<sup>3</sup>**
- **Armatures : 580 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :**  
Ministère de la Construction et de l'Urbanisme de Côte d'Ivoire

**ASSISTANT AU MAÎTRE D'OUVRAGE :**  
Bureau National d'Études Techniques et de Développement

**CONTRACTANT GÉNÉRAL :** Pfo Africa

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Pierre Fakhoury

**BET STRUCTURE :** André Verdier

**ENTREPRISES :** Spie Batignolles Fondations / Besix

**BUREAUX D'ÉTUDES :** Terrasol et Greisch

## ABSTRACT

### FOUNDATIONS OF THE F TOWER IN ABIDJAN

MICHEL BUSTAMANTE, MBFONDATIONS - AMAURY LEROY, BUREAU D'ÉTUDES GREISCH - SÉBASTIEN BURLON, TERRASOL - FRANÇOIS LOUVEL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

*The future F Tower of Abidjan will be situated in the heart of the administrative district. More than 400 metres high, it will rest on a very thick foundation raft of 70 foundation barrettes, 1.52x2.80 m and more than 60 m deep, the tip of which is grouted. The anchoring soils are mainly sands of pressure meter moduli ranging from 18 to more than 100 MPa. Loading tests conducted on two piles fitted with Osterberg Cells were able to validate the tip grouting and define a bearing capacity factor of 3. The structure underwent wind-tunnel studies and tests on soil-structure interaction by means of analytic computation and finite element modelling. Due to the small available space of 37x32 m, the work teams had to perfectly coordinate their tasks. □*

### LOS CIMIENTOS DE LA TORRE F DE ABIYÁN

MICHEL BUSTAMANTE, MBFONDATIONS - AMAURY LEROY, BUREAU D'ÉTUDES GREISCH - SÉBASTIEN BURLON, TERRASOL - FRANÇOIS LOUVEL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

*La futura torre F de Abiyán estará situada en pleno centro de la ciudad administrativa. De más de 400 m de altura, estará sustentada sobre una solera de gran espesor, sobre 70 pilotes flotantes de cimentación de 1,52 x 2,80 m y más de 60 m de profundidad, con la punta inyectada. Los terrenos de anclaje son principalmente arenas con unos módulos presiométricos que varían de 18 a más de 100 MPa. Unos ensayos de carga realizados en dos pilotes provistos de células Osterberg han permitido validar las inyecciones de punta y definir un coeficiente de sustentación de 3,0. La obra ha sido objeto de estudios aerodinámicos y de interacción suelo-estructuras mediante cálculos analíticos y modelos de elementos finitos. La reducida superficie de planta de 37x32 m ha exigido una perfecta coordinación de las tareas entre los equipos de obra. □*





1  
© SGI/SETEC TPI

# LES TRAVAUX DE RÉNOVATION DU PONT FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY À ABIDJAN

AUTEURS : JULIEN TANANT, INGÉNIEUR EN CHEF, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, CONSULTANT, SETEC TPI - JEAN DRIVET, DIRECTEUR, SETEC-TERRASOL - TARIK BENDIF, DIRECTEUR DE PROJET, SGI INTERNATIONAL

LE PONT FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY À ABIDJAN EN CÔTE D'IVOIRE PERMET LE FRANCHISSEMENT DE LA LAGUNE EBRIÉ ET RELIE LE QUARTIER RÉSIDENTIEL DU PLATEAU AU NORD ET LE QUARTIER DU PORT (TREICHVILLE) AU SUD. SITUÉ AU CŒUR D'ABIDJAN, TRÈS FRÉQUENTÉ, IL PORTE LES TRAFICS ROUTIER ET FERROVIAIRE, LES PIÉTONS ET CYCLES. CONSTRUIT ENTRE 1954 ET 1957, IL A FAIT DEPUIS L'OBJET DE DIVERSES INVESTIGATIONS, INTERVENTIONS ET ÉTUDES À PARTIR DE 1974. EN 2015, LA CÔTE D'IVOIRE A INSCRIT LE PROJET DE RÉHABILITATION DU PONT HOUPHOUËT-BOIGNY AU NOMBRE DE SES PRIORITÉS. CES TRAVAUX DE CONFORTEMENT METTENT UN TERME AUX NOMBREUSES EXPERTISES ET DEMANDES DE REMISE À NIVEAU EXPRIMÉES DEPUIS PLUS DE TRENTE ANS.

## LA CONSTRUCTION DU PONT

Le pont Félix Houphouët-Boigny remplace en 1958 un pont flottant devenu insuffisant. L'ouvrage est constitué d'un pont à deux étages de 372,00 m de long, franchissant la lagune Ebrié, reliant la commune du Plateau, le centre d'affaires d'Abidjan, à la zone portuaire de Treichville. Il est prolongé de part et d'autre par deux viaducs d'accès de 89,00 m de long et quatre passages supérieurs (figure 2).

Chacune des huit travées de 46,50 m entre axes des piles en lagune est constituée par deux poutres-caissons préfabriqués parallèles de 41,00 m de portée, de 9,20 m de largeur et de 5,80 m de hauteur totale. Une pas-

serelle de 4,40 m, disposée entre les caissons, supporte les canalisations. La chaussée offre une largeur de 14,00 m et deux trottoirs de 4,00 m pour cyclistes et piétons complètent l'ensemble (figure 3).

Une particularité de cet ouvrage est le large recours à la préfabrication : puits, piles, poutres-caissons et passerelles avec une préfabrication sur l'une des rives et transport à leur emplacement définitif, ces techniques étant imposées

### 1- Vue d'ensemble du pont.

### 1- General view of the bridge.

par les fonds lagunaires et la qualité requise pour la construction. Le projet définitif proposé par l'entreprise Bousiron intégrait l'urbanisation de la zone, le mode de réalisation des fondations, le délai court de construction et bien sûr un prix minimum (figure 4).

Les sept piles dans la lagune reposent sur un caisson préfabriqué, de 7,00 m de largeur et 6,00 m de long, appuyé sur 8 "puits-colonnes"<sup>(1)</sup> de 1,35 m de diamètre, quatre verticaux et quatre inclinés à 15 %, ces derniers assurant la stabilité longitudinale et transversale de l'ouvrage (figure 5).

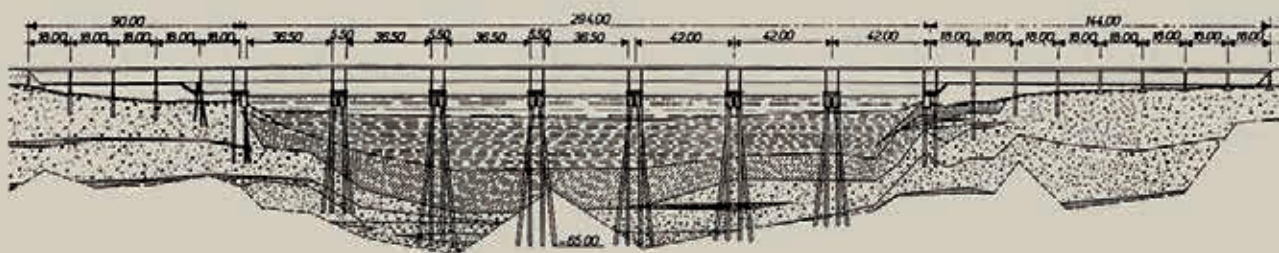
En ce qui concerne les "puits-colonnes" verticaux et inclinés, ceux-ci ont été préfabriqués et précontraints puis descendus par havage jusqu'à 70 m de

profondeur au-dessous du niveau des eaux. Ces puits sont ancrés de 15,00 m environ dans les sables. L'ancrage a été réalisé par une technique innovante de manches extensibles en polyvinyle gonflées au mortier de ciment. Ces techniques ont également été utilisées avec quelques variantes au pont de Maracaibo et au second pont d'Abidjan (figure 6).

Le tablier est constitué de 16 poutres-caissons de 800 t chacune, précontraintes longitudinalement et transversalement, préfabriquées et mises en place par barges. Les puissances des câbles boutonnés BBR - Bousiron sont respectivement 100 t longitudinalement et 30 et 60 t transversalement en hourdis supérieur et inférieur (figure 7). ▷



## COUPE LONGITUDINALE



2

L'ouvrage était innovant à l'époque par les techniques mises en œuvre :

- Préfabrication de la quasi-totalité des éléments constitutifs : tablier, piles, puits ;
- Choix du béton précontraint dans les puits et le tablier ;
- Puits de fondations précontraints et vérins expansibles dans les couches de fondations ;
- Utilisation de ciment pouzzolano-métallurgique pour les superstructures ;
- Mise en place des piles et des tabliers préfabriqués par flottaison ;
- Emploi de bordures de sécurité mises en œuvre sur un pont.

L'ouvrage a été conçu par Nicolas Esquillan, alors directeur technique de l'entreprise Boussiron et Jean François, ingénieur dans cette même entreprise. Il a été livré le 20 mai 1957 après trois années de travaux. Une description complète de ces travaux figure dans la revue *Travaux* n°282 d'avril 1958 et dans les annales de l'ITBTP n°138 de juin 1959.

### LES PREMIERS DOMMAGES

Dès 1974, une première mission de reconnaissance des fondations, réalisée à l'initiative du service des Travaux Publics, a été confiée à Monsieur Perzo. Lors d'une inspection sous-marine, il a été constaté que des morceaux de béton des gaines préfabriquées avaient disparu, laissant apparaître les fils d'acier de 8 mm dont plusieurs étaient cassés sous l'effet de la corrosion sous tension. Ces dommages seraient dus, aux dires de certains, à des chocs de convois de barges et de trains flottants de billes de bois sur la lagune, et non à l'agressivité de l'eau de la lagune chargée de matière organique.

À la suite de ce constat, il a été décidé de chemiser vingt pieux sous les caissons de piles 2, 3, 4, 5 et 6 à l'aide

d'une enveloppe métallique réalisée en deux parties. L'espace entre le corset et le pieux fut armé et injecté d'un mortier de résine. Ce dispositif reconstituait ainsi l'enrobage.

À partir de juillet 1992, des premières inspections par plongeurs ont été réalisées par le CEBTP et le LBT d'Abidjan, puis, en février 1998, sous la présidence de Jean Millier, ingénieur général des Ponts et Chaussées, alors Ministre des Travaux Publics de la Côte d'Ivoire au moment de la construction, un collège d'experts a été constitué pour statuer sur l'état des fondations de l'ouvrage. Ce collège comprenait notamment des experts comme Jean Kérizel, expert international, René Perzo, directeur des études du pont, et Jacques Trinh, auteur du rapport du CEBTP en 1992. Cette commission a produit en juin 1999 des recommandations concernant :

- Les mouvements des piles ;
- Le suivi de la géométrie des piles ;
- La pose de repères de nivellement en vue d'un suivi régulier ;

2- Coupe longitudinale.

3- Coupe transversale.

2- Longitudinal section.

3- Cross section.

- La connaissance précise des travaux effectués en 1974 ;
  - Une reconnaissance sous-marine complémentaire pour examiner les joints entre gaines préfabriquées des puits-colonnes ;
  - Une reconnaissance de la pénétration des chlorures dans le béton des pieux, le chemisage en béton d'époxy, et les parois des caissons.
- À l'issue de ses travaux, la commission s'est prononcée clairement pour la reprise des fondations ou la reconstruction du pont et a recommandé, en conclusion de son rapport, de " *ne pas perdre de temps* ".

D'autres constats ont été effectués sur les mouvements du tablier et la chaussée, les joints de chaussée, l'état général des descentes d'eau et l'état du ballast. Des investigations complémentaires ont été réalisées en 1998, puis des études de renforcement de 2001 à 2003. Mais ce n'est qu'en 2016 que la décision de réaliser ces travaux de confortement est prise.

### LA RÉNOVATION DE L'OUVRAGE

#### PROGRAMME

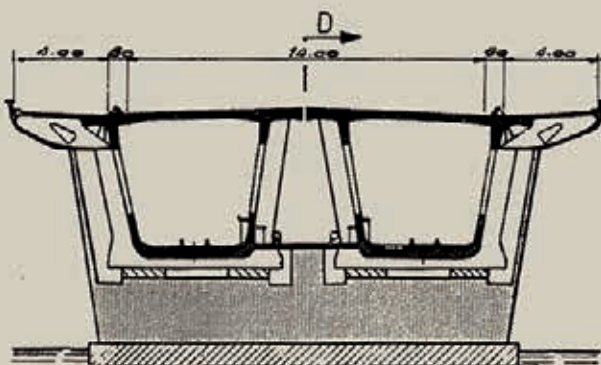
Un programme de réparation a été proposé par la société Egis. Il consiste à réaliser trois pieux de part et d'autre des fondations existantes et de réaliser quatre poutres de transfert précontraintes, reposant sur des chevêtres en tête de pieu. Ces poutres sont reliées deux à deux aux piles existantes, par clouage précontraint. L'idée des concepteurs de cette réparation est de faire participer les anciennes fondations, au prorata des rigidités, en situation de service normal, puis, en cas de défaillance de la totalité des fondations d'une pile, de reprendre, à l'état limite ultime, la totalité de la descente de charge.

Dans le dossier d'appel d'offres, le tablier est renforcé par de la précontrainte additionnelle, constituée par une famille de câbles rectilignes 2 x 6 x 3 T15 S gainés graissés, dans une gaine injectée au coulis et une famille de câbles ondulés 2 x 2 x 12 T15 S déviés par deux déviateurs additionnels. D'autres travaux concernent la reprise des réseaux situés entre les deux ponts, la remise en état de la voie ferrée située dans les caissons et des travaux de superstructures.

#### FINANCEMENT

Depuis la signature du premier contrat de désendettement fin 2012, les appuis

## COUPE TRANSVERSALE



3

© DR



**4- Caisson préfabriqué de béton.**  
**5- Fondations dans la lagune.**

**4- Precast concrete caisson.**  
**5- Foundations in the lagoon.**

de la France au secteur des infrastructures routières de Côte d'Ivoire représentent un engagement cumulé de près de 350 milliards de FCFA (530 millions euros).

Le financement de ce contrat d'environ 52,5 millions d'euros est assuré par l'Agence Française de Développement (AFD) dans le cadre du Contrat de Désendettement et de Développement de la Côte d'Ivoire (C2D).

**MAÎTRISE D'ŒUVRE**

Dans ce cadre, le groupement Sgi / Setec Tpi / Setec Ci / Ietf a été mandaté en tant que consultant pour la mission de maîtrise d'œuvre portant sur le suivi et le contrôle des travaux de réhabilitation du pont Félix Houphouët-Boigny à Abidjan.

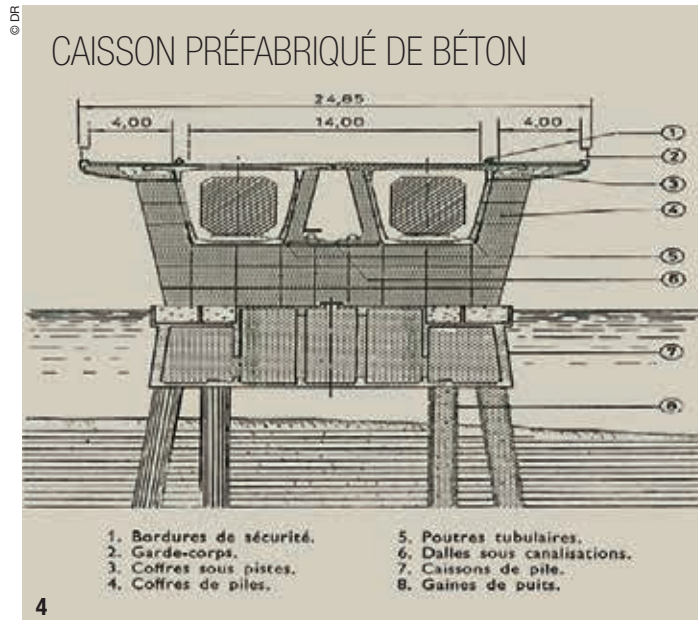
La mission du Groupement Sgi / Setec Tpi / Setec Ci / Ietf s'articule autour de plusieurs principes directeurs :

- Vérification des études techniques d'exécution et du PGES fournis par l'entreprise ;
- Contrôle et suivi de la qualité des travaux et des quantités ;
- Vérification de la mise en œuvre des travaux ainsi que la vérification de la mise en œuvre des mesures d'atténuation des impacts environnementaux ;
- Vérification des situations financières établies par l'entreprise ;
- Assistance au maître d'ouvrage délégué dans les opérations de réception.

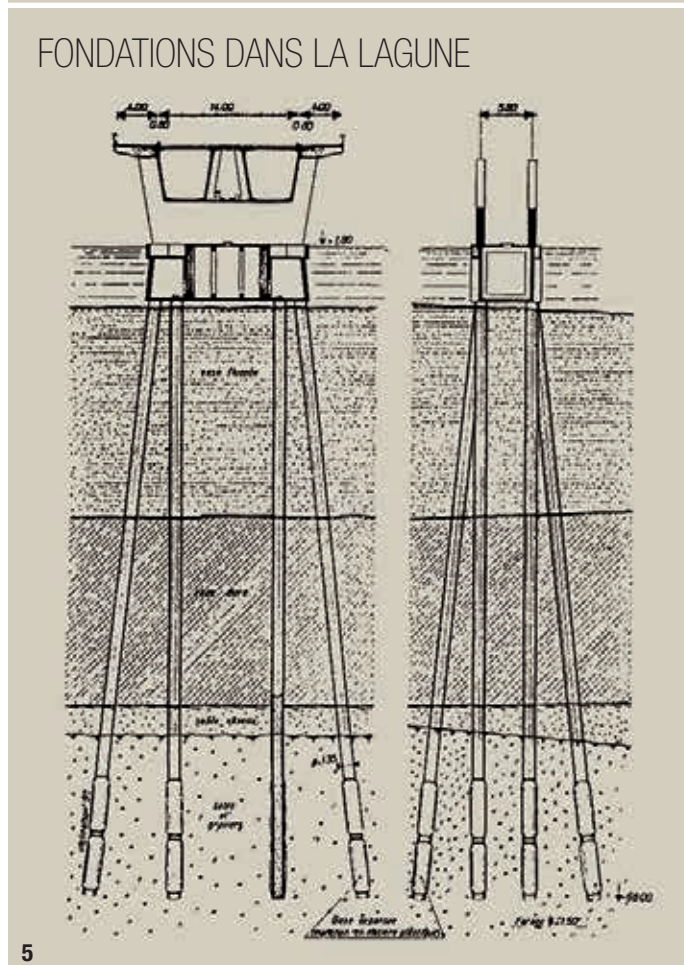
**ENTREPRISES**

À l'issue de la consultation, les autorités ivoiriennes ont confié aux groupes français de construction et de BTP, Eiffage et Spie Batignolles, la réhabilitation du pont Félix Houphouët-Boigny à Abidjan en Côte d'Ivoire.

Eiffage, via sa filiale Eiffage Génie Civil est le mandataire du groupement, composé également de Spie Fondations. Le marché est de 52,5 millions d'euros (32,7 M€ pour Eiffage Génie Civil et 19,8 M€ pour Spie Fondations). Les travaux de réhabilitation comprennent :



4



5

**Pour l'ouvrage principal :**

- Renforcement des fondations des appuis en rivière par réalisation de nouveaux pieux ;
- Réalisation de structures de transfert ;
- Renforcement du tablier vis-à-vis de la flexion longitudinale et de l'effort tranchant ;

- Réparation, renforcement et protection de l'intrados du hourdis supérieur du tablier ;
- Renforcement du hourdis inférieur et de ses consoles d'about ;
- Réparation et protection des matériaux ;
- Remplacement et réparation des équipements et superstructures.

**Pour les ouvrages d'accès :**

- Travaux de réparation des matériaux ;
- Réparation des piles des viaducs d'accès ;
- Réparation du tablier PS lagunaire ;
- Réparation des défauts de matériaux (caissons de trottoirs, etc.) ;
- Remplacement et réparation des équipements et superstructures.

**CONTEXTE GÉOTECHNIQUE**

Le contexte géologique au droit du projet est caractéristique des nombreuses lagunes qui composent l'environnement d'Abidjan (figure 8).

Le sol de la lagune est constitué par :

- Des matériaux vasards sur une épaisseur pouvant atteindre une trentaine de mètres sous le lit de la lagune ;
- Une succession d'alluvions sableuses, avec un pourcentage de matériaux fins plus ou moins important, dont la compacité augmente généralement avec la profondeur jusqu'à atteindre des valeurs de  $p^*$  dépassant 2,00 MPa au-delà de 40-50 m sous le niveau du lit.

Ce contexte est problématique pour des fondations profondes dans le sens où le frottement latéral mobilisable dans les alluvions sableuses est faible en raison, d'une part, de la difficulté de réalisation de pieux de grande longueur dans des matériaux sableux et, d'autre part, du déplacement important nécessaire pour mobiliser ledit frottement dans les matériaux lâches.

Cette "difficulté" géotechnique fait que le report des charges (et la fiabilité du système tant en capacité portante qu'en raideur) doit être considéré comme principalement repris par la pointe des fondations profondes. D'où la nécessité de fiabiliser absolument la résistance de pointe.

**LES VARIANTES D'ENTREPRISE**

Dès l'appel d'offre, le maître d'œuvre comme les entreprises soumissionnaires ont proposé des variantes aux solutions préconisées :

- a-** Remplacer les pieux prévus par 2 x 2 pieux de plus gros diamètre ;
- b-** Corrélativement suppression du jet grouting et approfondissement des nouvelles fondations, solution non retenue par l'adjudicataire ;
- c-** Remplacer les 6 pieux prévus par 2 x 4 pieux de plus petits diamètres ;



- d-** Suppression des clouages des poutres de transfert sur les piles existantes et reprise de la totalité des charges sur deux poutres de transfert, sans participation des anciennes piles et fondations, éliminant ainsi l'aléa sur la portance résiduelle des pieux existants ;
- e-** Simplification du câblage de renforcement et mise en œuvre d'un simple câblage ondulé, plus efficace dans une travée isostatique ;
- f-** Remplacement des appuis à pot d'élastomère par des appuis en caoutchouc fretté.

À l'issue de la consultation, les variantes c, d, e et f sont, en définitive, adoptées par le groupement d'entreprises Eiffage - Spie Fondations et le maître d'œuvre.

## DES NOUVELLES FONDATIONS

Les travaux de fondations ont été décrits dans le n°946 de *Travaux* de novembre 2018 par l'entreprise Spie Fondations.

Le choix du concepteur de la réparation était de ne pas forer de pieux au-dessous du niveau des fondations existantes, afin de ne pas déstabiliser l'ouvrage, bien qu'il aurait été plus simple de forer les nouveaux pieux jusqu'à un horizon satisfaisant, situé environ 5,00 m sous l'arase inférieure des pieux existants.

Aussi, dans la solution du marché, afin de parvenir à fiabiliser l'effort de pointe transférable aux pieux et de maintenir une raideur acceptable du transfert sol/pieux, une solution de traitement par jet grouting de la base des fondations profondes a été adoptée (figure 9).

Cette solution remplit deux objectifs :

- Augmentation de la surface de la pointe de pieu ;
- Amélioration du facteur  $k_p$  (coefficient de pointe) par rapport à celui pris forfaitairement pour des pieux forés sous boue bentonitique.

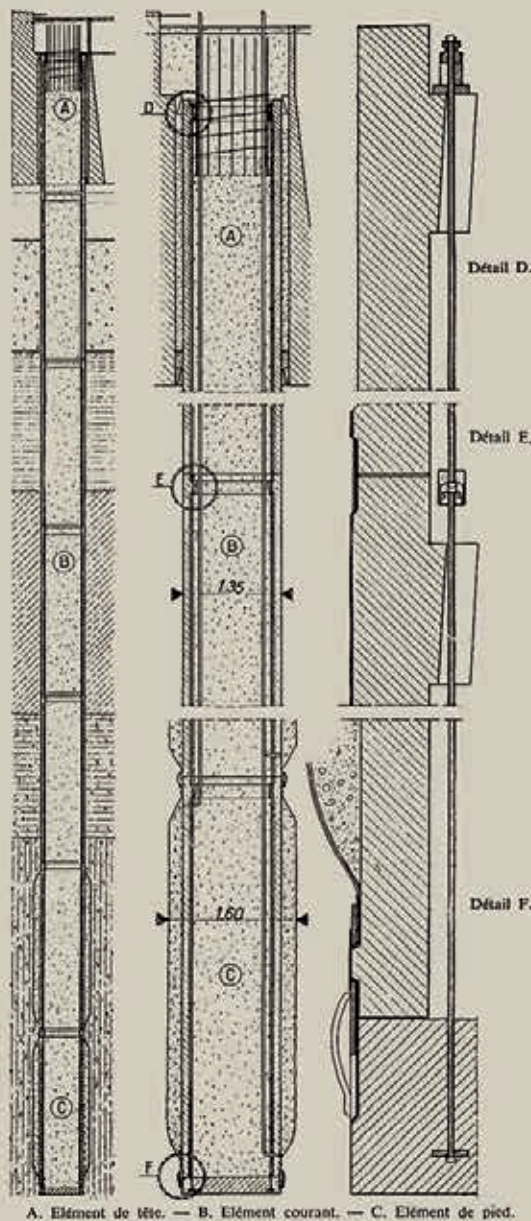
Tous les pieux ont fait l'objet d'un traitement en pointe par quatre colonnes de jet grouting de 2,50 m de hauteur et réalisées à travers les tubes d'auscultation.

Les opérations de jet grouting ont été effectuées soit à partir d'une plateforme métallique soit, à partir de la nouvelle semelle réalisée préalablement.

Le coulis était dosé à 850 kg/m<sup>3</sup> de ciment CHF-CEM III A et la résistance visée sur spoils Rc de 11 MPa.

Les colonnes ont été exécutées en monojet en remontant et en visant un diamètre de 1 250 mm avec une pression de la pompe d'injection de 40 MPa

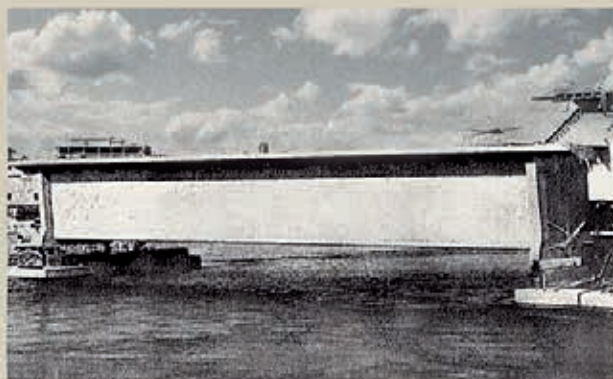
## LES PUIXS-COLONNES PRÉFABRIQUÉS



A. Élément de tête. — B. Élément courant. — C. Élément de pied.

6

## POSE DES CAISSONS DE TABLIER



7

© SPIE FONDATIONS

## 6- Les puits-colonnes préfabriqués.

## 7- Pose des caissons de tablier.

## 6- Precast column shafts. 7- Placing deck caissons.

et une vitesse de remontée moyenne de 5 mn/m, un enregistrement automatique de tous les paramètres étant réalisé. Lors des essais de convenance, il a été vérifié que la zone concernée par le traitement pouvait être considérée comme correspondant à un cylindre de 1,75 m de diamètre.

Un contrôle des pointes était effectué par carottage à travers le cinquième tube de réservation.

Des essais sur coulis à la sortie de l'unité de fabrication et sur les spoils étaient réalisés régulièrement, la résistance moyenne sur spoils a été de 15,2 MPa à 28 jours.

## EXÉCUTION DES PIEUX

Les 56 pieux de fondation de 1 500 mm de diamètre ont été réalisés entre juin 2019 et février 2020, ils ont été forés sur les premiers mètres à travers une virole métallique mise en place par louvoyage jusqu'aux sables denses situés entre les cotes -33 et -51 pour une cote d'arase à -0,90 puis forés sous bentonite jusqu'à la cote projet entre -36,70 et -64,70 (figure 10).

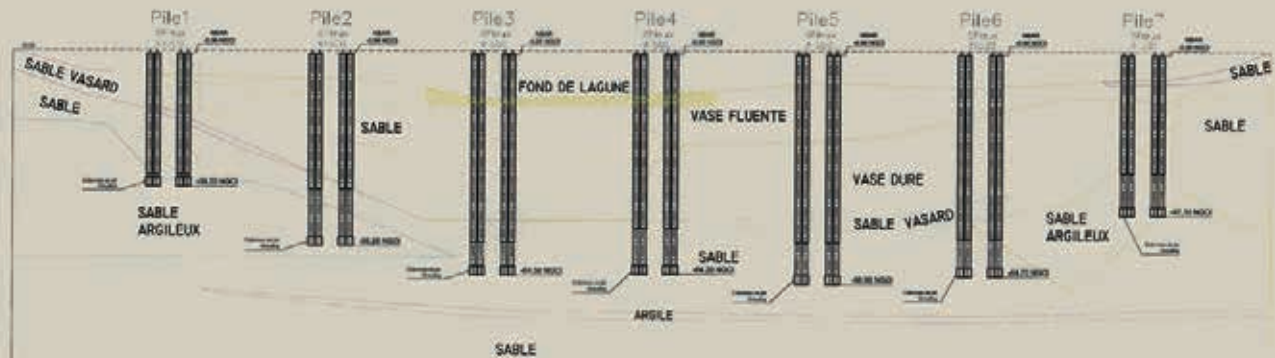
Les travaux étaient réalisés avec une foreuse Bauer BG 40 à partir d'une barge autostable positionnée aux appuis sans être butée sur les appuis existants, cette éventualité étant interdite par le marché compte tenu des incertitudes sur la possibilité d'efforts supplémentaires apportés à l'ouvrage. Les travaux étaient appuyés sur la barge par une grue de manutention de 150 t et en navigation par une barge de servitude et un pousseur pour les déplacements.

Le fluide de forage initialement prévu était un polymère, la stabilité des forages étant parfois non assurée, il a été remplacé par un fluide à base de bentonite.

Le niveau d'arrêt des viroles métalliques avait été arrêté sur la base de l'étude géotechnique (essais pressiométriques et CPT) au début des sables propres sous-jacents à la vase, avec une pénétration dans les sables de six mètres ; à plusieurs reprises ces viroles



## COUPE GÉOLOGIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DES SOLS



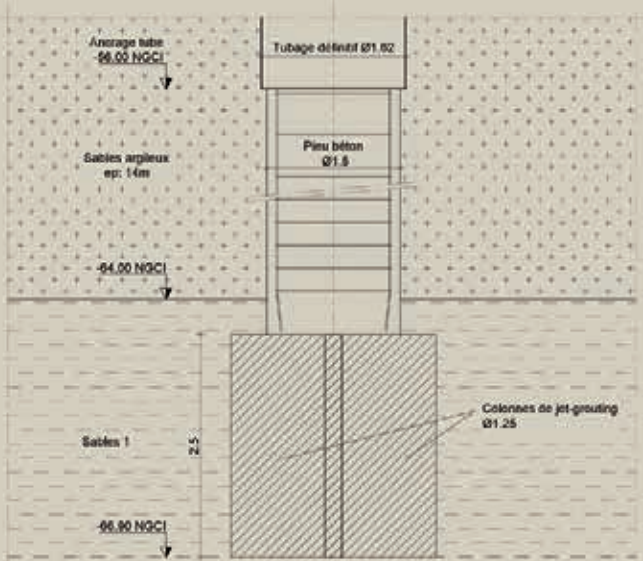
**LÉGENDE:**  
 NBAR = Niveau de Béton Après Recépage (Béton pieux et tubage)  
 SC = Sommet des Cages d'armatures  
 BC = Base des Cages d'armatures  
 BP = Base de Perforation

**NOTA:**  
 Les niveaux supérieurs avant recépage et d'ancrage des tubages sont indiqués sur les élévations des piles.

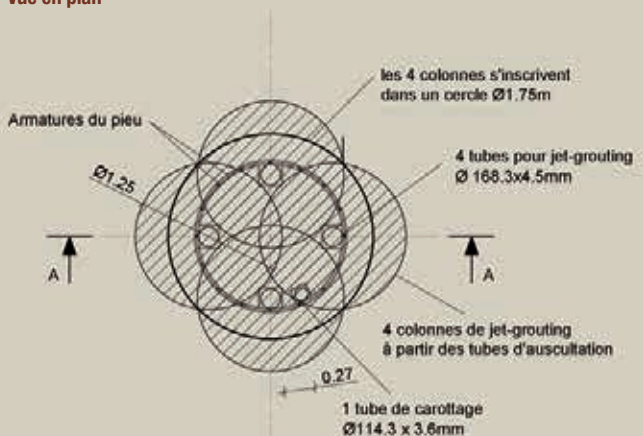
© EGIS  
8

## SOLUTION JET GROUTING

Coupe A-A



Vue en plan



**8- Coupe géologique et caractéristiques des sols.**

**9- Solution jet grouting.**

**8- Geological cross section and soil properties.**  
**9- Jet grouting solution.**

ont dû être prolongées de plusieurs mètres jusqu'à une cote maximale de -65,10 du fait de la faiblesse du frottement latéral qui ne permettait pas de les stabiliser.

Les volumes de béton par pieu ont représenté jusqu'à 136 m<sup>3</sup> avec des durées maximales de bétonnage n'ayant pas dépassé 8 heures ayant nécessité l'exécution d'un béton C35/45 fortement adjuvanté avec une rhéologie adaptée.

Le béton était transporté par camion-toupie sur le tablier du pont puis transféré au pieu par tube plongeur, les travaux ont nécessité des coulages de nuit avec rétrécissement des voies de circulation.

Les pieux ont fait l'objet d'un contrôle par auscultation sonore. Ils étaient tous équipés de quatre tubes d'auscultation sonore d'un diamètre intérieur 159 mm et d'un tube pour carottage éventuel de 107 mm, ces diamètres qui ont nécessité l'utilisation d'un treuteur pour les sondes d'auscultation permettaient de réutiliser les tubes pour les opérations de jet-grouting. Les essais effectués selon la norme NF P 94 160-1 n'ont montré aucune singularité.

## POUTRES DE TRANSFERT

Suite à la suppression du clouage sur les piles existantes, initialement envisagées par Egis, les poutres de transfert reprennent l'intégralité des charges des caissons (figure 11). Les sections de ces poutres sont rectangulaires et en béton précontraint, de 2 m de large par 3,6 m de hauteur. Reliées transversalement par des entretoises, les poutres constituent un cadre reposant sur les semelles de fondation de part et d'autre des piles existantes, via des appareils d'appui en élastomère. Des butées de sécurité dans deux angles opposés permettent de retenir en dernier lieu ce cadre. De par leur longueur importante dans la lagune, les pieux existants, nécessairement exécutés avec une certaine tolérance, présentaient une variation de leur implantation en plan d'une pile à une autre. L'exécution des nouveaux pieux devant se faire en préservant l'existant, l'implantation des nouveaux pieux aurait pu alors être fortement variable. Or le contrôle géométrique de l'exécution des pieux et des semelles en regard de ces pieux existants a permis de réaliser seulement deux types de poutre de portée différente : 27 et 30 m environ. Les 16 câbles de précontrainte intérieure intégrés aux sections de béton sont respectivement des 27 et des 31 T15S. Afin de permettre la mise en place des structures depuis la lagune et dans un espace contraint en sous-face des caissons, l'entreprise a eu recours à une préfabrication du "U" extérieur des poutres, ainsi que des ancrages de précontrainte. Ces coques sont ainsi préfabriquées à terre et acheminées sous l'ouvrage existant par une barge. ▽

© SGI/SETEC TPI  
9





10 © SGI/SETEC TPI

Le béton est ensuite coulé en place et la précontrainte progressivement mise en tension, au fur et à mesure du durcissement du béton et du transfert de charge des piles existantes vers les nouveaux appuis.

### LA RÉHABILITATION DU TABLIER

Le transfert total des charges des anciennes piles vers les nouvelles fondations a nécessité l'exécution de nouveaux bossages d'appui et raidisseurs extérieurs situés aux extrémités des caissons, réduisant de fait leur portée (figure 12). La solidarisation de ces bossages aux caissons existants s'est faite de façon classique par le scellement d'aciers et mise en tension de barres de précontrainte de clouage dont la quantité le long du contour de la section dépendait de l'intensité du flux de cisaillement. La souplesse du système des poutres de transfert étant cependant bien différente de celle des piles existantes, il a été mis en évidence un bridage de la rotation de torsion des caissons des travées de rive au niveau des culées, nécessitant une adaptation de la conception du renforcement pour ces caissons. Ce dernier a conduit à mettre en place ponctuellement des fibres de carbone sur les âmes du caisson.

Les bossages d'appui sont au voisinage des ancrages de la précontrainte additionnelle, constituée de 2 câbles 12 T15 S par âme du caisson, dont le dimensionnement a été fait en regard des performances réelles de la précontrainte existante, mesurées à l'aide d'essais à l'arbalète. Celles-ci se sont révélées meilleures qu'anticipé avant les travaux, ce qui a permis une optimisation du câblage calculé en classe I du BPEL. Les dimensions des bossages, ainsi que celles des déviateurs aux tiers de la travée, ont été définies de manière à les rendre compatibles avec le maintien de la circulation de trains de

fret à l'intérieur des caissons. La mise en place dans chaque caisson d'une voie ferrée rénovée a nécessité le basculement du trafic et un phasage des travaux de renforcement à l'intérieur des caissons.

La partie en console du caisson par rapport aux bossages d'appui a fait l'objet d'un renfort en béton armé, en partie basse du caisson.

En tenant compte des bons résultats des essais à l'arbalète sur la précontrainte transversale, le hourdis inférieur a été vérifié en flexion transversale en

**10- Réalisation des pieux.**

**11- Les poutres de transfert.**

**12- Les bossages et déviateurs intérieurs au caisson.**

**10- Pile execution.**

**11- Transfer beams.**

**12- Bosses and deviators inside the caisson.**

classe II du BPEL et donc sans renforcement.

En revanche, la carbonatation importante de la sous-face du hourdis supérieur par les gaz d'échappement des trains de fret passant régulièrement dans les caissons, a conduit à neutraliser 2,5 cm d'épaisseur de béton existant et les armatures passives, et donc de renforcer et protéger la fibre inférieure du hourdis par la mise en place de béton projeté sur une épaisseur de 5 cm après la préparation de la surface par sablage.



11 © SGI/SETEC TPI



12 © SGI/SETEC TPI





© SGI/SETEC TPI  
13

En fin de travaux, un réglage général du nivellement du tablier et des joints entre travées isostatiques par vérinage a été effectué.

### LES TRAVAUX DE FINITION

Les superstructures ont fait l'objet d'une rénovation générale : après rabotage de la couche de roulement existante, une nouvelle étanchéité générale ainsi qu'une couche de roulement ont été

mises en œuvre. Les joints de chaussée ont été changés (figure 13).

Les chasse-roues existants, assez dégradés, ont été remplacés par une barrière béton de type GBA. Les candélabres et les garde-corps ont également été remplacés en totalité.

### VERS UN NOUVEL AVENIR

Le pont Félix Houphouët-Boigny était, lors de sa livraison, un ouvrage remar-

**13- Reprise des joints de chaussée.**

**13- Repair of pavement joints.**

quable par l'ampleur de l'opération, les techniques nouvelles mises en œuvres et la difficulté de ses fondations. Plus qu'un pont c'était une véritable opération d'urbanisme, associant ingénieurs et architectes, esthétique et technique, qui a contribué ainsi au développement économique de la ville d'Abidjan durant la seconde moitié du vingtième siècle en reliant les deux parties de la ville.

La construction de nouvelles fondations et le renforcement de son tablier qui s'achèvent en 2021 sont également une entreprise exceptionnelle par l'audace des travaux et les techniques mises en œuvre pour les réaliser, conférant ainsi à cet ouvrage majeur une longévité accrue (figure 1). □

1- L'appellation " puits-colonnes " au lieu de pieux vient de la terminologie du concepteur.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### MAÎTRE D'OUVRAGE :

Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier de Côte d'Ivoire

### MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ :

Agence de Gestion des Routes (Ageroute)

### MOE DE CONCEPTION : Egis-Jmi

### MAÎTRE D'ŒUVRE DES TRAVAUX :

Sgi / Setec Tpi / Itef avec Terrasol pour les fondations

ENTREPRISE : Groupement Eiffage Génie Civil / Spie Fondations

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PIEUX DE DIAMÈTRE 1 550 mm : 3033 m**

**SEMELLES DE FONDATION : 2020 m<sup>3</sup>**

**JET GROUTING : 1 885 m<sup>3</sup>**

**CHEVÊTRES EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ (poutres de transfert) : 3216 m<sup>3</sup> (y compris le noyau coulé en place)**

**ACIER POUR BÉTON ARMÉ (pieux et structure) : 1 653 t**

**PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE ADDITIONNELLE : 38,10 t**

**BÉTONS POUR BOSSAGES, DÉVIATEURS :**

**570 m<sup>3</sup> (non compris longrine 160 m<sup>3</sup>)**

**ÉTANCHÉITÉ : 12 700 m<sup>2</sup> (chaussée + trottoirs)**

**REVÊTEMENT : 12 700 m<sup>2</sup> (chaussée + trottoirs)**

**GARDE-CORPS : 1 100 m**

## ABSTRACT

### RENOVATION WORK ON FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY BRIDGE IN ABIDJAN

JULIEN TANANT, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI - JEAN DRIVET, SETEC-TERRASOL - TARIK BENDIF, SGI INTERNATIONAL

**The Félix Houphouët-Boigny Bridge is a major structure in the Abidjan traffic plan.** This bridge, 372 m long, extended at either end by two terrestrial access viaducts, is remarkable for the new and bold techniques employed more than 64 years ago to overcome the exceptional difficulties imposed by its lagoon location. It was necessary to go down 70 metres below the water level to reach an acceptable foundation soil, passing through thick layers of mud. This road and rail structure, started in 1956 and commissioned in 1958, combined the most innovative techniques of that time with regard to precast foundations and prestressed concrete structures. Since 1974, inspections have detected damage affecting the foundations in particular. The renovation work, financed by Agence Française de Développement, covered the creation of new deep foundations, absorption of the deck loads by means of precast, prestressed transfer beams and strengthening of the caissons by external prestressing. The work was performed by Eiffage and Spie Fondations, under Sgi/Setec tpi/Itef project management, over a period of four years, and was completed in July 2021. □

### LAS OBRAS DE RENOVACIÓN DEL PUENTE FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY EN ABIYÁN

JULIEN TANANT, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI - JEAN DRIVET, SETEC-TERRASOL - TARIK BENDIF, SGI INTERNATIONAL

**El puente Félix Houphouët-Boigny es un destacado elemento del plan vial de Abiyán.** Este puente de 372 m de longitud, prolongado en sus extremos por dos viaductos terrestres de acceso, destaca por las novedosas y audaces técnicas aplicadas hace 64 años para superar las excepcionales dificultades que presenta su situación lagunar. Así, fue preciso descender a 70 m bajo el nivel del agua para encontrar un suelo de cimentación aceptable, atravesando gruesas capas de cieno. Iniciada en 1956 y puesta en servicio en 1958, esta construcción vial y ferroviaria reunía en aquella época todas las técnicas más innovadoras en materia de cimientos prefabricados y construcción con hormigón pretensado. Desde 1974, las inspecciones han revelado perturbaciones que afectan principalmente a los cimientos. Financiadas por la Agencia Francesa de Desarrollo, las obras de renovación se centran en la creación de nuevos cimientos profundos, la redistribución de cargas del tablero por medio de vigas de transferencia prefabricadas y pretensadas, y el refuerzo de los cajones por pretensado exterior. Ejecutadas por Eiffage y Spie Fondations, bajo la dirección de Sgi/Setec tpi/Itef, tendrán una duración de cuatro años, con fecha de finalización en julio de 2021. □





1  
© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV

# RECONSTRUCTION DE BARRAGES SUR LA VOIE NAVIGABLE CANADIENNE TRENT SEVERN

AUTEURS : STEPHAN STEINER, VICE-PRÉSIDENT ONTARIO, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - JEAN GOAR, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - MATHIEU LEVEN, RESPONSABLE QUALITÉ, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

LES PARCS DU CANADA ONT LANCÉ DEPUIS 2017 UN PROJET DE RÉFECTION D'OUVRAGES HYDRAULIQUES LE LONG DE LA VOIE NAVIGABLE TRENT SEVERN SITUÉE À PROXIMITÉ DE TORONTO DANS LE SUD-EST DE L'ONTARIO. UNE DIZAINE DE BARRAGES À RÉGULATION DE CRUES EST EN COURS DE RECONSTRUCTION, LE BUT ÉTANT D'AUGMENTER LEUR CAPACITÉ DE PASSAGE ET LEUR DURÉE DE VIE, TOUT EN CONSERVANT LE CARACTÈRE HISTORIQUE DE LA VOIE PLAISANCIÈRE. LES TRAVAUX DEVRAIENT S'ACHEVER D'ICI LA FIN DE L'ANNÉE 2022.

## INSCRIPTION DU PROJET DANS LE PATRIMOINE HISTORIQUE DE LA RÉGION

C'est en 1833 que le projet de la voie navigable Trent Severn voit le jour afin de répondre à la croissance de l'industrie du bois dans la région du centre de l'Ontario. La construction du canal dure 87 ans et ce n'est qu'en 1920 que le

premier bateau traverse entièrement la voie navigable. Devenu centre historique suite au développement considérable des chemins de fer et des routes, elle permet chaque année à des milliers de personnes de relier la ville de Trenton (lac Ontario) au village de Port Severn (Baie Georgienne). Le canal s'inscrit dans un important patrimoine autoch-

**1- Barrage Otonabee à l'écluse 23 durant travaux (6 octobre 2020).**

**1- Otonabee Dam at lock 23 during works (6 October 2020).**

tone remontant à la période archaïque laurentienne (figures 2 et 3). Les écluses et barrages qui le longent figurent parmi les premières structures de génie maritime en béton (1896) construites au Canada. Ces structures, leurs mécanismes de fonctionnement uniques et les paysages environnants ont été très peu modifiés depuis leur construction.



TABLEAU A : LISTE DES BARRAGES DU PROJET TSW

| Nom de l'ouvrage                   | Description des Travaux   |
|------------------------------------|---|
| Trenton Barrage 1                  | Reconstruction totale en aval de l'ancien   |
| Glen Miller Barrage 3              | Reconstruction totale en aval de l'ancien   |
| Meyers Barrage 8                   | Reconstruction partielle et installation de vannes mécaniques                                   |
| Ranney Falls Barrage 10            | Reconstruction partielle, installation de vannes mécaniques et reconstruction d'un pont routier |
| Ranney Falls à l'écluse 11         | Remplacement des valves de l'écluse   |
| Campbellford Barrage 11            | Réhabilitation des piliers et déversoirs  |
| Crowe Bay Barrage 12               | Reconstruction partielle et installation de portails mécaniques                                 |
| Healey Falls Ecluses 15, 16, 17    | Reconstruction partielle et installation de portails mécaniques                                 |
| Scotts Mills Barrage à l'écluse 19 | Reconstruction totale à l'emplacement de l'ancien barrage                                       |
| Vanne de Garde de Nassau           | Nouvelle Construction   |
| Otonabee Barrage à l'écluse 23     | Reconstruction totale en aval de l'ancien   |
| Douro Barrage à l'écluse 24        | Reconstruction totale en aval de l'ancien   |
| Sawers Creek Barrage à l'écluse 25 | Reconstruction totale en aval de l'ancien   |

TABLEAU B : AUGMENTATION CAPACITÉ

| Capacité au niveau maximal de navigation (m³/s) | Rivière Otonabee | Rivière Trent |
|---|------------------|---------------|
| Anciens barrages                                | 500              | 1 400         |
| Nouveaux barrages                               | 630              | 1 500         |

### INTÉRÊTS DU PROJET ET CRITÈRES DE CONCEPTION

Construction Demathieu & Bard (CDB) Inc. (filiale canadienne de Demathieu Bard) en partenariat avec Maple Rein-  
ders Constructors Ltd. assure la recons-  
truction de trois barrages sur la rivière  
Trent et de quatre barrages sur la rivière  
Otonabee ainsi que plusieurs travaux  
de réhabilitation sur des barrages  
annexes le long de la voie navigable  
(figures 4a, 4b et tableau A).

Les débits maximaux des rivières Otonabee et Trent avoisinent respectivement 370 m³/s et 730 m³/s (proche

**2- Barrage avant travaux DL23 (15 décembre 2006).**

**3- Barrage durant travaux DL23 (6 novembre 2020).**

**2- Dam before works DL23 (15 December 2006).**

**3- Dam during works DL23 (6 November 2020).**

du débit de la Loire). Les barrages sont constitués de 10 à 16 déversoirs possédant chacun une largeur de 7 à 10 m. Chaque déversoir accueille une douzaine de poutres en bois (figure 5) assurant la retenue d'eau en tête de barrage.

Un appareil mécanique monté sur rails (figure 6) permet l'ajout et le retrait singulier des poutres depuis le pont du barrage et permet une régulation précise des niveaux d'eau. Suivant son élévation dans le déversoir, une poutre en bois peut retenir ou libérer un débit de 5 à 10 m³/s.

L'objectif du projet est de remplacer les barrages aux emplacements optimaux pour augmenter leur capacité de décharge, répondre aux exigences de niveaux d'eau pour la navigation, tout en assurant la protection de l'environnement et du canal de navigation.

Les Parcs du Canada ont mis un point d'honneur à conserver le style des anciens barrages, à savoir la forme des piles, des déversoirs et le type de régulation des niveaux d'eau.

Ainsi le projet prévoit le remplacement des appareils mécaniques de régulations à l'identique (figure 6), tout en leur apportant des améliorations les conformant aux normes actuelles.

L'orientation de chaque nouveau barrage est optimisée à partir d'un modèle hydrodynamique (figures 7 et 8) réalisé par le principal concepteur Snc-Lavalin. Les augmentations de capacité entre les anciennes et nouvelles structures sont significatives (voir tableau B).

L'association canadienne des barrages établit une crue maximale de référence à laquelle la structure doit résister. Une analyse statistique des inondations est nécessaire afin d'estimer les pointes et les volumes de crue associés à une gamme de probabilités de dépassement annuel. Cette analyse consiste à compiler toutes les tempêtes majeures qui se sont produites au-dessus du bassin étudié et à maximiser la quantité de précipitations de la tempête par le rapport entre l'humidité maximale de l'air et l'humidité qui prévalait au moment de la tempête.

La reconstruction de chaque structure est réalisée en un nombre de phases dépendant de la capacité existante du barrage.

Une crue de récurrence 40 ans est considérée pour éviter les débordements et assurer l'intégrité de la structure durant la construction. 6 des 7 barrages sont reconstruits en deux phases seulement à l'exception du barrage de Scotts Mills à l'écluse 19 dont la reconstruction se déroule en cinq phases indépendantes. ▸





## L'IMPACT DE LA GLACE, UN CRITÈRE À PRENDRE EN COMPTE AU CANADA

La glace provenant des lacs de réserve en amont et les impacts qu'elle induit sont également pris en compte lors de la conception du barrage. Ils représentent une part importante des efforts et doivent être minutieusement étudiés. L'épaisseur de la glace qui atteint le barrage dépend en grande partie des conditions climatiques mais aussi de la température de l'air, du nombre de jours de gel, ainsi que des précipitations de neige. Ces données sont purement empiriques ce qui rend l'étude d'impact de la glace très spécifique. Les efforts induits par une plaque de glace s'acheminant en direction du barrage vont dépendre de la rugosité inférieure et supérieure de la plaque, du courant qui la traîne, et de la vitesse du vent.

La rugosité est faible durant la formation de la glace (début de l'hiver) et est forte lors de la fonte, moment le plus propice aux détachements de blocs. Toutes ces données sont regroupées afin de modéliser au mieux une plaque de glace de taille et de vitesse ultimes qui viendrait percuter le barrage.

Certains barrages comprennent des vannes de secours pour les jours de gel intense (figure 9). Elles sont équipées de chauffages placés directement en tête de déversoir et permettent d'assurer les opérations de régulation des niveaux d'eau sous n'importe quelles conditions climatiques.

## LES TYPES DE BATARDEAUX UTILISÉS

Dans leur majorité, les barrages sont reconstruits en aval de l'ancien, permettant ainsi d'utiliser le barrage existant comme batardeau amont.

Les poutrelles en bois du barrage existant doivent simplement être étanchéisées et renforcées pour assurer une retenue complète de l'eau.

Compte tenu des importantes vitesses d'écoulement en aval, l'option d'un batardeau mixte a été choisie afin d'assécher la zone de travaux.

Une section en acier est rattachée au barrage existant et parallèle au courant, et une digue en roche établie jusqu'à la rive (figure 10).

Le batardeau en acier est composé d'un double mur à pieux de soldats avec un soutènement en palplanches. La majorité de ces barrages est fondée sur du rocher composé de calcaire et de schiste interstratifiés de l'Ordovicien moyen, possédant une forte résistance au cisaillement et dans lequel



4a

© PHOTO THÉQUE MAPLE CDB JV



4b

© PHOTO THÉQUE MAPLE CDB JV

**4a & 4b- Géolocalisation de la voie navigable Trent-Severn.**

**5- Barrage Sawers Creek avant installation du pont (1<sup>er</sup> avril 2020).**

**4a & 4b- Geolocation of the Trent-Severn waterway.**

**5- Sawers Creek Dam before installation of the bridge (1 April 2020).**

les palplanches peuvent être ancrées. Un matériau granulaire placé entre les deux murs de palplanches apporte de la stabilité et de l'étanchéité au système. Lorsque les infiltrations d'eau à l'intérieur de la zone de travaux sont trop importantes, un béton est coulé au sein même du matériau

granulaire afin de combler les vides. La digue en roches dont le versant aval est recouvert d'une couche en polyéthylène relie le système en acier à la rive. La pression négative induite lors du pompage initial permet une succion du polyéthylène sur la roche et assure une bonne étanchéité.

La jonction des deux types de batardeaux est l'endroit où les infiltrations d'eau sont les plus fréquentes. L'ajout d'un déflecteur en acier en aval du mur et parallèle au courant permet d'éviter que la digue ne se détériore sous l'effet des fortes vitesses d'écoulement en sortie de déversoir (figure 10).

La construction de nouveaux murs de soutènement en amont du barrage nécessite l'installation de batardeaux aux extrémités de l'ancien barrage. Ils sont généralement construits en palplanches métalliques ancrées dans le roc. Exposés aux dérives de plaque de glace durant l'hiver, ces batardeaux amont doivent être spécialement renforcés. Des souffleurs d'air comprimé sont parfois utilisés sur de courtes portées afin de créer un courant fuyant qui empêche l'accumulation de glace ou d'embacles sur les palplanches.



5

© PHOTO THÉQUE MAPLE CDB JV

## LES ACCÈS TEMPORAIRES

Les digues aval constituent les accès principaux aux zones de travaux. Néanmoins l'accès des engins de chantier





6- Appareil de régulation (30 mars 2021).

7- Barrage Glenn Miller - Décharge de l'ancien barrage au niveau maximal de navigation.

8- Barrage Glenn Miller - Décharge du nouveau barrage (augmentation visible du débit de passage) au niveau maximal de navigation.

6- Control system (30 March 2021).

7- Glenn Miller Dam - Discharge of the old dam at the maximum navigation level.

8- Glenn Miller Dam - Discharge of the new dam (visible increase in the flow rate) at the maximum navigation level.

© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDBE JV

s'effectue généralement à partir de la base vie, située sur une des rives ce qui nécessite la construction de ponts temporaires pour accéder à l'une des deux phases de construction. Deux options sont adoptées suivant la séquence des travaux :

- Construction du pont directement sur les piles de l'ancien barrage (figure 11). Il apporte un accès supplémentaire aux équipes et s'avère être une bonne alternative à l'utilisation de barges lors de la démolition

du barrage existant. Les piliers et déversoirs du barrage sont démolis à partir du pont, dont les sections sont désinstallées au fur et à mesure que la démolition progresse.

- Construction d'un pont temporaire dont les culées sont installées sur l'extrémité des digues aval et sur la rive, et dont les piles intermédiaires sont érigées dans la rivière (figure 12).

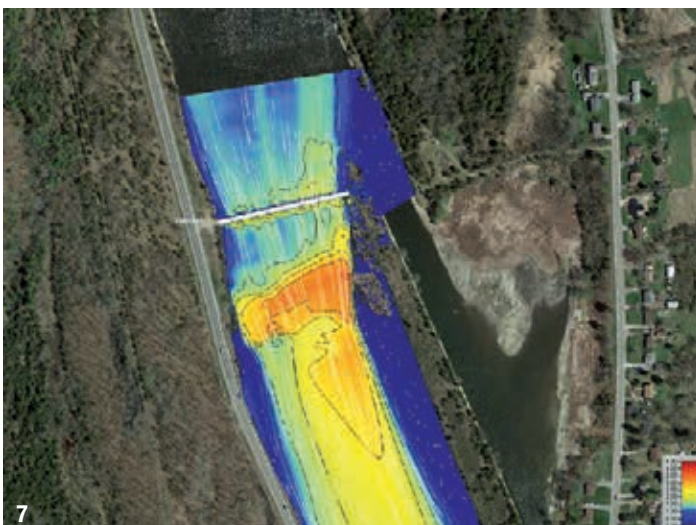
Des ponts sont aussi installés au-dessus des écluses adjacentes aux bar-

rages en dehors de la période de navigation lorsque cela s'avère nécessaire.

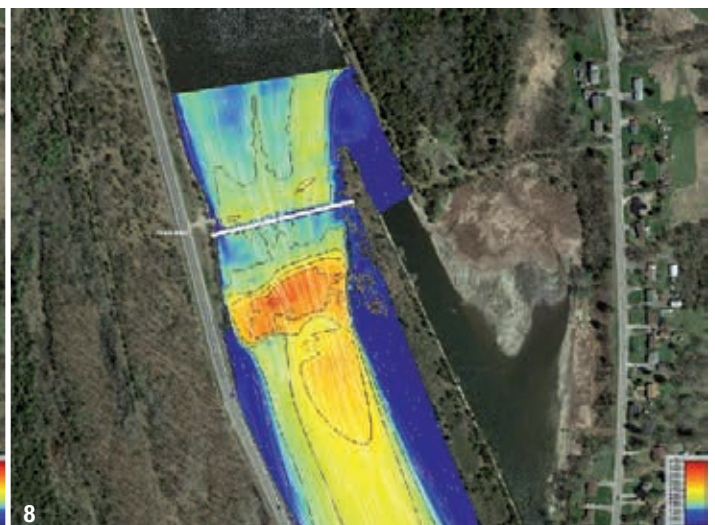
**LES PRINCIPAUX DÉFIS**  
**MONTÉE DES EAUX EN AVRIL ET RESTRICTIONS ENVIRONNEMENTALES**

Les importantes précipitations de neige durant l'hiver 2018-2019 ont entraîné une forte augmentation du débit de la rivière Otonabee vers la fin avril 2019. Son niveau d'eau a alors dépassé les prédictions de crue de récurrence

40 ans. Le batardeau du barrage Douro à l'écluse 24 a alors dû être démantelé afin de laisser passer le surplus d'eau. La première phase de travaux s'est retrouvée inondée et les travaux ont dû être accélérés afin de pouvoir respecter la date d'échéance. En effet, dans le but de ne pas impacter la reproduction des poissons, le ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario interdit les travaux en eau du 1<sup>er</sup> avril au 1<sup>er</sup> juillet ou lorsque la température de l'eau dépasse 4°C.



7 © SNC-LAVALIN



8 © SNC-LAVALIN





9 © PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV

Chaque phase doit impérativement être effectuée en dehors de cette fenêtre de trois mois. Un retard de quelques jours peut avoir des lourdes conséquences sur le programme.

Cette contrainte environnementale empêche donc les équipes de commencer les travaux en eau avant juillet et les oblige à réaliser une partie des bétonnages durant l'hiver sous des températures pouvant atteindre -30°C, nécessitant la mise en œuvre de mesures drastiques pour chauffer les coffrages et le béton. Des couches de polypropylène rembourrées sont installées sur la surface du béton (figure 13) et des chauffages viennent augmenter la température ambiante.

Des thermosondes sont également intégrées dans le béton pour contrôler les fluctuations de températures et assurer sa qualité.

#### BATARDEAUX AU BARRAGE DE SCOTTS MILLS À L'ÉCLUSE 19

Le barrage de Scotts Mills est situé en plein cœur de Peterborough, aux abords du lac Little, où la rivière subit un net rétrécissement. Ce dernier induit l'augmentation du débit en amont du barrage et accroît les risques d'inondation en cas de crue.

Pour pallier les risques dus aux inondations et diminuer l'emprise de chaque phase sur la rivière, la construction doit être réalisée en cinq phases différentes. Des batardeaux amont et aval doivent être installés et doivent permettre le passage de l'eau en cas d'inondation. Chaque nouvelle section de barrage doit être réceptionnée et opérationnelle avant que la prochaine phase puisse commencer.

Le barrage avoisine la Moraine d'Oak Ridges (littéralement "Moraine Crête

**9- Barrage Otonabee à l'écluse 23 - Accumulation de glace en amont du barrage.**

**10- Barrage Douro à l'écluse 24 - Batardeau Aval.**

**11- Pont temporaire installé sur le barrage existant Trenton.**

**9- Otonabee Dam at lock 23 - Build-up of ice upstream of the dam.**

**10- Douro Dam at lock 24 - Downstream cofferdam.**

**11- Temporary bridge set up on the existing Trenton Dam.**

de Chêne"), principal relief de l'Ontario séparant le lac Ontario de la Baie Georgienne et apparu lors de l'ère glaciaire du Late Wisconsin. Contrairement aux autres barrages, le substratum rocheux qui l'entoure y est recouvert de tillites superficielles indifférenciées principalement composées de sable et de silt sableux, de dépôts glacio-lacustres et glacio-fluviaux.

Un premier batardeau est érigé à l'aide d'un système de poutrelles acier HP perpendiculaires au courant placé en amont et en aval du barrage. Ces poutrelles de 15 m de long sont ancrées à l'aide d'un vibreur hydraulique à une profondeur de 10 m sous la surface du lit de la rivière. Elles sont espacées de 5 m l'une de l'autre et entre elles viennent s'encaster des poutrelles en acier à profil creux (type berlinoise). Ces dernières sont amovibles en cas d'inondation.



10

© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV



11

© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV





12  
© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV



13  
© PHOTOTHÈQUE MAPLE CDB JV

La partie parallèle au courant est d'abord conçue à l'aide de pieux tubulaires apportant une forte résistance aux vitesses d'écoulement observées en aval. La forme circulaire des pieux est néanmoins très sensible au phénomène de pression causée par la saturation en eau des tillites superficielles, qui empêche les tubulaires d'atteindre les profondeurs requises pour l'établissement du batardeau. Des poutrelles HP sont alors incorporées aux pieux tubulaires n'ayant pas atteint les profondeurs requises afin d'augmenter leur résistance au renversement.

Par la suite et lors des quatre phases qui suivent, les pieux tubulaires parallèles au courant sont remplacés par une combinaison de palplanches en profilés Z et de poutrelles acier HP. Ce système de batardeau a une bien meilleure pénétration dans le lit de la rivière. Le manque d'espace sur ce chantier a obligé les équipes à concevoir des batardeaux permettant un accès aux engins de chantiers et aux grues (figure 14). Un pont d'accès est érigé directement sur le dessus des structures amont et aval. Deux grues à flèches en treillis de 150 t et 80 t opèrent directement

sur chaque pont et permettent l'avancement des batardeaux parallèles au courant, qui n'impactent pas la capacité ni les opérations du barrage existant.

### LES INSTALLATIONS DE VANNES MÉCANIQUES

Afin d'augmenter leur rapidité de réponse aux crues, Parcs Canada fait installer entre 1976 et 1985 des vannes métalliques sur certains barrages. Manipulés par des treuils mécaniques, ces vannes permettent des changements de débit plus rapides que le système de poutrelles en bois. Ce dispositif est

adopté dans les zones les plus sensibles aux crues.

Le projet prévoit la conception, la livraison et l'installation d'un total de onze vannes métalliques sur trois barrages différents, remplaçant les systèmes de poutrelles à des emplacements bien spécifiques. Les dimensions des vannes peuvent atteindre 4,6 m de hauteur et 10,5 m de longueur.

Le type de vannes le plus innovant est mis en place sur l'ouvrage de garde de Nassau (figure 15), structure totalement neuve destinée au maintien du niveau d'eau pour la navigation. ▷

**12- Installation d'un pont temporaire au barrage Sawers Creek à l'écluse 25.**

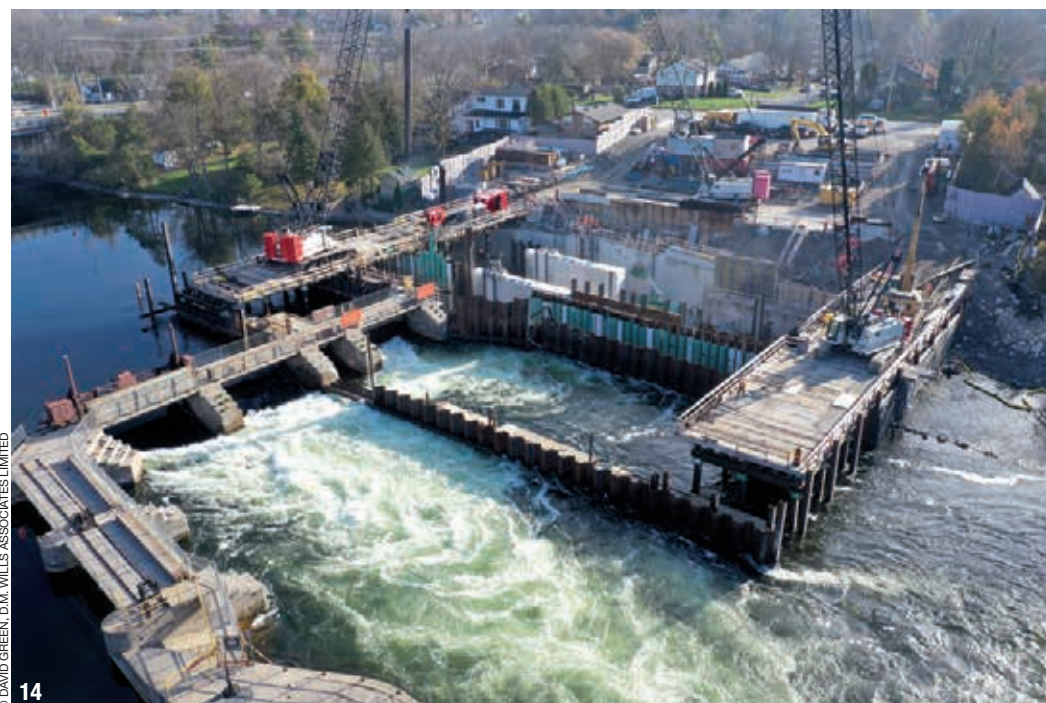
**13- Coulage d'une pile en février 2021 au barrage Sawers Creek à l'écluse 25.**

**14- Chantier de reconstruction du barrage de Scotts Mills.**

**12- Installation of a temporary bridge on Sawers Creek Dam at lock 25.**

**13- Casting of a pier in February 2021 at Sawers Creek Dam, lock 25.**

**14- Scotts Mills Dam reconstruction worksite.**



© DAVID GREEN, D.M. WILLS ASSOCIATES LIMITED

14





15

© PHOTO THÉO MAPLE CDB JV

Situé sur un canal voisin à la rivière Otonabee, cet ouvrage est construit pour accueillir des vannes sectionnelles en forme d'arche qui vont permettre d'isoler le canal des crues potentielles de la rivière, sans impacter la zone urbaine alentour. Chacune des vannes préfabriquées pèse 22 t et est mise en place à l'aide d'une grue mobile de 400 t. Les portes sont opérées par un système de vérins situés au niveau de chaque axe de rotation.

Les vérins sont placés dans une réservation de la structure en béton au-dessus du niveau de l'eau et sont reliés à un seul et même panneau de contrôle. La structure béton permet également l'installation de poutrelles en bois similaire à celles retrouvées sur les barrages. Celles-ci sont installées en amont et en aval des vannes afin de permettre un assèchement complet des portes lors de possibles maintenances. Les vannes sont soumises à

**15- Installation des nouvelles vannes de garde à Nassau.**

**15- Installation of the new guard gates at Nassau.**

des tests d'étanchéité lors desquels la partie amont du système est remplie d'eau alors que la partie aval est asséchée. La quantité d'eau passant à travers les vannes fermées est alors mesurée en un temps imparti et permet d'estimer l'étanchéité de l'installation. □

## CHIFFRES CLÉS

**MONTANT DES TRAVAUX :** environ 400 M\$

**DURÉE DES TRAVAUX :** 5 ans

**LIVRAISON :** novembre 2022

**BÉTON :** 40 000 m<sup>3</sup>

**DALLES EN BÉTON PRÉFABRIQUÉES :** 2 600 m<sup>3</sup>

**REMBLAIS (incluant les digues temporaires) :** 225 000 t

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### MAÎTRE D'OUVRAGE :

Parcs Canada Agency (PCA)

### CONCEPTEURS :

- Snc Lavalin Inc. (Barrages 1,3, 8, 10 et Barrages aux écluses 19, 23, 24 et 25)
- Stantec Consulting Ltd. (Barrage 11 et 12)
- Cima Plus (Vanne de garde de Nassau)

### GROUPEMENT MANAGEMENT DE CONSTRUCTION :

- Construction Demathieu & Bard (CDB) Inc.
- Maple Reinders Constructors Ltd.

## ABSTRACT

### RECONSTRUCTION OF DAMS ON THE TRENT-SEVERN WATERWAY IN CANADA

STEPHAN STEINER, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - JEAN GOAR, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - MATHIEU LEVEN, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

**The reconstruction of about ten flood control dams along the Trent-Severn waterway in Canada** is a project undertaken by Parks Canada since April 2017. The new dams have a greater transit capacity than the old structures but conserve their style of the past. The works are performed within cofferdams having a combination of rocks and metallic structures providing watertightness and additional access to the worksite. The new dams have massive foundations 2.5 metres thick and consist of 10 to 16 spillways and pillars 7 metres high. Most of the work is done in winter due to severe environmental restrictions, entailing the adoption of drastic measures to protect the concrete from freezing. The works are scheduled to be completed by the end of 2022. □

### RECONSTRUCCIÓN DE PRESAS EN LA VÍA NAVEGABLE CANADIENSE TRENT SEVERN

STEPHAN STEINER, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - JEAN GOAR, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - MATHIEU LEVEN, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

**La reconstrucción de una decena de presas de regulación de crecidas a lo largo de la vía navegable canadiense Trent Severn** es un proyecto impulsado por Parcs Canada desde abril de 2017. Las nuevas presas poseen una mayor capacidad de paso que las antiguas estructuras, pero conservan su antiguo estilo. Las obras se efectúan en el interior de ataguías combinadas de roca u estructuras metálicas, que aportan estanqueidad y accesos adicionales a la obra. Las nuevas presas poseen unos cimientos macizos de 2,5 m de grosor y están formadas por 10 a 16 rebosaderos y pilares de 7 m de altura. La mayor parte de las obras se ha realizado en invierno a causa de las severas restricciones medioambientales, que implican la aplicación de medidas drásticas para proteger el hormigón del hielo. Está previsto que las obras terminen a finales de 2022. □



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](http://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<sup>er</sup> assureur  
de la construction**





1

© EDR GMBH

# VÖTTING TUNNEL - MISSING SECTION OF THE FREISING WESTERN BYPASS

AUTHOR : MORITZ BOCK, DIPL.-ING., EDR GMBH, INGEROP GROUP (MUNICH, GERMANY)

FREISING, WHICH IS LOCATED NORTH OF MUNICH (BAVARIA, GERMANY), HAS LONG BEEN IMPACTED BY HEAVY THROUGH-TRAFFIC. A NEW BYPASS, CALLED WESTTANGENTE FREISING, HAS THEREFORE BEEN ON THE DRAWING BOARD SINCE 1972. FOLLOWING MANY YEARS OF PLANNING AND APPROVALS, THE FINAL SOLUTION WAS TO BUILD A NEW 3.6 km LONG BYPASS ON THE WESTERN EDGE OF THE CITY. THE NEW ROUTE CONSISTS IN THE CONSTRUCTION OF ABOUT 2.2 km OF ROAD EMBANKMENT, ELEVEN BRIDGE STRUCTURES AND A 785 m LONG TUNNEL AND RAMP STRUCTURE. CONSTRUCTION BEGAN IN 2016 AND OPENING TO TRAFFIC IS SCHEDULED FOR THE AUTUMN OF 2021.

## PROJECT DESCRIPTION

The Westtangente Freising represents a great opportunity for the development of the city, as it will divert a large part of the through-traffic in the future.

The project is one of the largest infrastructure projects in the history of the city of Freising. The road designed between chainage 0+000 and 3+600 includes the following elements (figure 2):

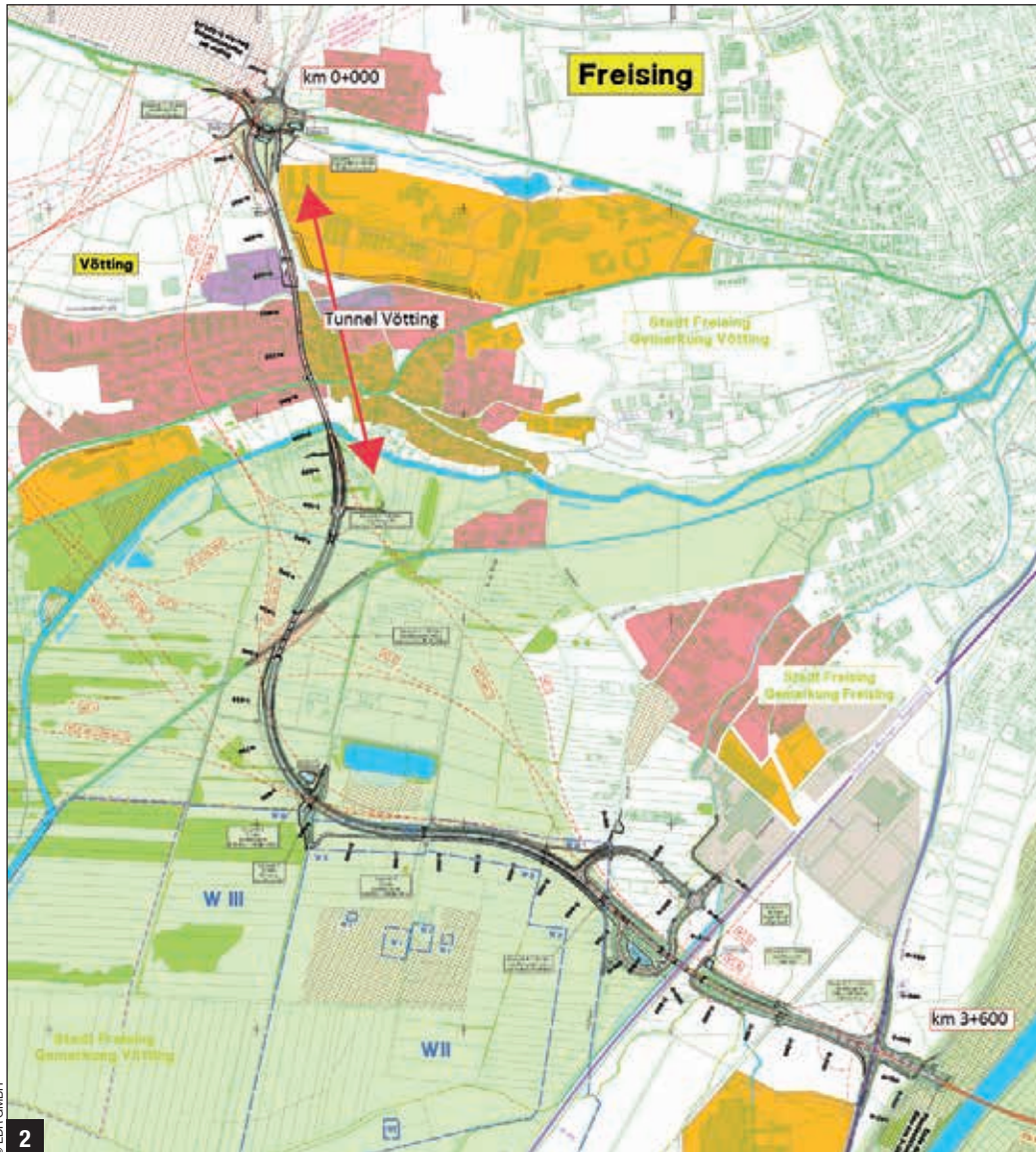
- Construction of a new roundabout (5 exits) in the north to connect the existing highway to the bypass from chainage 0+000 to 0+270.
- Construction of two new road bridges to cross an existing river at chainage 0+075.
- Construction of the new two-lane tunnel from chainage 0+270 to 1+145.

## 1- Tunnel cross section transition.

## 1- Change ment de section du tunnel.

- Construction of a new two-lane road embankment from chainage 1+145 to 3+300 including nine road bridges crossing several small rivers, roads and a main train line between Freising and Munich.
- Construction of a new traffic crossing in the south to connect the existing highway to the bypass from chainage 3+300 to 3+600.





2- Overall project view.

3- Northern tunnel portal.

4- Southern tunnel portal.

2- Vue d'ensemble du projet.

3- Tête Nord du tunnel.

4- Tête Sud du tunnel.

of 9.50 m and a clear height of 4.5 m. The cross slope of the roadway is between 2.5% and 3.0%, and the maximum longitudinal gradient is 7.0%.

- The total length of the structure is 875 m, of which 705 m are designed as tunnel and 170 m as ramp.
- Due to the geological conditions, the tunnel construction is divided into a 460 m long mined tunnel section, a 180 m long top-down tunnel section and a 65 m long section with open cuts.
- There are two escape shafts, which connect to the tunnel via bored pile shaft structures, to provide emergency exits within the tunnel.
- The tunnel portals in the north (figure 3) and south (figure 4) represent different cross-section designs and were designed by a local architect.
- The scheduled construction time is about 3.5 years, at a net cost of approx. €35 million.

The project is divided into several lots, to provide opportunities for small, local companies. The approximate overall cost was €86 million (net cost). The tender and final design as well as overall project

supervision were performed by a Design Joint Venture consisting of EDR GmbH (Munich), Seihoff GmbH (Vilsbiburg) and Dr. H. M. Schober GmbH (Freising). The construction of Vötting Tunnel was

probably the most challenging section of the overall project. The dimensions and main characteristics are as follows:

- The tunnel is designed as a two-way road tunnel with a clear width

#### DETAILS OF THE MINED SECTION

The first 460 m of the tunnel from chainage 0+270 to 0+760 are constructed by conventional tunnelling method, using excavators and shotcrete lining. ▷



3

© EDR GMBH



4

© EDR GMBH





© EDR GMBH

The main challenges were the heterogeneous tertiary subsoil (a mix of gravel/sand with cohesive clay deposits), partly very low overburden of less than 5 m, low distances to existing buildings, that were considered to be sensitive to settlements, and high groundwater level. Before the start of the excavation, it was necessary to install a well gallery (41 vacuum supported wells, DN 300 to 1,000 mm) to lower the groundwater below the excavation level. The tunnelling was carried out with sprayed concrete lining as forepoling and was divided into top heading (approx. 60 m<sup>2</sup>) and a subsequent bench/invert excavation (approx. 40 m<sup>2</sup>) (figure 5). Due to the geological conditions, different excavation classes were defined in advance, which differ mainly in terms of the temporary support system (spiles or pipe umbrella) and the round length (1.0 to 1.20 m). To be able to react to unfavourable geological conditions at short notice, the tunnel face of the top heading was subdivided into as many as 20 sections.

To assess the settlements within the tunnel and on the surface above the tunnel, a 2D FEM settlement analysis was carried out before the start of the construction work, providing a basis for monitoring during excavation. The results of the calculations with varying soil characteristics were then used for the definition of settlement warning and alarm values. All relevant deformations were monitored by installing

various monitoring points on the temporary lining and on the surface above the tunnel. This way all deformations were detected and controlled during tunnelling. Specifically, an automatic deformation monitoring system was installed for the area with low overburden and adjacent buildings, which enabled monitoring of permanent surface deformation and thus allowed rapid evaluation of observed deformations. Due to permanent

**5- Mined tunnel excavation.**

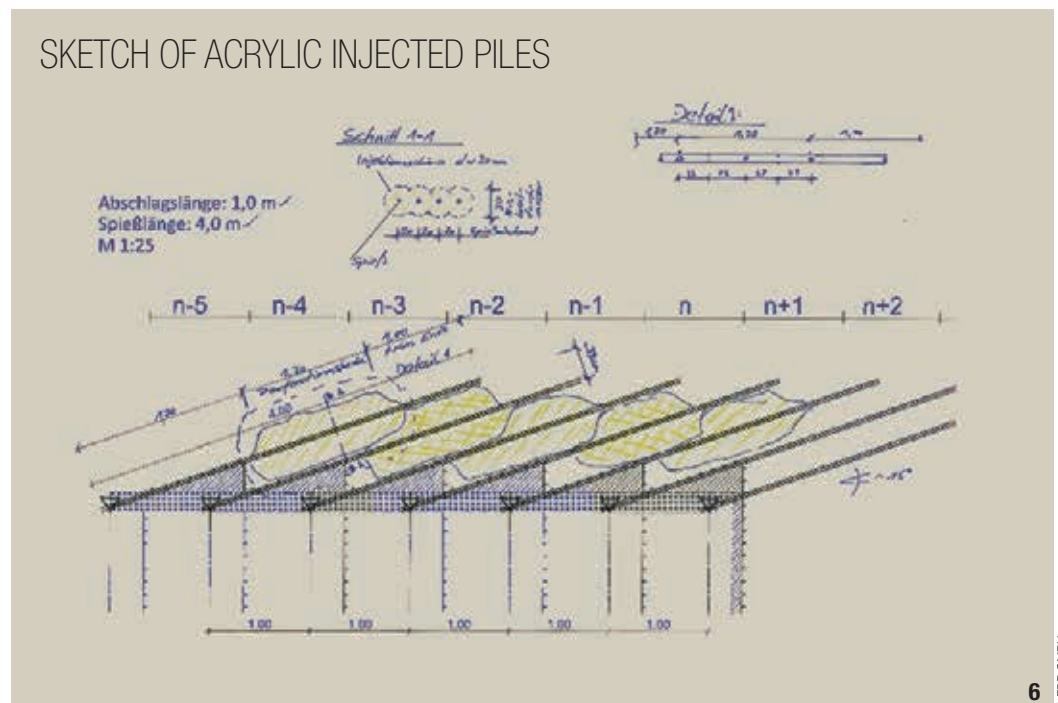
**6- Sketch of acrylic injected piles.**

**5- Creusement du tunnel.**

**6- Schéma du plan de tir des injections de résine acrylique.**

access to the online measurement data, possible settlements ahead of the excavation face could be detected at an early stage and thus the stabilisation measures in the tunnel could be adjusted.

As a temporary supporting system, driven hollow spiles (4 and 6 m long, diameter 51 mm, at 200 mm centre, 65 pieces per advance) were installed in the tunnel. The advantage of driven spiles is that ground loss can



© EDR GMBH



be minimised and in addition the soil is compacted by the ramming energy. In this way, soil loss and ground discharge and subsequent settlements due to the installation process could be avoided by comparison with the common alternative of self-drilling spiles. In the area of construction from chainage 0+600 to 0+760, the tunnel passes very close to existing buildings. Here, settlements or in particular settlement depressions, which could lead to tilting of the buildings, had to be kept to a minimum in order to avoid any damage to the buildings. An originally designed supporting system with a pipe umbrella (steel pipes, 12 m long, DN/OD 139.7 mm, at 400 mm centre, 31 pieces every 8 m) was not considered reasonable due to issues related to workmanship (change in procedure) and geological risks (settlements due to soil discharge during installation as well as a larger excavation cross section). Due to the good experience during excavation up to this point, the system of driven spiles was maintained and optimised. To be able to compensate the soil by means of injections, the



7  
© EDR GMBH

**7- Test section for acrylic injected soil.**  
**8- Aerial view of main shaft.**

**7- Plot d'essai d'injection de résine acrylique.**  
**8- Vue aérienne du puits principal.**

spiles were perforated with holes (diameter 10 mm, distance 30 cm) and a lost ramming tip was added (figure 6). This made it possible to additionally inject the void volume of the ground after installation of the driven spiles using injection packers. Acrylic gel was used as an injection material due to the low permeability of the soil. Due to the low viscosity of the acrylate gel, it was

possible to "glue" the soil around the tubes and thus produce a low-settling and optimised excavation. Also, the risk of slippage of cohesionless sand layers between the spiles was minimised.

Before the excavation entered the critical area, the system was tested in the tunnel excavation area (figure 7), so that the effect on the ground and the amount of acrylic gel could be adapted to the soil conditions.

The procedure was a complete success in its implementation and, despite the difficult conditions, no damage occurred to the buildings.

### DETAILS OF THE MAIN SHAFT CONSTRUCTION

Between chainage 0+760 and chainage 0+770, a shaft structure with an area of 10 m by 20 m was required in order to enable the transition between the mined tunnel in the north and the top-down tunnel in the south, and also to be able to install the necessary tunnel operating technology and provide an emergency exit in the middle of the tunnel. The shaft was created by a continuous bored pile wall 30 m deep. ▷



8  
© EDR GMBH



The diameter of the bored piles was 1.20 m with an overlap of 30 to 35 cm. To take into account different pit excavation depths, an additional row with shorter bored piles was constructed in the centre of the shaft (figure 8).

After production of the piles, the pit was gradually dug out and struts (2x HEB 600) and pipes (DN/OD 610 mm) were installed. After reaching excavation depths of approx. 16 m and 24 m, the five-level underground operating building 10 by 10 metres in area was installed on the west side of the shaft, enabling successive removal of the struts. In order to assess the load redistribution during this removal processes, 3D FEM calculations of the shaft were carried out beforehand. On the east side of the shaft in an area of 10 m by 10 m, a section of the tunnel was built by cut-and-cover methods (figure 1). Because of the confined conditions within the shaft and the complex structural requirements, a very detailed construction sequence was planned in advance.

#### DETAILS OF THE TOP-DOWN AND OPEN-CUT CONSTRUCTION

In the southern section from chainage 0+770 to chainage 0+960 (pit No. 1 to No. 3), the tunnel was built over a length of approx. 180 m by top-down method. Due to the high groundwater level, an overlapping bored pile wall (diameter 1.20 m, length 25 m, overlap 30 cm) embedded in a deep clay layer with low permeability (water barrier) was designed. Possible leaks within the construction were to be dealt with by temporary dewatering. As there were soils with a very low bearing capacity (peat) of thickness 3 to 4 m under a top layer of only 2 to 3 m (fillings), it was not possible to set up the drilling rig without additional measures. Therefore an overload approx. 2.5 m high (geogrid supported gravel) had to be applied to improve the load-bearing capacity of the soft soils during the drilling work. After a consolidation time of approx. nine months and consolidation settlements of up to 75 cm in the peat, the load-bearing capacity was sufficiently improved, and pile drilling could begin. After installing the pile wall, the pit was excavated up to the lower edge of the peat layer and then re-filled up to the underside of the future tunnel roof with load-bearing gravel. The tunnel roof had to be fixed in a way that allows excavation beneath it. For this purpose, the cover was interlocked with the unreinforced bored piles of the pile wall. Due

to the high overburden of up to 2 m with gravel and the high dead weight of the roof, forces of up to 2.6 MN per ceiling support had to be supported, requiring intensive reinforcement (figure 9). After the roof had been produced and the overburden installed, excavation under the roof could be carried out by an excavator (figure 10). The excavation was divided into an upper cross section (approx. 40 m<sup>2</sup>) and a lower one (approx. 40 m<sup>2</sup>). Due to the geological and structural boundary conditions, the installation of a temporary soil slab (reinforced concrete, 35 cm thick) approx. 2 m long was necessary for bracing of the bored piles during excavation of the lower half of the pit. After reaching a predefined minimum strength between 6 and 15 N/mm<sup>2</sup>, the next excavation cycle could start. As a result, the average excavation speed under the roof was only about 2.0 m per day.

Between chainage 0+950 and chainage 0+1+070 (pit No. 4 to No. 6), the tunnel and ramp were built in an open trench. The sidewalls of the trench were secured with overlapping bored piles, with bracing in some areas as well as an anchored underwater concrete slab. Excavation was carried out using the wet dredging process.

Due to a lower groundwater level at the end of the ramp, between chainage 1+070 and chainage 1+145 (pit No. 7)

the ramp was built in a sloped pit. In order to ensure compatible support and settling behaviour of the structure above the low-strength peat layers, it was necessary to install up to six inclined foundation piles (diameter 1.2 m, inclination 1:10) per block and to connect them monolithically to the slab. In the area between chainage 0+825 and chainage 0+910 (pit No. 2 and No. 3), the predicted impermeable soil layer located at the bottom of the pile wall was found to be partially non-existent during drilling of the piles. As a result, due to the significant increase in water ingress into the pit the intended construction with temporary dewatering was no longer possible, and analysis showed the risk of hydraulic base failure and soil heave. A solution therefore had to be designed to avoid complete stoppage of the works.

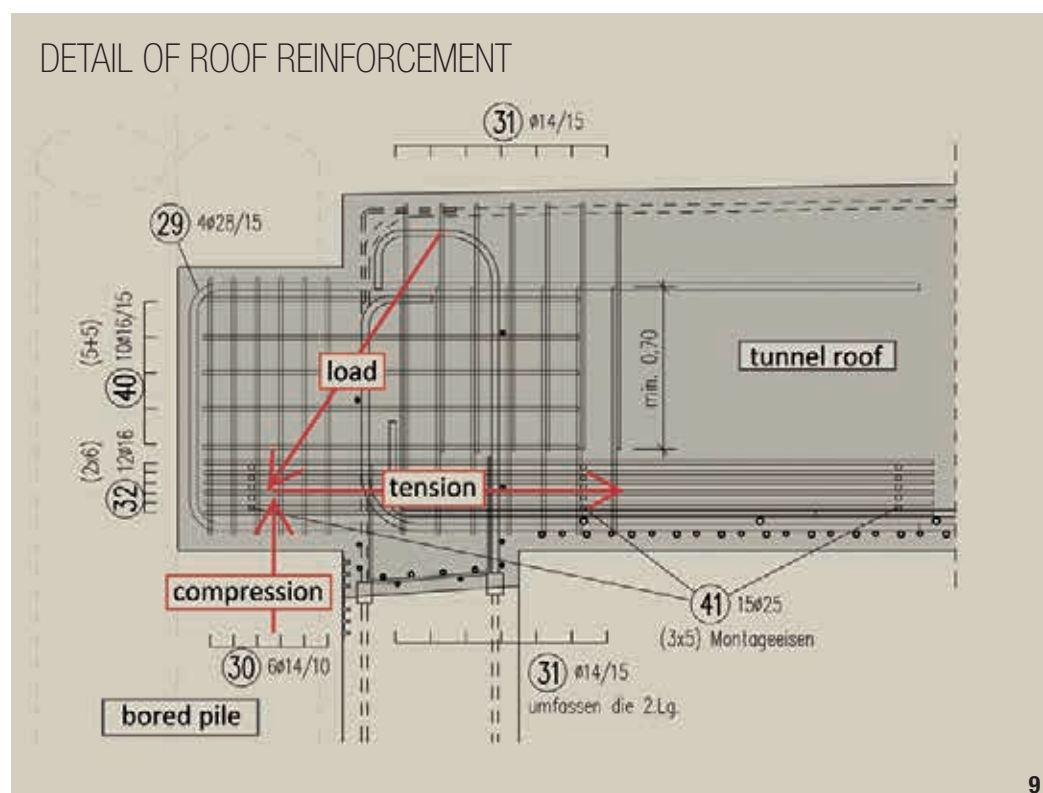
For pit No. 3 between chainage 0+875 and 0+910, as a counter-measure, the installation of an artificial low-lying sealing layer by means of an injected soft-gel layer within a depth of 25 m below the surface between the bored pile wall was deemed to be the

best solution to ensure the required tightness and safety level against soil heave. A drilling grid of 1.50 to 1.50 m in an area of 11.5 m to 35 m was defined to ensure continuous creation of the soft-gel layer. Silicate (water-glass) was used as injection material. In every cased drilling three tubes (diameter 15 mm) were installed and embedded in bentonite suspension. Two tubes were for injection and the third tube was to measure the inclination of each drillhole. The permissible inclination of each drillhole to create a continuous layer was 1.5% of the drilling length. In the event of deviation, extra drilling had to be performed.

In these conditions it was able to create a closed sealing layer 420 m<sup>2</sup> in area and 1.80 m thick with a permissible permeability of 2.0 l/s per 1,000 m<sup>2</sup>. By intensive monitoring of all parameters during execution, the tightness could be confirmed by a pumping test. It was not possible to use this method for Pit 2 because the tunnel roof had already been constructed in this area and drilling through the roof was not an option. Instead, the existing bored pile wall (depth 25 m below surface) was elongated by 8 m to embedment into a second impermeable soil layer detected below the first one. Therefore, jet-grouted columns as a mixture of cement, water and soil were produced on the outer side of the existing piled wall.

#### 9- Detail of roof reinforcement.

#### 9- Détail des armatures du toit du revêtement.







© EDR GMBH  
10

## 10- Excavation under the roof.

## 10- Excavation sous le toit.

Each column was designed 8 m high, with a diameter of 2.5 m and a centre distance of 1.8 m, to create an impermeable closed addition pit wall. The permissible inclination of each column was 2.0% of the depth to avoid imperfections within the wall. Sixty-six columns were produced in all, and by intensive quality control during execution the ingress of groundwater into the pit could be reduced significantly. Both solutions for pits No. 2 and 3 resolved a huge technical problem caused by unexpected geological deviation.

## MAIN QUANTITIES, VÖTTING TUNNEL

**EXCAVATION:** 75,000 m<sup>3</sup>  
**CONCRETE INNER LINING:** 19,000 m<sup>3</sup>  
**REINFORCEMENT:** 4,000 to  
**BORED PILES (1.20 m):** 13,700 m  
**UNDERWATER SLAB:** 2,000 m<sup>3</sup>  
**SUPPORTING SPILES:** 30,000 pcs  
**PUMPING HOURS:** 215,000 h

## MAIN STAKEHOLDERS

**CLIENT:** City of Freising  
**CONTRACTOR:** Tunnel Vötting Construction JV  
(Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Bauer Spezialtiefbau GmbH)  
**DESIGN AND SUPERVISION:** Design JV Westtangente Freising  
(EDR GmbH, Sehlhoff GmbH, Dr. H.M. Schober GmbH)

## CONCLUSIONS

The new Westtangente Freising road is an important infrastructure project to relieve through-traffic in the city of Freising. The 705 m long tunnel in the Vötting district poses major challenges in terms of both planning and construction due to the large number of construction methods and procedures used during construction.

These challenges on the construction site could only be dealt with by the excellent cooperation of all parties involved and the innovative solutions found to overcome unforeseen obstacles.

With the planned opening to traffic of the Westtangente Freising, the city of Freising will complete one of its largest construction projects by the end of 2021 and make a significant contribution to relieving traffic congestion in the city centre. □

## ABSTRACT

### LE TUNNEL VÖTTING - TRONÇON MANQUANT DU CONTOURNEMENT OUEST DE FREISING

MORITZ BOCK, DIPL.-ING., EDR GMBH, INGEROP GROUP (MUNICH, GERMANY)

**Le nouveau contournement Westtangente Freising** supprimera la circulation en augmentation constante dans le centre-ville de Freising. La conception et réalisation du tunnel Vötting, long de 705 m, représentait le défi le plus important. Grâce à l'emploi d'un système moderne de sécurité et de surveillance, les tassements dans la partie creusée du tunnel ont pu être réduits au minimum. Dans le reste de la zone, divers modes de réalisation ont dû être employés à cause des contraintes complexes, à la fois géologiques et hydrologiques. □

### EL TÚNEL DE VÖTTING - SECCIÓN FALTANTE DE LA CIRCUNVALACIÓN OESTE DE FREISING

MORITZ BOCK, DIPL.-ING., EDR GMBH, INGEROP GROUP (MUNICH, GERMANY)

**La nueva circunvalación Westtangente Freising** aliviará el siempre creciente tráfico del centro de la ciudad de Freising. El mayor desafío ha sido el diseño y la construcción del túnel de Vötting, de 705 m de longitud. Un moderno sistema de seguridad y control ha permitido minimizar los asentamientos en la sección perforada del túnel. En el resto del área, ha sido preciso utilizar distintos métodos de construcción a causa de las complejas características geológicas e hidrológicas. □





1  
© ALIGN

# HS2, CHILTERN TUNNEL SOUTH PORTAL GATHERS PACE

AUTHORS: MARTIN KLEIN, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - GUILLAUME BERGER, LEAD SITE ENGINEER/SHAFTS, INGÉROP/RENDEL - CHRIS CHANTLER, ENGINEERING MANAGER, JACOBS - NEIL TAYLOR, CONSTRUCTION MANAGER, VSL SYSTEMS (UK)

**THE MAIN WORKS CIVIL CONTRACTS (MWCC) HAVE NOW STARTED ON THE NEW HIGH-SPEED RAIL LINK BETWEEN LONDON AND BIRMINGHAM. ONE OF THE LARGEST INFRASTRUCTURE PROJECTS IN EUROPE, HIGH SPEED 2 (HS2) WILL PLAY A KEY ROLE IN MEETING THE UNITED KINGDOM'S LOW-CARBON TRANSPORT TARGETS. THE CENTRAL 1 (C1) PORTION, LOCATED NORTH-WEST OF LONDON, IS A 22km LONG SECTION WHICH INCLUDES THE 3.4km LONG COLNE VALLEY VIADUCT AND THE TWIN-BORE 16km LONG CHILTERN TUNNELS.**

## THE HIGH-SPEED 2 PROJECT

HS2 is a new high-speed railway project (figure 3) which will enhance capacity and connectivity between Britain's major cities, including London, Birmingham, Manchester and Leeds (figure 3). Rail travel has doubled over the last 20 years in the UK, and the British network needs additional capacity. HS2 will provide high-speed direct inter-city services between the major cities in Britain, ultimately providing capacity for 300,000 passengers per day once the full network is open. The HS2 project is divided into three phases. Phase 1 will link London and Birmingham. Phase 2a will extend the high-speed rail line north with a new rail hub at Crewe in Cheshire. The Phase 2b line forms a Y shape, split into an eastern and a western leg. The western leg will connect to the high-speed lines at Crewe and run through to Manchester. The eastern leg will extend the high-speed

lines from Fradley in the West Midlands and run through to Leeds crossing the East Midlands. Once operational, HS2 will serve over 25 stations connecting around 30 million people or about half of the population of Great Britain.

## MAIN WORKS CIVIL CONTRACT CENTRAL 1 (C1)

The first phase received Royal Assent in 2017, and construction contracts have been signed for the civil works on this first stretch of the line. The C1

portion was awarded as an Early Contractor Involvement (ECI) design and build contract to ALIGN, a joint venture that includes Bouygues Travaux Publics (60%), Volker Fitzpatrick (20%) and Sir Robert McAlpine (20%). ALIGN is



2  
© ALIGN

**1- Florence and Cecilia are the two TBMs that will bore the Chiltern tunnels.  
2- Lifting the cutting wheel of the second TBM.**

**1- Florence et Cecilia sont les deux tunneliers affectés au creusement des tunnels de Chiltern.  
2- Levage de la roue de coupe du second tunnelier.**



ON THE LEFT, MAP OF THE HS2 PROJECT. ON THE RIGHT, C1 PORTION



© DEPARTMENT FOR TRANSPORT

3

delivering C1 on behalf of HS2 supported by the design joint venture ALIGN-D which comprises Align (20%) and a JV formed by Jacobs (40%) and Ingérop/Rendel (40%) with specialist subconsultants Gall Zeidler Consultants, Grimshaw and LDA Design.

After an initial ECI phase, design is almost complete and construction is now well underway, with shaft construction and tunnelling works starting this year. At the southern end of the site, construction of the Colne Valley viaduct will see peak activity in mid-2022, although pile foundation work has already started. Deck erection will not begin until early next year.

In the following sections we will therefore focus on the start of tunnelling works, and more specifically on the main specifications and design criteria, as well as two of the main assets which illustrate the start of works: the South Portal Tunnel Boring Machine (TBM) break-in and the Chalfont St Peter ventilation shaft.

## MAIN TECHNICAL SPECIFICATIONS

### RAILWAY SYSTEMS AND REQUIREMENTS

HS2 will have an exceptionally high-frequency train service: up to 18 trains per hour in each direction in the core section between London and Birmingham, or an average of one train every 3min 20s. The maximum operating speed will be 320km/h across C1, increasing up to 360km/h north of the Chiltern tunnels towards Birmingham.

**3- On the left, map of the HS2 project. On the right, C1 portion. 4- 38 cross passages.**

**3- A gauche, le plan du projet HS2. A droite, la partie C1. 4- 38 galeries de communication.**

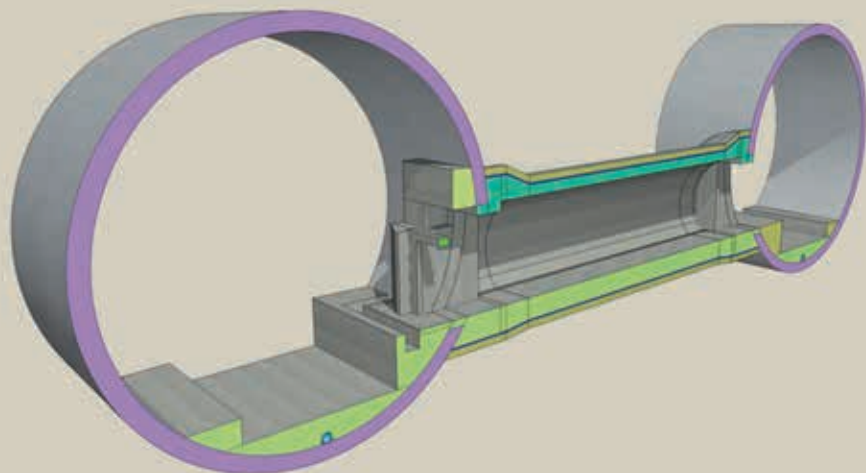
HS2 will have a ballastless "slab-track" system with a standard UIC 1,435mm gauge. This type of track was chosen by HS2 for its lower maintenance requirements. This track design entails specific features in civils design, from tight settlement criteria for earthworks to specific aerodynamic measures in long tunnels.

### CHILTERN TUNNEL FUNCTIONAL REQUIREMENTS

The Chiltern tunnels are a twin-bore tunnel of internal diameter 9.10m, with one tunnel for the downline (London

to Birmingham) and one for the upline (Birmingham to London). This internal diameter is set by HS2 to comply with the various gauge requirements, but also to limit the air temperature in the tunnel to acceptable values and to avoid the risk of the train air cooling system shutting down, especially in a scenario where trains are stopped in the tunnel. The two tunnels are bored using two variable-density TBMs, which will each complete a 16km drive from south to north under the Chilterns. The clear distance between tunnels is 25m over most of the drive.

## 38 CROSS PASSAGES



4

© ALIGN





5  
© ALIGN

Thirty-eight cross passages located at least every 500m along the tunnel will provide an escape route from one tunnel to another in case of an emergency (figure 4).

### GEOLOGY

The entire C1 route is underlain by the White Chalk deposits, typically under a layer of superficial deposits and alluvial soils a few metres thick. The chalk in the area was formed during the Cretaceous Period, at a time when the area was covered by warm sea water.

The chalk formations which constitute the Chiltern Hills are classified as principal aquifers and there are several drinking water abstraction points in the vicinity of the works. The project also runs along the River Misbourne which is a highly sensitive local area.

From an engineering view point, chalk is a weak rock with variable mechanical properties depending on the discontinuity network which can also make the rock mass highly permeable. This high permeability has a range of implications for the works, from the design of deep excavations to ground treatment for tunnelling.

### THE SOUTH PORTAL

The South Portal area is the major construction hub for C1. It is currently the main support site for construction of the Chiltern tunnels (figure 5): it is where the TBMs are launched, where the tunnel segments are precast, and more generally where all the TBM logistics take place. Starting in the autumn of 2021, it will serve the same purpose for the Colne Valley viaduct, a key landmark structure for HS2 for which piling started in March 2021.

The TBMs are launched from a 21m deep cutting located at the northern end of the South Portal site (figure 6). A range of ground works were carried

out to enable the start of tunnelling, from ground improvement to excavating a sub-vertical cutting face and building the required reinforced concrete structures to enable the TBM to be launched. One of the risks for the TBM at break-in is loss of slurry confinement due to the high permeability of the chalk in the area. To mitigate this risk, ground improvement was undertaken before starting excavation of the cutting. Bentonite-cement grout was injected at low pressure to fill the fissures within the rock mass.

After the headwall grouting was completed, excavation of the 21m deep cutting began. The cutting face is retained by a pattern of soil nails (figure 7) between 8m to 20m in length, drilled using an inclined auger drilling technique at 10-15° on a varying diamond grid. Inclination and azimuth were closely controlled by advanced gyrocompasses to ensure the correct support geometry.

**5- Aerial view of South Portal. 1 – Tunnel break-in portal. 2 – Segment precast factory. 3 – Segment storage area. 4 – Slurry treatment plant. 6- Winter 2020-2021, assembly of the two TBMs ongoing.**

**5- Vue aérienne de la tête Sud. 1 – Tête de percement du tunnel. 2 – Centrale de préfabrication des voussoirs. 3 – Zone de stockage des voussoirs. 4 – Centrale de fabrication du coulis de ciment de traitement. 6- Montage des deux tunneliers pendant l'hiver 2020-2021.**

Once the support drilling was complete, a 150-400mm shotcrete layer was sprayed in layers of C30/37 shotcrete reinforced by both steel and Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) mesh. To provide additional ground support for the TBMs during break-in, a series of "umbrella" canopy tubes (figure 7) were installed. Each TBM will start boring under 28 tubes, each 21m long and 139mm in diameter.

### TBM LAUNCH STRUCTURES

The design of the reinforced concrete TBM launch structures satisfies both temporary and permanent requirements, removing the need for much of the temporary works. During construction, they provide the functionalities required to assemble and launch the two TBMs (figure 8). In their permanent state, they will be built upon to become part of the portal structures, with the first 30m of the cutting being backfilled



6  
© ALIGN





© ALIGN 7



© ALIGN 8

to provide permanent stability as well as a more visually pleasing landscaping arrangement.

### POROUS PORTAL HOODS

These reinforced concrete hoods, through which the trains will travel as they enter and exit the tunnels, are 220m long at the tunnel entrance and 135m long at the tunnel exit (figure 9). They vary in height along their length to provide a "funnel", and their walls have openings distributed along their length to provide the aerodynamic functionalities required. That is why they are called "porous portals".

#### 7- Soil-nailed headwall.

#### 8- TBM launch structures and lifting of the first TBM shield sections.

#### 7- Mur cloué en tête de tunnel.

#### 8- Structures de lancement des tunneliers et présentation des premiers éléments de bouclier.

The porous portal hoods improve tunnel aerodynamic behaviour, which is very critical in long tunnels such as the Chiltern tunnels.

As a train enters a tunnel at high speed, it goes suddenly from open air to a confined space. This causes an increase in pressure immediately ahead of the train, which can be felt by passengers ("ear popping effect"). Such an increase in pressure could also cause a phenomenon which is quite specific to long tunnels with non-ballasted track: a sonic boom. In such tunnels, this localised increase in pressure will behave like a sonic wave and

will start travelling down the tunnel at the speed of sound. Unattenuated by ballast, this wave then reaches the exit, creating an audible "boom" which can be heard in the vicinity of the tunnel exit portal, even as the train is still deep in the tunnel.

The Chiltern tunnel porous portals attenuate this effect to acceptable levels by providing a more progressive change in aerodynamic conditions between the tunnel and the open route.

### CHALFONT ST PETER SHAFT

There are five shafts along the alignment of the tunnel. They house various pieces of mechanical and electrical equipment. They also provide drainage points for the tunnels, water supply for fire hydrants, supply power and communications connection to the tunnels. These shafts have an important role in ensuring railway safety in such a long and highly trafficked tunnel. They provide access points for emergency services in the event of fire. The first four along the TBM drive also provide tunnel ventilation.

Along with jet fans located at the tunnel entry and exit portals, these ventilation shafts will control smoke in the event of a fire. The shafts will be able to provide 200m<sup>3</sup>/h of ventilation capacity to the tunnel, in order to ensure proper management of smoke in the event of a fire while passengers evacuate to the adjacent tunnel through the 38 cross passages located along the alignment (figure 9).

### GEOLOGY AND DESIGN

The shafts are circular in shape, with an external diameter of 20.65m (This is only so for the first four shafts.

As there is no ventilation in the fifth one, named Chesham Road shaft, it is narrower. There, the external diameter is only 12.50m. Therefore, precast caissons take the place of the D-wall. The shaft is then connected to the tunnel by adits). Of the five project shafts, Chalfont St Peter is the deepest, with tunnel access at 66.40m below ground level. The retained height of ground is 59.15m to formation level, and there is 30.30m of water head at the base slab level. The shaft is constructed using Diaphragm Wall technology, comprising 16 panels 2.80m to 6.40m wide, 1.20m thick and 77.45m deep.

The soil stratigraphy is mostly composed of chalk (10.00m of Beaconsfield Gravel, 9.50m of Seaford Chalk, 45.50m of Lewes Nodular Chalk and 12.45m of New Pit Chalk).



To construct the shaft's internal structure, a permanent lining is designed to resist the water pressure. A waterproof membrane is installed between the diaphragm wall and the lining to provide the required water tightness. With the liner in place, the internal diameter of the shaft is 17.00m.

The Chiltern tunnel is located beneath the Chiltern Hills. In this rural area it was possible to build the tunnels in locations best suited to the engineering design.

The Chiltern tunnel alignment is 25m between tunnel centres. With a tunnel external diameter of 9.90m, the clear distance between tunnels is just over 15m. The technical solution chosen is for the TBMs to "nibble" the edge of the shafts during tunnel boring. This requires that the shaft be sunk and certain internal structures be built before the TBMs arrive.

To enable such a large opening to be cut out of the shafts, a special reinforcing collar will be built inside the shaft (figure 10).

The section of diaphragm wall to be removed is called the "Soft Eye" and is reinforced with Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) to enable the TBM to mine through it without contacting steel reinforcement. After the passage of the TBMs, the collar structure is modified to create the junction which is used for the tunnel's ventilation requirements (as previously stated, this junction is also used to connect water, power and communication services with the tunnel). In addition, an adit is dug for rescue services.

The shafts also have a basement level for the technical rooms covering a surface area of 1,475m<sup>2</sup>. At the top, a headhouse is designed to fit into the surrounding landscape, taking its inspiration from the style of nearby barns and other agricultural buildings.

### CONSTRUCTION OF THE DIAPHRAGM WALLS

Construction of the diaphragm wall was carried out on the principle of concrete milled joints between panels. This choice was made due to the depth of the panels, close to 80m, and the stringent verticality requirement of 1/400 which is needed to ensure a good transfer of the hoop force within the wall. A Bauer MC96 equipped with a BC40 trench cutter was used to perform diaphragm wall excavation, associated with a hydraulic grab assembled on a Bauer MC76 base machine (figure 11).

Special attention was paid to the diaphragm wall excavation support fluid and the treatment of this slurry with an average 50-60% particles in the 30.10<sup>-6</sup>m diameter range. Effective treatment was critical to ensure high-quality excavation and accurate panel geometry. A bespoke slurry treatment plant was designed and built for this purpose; combined with two high-capacity desander units, it allowed separation of the smallest particles (diameter less than 30.10<sup>-6</sup>m) and sludge dewatering. This permitted maximum reuse of bentonite and limited liquid slurry disposal. The slurry treatment plant proved to be

very efficient for treating the excavated sludge, with a very small proportion of bentonite needing dewatering during the excavation phase: less than 10% of the excavated volume.

### WHAT NEXT?

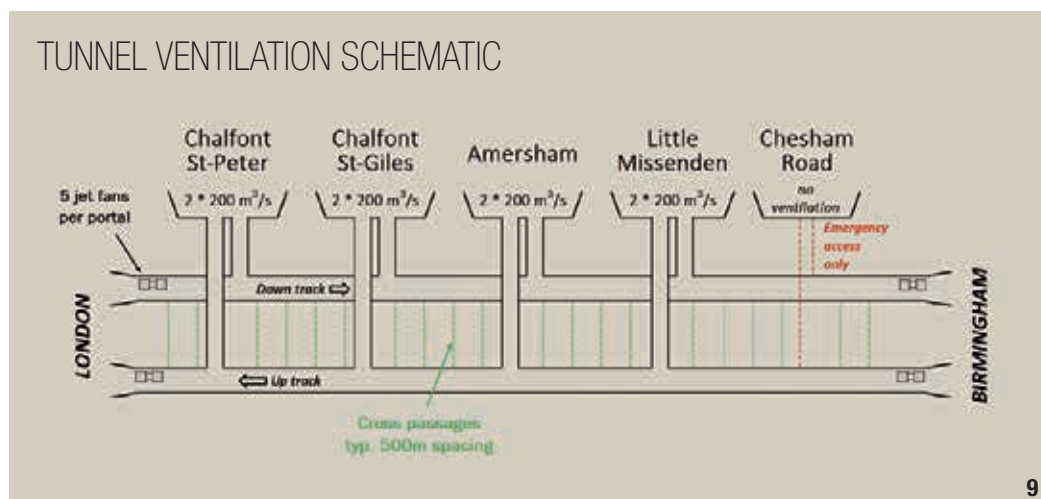
From mid-2021, the first TBM boring the Chiltern tunnels will start its journey and the second one is due to break-in a few weeks later. Both will reach Chalfont St Peter shaft at the very start of 2022 and are expected to complete excavation in early 2024. Construction of the shafts will continue until mid-2025. Works are also underway on the Colne Valley viaduct, with the main activities due to start later in 2021 with initial precasting operations for the 1,000 deck segments. Currently, there are over 200 active work sites along the total 240km of

#### 9- Tunnel ventilation schematic.

#### 10- Section of bottom of shaft.

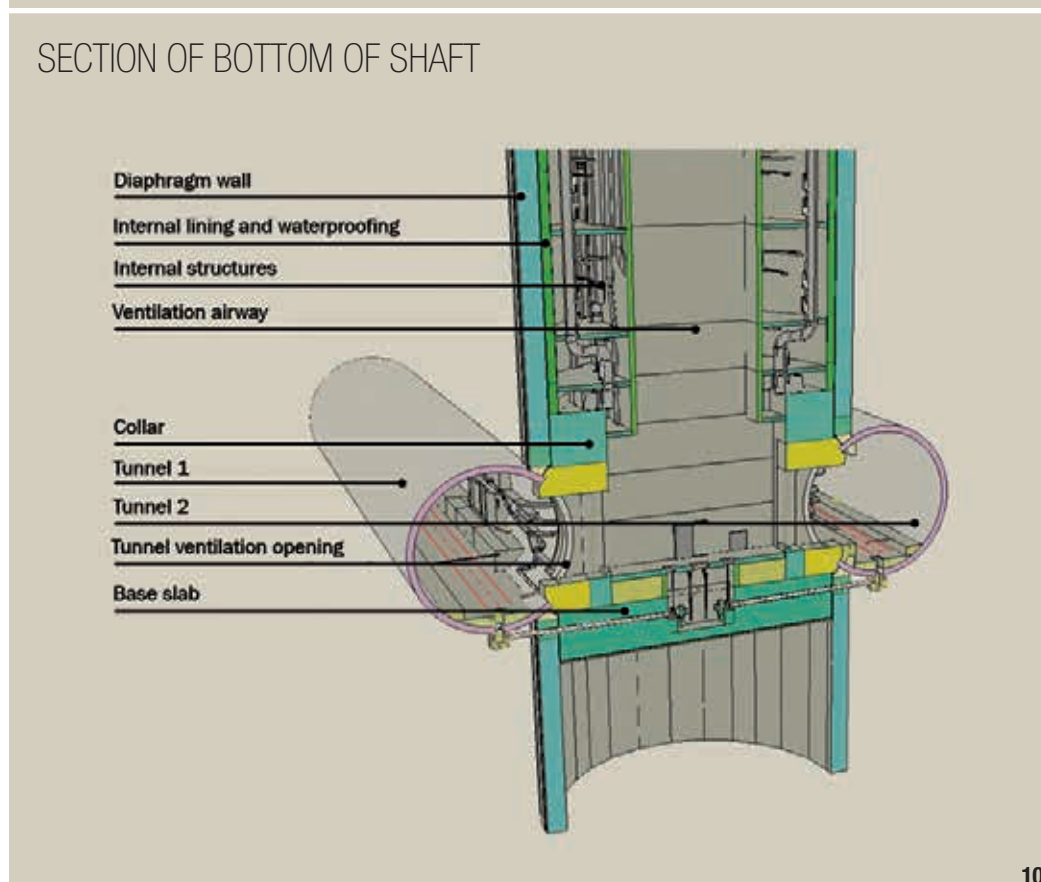
#### 9- Schéma de ventilation du tunnel.

#### 10- Coupe du fond du puits.



9

© ALIGN



10

© ALIGN





© ALIGN

11

the new line between London and Birmingham. And environmental work is on the same scale as civil work: HS2 is Britain's biggest environmental project, delivering kilometres of ecological and landscape investments along the route. By planting 7 million trees and shrubs between London and Birmingham, HS2 will be creating 3,300 hectares of new woodland and habitat for wildlife.

### 11- Diaphragm Wall construction plant at Chalfont St Peter.

11- Atelier de paroi moulée à Chalfont St Peter.

That is 30% more than what it was before work started.

HS2 is much more than a railway: it is the most important economic regeneration project in Britain for decades.

Building Phase 1 of the HS2 route will support 22,000 jobs, including many apprentices. HS2 phase 1 is due to open between 2028 and 2031 and phase two between 2035 and 2040. □

## STAKEHOLDERS

**CONTRACTING AUTHORITY:** HS2 Ltd (Department for Transport)

**MAIN CONTRACTOR:** ALIGN JV (Bouygues Travaux Publics, VolkerFitzpatrick and Sir Robert Mc Alpine)

**DESIGN PARTNERS:** ALIGN-D JV (Align JV, Jacobs and Ingérop/Rendel with GZ Consultants (mined tunnel elements), Grimshaw (architect), LDA Design (landscape designer))

**MAIN SUBCONTRACTORS WITHIN THE SCOPE OF THIS ARTICLE:**

- Roadbridge (earthworks and civil works),
- KVJV (Keller Group and VSL systems (UK)) (deep-foundation and ground improvement works).

## QUANTITIES

**C1 PACKAGE:** 21.91km length, from chainages 25.800 to 47.750

**COLNE VALLEY VIADUCT:** 3.4km length; single deck; 57 spans ranging from 40m to 80m

**CHILTERN TUNNEL:** 16.04km length; twin-bore; 9.10m internal diameter, 112,000 segments

**SOUTH PORTAL/TBMS LAUNCH SITE:**

- Characteristics of the headwall: 100m developed length, 22m high
- Excavation support: 636 soil nails (some up to 20m long); 2x28 canopy tubes

**SHAFTS:**

- Depth: 66.40m, 34.60m, 42.10m, 35.80m, 43.60m
- Internal diameter: 18.05m (except for Chesham Road shaft which is 10.50m)
- Concrete: more than 30,300m<sup>3</sup> (for the five shafts)
- Rebar: more than 3,100t (for the five shafts)

## ABSTRACT

### HS2, ACCÉLÉRATION DES TRAVAUX SUR LA TÊTE SUD DU TUNNEL CHILTERN

MARTIN KLEIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - GUILLAUME BERGER, INGÉROP/RENDEL - CHRIS CHANTLER, JACOBS - NEIL TAYLOR, VSL SYSTEMS (UK)

**La tête de tunnel Sud, située près de l'autoroute M25, la rocade qui contourne le Grand Londres, est au cœur des travaux de construction qui sont réalisés sur la partie C1 du projet HS2. À mi-2021, les deux tunneliers auront commencé leur trajet long de 16 km sous les collines de Chiltern. Ils passeront par cinq puits installés dans la campagne. Deux centrales de préfabrication de béton ont été mises en place sur le chantier afin de livrer les 115 000 voussoirs du tunnel ainsi que les 1 000 voussoirs du viaduc. Le viaduc de la vallée de Colne, long de 3,4 km, sera le viaduc ferroviaire le plus long du Royaume Uni. Enfin, des travaux de terrassement importants auront lieu à la tête de tunnel Sud pour répandre les déblais provenant du creusement du tunnel afin de réaliser l'aménagement paysager définitif du site. □**

### HS2, ACCELERACIÓN DE LAS OBRAS DEL PORTAL SUR DEL TÚNEL DE CHILTERN

MARTIN KLEIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - GUILLAUME BERGER, INGÉROP/RENDEL - CHRIS CHANTLER, JACOBS - NEIL TAYLOR, VSL SYSTEMS (UK)

**Situado cerca de la M25, la autopista orbital que rodea el área metropolitana de Londres, el Portal Sur es el nodo central de las actividades de construcción en el tramo C1 del proyecto HS2. A mediados de 2021, las dos tuneladoras habrán iniciado su trayecto de 16 km bajo las colinas de Chiltern. Cruzarán cinco ejes situados en zona rural. Se han instalado in-situ dos fábricas de hormigón pretensado, que producirán los 115.000 segmentos del túnel y los 1.000 segmentos del viaducto. El viaducto de valle de Colne, de 3,4 km de longitud, será el viaducto ferroviario más largo de Reino Unido. Finalmente, se llevará a cabo una importante actividad de movimiento de tierras en el Portal Sur para aprovechar todo el material de excavación del túnel para crear el perfil paisajístico final de la obra. □**





© BOUYGUES TP

# LRT1 MANILLE - UN LANCEUR PROGRESSE DANS LA VILLE

AUTEURS : DOMINIQUE DRONIOU, DIRECTEUR PROJET, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FRANKLIN GEDALOF, DIRECTEUR TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - RONAN CHESNEL, RESPONSABLE ÉTUDES, SYSTRA

*Cet article, dont il est co-auteur, ainsi que la photo en couverture du numéro, sont dédiés à Dominique Droniou, Directeur du projet LRT1 Manille. Dominique est décédé le 15 juillet dernier. Il restera dans nos mémoires un collaborateur et ami doué de grandes qualités humaines et managériales développées au long de ses 39 années de carrière au sein du groupe Bouygues Construction. Il a participé à de nombreux projets emblématiques. Les pensées de tous ceux qui l'ont connu vont à sa femme Catherine et à ses deux fils Mathieu et Baptiste.*

L'EXTENSION SUD DE LA LIGNE LRT1 DANS L'AGGLOMÉRATION DE MANILLE S'INSCRIT DANS LE PROGRAMME NATIONAL DE CONSTRUCTION D'INFRASTRUCTURES LANCÉ PAR LE GOUVERNEMENT PHILIPPIN EN 2017 À TRAVERS LE PAYS. ELLE EST ENTIÈREMENT AÉRIENNE SUR 6,6 km ET COMPORTE 5 NOUVELLES STATIONS. CETTE LIGNE S'INSÈRE DANS UNE ZONE URBAINE EXTRÊMEMENT DENSE, COMPORTE DE MULTIPLES INTERFACES AVEC DES RÉSEAUX ET TIERS EXISTANTS ET NE PEUT UTILISER QU'UNE ZONE DE TRAVAUX DE 10 m DE LARGE SEULEMENT LE LONG DE L'ALIGNEMENT. CES CONTRAINTES ONT COMPLÈTEMENT ORIENTÉ LES CHOIX STRATÉGIQUES DE MÉTHODES DE CONSTRUCTION ET DE DESIGN.

## LA LIGNE EXISTANTE LRT1 ET SON EXTENSION SUD

Manille, poumon économique du pays où habitent près de 16 millions d'habitants, ne compte actuellement que 3 lignes de métro en opération pour un nombre journalier moyen de 1 550 000 passagers. De nombreux projets d'extension ou de construction de nouvelles lignes sont actuellement en cours pour augmenter de manière significative les capacités de transport de cette gigantesque agglomération. La ligne existante de Manille LRT1

(Light Rail Transit), première ligne de ce type mise en service en Asie (1984), est actuellement constituée de 20 stations et d'un ouvrage aérien d'environ 20 km supportant un matériel roulant léger sur rail alimenté par caténaire.

Son alignement traverse l'agglomération de Manille du nord au sud et dessert les villes de Quezon City, Manila et Pasay. La ligne a des correspondances avec les deux autres lignes en service de la métropole LRT2 et MRT3. En février 2016, le concessionnaire Lrmc (Light Rail Manila Corporation)

**1- Lanceur au-dessus d'une rivière.**

**1- Launcher above a river.**

choisit le consortium Bouygues Travaux Publics - Alstom pour la construction de l'extension Sud de cette ligne comprenant 12 km supplémentaires de voies ainsi que 8 stations pour relier la ligne existante à la province de

Cavite en passant notamment par les agglomérations de Parañaque et Las Pinas. Cette extension permet également de rejoindre l'aéroport international Ninoy Aquino et la gare routière PITX (Parañaque Integrated Terminal Exchange) qui dessert les provinces au sud de l'agglomération de Manille. Les difficultés d'acquisition des terrains par le gouvernement philippin amènent le concessionnaire à proposer la réalisation dans un premier temps des 6,6 premiers kilomètres de cette extension comprenant 5 stations (figure 3).





2  
© BOUYGUES TP

**UNE SOLUTION REVUE EN PRENANT EN COMPTE LES NOUVELLES CONTRAINTES DU SITE**

Le design original, réalisé en 2013 pendant la phase offre, consistait en 2 viaducs en U préfabriqués et mis en place par travée entière (1 voie supportée par 1 viaduc en U) offrant des avantages certains en termes d'insertion urbaine et de coûts. À l'arrivée de l'équipe travaux sur place en 2017, ce design est revu suite à la réévaluation des contraintes du site :

- 2- Un lanceur en zone urbaine.
- 3- Alignement de la phase I du projet LRT1 Cavite Extension.

- 2- Launcher in urban area.
- 3- Alignment of phase I of the Cavite Extension LRT1 project.

- Le long de l'alignement, la zone de construction est désormais limitée à 10 m de largeur. Il faut donc privilégier un design avec un tablier unique supportant 2 voies afin de réduire la largeur totale de l'ouvrage.
- La longueur des travées est également réétudiée afin de réduire le nombre total d'appuis tout en respectant les contraintes liées à la pose et à la mise en service de l'ouvrage.
- L'objectif de réduire le temps et le nombre de cycles de pose afin de

limiter les interfaces avec les tiers est primordial. Des lignes haute tension se trouvent tout le long de l'alignement. Une des pistes de l'aéroport se situe à moins de 300 m du projet. 1 km de l'alignement se situe au-dessus de la rivière Parañaque (figure 1). Il faut limiter au minimum la quantité et la durée des travaux réalisés in situ afin de perturber le moins possible les tiers et réduire le risque d'incidents lors des travaux (figure 2).



3  
© BOUYGUES TP





4

© BOUYGUES TP

La solution finalement retenue est donc un tablier en forme de PI (figure 5) :

- Un tablier unique portant 2 voies et préfabriqué par travée entière.
- Une section "ouverte" par rapport à un caisson classique afin de réduire le poids des travées et faciliter le cycle de préfabrication, notamment le démoulage des travées.
- Des âmes droites et un hourdis supérieur pouvant être courbe afin de suivre l'alignement comprenant notamment des sections avec rayons minimaux de 103 m et permettant de rester dans la largeur imposée de 10 m.
- Des travées de longueur variable de 23 m à 34 m, précontraintes par pré-tension pour un poids maximum de 400 t et posées au lanceur (figure 4).
- Des appuis typiques constitués de piles circulaires de diamètre 1900 ou 2500 mm sur monopieux de 2500 mm ou 2600 mm de diamètre. La solution monopieu présente le double avantage de minimiser l'espace de travail in situ et le cycle de construction et d'apporter suffisamment de souplesse afin de ne pas attirer des efforts sismiques trop importants, le projet se situant à proximité immédiate d'une faille sismique active.

Cette refonte du design et des méthodes de construction s'accompagne d'un travail conséquent d'identification des interfaces avec les tiers et réseaux et la mise en place de réunions techniques régulières avec le client et les différents intervenants pour définir les prérequis à la réalisation des travaux.

## LES FONDATIONS

### MONOPIEU ET CAPACITÉ PORTANTE

Compte tenu des caractéristiques du projet, en particulier de la forte demande sismique, des fondations constituées de monopieux de 2,5 ou 2,6 m de diamètre ont été adoptées. Dans la limite des déplacements acceptables, l'utilisation du monopieu permet d'avoir une structure suffisamment souple attirant

**4- Un lanceur progresse dans la ville.**

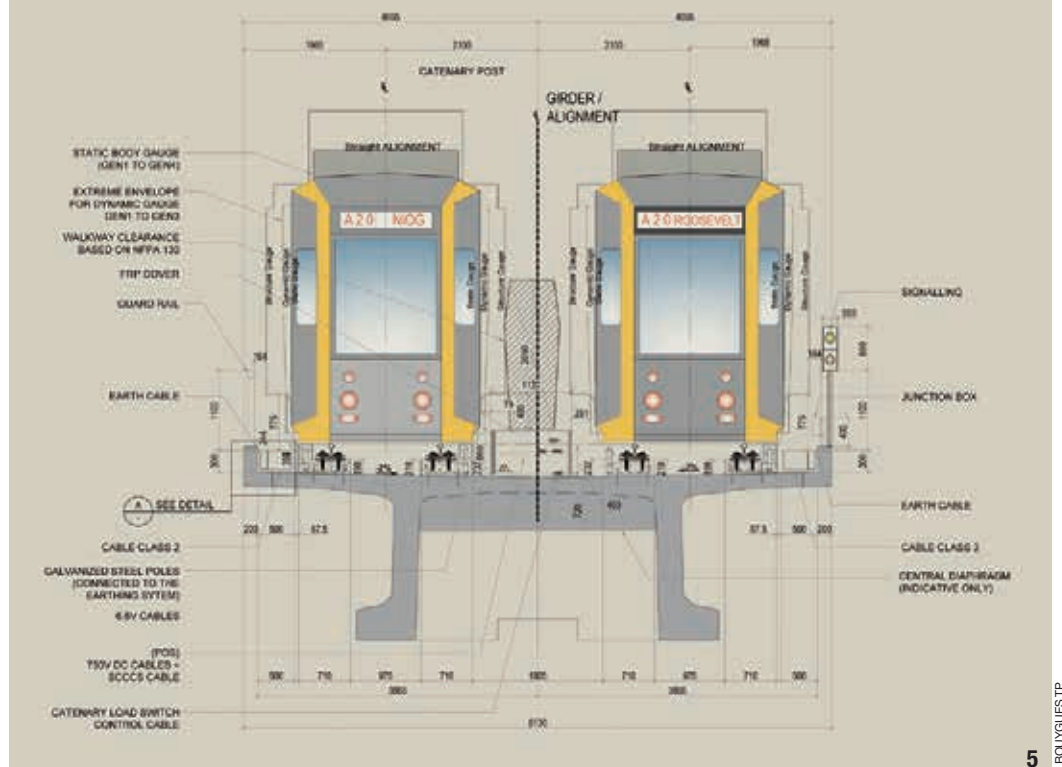
**5- Coupe fonctionnelle.**

**4- A launcher advances in the city.**

**5- Functional cross section.**

moins d'efforts sismiques par rapport à une solution multi-pieux. Cette solution permet également d'accélérer le cycle de construction et de limiter les problèmes de sécurité inhérents à la construction de pieux notamment dans la rivière Parañaque. Elle nécessite cependant une démarche qualité accrue dans la réalisation des fondations du fait, notamment, du manque de redondance de la structure.

## COUPE FONCTIONNELLE



5

© BOUYGUES TP



Le principal défi lié au design géotechnique des pieux est la définition et l'identification du niveau du tuf de Guadalupe, principale couche résistante du projet. Le GTF (Guadalupe Tuff Formation), correspond à des tufs volcaniques et des roches sédimentaires, stratifiés horizontalement avec des couches de sol individuelles ne dépassant pas 6 m d'épaisseur et de granulométrie variant des argiles aux grès.

Le GTF a été défini par une campagne géotechnique avec forages de 30 à 40 m de profondeur, réalisés à chaque pieu. Pour chaque forage, SPT, carottage et tests en laboratoire (distribution granulométrique, limites d'Atterberg, tests de résistance) ont été effectués. Cette campagne géotechnique supplémentaire a mis en évidence d'importantes variations de conditions de fracturation du GTF. Compte tenu de cette incertitude, les validations de la capacité portante et de la longueur des pieux ont été soumises à un processus de vérification supplémentaire au moyen d'essais de charge dynamique (PDA). Sur 231 pieux à construire, 12 essais PDA (5%) ont été recommandés à partir de l'analyse de la variabilité des conditions géotechniques rencontrées.

Par mesure de sécurité, en raison de la non-redondance du système monopieu, une marge de sécurité supplémentaire



© BOUYGUES TP

**6- Atelier de fondation.**

**7- Jetée provisoire.**

**6- Foundation equipment.**

**7- Temporary jetty.**

de 20% sur la capacité portante a été considérée, conformément aux normes du projet.

Lors de la construction de la plupart des pieux, des tubages en acier permanents ou provisoires de 16 mm d'épaisseur

sont installés avant excavation. Ils assurent le maintien du sol lors de l'excavation, l'installation des cages de ferrailage et le bétonnage pour les couches les plus meubles.

Les pieux sont fondés dans le GTF sur une longueur minimum de deux à trois fois leur diamètre.

**CONSTRUCTION**

Le chantier a compté jusqu'à 5 ateliers de pieux travaillant en simultanément sur l'alignement. Chaque atelier est constitué d'une foreuse rotative (type Kelly) pour l'excavation, d'une grue sur

chenille de capacité 80 t pour la mise en place des tubages (provisoires ou permanents) ainsi que l'installation et le rabotage des cages de ferrailage, et d'une centrale à polymère afin de soutenir l'excavation avant bétonnage (figure 6).

La séquence commence par la mise en place du tubage (dont la longueur dépend des conditions de site géotechniques) à l'aide d'un marteau vibrant. L'excavation se fait en deux temps et commence par un avant-trou de diamètre inférieur au diamètre final afin de commencer à déstructurer le terrain au sein du pieu (et faciliter l'excavation du diamètre final). Cela permet également de procéder à une analyse de sol afin de vérifier que les conditions restent proches de la stratigraphie prise en compte dans le design. Lors de l'excavation finale, le polymère est pompé dans le trou afin d'en assurer la stabilité. Après avoir filtré le polymère, on procède ensuite à l'installation de la cage de ferrailage par tronçons de 15 m ; le rabotage entre tronçons se fait par l'intermédiaire de coupleurs pendant que la partie inférieure de la cage de ferrailage est suspendue au tubage fiché dans le terrain. Une trémie de 300 mm de diamètre qui reste immergée tout au long de l'opération est utilisée pour le bétonnage. ▷



© BOUYGUES TP





8

© BOUYGUES TP

Pour le tronçon de 1 km de long situé au-dessus de la rivière Parañaque, une jetée provisoire métallique est construite et sert pour la réalisation des pieux mais aussi des piles et des chevêtres (figure 7). Sa démolition après la fin de son utilisation et une fois la superstructure réalisée constitue l'un des derniers défis à relever par les équipes de production en charge de la construction du pont.

### LES PILES, CHEVÊTRES ET APPUIS

#### PILES ET CHEVÊTRES, CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES ET MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Des piles circulaires de 1,9 ou 2,5 m de diamètre ont été mises en œuvre sur le projet, de hauteur variant de 0,5 à 8,7 m. Les piles sont coulées en place. La connexion des armatures longitudinales entre pile et pieu est assurée par coupleurs mis en place en tête de pieu. Les 231 colonnes du projet sont réalisées à l'aide de 15 jeux de coffrage différents dont les tailles et diamètre permettent de s'adapter à tous les cas de figure de diamètre et hauteur rencontrés sur l'alignement. La séquence commence par l'installation de la cage de ferrailage de la pile suivie par l'installation du tuyau de drainage (intégré à l'intérieur de la pile). On bétonne ensuite un *kicker* de 500 mm de hauteur qui permet le positionnement correct et précis du coffrage pour le coulage de la colonne en une fois sur toute sa hauteur.

Dans le but d'accélérer la construction, des chevêtres partiellement préfabri-

qués ont été mis en place. Une coque préfabriquée en béton est réalisée sur le site de préfabrication. La coque est ensuite transportée sur le site de construction (figure 9), posée à la grue et supportée par des appuis temporaires ancrés dans la pile et munis de vérins à vis pour l'ajustement vertical (figure 8). La coque préfabriquée, jouant le rôle de coffrage, est ensuite bétonnée après mise en place du ferrailage nécessaire.

En tête de chevêtre est aussi installée une clé de cisaillement, mise en œuvre pour résister aux efforts sismiques (retenue du tablier) et coulée avec le béton de deuxième phase du chevêtre.

La forme des clés de cisaillement correspond à la réservation laissée dans le diaphragme du Pi.

#### 8- Pose des chevêtres préfabriqués en rivière.

#### 9- Levage des chevêtres préfabriqués.

#### 8- Placing préfabriqué pier caps in river.

#### 9- Lifting préfabriqué pier caps.

#### APPUIS À POT, CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES ET MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Des appuis à pot ont été adoptés et supportent les charges statiques du tablier ainsi que les efforts sismiques

de niveau 1 ainsi que les efforts de soulèvement sismiques de niveau 2 (les autres efforts dus au séisme de niveau 2 étant supportés par la clé de cisaillement).

La plaque supérieure des appuis à pot est encastrée dans le Pi lors de sa préfabrication. La hauteur des goujons de connexion de cette plaque dans le Pi est limitée à 100 mm pour éviter toute interférence avec les torons de précontrainte situés dans le talon des âmes. Avant d'être mis en place sur position définitive, on équipe chaque Pi de l'intégralité de ses appareils d'appui à pot en les boulonnant à la plaque supérieure.

Le transfert de charge sur position définitive est ensuite réalisé après la fin du cycle de pose de chaque Pi, y compris son ajustement dans sa position finale et le coulage des dés d'appui inférieurs sur le chevêtre.

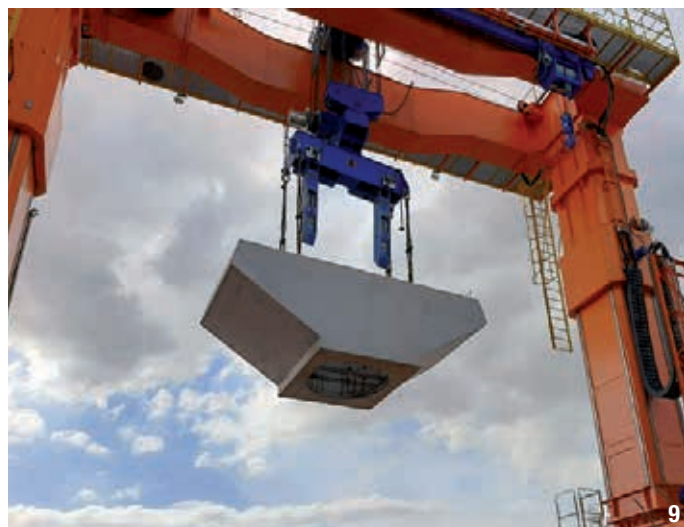
### FOCUS SUR LE DESIGN SISMIQUE DES PILES ET PIEUX

#### LA FAILLE DE LA VALLÉE DE MARIKINA

Le projet est situé à moins de 10 km de la faille active de la vallée de Marikina. Il a donc fallu procéder à une étude sismique spécifique pour déterminer les spectres d'accélération sismique spécifiques à prendre en compte pour les études.

#### SPÉCIFICATIONS

Les ouvrages du projet sont classés comme essentiels. 2 niveaux de séisme doivent être considérés :

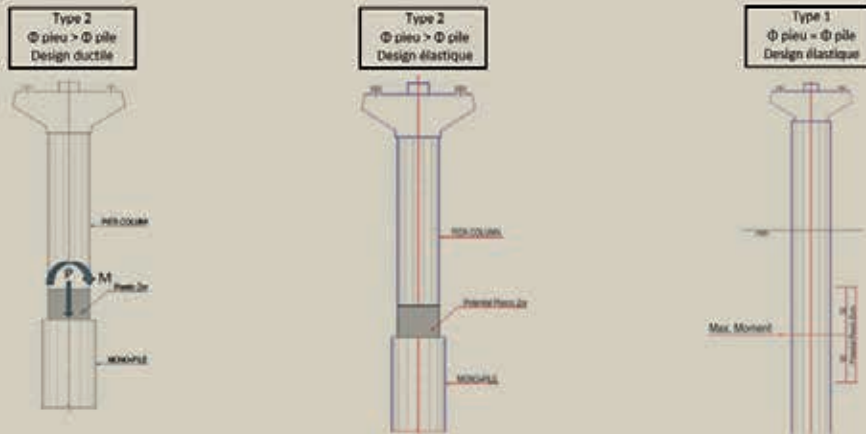


9

© BOUYGUES TP



## CONFIGURATION DU DESIGN SISMIQUE POUR LES PILES ET PIEUX



© SYSTRA

10

→ **Niveau 1** : risque sismique faible à modéré avec une période de retour de 100 ans.

→ **Niveau 2** : risque sismique élevé avec une période de retour de 1000 ans.

Ces niveaux de séisme, considérés en termes d'accélération horizontale et verticale, ont les objectifs suivants :

→ **Niveau 1** : l'ouvrage reste dans le domaine élastique sans dommages ou avec dommages mineurs qui

**10- Configuration du design sismique pour les piles et pieux.**

**11- Aire de préfabrication et stockage.**

**12- Cage de ferrailage en cours de levage.**

**13- Coffrage de fermeture en cours d'installation.**

**10- Seismic design configuration for piers and piles.**

**11- Precasting and storage area.**

**12- Rebar cage being lifted.**

**13- Enclosing formwork undergoing installation.**



© BOUYGUES TP

11



12

© BOUYGUES TP



13

© BOUYGUES TP

peuvent être réparés facilement.  
→ **Niveau 2** : l'ouvrage a une probabilité faible d'effondrement mais peut accepter des dommages importants avec interruption possible d'opération. Le remplacement partiel ou total de l'ouvrage peut être requis après séisme.

### DESIGN SISMIQUE DES PILES ET DES PIEUX

Le design sismique est réalisé suivant l'AASHTO LRFD 2012.

3 configurations types sont considérées (figure 10) :

Le Type 2, design ductile, est le plus utilisé sur le projet. Le type 1 est considéré quand les efforts s'appliquant sur les piles sont trop importants pour un diamètre de 1,9 m.

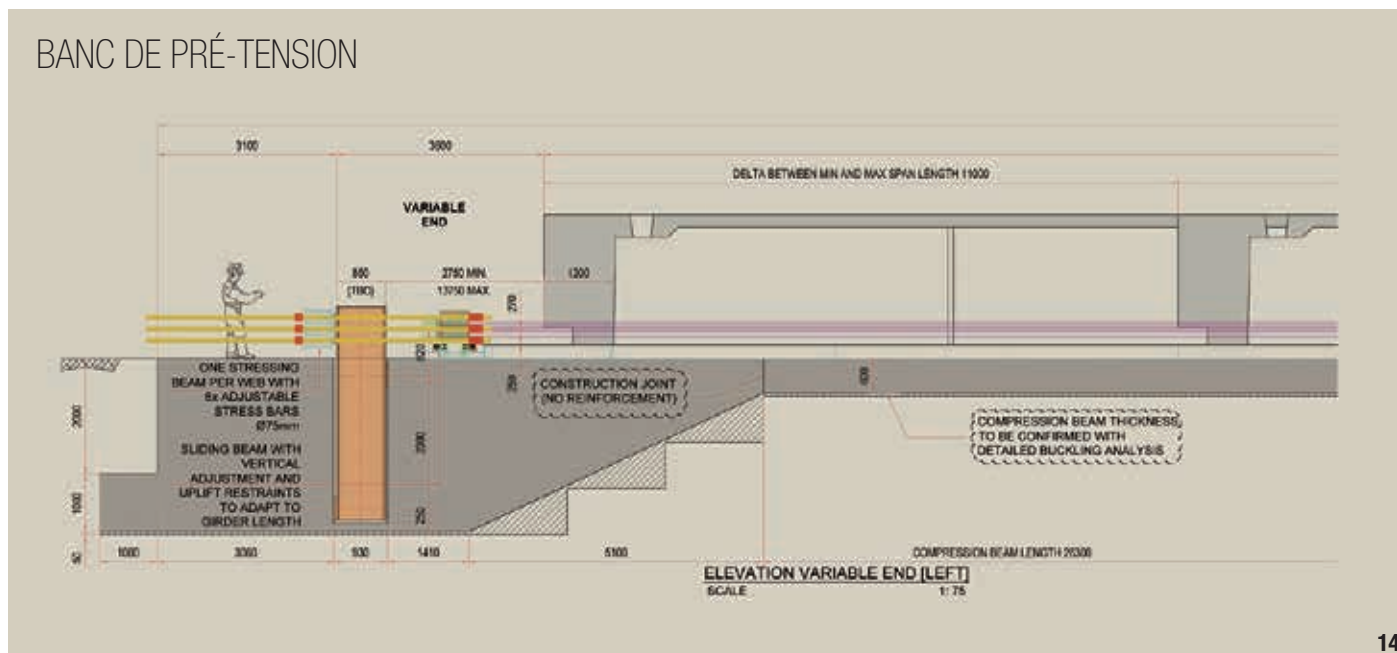
L'approche standard pour le type 2 est de considérer un design ductile pour la pile avec coefficient de comportement. La rotule plastique est placée en base de pile.

Pour certains cas, quand le système pile-pieu est assez souple (piles hautes et/ou pieux profonds (bas niveau du GTF)), il est plus économique de considérer un design élastique (sans coefficient de comportement). Cela est dû au fait que la réduction des efforts - et donc des quantités - dans la pile qui pourraient être amenés par l'utilisation d'un coefficient de comportement ne compense pas de façon substantielle le renforcement additionnel nécessaire dans le pieu pour assurer un design en surcapacité.

Pour le type 1, un design élastique est considéré, la présence d'une rotule plastique dans le sol n'étant pas acceptable si non approuvée par le client. Il n'a donc pas été considéré possible d'adopter une approche ductile pour cette configuration. ▷



## BANC DE PRÉ-TENSION



14

© BOUYGUES TP

La détermination des efforts considérés dans la vérification structurelle des piles et des pieux s'est faite à partir d'une analyse multimodale (le projet a été divisé en plusieurs modules). Les effets non-linéaires qui affectent les raideurs des piles et des pieux, tels que les déformations inélastiques, ont été considérés par la prise en compte d'inerties réduites. Il a été aussi procédé à un calcul en fourchette pour les raideurs de sol (-50% / +50%) afin de prendre en compte la possible variabilité des données géotechniques considérées ainsi que la non-redondance du système monopieu. Pour chaque module, 4 travées additionnelles de part et d'autre ont été modélisées pour considérer les effets de bord.

par travée entière et érection par poutre de lancement. Les travées sont précontraintes par pré-tension (torons T15S) dans le sens longitudinal. La pose par travée entière au lanceur minimise l'interface avec le trafic sur les routes traversées par l'alignement.

- Longueur de travée : longueur de travée maximale de 34 m afin de minimiser le nombre de fondations. La longueur minimale de travée sur le projet est de 23 m.
- Largeur réduite : section transversale d'une largeur maximale de 8900 mm qui s'inscrit dans les limites du projet de 10 m. La largeur typique en alignement droit est de 8,13 m.

**14- Banc de pré-tension.**  
**15- Système Pi Drill.**

**14- Pre-tensioning bench.**  
**15- Pi Drill system.**

que les rayons imposés par l'alignement sont gérés avec une dalle supérieure courbe.  
→ Poids maximum : 400 t.

### PRÉFABRICATION

L'aire de préfabrication située à l'extrémité Sud de l'alignement constitue le poumon du chantier LRT1. Les 32 000 m<sup>2</sup> sont répartis entre un hangar servant à la préfabrication des travées et une aire de stockage pour les Pi déjà coulés (figure 11). Un espace est également disponible pour la préfabrication et le stockage des têtes de pile préfabriquées. Dans le hangar, deux bancs de montage sont montés en parallèle pour tout le cycle de construction des Pi.

## UN TABLIER EN FORME DE PI POSÉE AU LANCEUR PAR TRAVÉES ENTIÈRES

### CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Le Pi présente les caractéristiques et avantages suivants :

- Section ouverte : comme son nom l'indique, la section transversale ressemble à la lettre grecque  $\pi$ . C'est une section ouverte qui se compose de deux âmes et d'un hourdis supérieur. Des diaphragmes sont placés à chaque extrémité de la travée. Par rapport à une poutre-caisson classique, la forme en Pi, ne présentant pas de dalle inférieure, facilite les opérations de démoulage et minimise le poids de chaque travée.
- Érection par travée entière : cette solution permet une construction rapide avec la préfabrication



15

© BOUYGUES TP





© BOUYGLIÈS TP 16

À l'arrière du hangar, des gabarits de montage permettent la préfabrication des cages de ferrailage pour les diaphragmes et pour les âmes. Deux gabarits principaux permettent l'assemblage de la cage entière y compris la dalle supérieure.

À l'avant du hangar, deux coffrages principaux sont utilisés pour le coulage des Pi après mise en place de la cage de ferrailage à l'aide de ponts roulants (figure 12). Chaque coffrage est constitué d'un coffrage extérieur de longueur 36 m, de plusieurs modules de coffrage intérieur ajustables et de 2 coffrages de cloison aux extrémités (figure 13) pour réaliser l'ensemble des configurations rencontrées sur l'alignement : travées droite, courbes ou de transi-

**16- Premier Pi Girder.**  
**17- Transporteurs en route pour le lanceur.**

**16- First Pi Girder.**  
**17- Carriers on the road for the launcher.**

tion, angle des diaphragmes variable. Autour de chaque coffrage, le banc de précontrainte (figure 14) est constitué d'une partie mobile et d'une partie fixe permettant la mise en tension des torons situés au niveau des 2 talons inférieurs de chaque Pi. De chaque côté

un cadre métallique noyé dans le béton permet la reprise des efforts lors de la mise en tension. Côté mobile, 2 vérins de capacité 1 450 t tirent sur un chariot où sont fixés les torons par l'intermédiaire de clavettes, et prennent appui sur le cadre métallique. Côté fixe, les torons sont reliés directement au cadre métallique toujours avec des clavettes. Chaque Pi contient entre 25 torons (travées droites de 23 m) et 54 torons (travées courbes R103 de 32 m) par âme, de section 15,7 mm ( $A_p=150 \text{ mm}^2$ ). La mise en tension initiale se fait au mono vérin, puis l'ensemble des torons de chaque talon est mis en tension simultanément à l'aide des vérins de 1 450 t. Les câbles sont insérés manuellement à travers la cage de ferrailage alors que

les travaux de finition de ferrailage et réglage du coffrage sont en cours. Lors de la mise en tension, 8 cellules de charge permettent de suivre l'évolution de la précontrainte de la mise en tension à la détente des câbles une fois la prise du béton effectuée.

Au niveau supérieur du coffrage des murs béton périphériques préfabriqués permettent de créer les formes droite ou courbes de la dalle supérieure. Le bétonnage est réalisé en une fois et dans un seul sens. Une règle vibrante fait une passe le long de la travée à la fin du bétonnage afin d'assurer la forme en V de la dalle supérieure. Pour chaque travée, l'assemblage total d'une cage d'armatures prend environ 3 jours. La préparation du coffrage, l'installation de la cage de ferrailage, l'installation et la mise en tension de la précontrainte ainsi que le bétonnage peuvent être réalisés sur un cycle de 24 heures. Le premier Pi a été coulé le 14 juillet 2020 et à fin avril 2021, près de la moitié des 203 travées ont été réalisées.

Depuis avril 2021, une opération supplémentaire est ajoutée à la fin du cycle de préfabrication afin de préparer les travaux de voie. La voie est supportée par des longrines en béton qui sont réalisées in situ par les équipes d'Alstom, une fois le tablier posé.

La connexion avec le tablier se fait par l'intermédiaire d'aciers fonctionnant en cisaillement répartis le long des voies ; la réalisation des trous dans le tablier se fait désormais à l'aide de robots montés sur une plateforme circulant le long du coffrage (figure 15).



© BOUYGLIÈS TP 17



L'ensemble des paramètres de chaque travée a été programmé au préalable afin de faciliter le travail des opérateurs. Après l'ouverture du coffrage et la détente puis la découpe des câbles, le Pi est levé par une paire de chariots porteurs et transféré sur l'aire de stockage (figure 16). Chaque chariot porteur a une capacité portante de 220 t et il est constitué de 8 roues motorisées supportant 2 jambes télescopiques pouvant opérer de 12 à 22 m de hauteur ainsi que d'un treuil monté sur la traverse reliant les 2 jambes. Le treuil est équipé du système Adele constitué de deux systèmes de verrouillage à marteau insérés dans les réservations du Pi prévues à cet effet.

57 Pi peuvent être stockés sur 3 étages maximum sur les 9000 m<sup>2</sup> de l'aire de stockage. Les chariots porteurs permettent aussi de livrer les Pi sur les transporteurs situés sur le tablier déjà coulé devant l'aire de préfabrication. Chaque paire de chariot élévateur

est programmée pour fonctionner en tandem et des instructions de direction pour les opérateurs sont préprogrammées en fonction des caractéristiques géométriques du Pi pris en charge.

### INSTALLATION DES PI

Deux transporteurs permettent l'approvisionnement des travées au lanceur sur le tablier déjà construit (figure 17). Chaque transporteur est constitué d'un cadre métallique (reprenant le poids des travées) reposant sur un groupe de roues de 2,04 m de diamètre et d'une cabine de pilotage pour l'opérateur. Les transporteurs ont une vitesse en charge de 1 km/h (4 km/h à vide) et doivent rester au-dessus des âmes de chaque travée avec une précision de  $\pm 300$  mm.

La séquence de pose et de progression du lanceur fait intervenir, lors d'un ballet complexe, l'ensemble des éléments qui le constitue : la poutre principale, la poutre support, la cinquième roue,

l'appui arrière sur le tablier, les appuis mobiles de la poutre support, les treuils de levage et le système Adele.

Après l'approvisionnement par le transporteur, chaque Pi est levé successivement par les deux treuils de la poutre

principale du lanceur. Chaque treuil est équipé d'un palonnier sur lequel est monté le système Adele qui vient engager le Pi au niveau des réservations prévues à cet effet.

Ensuite, la travée est abaissée sur 4 vérins hydrauliques provisoires qui permettent un ajustement vertical et horizontal. Le transfert sur les appuis définitifs se fait après réglage du Pi dans sa position finale et une fois que le lanceur a avancé à la travée suivante. Le lanceur est constitué de 2 poutres (poutre principale et poutre support) qui couissent longitudinalement l'une au-dessus de l'autre et se supportent mutuellement lors des différentes phases de lancement et d'installation des travées (figures 18 et 19).

Juste après la mise en place d'une travée, la poutre principale peut avancer jusqu'à la prochaine pile à l'aide de l'appui arrière sur le tablier et après avoir désengagé la cinquième roue qui relie la poutre principale à la poutre support.

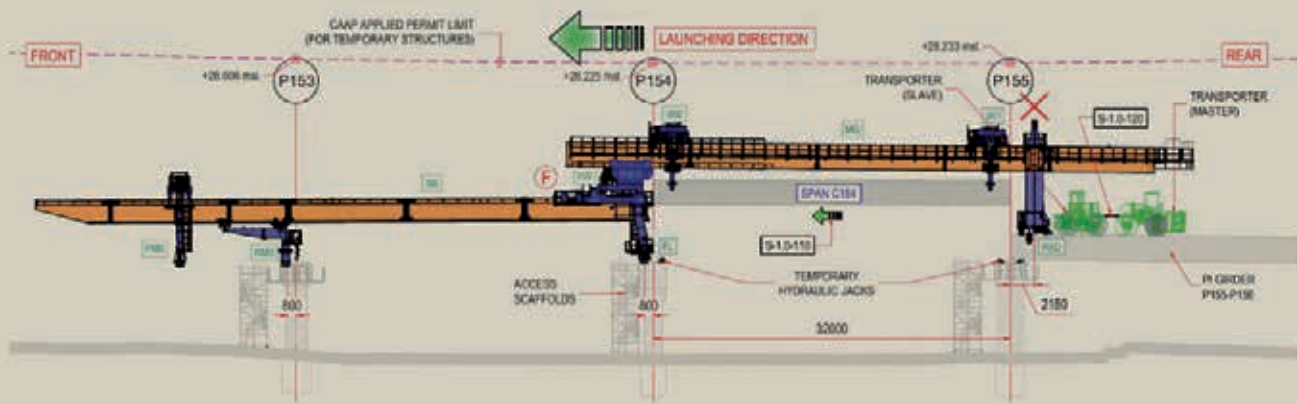
**18- Extrait de la cinématique du lanceur : levage de la travée (Pi).**

**19- Extrait de la cinématique du lanceur : lancement de la poutre support.**

**18- Excerpt of launcher kinematic drawing: lifting the span (Pi).**

**19- Excerpt of launcher kinematic drawing: launching the supporting girder.**

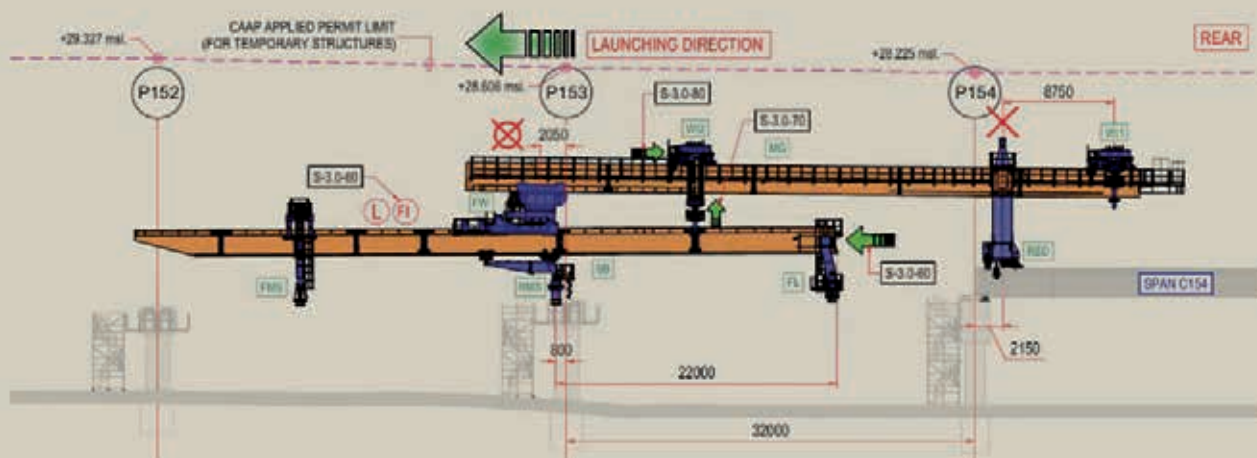
### EXTRAIT DE LA CINÉMATIQUE DU LANCEUR : LEVAGE DE LA TRAVÉE (Pi)



18

© BOUYGUES TP

### EXTRAIT DE LA CINÉMATIQUE DU LANCEUR : LANCEMENT DE LA POUTRE SUPPORT



19

© BOUYGUES TP





20

© BOUYGUES TP

La poutre support est maintenue par 3 appuis ajustables verticalement qui coulisent le long de la poutre lors des différentes phases de lancement. Au démarrage du lancement de la poutre support, sa partie arrière est suspendue à l'un des treuils de la poutre principale. La poutre support avance jusqu'à atteindre un état d'équilibre avec son nez avant situé au-delà de la prochaine

**20- Lanceur au bout de Ninoy Aquino Avenue.**

**20- Launcher at the end of Ninoy Aquino Avenue.**

pile. On engage alors la cinquième roue, ce qui permet d'ajuster verticalement la poutre support pour accoster la prochaine pile. Après libération du treuil et déplacement successif des 3 appuis le long de la poutre support, celle-ci atteint son état avant pose, soutenue à l'arrière et l'avant sur les chevêtres de la travée adjacente à celle qui sera posée lors du prochain cycle. L'ensemble des équipements du lanceur a été dimensionné spécifiquement

pour les contraintes du projet, y compris des rayons jusqu'à 103 m et des pentes de  $\pm 3,4\%$  (figure 20). La première travée a été installée le 15 septembre 2020. À la fin du mois d'avril 2021, 67 travées ont été posées, y compris celles de la zone à trois voies de Dr Santos qui comprend pour chaque travée un Pi clavé à un demi-Pi. Le cycle de pose se déroule sur 1 journée. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### TABLIER :

- 202 travées préfabriquées et 4 travées coulées en place pour une longueur totale de 6 647 m
- Volume total béton : 30 305 m<sup>3</sup>
- Quantité armatures passives : 6 303 t soit un ratio de 208 kg/m<sup>3</sup>
- Quantité précontrainte : 747 t soit un ratio de 24,6 kg/m<sup>3</sup>

### FONDACTIONS PROFONDES :

- 231 pieux forés pour une longueur totale de 5 750 m (longueur moyenne 24,9 m)
- Volume total béton : 29 333 m<sup>3</sup>
- Quantité armatures : 7 693 t soit un ratio de 262 kg/m<sup>3</sup>

### PILES ET TÊTE DE PILES :

- 231 piles coulées en place pour une longueur totale de 1 000 m (hauteur moyenne 4,3 m)
- Volume total béton : 7 827 m<sup>3</sup>
- Quantité armatures : 2 067 t soit un ratio de 264 kg/m<sup>3</sup>

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**FINANCEMENT :** Department of Transportation (DOTr) / Light Rail Transit Authority (LRTA)

**CONCESSIONNAIRE :** Light Rail Manila Corporation (LRMC)

**CONSULTANT INDÉPENDANT :** Egis International - Erigphi JV

**ENTREPRISE (conception - construction) :** Groupement Bouygues Travaux Publics - Alstom

### DESIGNER :

- Systra pour la partie Génie Civil du Viaduc et l'ensemble des stations (Architecture + Génie Civil + Fluides et Basse Énergie)
- Alstom pour la partie système

**FABRICATION DES CHARIOT PORTEURS :** Cimolai (Italie)

**FABRICATION DU LANCEUR :** Deal (Italie)

**FABRICATION DES COFFRAGES :** Ninive (Italie)

## ABSTRACT

### LRT1 MANILA - A LAUNCHER ADVANCES IN THE CITY

DOMINIQUE DRONIOU, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FRANKLIN GEDALOF, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - RONAN CHESNEL, SYSTRA

**An assessment of the site constraints** for construction of the extension of the LRT1 Line led the contractor Bouygues TP and its designer Systra to propose a customised solution reducing insofar as possible the construction contingencies along an alignment located in a dense urban area with numerous interfacing networks and infrastructure facilities. Given the Pi shape of the viaduct and the laying of whole spans, as well as the severe alignment constraints, specific equipment had to be designed and built for the project. The deck precasting and placing cycles have now been mastered and the bridge will be mostly completed during 2021. □

### LRT1 MANILA - UN LANZADOR AVANZA POR LA CIUDAD

DOMINIQUE DRONIOU, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FRANKLIN GEDALOF, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - RONAN CHESNEL, SYSTRA

**La evaluación de las restricciones de emplazamiento** para la construcción de la ampliación de la Línea LRT1 ha llevado a la empresa Bouygues TP y al gabinete de diseño Systra a proponer una solución a medida que reduce al máximo los riesgos de construcción a lo largo de una línea situada en una densa zona urbana con numerosas redes e infraestructuras de conexión. La forma en Pi del viaducto y la colocación de luces enteras, por una parte, y una alineación con severas limitaciones, por otra, han precisado el diseño y la construcción de equipos específicos para el proyecto. Los ciclos de prefabricación e instalación del tablero están actualmente bajo control, y el puente quedará en gran medida finalizado a lo largo de 2021. □





1  
© SIXENSE

# INSTRUMENTATION DES GRANDS OUVRAGES D'ART, DE RION-ANTIRION EN 2004 JUSQU'À 1915ÇANAKKALE EN 2021

AUTEURS : STÉPHANE JOYE, DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT, SIXENSE MONITORING -  
MARCEL DEWIT, CHARGÉ D'AFFAIRE COMMERCIAL, SIXENSE MONITORING

LES GRANDS OUVRAGES D'ART SONT À LA POINTE DE LA TECHNOLOGIE. SOUMIS À DES ENVIRONNEMENTS CONTRAIGNANTS, PRÉVUS POUR DURER PLUS DE 100 ANS, ILS DOIVENT ÊTRE SUIVIS ET ENTRETENUS. LA SURVEILLANCE PAR UN SYSTÈME DE CAPTEURS PERMET D'OBTENIR DES INFORMATIONS ESSENTIELLES ET D'ANTICIPER LA MAINTENANCE EN RÉALISANT DES PRÉVISIONS DE VIEILLISSEMENT. DEPUIS UNE VINGTAINE D'ANNÉES, SIXENSE CONÇOIT ET INSTALLE DES SYSTÈMES DE SURVEILLANCE SPÉCIFIQUEMENT DÉDIÉS AUX OUVRAGES D'ART : ROBUSTES, PERFORMANTS ET D'UNE UTILISATION FACILE. REVUE DE 7 OUVRAGES EMBLÉMATIQUES DES 15 DERNIÈRES ANNÉES, SOUS SYSTÈME DE SURVEILLANCE SIXENSE.

## SIXENSE ET ADVITAM

Depuis plus de 20 ans, Sixense réalise et installe des systèmes de surveillance sur les plus grands ouvrages d'art du monde. L'histoire commence en 2000 avec la création de la société Advitam,

qui sera ensuite intégrée à Sixense en 2014. Advitam est créée afin de réaliser la surveillance et le suivi des ruptures de fils des câbles de haubans et précontrainte. Le système d'acquisition versatile et performant créé pour

cet objectif permet rapidement à l'entreprise d'étendre le périmètre de la surveillance à tous types de capteurs pouvant être installés sur les infrastructures. Le système est particulièrement adapté pour intégrer les capteurs à

haute fréquence d'acquisition mesurant des vibrations structurelles (pièces de pont ou câbles). En parallèle de l'acquisition, un logiciel de gestion de l'ouvrage et de traitement des données acquises est développé : Scanprint, qui



**1- Pont Yavuz Sultan Selim : Installation du système de surveillance sur le câble porteur.**

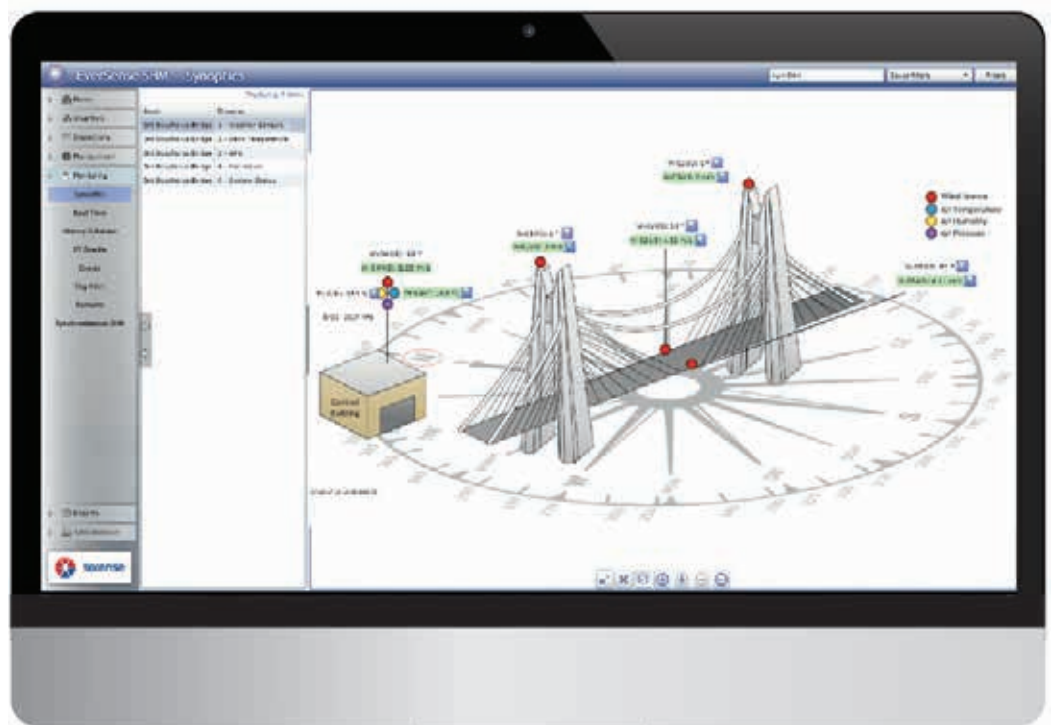
**2- Système de Surveillance Sixense Eversense®.**

**3- Pont Charilaos Trikoupis (Rion-Antirion, Grèce).**

**1- Yavuz Sultan Selim Bridge: Installation of the monitoring system on the suspension cable.**

**2- Sixense Eversense® monitoring system.**

**3- Charilaos Trikoupis Bridge (Rion-Antirion, Greece).**



2 © SIXENSE

deviendra EverSense. Ce logiciel permet autant de suivre les opérations de maintenance de l'ouvrage que de visualiser et comparer les données enregistrées par les capteurs. Il permet également de mettre en place des systèmes d'alerte informant l'exploitant lorsqu'une mesure dépasse un seuil prédéfini.

Sixense développe aussi des outils de mesure dédiés à l'auscultation des structures de précontrainte et à câble. Ces outils permettent par exemple la détection ultrasonore des fils endommagés au niveau des zones d'ancrage, la détection de vides d'injection dans les gaines, la mesure de tension d'éléments tendus (par ultrason ou méthode vibratoire) ou la mesure de précontrainte dans le béton par méthode de relâchement de contrainte.

Enfin, le logiciel Scanprint Eversense, dont un extrait est montré en figure 2, est étendu pour permettre la digitalisation des opérations d'inspection des ouvrages en permettant l'enregistrement de photographies, le repérage des défauts sur représentation digitale de l'ouvrage, ou encore la numérisation des manuels de maintenance.

Un des premiers ouvrages significatifs à bénéficier de ces outils de surveillance ou d'inspection est le pont Rion-Antirion (Charilaos Trikoupis) en Grèce en 2004.

### **PONT RION-ANTIRION (CHARILAOS TRIKOUPIIS, GRÈCE, 2004)**

Fort d'une solution fiable et rendant un grand service aux entreprises d'explo-

tation, c'est en 2004 que Gefyra choisit Sixense (Advitam) pour mettre en œuvre une solution de gestion de son ouvrage et un système de surveillance adapté à cette infrastructure hors normes. L'ouvrage Charilaos Trikoupis (figure 3) est achevé en 2004 et franchit les 2 252 m du détroit de Corinthe à l'est, au niveau de la Ville de Patras. Cette région est à la fois sismique et soumise à des vents violents. Des contraintes qui ont conduit à une conception tout à fait innovante de l'ouvrage, avec un tablier stabilisé par des amortisseurs et soutenu par des pylônes en diamant à 4 jambes. Les piles des pylônes sont, quant à elles, lestées et mobiles au fond du détroit afin de se mouvoir en cas de séisme. Le système de surveillance

est tout aussi adapté à ces conditions exceptionnelles : il se concentre sur la mesure des vents et séismes ainsi que sur la réaction de l'ouvrage à de tels événements en prenant en compte la température générale de l'ouvrage, les vibrations du tablier et des haubans et les concentrations de contraintes dans les pylônes et le tablier.

Le système est toujours exploité par Gefyra depuis plus de 15 ans, ce qui en fait un des plus anciens systèmes de "Structural Health Monitoring" (SHM) encore en service.



3 © VINCI

### **LES PONTS SUSPENDUS DU FORTH ET DE LA SEVERN (ROYAUME-UNI, 2006)**

En 2004, le pont autoroutier du Forth (construit en 1964 à Edimbourg) a été le premier pont suspendu en Europe à permettre l'ouverture de l'enveloppe de ses câbles porteurs pour une inspection visuelle. Des problèmes de corrosion y ont été observés. Ces découvertes ont amené le gestionnaire du pont à mettre en œuvre un système d'instrumentation acoustique permettant de suivre le processus de corrosion en quantifiant le nombre de ruptures de fils dues à la corrosion.

En 2006, Sixense a été sélectionné par Forth Estuary Transport Authority (FETA) pour la fourniture, l'installation, la mise en service et le traitement des données d'un système acoustique. Le système écoute en permanence les activités acoustiques dans les câbles porteurs à l'aide des capteurs acoustiques collés sur les colliers des suspentes. Ces colliers compactent les câbles constitués de 11 618 fils et transmettent parfaitement les événements acoustiques liés à des ruptures de fils dans les câbles. Comme l'évènement acoustique d'une rupture de fils est très spécifique, chaque donnée enregistrée par le système est analysée pour confirmer si cet évènement est bien lié à une rupture de fils ou à un bruit ambiant. Peu après la mise en place de l'instrumentation, un système de déshumidification a été installé sur les câbles porteurs avec pour objectif de mettre fin au problème de corrosion. ▽





4

© FREYSSINET

Peu après, le pont sur la Severn (figure 4) et le pont Humber ont été traités de la même façon avec la mise en place par Sixense d'un système de surveillance acoustique de leurs câbles porteurs et haubans.

### LES PONTS DU BOSPHORE (TURQUIE, 2007-2016)

Le détroit très stratégique du Bosphore, incrusté entre la Mer de Marmara et la Mer Noire, comporte aujourd'hui 3 ponts : le Pont des Martyrs du 15 juillet (premier pont), le Pont Fatih Sultan Mehmet (deuxième pont) et le

Pont Yavuz Sultan Selim (troisième pont, figure 5). Entre 2007 et 2016, ces trois ponts ont été instrumentés par Sixense. Le premier pont sur le Bosphore, d'une longueur de 1 074 m entre les pylônes, compte toujours parmi les 25 plus longs ponts suspendus au monde. Construit en 1973, il a la particularité d'avoir des suspentes diagonales (conçues également sur 3 autres ponts suspendus importants). Le système d'instrumentation composé de 168 capteurs a été installé en 2007 et a été opérationnel jusqu'au remplacement des suspentes en 2014.

**4- Pont de la Severn, (UK).**

**5- Pont Yavuz Sultan Selim (Bosphore 3, Turquie).**

**4- Severn Bridge (UK).**

**5- Yavuz Sultan Selim Bridge (Bosphorus 3, Turkey).**

Sur le deuxième pont du Bosphore, Sixense a été mandaté de 2009 à 2019 pour deux missions d'instrumentation et d'auscultations. La première mission consistait à mesurer la tension des boulons des colliers des suspentes sur les câbles porteurs. Cette mission a été exécutée par une méthode spécifique d'ultrason (Upus). La deuxième mission consistait en un système d'instrumentation en continu temporaire et qui a été maintenu en place pendant plusieurs années.

Enfin en 2016, Sixense a été sélectionné par le constructeur Hyundai/SK



5

© FRANCIS VIGOURLOUX



pour fournir, installer et mettre en service un système d'instrumentation sur le troisième pont sur le Bosphore (figure 1).

Le Pont Yavuz Sultan Selim (côté Mer Noire) est une structure hybride : il est à la fois suspendu et haubané. Il se distingue également par son originalité puisqu'aucun pont de ce genre n'a été construit dans le monde depuis le célèbre Pont de Brooklyn au 19<sup>e</sup> siècle. Il bat également plusieurs records dans le domaine des ponts avec les pylônes les plus hauts (322 m), le tablier le plus large (59 m) et la plus longue portée de tablier haubané (1 408 m). Le système d'instrumentation intègre environ 130 capteurs de différents types (GPS, accéléromètres, capteurs de déplacements, inclinomètres, stations de météo et capteurs de contrainte). Seulement 10 mois séparaient la signature du contrat de la mise en service du système. Sixense s'occupe également de la maintenance du système.

### **PONT DE NORMANDIE (FRANCE, 2011)**

Le Pont de Normandie est une référence française. Lors de sa mise en service en 1995, il détient le record mondial de portée avec 856 m entre les deux pylônes. Il est également à



6  
© ALEXIS TOUREAN

**6- Pont de Normandie  
(France).**

**7- Pont de Russky  
(Russie).**

**6- Normandy Bridge  
(France).**

**7- Russky Bridge  
(Russia).**

l'origine de nombreuses innovations qui ont permis une réelle avancée technologique (aérodynamique de la structure, technologies des câbles de haubans). Quelques années après sa mise en service, cet ouvrage exceptionnel, soumis à des conditions environnementales exigeantes (vents, trafic), nécessite la mise en œuvre d'un système de surveillance afin de vérifier son évolution et d'anticiper les vieillissements prématurés. Ainsi, de 2011 à 2018, la Chambre de Commerce du Havre

a mandat Sixense pour instrumenter l'ouvrage, avec une attention particulière portée sur la surveillance des ruptures de fils des câbles de haubans. En complément de cette surveillance en continu, Sixense a pu mettre en œuvre un outil de mesure de l'état de dégradation des câbles de haubans au niveau des ancrages, avec l'évaluation de la corrosion et de la rupture des fils dans les ancrages (figure 6).

### **PONT DE L'ÎLE ROUSSKI (RUSSIE, 2013)**

En 2012, s'achève la construction du plus long pont à haubans du monde permettant de relier l'île Rousski à la ville de Vladivostok, à l'extrême est de la Russie. L'ouvrage (figure 7) a une portée principale de 1 104 m.

Les haubans, avec 650 m de long, sont les plus grands haubans du monde. Une particularité qui les rend d'autant plus sensibles aux vibrations. Et même si d'imposants amortisseurs visent à limiter les vibrations des câbles, il est important de surveiller l'amplitude de mouvement potentiel. Encore une fois, Sixense est sélectionné pour sa connaissance particulière de la surveillance vibratoire et se voit confier l'instrumentation de la vibration des haubans de l'ouvrage. ▷



7  
© FREYSSINET





8

© SIXENSE

### PONT DE L'ÎLE DE RÉ (FRANCE, 2019)

Il n'a fallu que 20 mois, en 1988, pour construire le pont de 2926 m qui relie l'île de Ré à la ville de La Rochelle (figure 8). En 2018, le pont a connu une défaillance d'un de ses câbles de précontrainte externes. Le Département de la Charente-Maritime, maître d'ouvrage et propriétaire du pont, a confié à Sixense et Freyssinet la mission de sécuriser la structure, d'inspecter par ultrasons les ancrages des câbles existants, de surveiller acoustiquement leurs défaillances potentielles et de remplacer le câble rompu.

La technologie de surveillance acoustique EverSense® et le remplacement

du câble sont des compétences essentielles de Sixense et Freyssinet.

Toutefois, avant le viaduc de l'île de Ré, l'inspection ultrasonique UsScan® des ancrages n'avait été effectuée que sur des torons de câbles de haubans protégés individuellement, mais pas encore sur des torons nus de câbles de précontraintes en torons clairs injectés au coulis de ciment.

En précontrainte extérieure, le risque de défaillance se situe dans les premiers mètres après l'ancrage, plus loin que dans les câbles de haubans. Sixense et l'Université Gustave Eiffel (UGE, anciennement IFSTTAR) ont travaillé au développement de la technologie ultrasonique UsScan® afin de l'appliquer

#### 8- Viaduc de l'île de Ré (France).

#### 9- Pont de 1915Çanakkale (Turquie).

#### 8- Île de Ré viaduct (France).

#### 9- 1915Çanakkale Bridge (Turkey).

de sécuriser l'ouvrage par un état des lieux des ancrages et la surveillance continue des défaillances futures potentielles. Aujourd'hui, le pont de l'île de Ré continue d'être contrôlé par les équipes de Sixense afin de détecter de futures ruptures de fils.

### LE PONT 1915ÇANAKKALE (DÉTROIT DES DARDANELLES, TURQUIE, 2020)

En Turquie, à 400 km au sud-ouest d'Istanbul, le détroit des Dardanelles est l'unique accès entre la Mer Noire et la Mer Méditerranée. C'est là, à proximité de la ville de Çanakkale (ancienne ville de Troie), que se construit le futur pont suspendu ayant la travée centrale

aux torons clairs injectés dans le coulis de ciment jusqu'à 2 m de l'ancrage. Pour ce projet, 85 ancrages ont été inspectés par UsScan® et plus de 250 capteurs acoustiques ont été installés afin



9

© SIXENSE



la plus longue du monde : le pont de 1915Çanakkale (figure 9).

Ce pont suspendu de 3563 m de long est composé de deux pylônes distants de 2023 m supportant un tablier de 45 m de large, par l'intermédiaire de 2 câbles porteurs et de ses suspentes.

L'ouvrage est réalisé par un consortium de 2 entreprises turques (Limak et Yapı Merkezi) et 2 entreprises sud-coréennes (DL E&C et SK ecoplant). Sixense a été sélectionné par ce consortium pour concevoir, fabriquer et installer un système d'instrumentation exceptionnel doté de plus de 1000 capteurs. Ces 1000 capteurs vont permettre de disposer d'une vision en continu des multiples comportements de l'ouvrage face aux sollicitations auquel il sera soumis. Ainsi, le système permettra de connaître notamment

les vibrations du tablier et des câbles, les concentrations de contraintes dans les éléments mécaniques, la température en différents points de l'ouvrage, les informations météo ou de sismique, ou encore la concentration du trafic sur l'ouvrage.

Mais bien plus qu'une visualisation des phénomènes, le système permettra de réaliser des prédictions de scénario en faisant varier les paramètres environnementaux de l'ouvrage. Ainsi, l'exploitant pourra estimer le vieillissement de l'ouvrage en fonction de ses prévisions d'augmentation du trafic.

### CONCLUSION

Aux quatre coins du monde, des ouvrages exceptionnels sont construits pour désenclaver une région ou fluidifier le trafic international. Ces ouvrages font souvent la fierté d'une nation, notam-

ment par le défi technologique qu'ils relèvent. Comme pour un athlète de haut niveau, franchir d'un seul tenant des mers entières ou braver tempêtes et séismes nécessite une surveillance exigeante afin de conserver un état de santé au plus haut niveau. C'est bien l'objectif de la surveillance de santé structurelle des ouvrages (ou SHM : Structural Health Monitoring).

Ces ouvrages d'art exceptionnels sont la vitrine emblématique de l'activité SHM de Sixense qui réalise également au quotidien la surveillance de nombreux ouvrages plus modestes mais tout autant stratégiques pour les axes de communication et importants pour la sécurité des usagers.

Le tableau A donne les caractéristiques principales des ouvrages et de leur systèmes d'instrumentation décrits dans l'article.

Le vieillissement du parc d'infrastructures de beaucoup de pays comme la France est une préoccupation majeure à court terme et il faut tout mettre en œuvre pour éviter les catastrophes semblables à celles des effondrements du pont de Gênes en Italie ou de Mirepoix en France. L'enjeu des autorités, collectivités et gestionnaires d'ouvrage tout autant que des fournisseurs de systèmes de monitoring d'ouvrages, est de pouvoir équiper rapidement et à grande échelle les structures afin de prévenir les accidents.

De nombreuses initiatives voient le jour, notamment en France, avec l'appel à projets des "Ponts Connectés" du Cerema qui stimule l'innovation pour une application de cet objectif à court terme. Un appel à projets sur lequel Sixense a été retenu sur deux projets : IA2 et Viva. □

TABLEAU A : TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES ET DE LEUR INSTRUMENTATION

|                                      | Pont Rion- Antirion | Pont de Forth | Pont de la Severn | Pont des Martyrs du 15 juillet (Bosphore 1) | Pont Fatih Sultan Mehmet (Bosphore 2) | Pont de Normandie  | Pont de l'île Rousski | Pont Yavuz Sultan Selim (Bosphore 3) | Pont 1915Çanakkale |
|--------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Date de mise en service de l'ouvrage | 2004                | 1964          | 1966              | 1974  | 1988                                  | 1995               | 2012                  | 2016                                 | 2022               |
| Pays                                 | Grèce               | Angleterre    | Angleterre        | Turquie                                     | Turquie                               | France             | Russie                | Turquie                              | Turquie            |
| Type d'ouvrage                       | Haubané             | Suspendu      | Suspendu          | Suspendu                                    | Suspendu                              | Haubané            | Haubané               | Suspendu avec haubans                | Suspendu           |
| Nombre de pylônes                    | 4 pylônes           | 2 pylônes     | 2 pylônes         | 2 pylônes                                   | 2 pylônes                             | 2 pylônes          | 2 pylônes             | 2 pylônes                            | 2 pylônes          |
| Longueur totale                      | 2880 m              | 1510 m        | 1598 m            | 1560 m                                      | 1090 m                                | 2141 m             | 1885 m                | 1875 m                               | 3563 m             |
| Portée principale                    | 3 x 560 m           | /             | 988 m             | 1074 m                                      | /                                     | 856 m              | 1104 m                | 1408 m                               | 2023 m             |
| Période d'instrumentation            | 2004-2021 (16 ans)  | 5 ans         | 2 ans             | 7 ans                                       | /                                     | 2011- 2018 (7 ans) | 2012-2021 (9 ans)     | 2016-2021 (5 ans)                    | /                  |
| Nombre de capteur                    | 60                  | 12            | 15                | 168   | /                                     | 85                 | 114                   | 130                                  | 1080               |

© SIXENSE

### ABSTRACT

## INSTRUMENTATION OF LARGE ENGINEERING STRUCTURES, FROM RION-ANTIRION IN 2004 TO 1915ÇANAKKALE IN 2021

STÉPHANE JOYE, SIXENSE MONITORING - MARCEL DEWIT, SIXENSE MONITORING

**Large engineering structures** are exceptional infrastructure facilities defying constraining environments. They are built to last several decades. Their durability and user safety are major challenges which can only be met by constant monitoring of their state of health and regular maintenance. For more than 15 years Sixense has implemented rugged, autonomous monitoring systems, highly efficient and easy-to-use, especially suitable for this type of infrastructure. The latest innovations in signal processing make it possible to achieve behavioural predictions which are essential for maintenance scheduling by operators. These solutions are of fundamental importance for the structure owners, to avoid the disasters caused by ageing of the installed base of infrastructure worldwide. The article presents the benefits of the monitoring systems implemented by Sixense since 2004 via seven significant structures throughout the world. □

## INSTRUMENTACIÓN DE GRANDES OBRAS DE FÁBRICA DE RION-ANTIRION EN 2004 A 1915ÇANAKKALE EN 2021

STÉPHANE JOYE, SIXENSE MONITORING - MARCEL DEWIT, SIXENSE MONITORING

**Las grandes obras de fábrica** son infraestructuras excepcionales pensadas para los entornos más exigentes y construidas para durar varias décadas. Su durabilidad y la seguridad de los usuarios son objetivos claves que solo pueden alcanzarse mediante un seguimiento continuo de su estado de salud y un mantenimiento periódico. Desde hace más de 15 años, Sixense instala sistemas de vigilancia robustos, autónomos, eficaces y fáciles de utilizar, especialmente adaptados a este tipo de infraestructuras. Las últimas innovaciones en materia de tratamiento de la señal permiten realizar previsiones de comportamiento, esenciales para planificar el mantenimiento por parte de los operadores. Estas soluciones son fundamentales para los propietarios de construcciones para evitar catástrofes provocadas por el envejecimiento del parque mundial de infraestructuras. El artículo presenta el interés de los sistemas de vigilancia instalados por Sixense desde 2004 a través de 7 obras significativas en distintos lugares del mundo. □





© DB

# LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE S21 STUTTGART - ULM EN ALLEMAGNE

AUTEURS : JULIEN SIQUIER, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT -  
EMMANUEL PRUDENT, DIRECTEUR DE TRAVAUX TERRASSEMENT, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

**EN 2018, VINCI A REMPORTÉ PLUSIEURS LOTS DU CHANTIER DE CONSTRUCTION DE LA LIGNE À GRANDE VITESSE STUTTGART-ULM (STUTTGART 21 - S21) EN ALLEMAGNE. CE GRAND PROJET MENÉ PAR LA DEUTSCHE BAHN PERMETTRA À TERME D'AMÉLIORER LA DESSERTÉ DE LA VILLE DE STUTTGART SUR LE PLAN RÉGIONAL ET INTERNATIONAL. CONFRONTÉES À UN CHANTIER TRÈS EXCÉDENTAIRE EN MATÉRIAUX, LES ÉQUIPES DE VINCI ONT PROPOSÉ UNE VARIANTE EN MATÉRIAUX TRAITÉS AU LIANT, NÉCESSITANT DE S'ADAPTER À UN RÉFÉRENTIEL FERROVIAIRE EXIGEANT ET TRÈS DIFFÉRENT DES NORMES FRANÇAISES.**

## INTRODUCTION

Avec plus de 650 000 habitants dans une agglomération de plus de 2,8 millions d'habitants, la ville de Stuttgart est une ville économiquement très active du sud-ouest de l'Allemagne avec de nombreuses industries gravitant autour de l'automobile, ainsi qu'un des plus importants nœuds ferroviaires allemands. Afin d'améliorer la desserte de la ville et de mieux relier Stuttgart à Munich, un grand projet ferroviaire a vu le jour dans les années 90.

Le projet consiste à transformer la gare du centre-ville en gare souterraine et à construire également une ligne à

grande vitesse entre Stuttgart et Ulm, s'inscrivant dans le projet de la Magistrale Paris-Budapest (figure 2). Le projet de ligne nouvelle d'environ 120 km (dont 60 km de tunnels) permettra ainsi de gagner 30 minutes sur le trajet Stuttgart - Ulm, avec une vitesse de référence de 250 km/h (figures 3 et 4). Les travaux menés par la Deutsche Bahn AG (DB AG) ont démarré en 2010, la mise en service complète est prévue en décembre 2025. Le budget global du projet est de 8,5 milliards d'euros. En raison de la taille et de la complexité du projet, la DB AG a décidé de créer en 2013 une société de projet dédiée :

## 1- Vue aérienne du chantier.

### 1- Aerial view of the site.

la DB Projekt Stuttgart - Ulm GmbH (DB PSU). Cette société est chargée de la planification, des passations d'appels d'offre, de la réalisation et de la mise en service de la ligne.

Vinci Construction Terrassement a remporté deux lots du tracé sur la section 1.4 dans les environs de l'aéroport

de Stuttgart, section d'environ 10 km, comprenant les terrassements, l'assainissement, les ouvrages d'art et les voiries latérales. Les travaux ont démarré en fin 2018 et doivent être terminés en 2021 (figure 1).

La section à réaliser étant très excédentaire, et les possibilités de dépôt très réduites, les équipes ont ainsi proposé une variante en matériaux traités pour réemployer plus de matériaux de déblais sur site. Ce premier grand chantier en Allemagne pour l'entreprise a impliqué une adaptation profonde des équipes aux référentiels techniques ferroviaires allemands.





© DB 2

## RÉFÉRENTIELS FERROVIAIRES ET PROJET DE RÉFÉRENCE DU CLIENT

Afin d'être en mesure de proposer et de faire accepter cette solution, il a fallu comprendre et intégrer les référentiels de la DB AG pour la conception des lignes à grande vitesse en Allemagne. Sur ces lignes, les rails sont installés sur des dalles en béton préfabriquées reposant sur une structure en grave ciment - couche de forme granulaire. Ce système nécessite moins d'entretien en exploitation que les voies ballastées. Néanmoins cette structure rigide ne tolère que très peu les tassements

**2- Ligne magistrale Paris-Budapest.**  
**3- Plan d'ensemble du projet Stuttgart-Ulm (tracé Stuttgart-Köngen).**

**2- Main line Paris-Budapest.**  
**3- General plan of the Stuttgart-Ulm project (Stuttgart-Köngen alignment).**

ou les déformations : 20 mm au maximum. Les référentiels ferroviaires imposent ainsi la justification d'un tassement résiduel global faible au moment de la construction des dalles béton : celui-ci ne doit pas excéder 15 mm, car les tassements liés aux charges de trafic sont estimés à 5 mm, lorsque la stabilité dynamique de l'ensemble (remblai + sous-sol) est atteinte. Le tassement est décomposé en trois parties : tassement du sous-sol, tassement propre du remblai ou déblai, tassement lié à la charge ferroviaire. Ces tassements sont surveillés sur le chantier à l'aide de points de mesure qui sont installés à

l'axe sur la PST ou la couche de forme dès leur achèvement tous les 50 m en remblais et 100 m en déblais.

Afin de minimiser les tassements et l'influence du sous-sol, les profils en travers types des lignes à grande vitesse allemandes sont ainsi plus qualitatifs que les lignes françaises, malgré une vitesse de référence plus faible :

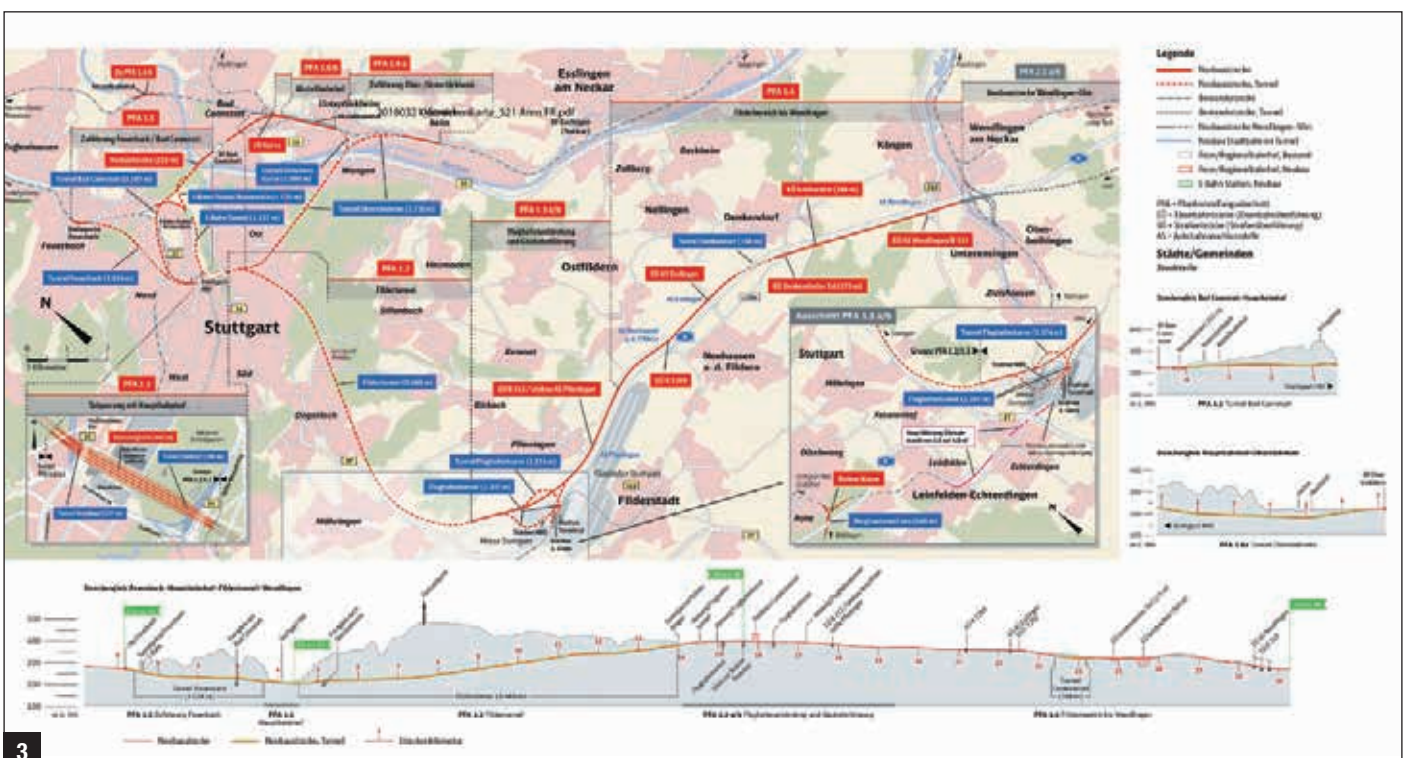
→ Restrictions sur les matériaux de remblais.

→ En déblai (ou remblai rasant) : réalisation d'une substitution des matériaux du site en matériaux de remblais autorisés sur au moins 3 m d'épaisseur sous rail.

Dans le référentiel ferroviaire allemand (RIL 836 pour les terrassements), les matériaux autorisés pour les remblais ferroviaires sont listés dans le tableau 836.4101A01 de la RIL : il s'agit principalement des matériaux granulaires, des sables, ou de matériaux à granulométrie étalée mais comportant cependant moins de 15% de fines (< 0,063 mm). Les sols fins naturels en corps de remblai ne sont pas autorisés, quelle que soit la hauteur du remblai : leur réemploi n'est autorisé qu'avec un traitement au liant hydraulique ou au ciment, devant respecter les conditions restrictives suivantes :

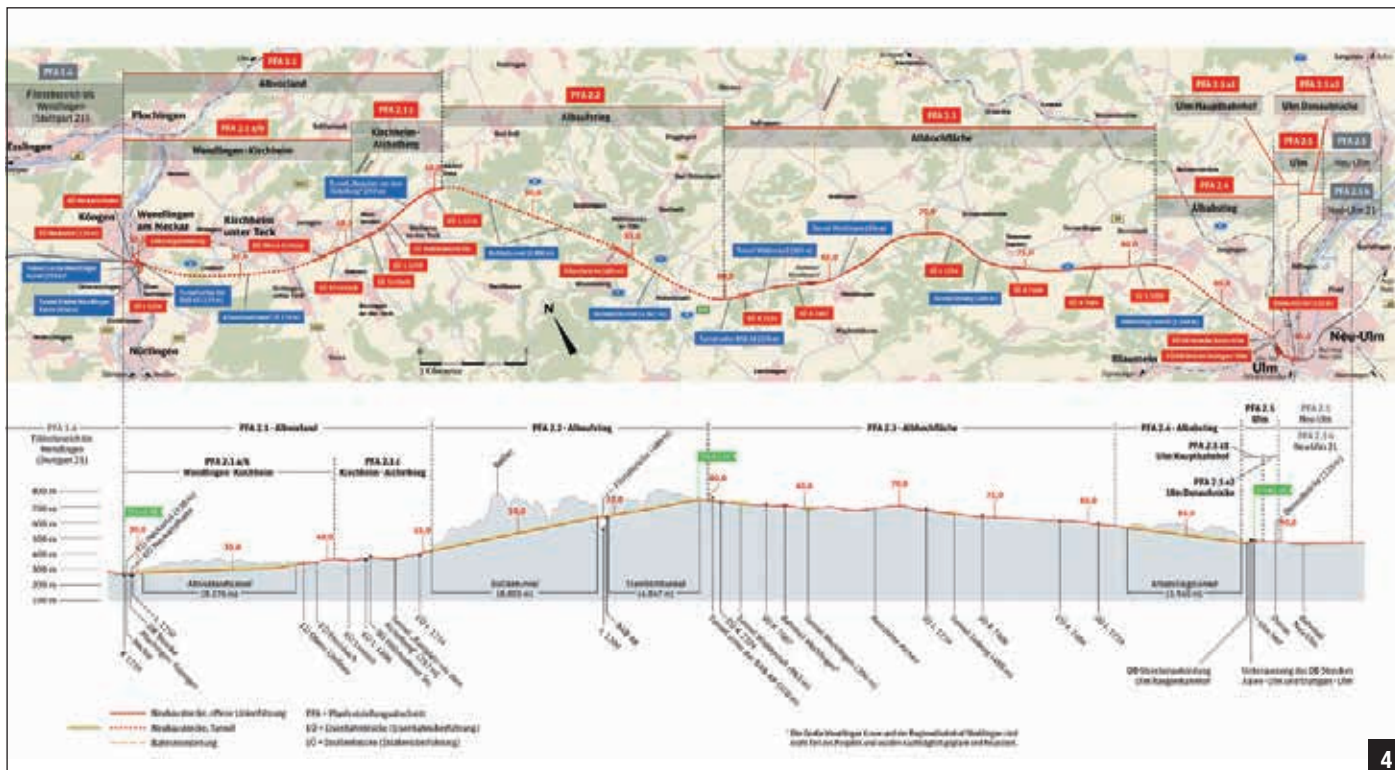
→ Dosage minimum de 3% en liant hydraulique ou en ciment.

→ Résistance à la compression des éprouvettes traitées  $q_u \geq 0.5 \text{ MPa}$  à 28 jours (stockage à 20°C). ▷



© DB 3





4 © DB

→ Résistance à la compression des éprouvettes traitées  $q_u \geq 0,3 \text{ MPa}$  à 27 jours + 1 jour dans l'eau. La diminution de la résistance à la compression ne doit également pas excéder 50% après le passage dans l'eau.

#### VALIDATION DE LA VARIANTE EN MATÉRIAUX TRAITÉS

Les matériaux de la section 1.4 classifiés TM ou TA suivant la DIN 18196 ne pouvaient donc pas être réemployés sans traitement de sol en corps de remblai suivant la RIL 836. Il s'agit en effet de :

→ Limons (Lösslehm-qlol) : limons de surface (alluvions du quaternaire),

sur une épaisseur de 1 m à 5 m environ. Ils sont classifiés TM ou TA selon la norme DIN 18196.

→ Umlagerungsedimente (Qum) : limons de surfaces plus argileux, également classés TM-TA, on en trouve dans une moindre mesure que les limons qlol.

→ Turmeriton (Si2) : il s'agit de matériaux plus argileux comportant parfois plus de blocs calcaires.

→ Arienkalk (Si1) : jusqu'à 7-8 m de profondeur.

→ Angulatensandstein (he2) : rencontré dans les fonds de déblais profonds.

Afin de faire valider la solution variante, l'entrepreneur a dû réaliser des son-

#### 4- Plan d'ensemble du projet Stuttgart-Ulm (tracé Köngen-Ulm).

#### 5- Calcul des volumes de déblai par type de matériaux.

#### 4- General plan of the Stuttgart-Ulm project (Köngen-Ulm alignment).

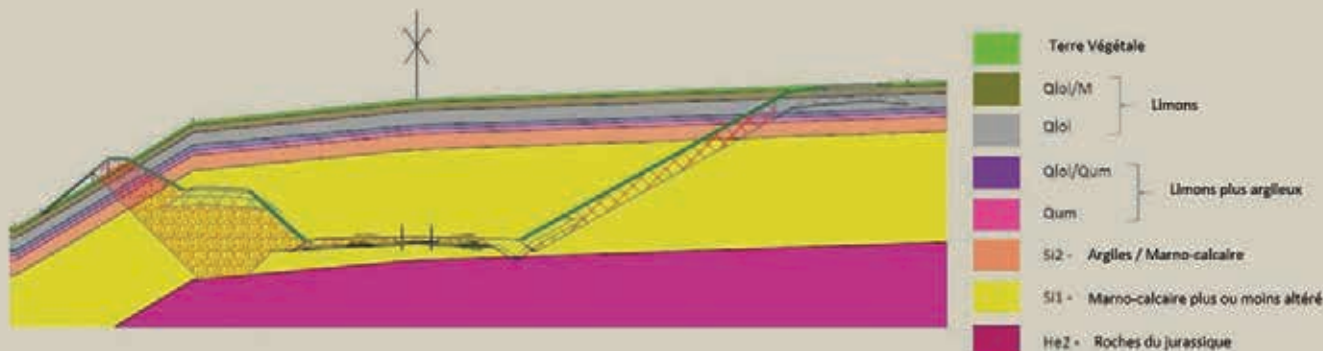
#### 5- Calculation of excavation volumes by type of material.

dages complémentaires à la pelle en phase de préparation de chantier afin de vérifier leur aptitude au traitement. Les besoins en matériaux de remblais sur la section sont les suivants :

- Remblais ferroviaires.
- Substitutions de fonds de déblais ferroviaires ou remblais rasants.
- Purges sous ouvrages ferroviaires.
- Couches de protection contre les remontées capillaires sous remblais ferroviaires.
- Merlons accolés au remblai ferroviaire.
- Remblais de rétablissements routiers et autoroutiers.

Le lot à réaliser est largement excédentaire en matériaux de déblais.

### CALCUL DES VOLUMES DE DÉBLAI PAR TYPE DE MATÉRIAUX



5





La solution proposée consiste à réaliser toutes les couches ferroviaires en traitement de sol, soit 290 000 m<sup>3</sup>. Cela permet de réduire les évacuations en dépôt très coûteuses et les apports en matériaux conformes à la RIL. Le niveau de prix élevé des dépôts s'explique par la pression foncière liée au caractère très excédentaire du projet S21 dans son ensemble (nombreux tunnels). La définition du dosage en liant et du type de liant est à réaliser par l'entreprise de travaux (comme en France). Le calibrage du compactage et des épaisseurs a été mené lors de planches d'essais. Les essais d'aptitude au traitement (confection des éprouvettes et résistance à la compression) ont été réalisés dans le laboratoire interne

de l'entreprise à Morangis en France. Deux liants hydrauliques ont été testés :  
 → Bodenbinder 300 de Schwenk : ce liant contient 70 % de ciment et 30 % de chaux ;  
 → Multicrete ST de Heidelberg Cement. Les éprouvettes ont été testées avec des dosages de 3 %, 4,5 % et 6 %. Des écrasements sur les éprouvettes ont été réalisés à 7 jours, 14 jours, 28 jours puis 27+1 jour dans l'eau. Les limons (qlol) ont donné de très bons résultats à 3 % avec les deux liants ( $q_u \sim 1$  MPa à 28 jours). Les formations si1 ont donné des résultats corrects à 3 % (mais moins bons que les limons). Pour les si2 (ne comportant pas de blocs), le traitement fonctionnait à partir de 4,5 %. La Deutsche Bahn

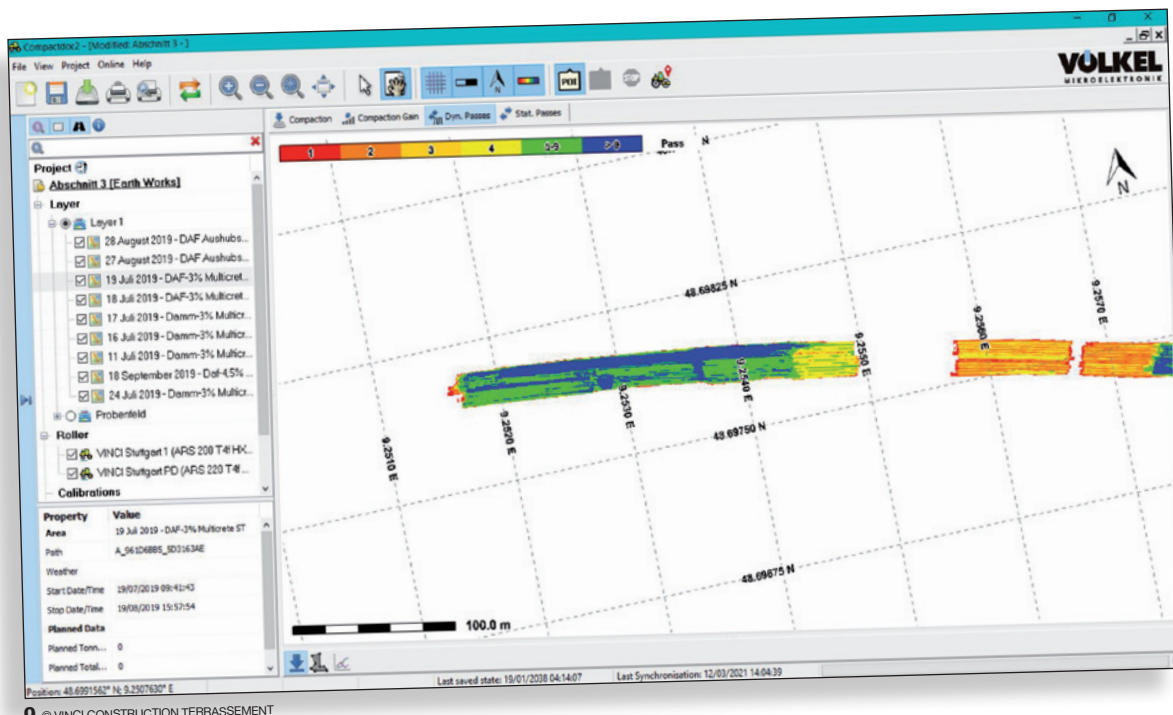
a validé uniquement le réemploi des limons en remblais ferroviaires, les autres matériaux pouvant être réemployés seulement en merlons accolés. Il a été ainsi nécessaire de vérifier les quantités de limons disponibles sur le chantier, ce qui a été réalisé à l'aide d'un modèle permettant d'estimer les quantités de matériaux par formation géologique en utilisant l'ensemble des sondages disponibles (figure 5). La quantité de limons était tout juste suffisante pour couvrir les besoins.

### ORGANISATION DES CONTRÔLES

Un laboratoire a été mis en place sur le chantier avec des équipes françaises de l'entrepreneur, assistées d'un chargé de mission géotechnique allemand, afin

de réaliser les bons choix d'investissement de matériel local adapté aux normes et de former les équipes françaises aux essais allemands. Chaque déblai a fait l'objet d'une reconnaissance particulière. Une référence Proctor par déblai et par formation géologique a dû être définie compte tenu de la variabilité de ce paramètre pour un même matériau. Les essais ont été réalisés contradictoirement avec le contrôle extérieur du client suivant la norme allemande. Les principaux écarts entre la norme française (NF P 94-093) et la norme allemande (DIN 18127) sont la taille du moule, la masse de la dame, la hauteur de chute de la dame et le nombre de coups par couche (figure 6).

- 6- Damme Proctor allemande du laboratoire de chantier.
  - 7- Essai au densitomètre à membrane.
  - 8- Essai réalisé avec le Austechzylinder.
  - 9- Extrait de la représentation du suivi du compactage.
- 6- German Proctor rammer at the worksite laboratory.
- 7- Test with membrane densitometer.
- 8- Test performed with the Austechzylinder device.
- 9- Excerpt from the illustration of compaction monitoring.







10

© VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

La méthode française du Q/S prescrite dans le GTR n'est pas connue en Allemagne (donc pas reconnue). Différentes méthodes sont néanmoins autorisées pour contrôler la densité. Des contrôles de densité sont à réaliser sur chaque couche traitée à hauteur de 6 essais pour 5000 m<sup>2</sup> traités (objectif : 97 % de l'optimum Proctor). Dans le cadre de son développement en Allemagne, l'entrepreneur a choisi d'apprendre et d'essayer ces différentes méthodes :

- Le densitomètre à membrane (DIN 18125-2) : il s'agit d'un procédé permettant de mesurer un volume prélevé dans la couche à contrôler. Un trou cylindrique (20 cm de diamètre) est réalisé à l'aide d'une perforatrice dans la couche traitée, les matériaux sont prélevés pour être pesés au laboratoire (masse humide et masse sèche). Le volume excavé est mesuré sur site à l'aide du densitomètre. Il s'agit d'un piston avec un ballon rempli d'eau (10 litres) prenant la forme du cylindre excavé, pouvant aller jusqu'à 30 cm de profondeur : on déduit le volume de deux lectures (initiale et finale) sur le piston. C'est la méthode qui a été retenue pour l'ensemble des contrôles (figure 7).
- Ausstechzylinder : il s'agit d'une alternative au densitomètre autorisée aussi par la norme DIN 18125-2. On prélève le matériau traité à l'aide d'un cylindre métallique (10 cm de

diamètre et 12 cm de profondeur) ayant un bord coupant que l'on enfonce dans le sol à l'aide d'un autre cylindre de guidage et un marteau. Le matériau prélevé est ensuite pesé et la densité ramenée au volume défini du cylindre. Afin de ne pas altérer la précision de la mesure, il faut s'assurer que le cylindre est entièrement rempli de matériau, le fond du prélèvement pouvant se briser de façon irrégulière : il faut donc dégager le cylindre entièrement et réaliser la coupe plus profondément et recouper proprement après prélèvement. Si la procédure est plus rapide que le densitomètre, la profondeur de prélèvement est plus faible et ne permet pas de vérifier les fonds de couches (figure 8).

- Le gamma-densimètre : cette méthode très rapide nécessite des accréditations locales pour le maniement de sondes nucléaires.
- Le densimètre pour sols sans source nucléaire : cet outil de contrôle mesure la densité humide, la densité sèche, la compacité et la teneur en eau du sol en place. La mesure est effectuée sur une profondeur de 30 cm environ. Cet outil permet la substitution du gamma-densimètre. Les contraintes administratives, de transport, de protection et d'utilisation d'un appareil équipé d'une source radioactive

### 10- Épandage du liant et malaxage.

### 10- Binder spreading and mixing.

sont alors exemptes. Cependant, les corrélations faites avec les essais traditionnels n'ont pas permis de montrer la fiabilité des mesures. Cet outil reste donc à parfaire pour démontrer une efficacité irréprochable. Cette méthode doit faire l'objet d'une autorisation spécifique de la Deutsche Bahn.

- Compacteur équipé d'un système de suivi à l'aide d'un GPS embarqué : des constructeurs de matériel proposent d'utiliser ce nouveau matériel de traçage. Les résultats sont fiables et éloquentes (figure 9). Cette méthode est également reconnue par la Deutsche Bahn. Néanmoins, à l'utilisation, plusieurs contraintes apparaissent : toutes les machines de compactage doivent être équipées sinon les valeurs n'ont plus de cohérence, tous les opérateurs doivent être formés et requérir des compétences particulières, une seule marque de matériel doit être utilisée.

### EXÉCUTION DES TRAVAUX

Les trois conditions à respecter sont les suivantes :

- Garantir un traitement homogène et éviter notamment la formation de boules de matériaux plus argileux qui ne seraient pas traités dans leur cœur.
  - Garantir un traitement sur toute la hauteur du remblai et éviter de laisser des couches non traitées aux interfaces entre chaque couche.
  - Garantir un bon compactage des fonds de couches.
- La procédure définie ainsi, conjointement avec la DB, est la suivante :
- Vérification de la température du sol (température minimale autorisée 5°C).
  - Approvisionnement de la couche sur 35 cm, et profilage de la couche au bull ou à la niveleuse, contrôle à l'aide de piquets latéraux ou du GPS.
  - Approvisionnement du liant sur la couche avec l'épandeur (figure 10).
  - Vérification de la masse épandue par m<sup>2</sup> (pesée sur plaque).
  - Première passe de malaxeur (Tracteur ou Wirtgen en fonction des surfaces) sur une épaisseur de 40 cm afin de mieux marier les couches entre elles.
  - Passage de deux passes de compacteur pied dameur afin de casser les mottes argileuses.
  - Apport d'eau en fonction des consignes établies par le laboratoire sur la base de la teneur en eau naturelle des matériaux (figure 11).





© VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

11

### 11- Ajustement de la teneur en eau.

### 11- Water content adjustment.

- Deuxième passe de malaxeur. Des passes supplémentaires ont pu être nécessaires lorsque le critère suivant n'était pas atteint : taille maximale des grumeaux 20 mm, 80 % des grumeaux doivent avoir un diamètre inférieur à 8 mm. Les passes de malaxeur doivent également se recouper d'au moins 20 cm sur la longueur.
- Compactage : 4 passes de compacteur pied dameur puis 2 passes de compacteur vibrant lisse.

## CHIFFRES CLEFS

**COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION : 150 millions d'euros**  
**DURÉE TOTALE DU CHANTIER : 40 mois (fin 2018 - fin 2021)**  
**LINÉAIRE DE LIGNE NOUVELLE : 10 km**  
**DÉBLAIS : 1 050 000 m<sup>3</sup>**  
**REMBLAIS FERROVIAIRES : 290 000 m<sup>3</sup>**  
**TRAITEMENT : 15 000 t de liant**  
**MERLONS : 317 000 m<sup>3</sup>**  
**ASSAINISSEMENT : 24 000 m de canalisations et drains**  
**OUVRAGES D'ART : 10 ouvrages, 8 000 m<sup>3</sup> de béton**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Deutsche Bahn Projekt Stuttgart Ulm GmbH**  
**ENTREPRISE GÉNÉRALE : Vinci Construction Terrassement**

- Épaisseur finale de couche : entre 30 et 35 cm.
- Levé topographique de la couche réalisée afin de pouvoir justifier des épaisseurs finales de couches (entre 30 et 35 cm).
- Contrôles en laboratoire et envoi à la maîtrise d'œuvre le soir pour validation et pour permettre de poursuivre la construction d'une nouvelle couche le lendemain (point d'arrêt).
- Des carottes de matériaux traités frais ont par ailleurs été prélevées au fur et à mesure pour écrasement à 28 jours en laboratoire (non imposé par la norme).

En Allemagne, en règle générale, la cure du traitement est réalisée en arrosant la surface avec un tracteur (2 à 3 litres au m<sup>2</sup>) jusqu'à la mise en place de la couche suivante, qui, sauf intempéries ou non-conformité, est réalisée le soir même ou le jour suivant.

## RETOUR D'EXPÉRIENCE ET CONCLUSION

Il est rare en France de traiter un remblai intégralement au liant hydraulique ou au ciment, ce qui est néanmoins très courant en Allemagne (en projet ferroviaire mais aussi en projet routier). Cela a impliqué pour les équipes une adaptation assez profonde des procédures habituelles d'exécution et des contrôles, nécessitant une très forte rigueur sur le chantier.

L'ensemble de ces contraintes a conduit également à la réalisation de surfaces journalières traitées moins importantes et de plages de travail journalières de durée élevée, en comparaison avec les habitudes françaises (notamment à la chaux).

Les points d'arrêt quotidiens avec la maîtrise d'œuvre, très exigeante, ont permis de garantir un haut niveau de qualité et de suivi, et donc la pérennité des ouvrages livrés. □

## ABSTRACT

### HIGH-SPEED RAIL LINE S21 STUTTGART-ULM IN GERMANY

JULIEN SIQUIER, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT -  
 EMMANUEL PRUDENT, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

In 2018, Vinci won two contracts for construction of a 10-kilometre section of the Stuttgart-Ulm high-speed line (Stuttgart 21) in Germany. This major project for 120 kilometres of new railway line, managed by the German Railway Company (Deutsche Bahn), will improve regional and international access to the city of Stuttgart. The section had a large surplus of materials, so Vinci proposed a variant using materials treated with hydraulic binder so as to reuse a maximum of material from the site for the embankments. This variant required the teams to learn German railway standards, which are very different from French railway standards. □

### LÍNEA FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD S21 STUTTGART - ULM EN ALEMANIA

JULIEN SIQUIER, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT -  
 EMMANUEL PRUDENT, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

En 2018, Vinci ganó dos licitaciones para la construcción de un tramo de 10 kilómetros de la línea de alta velocidad Stuttgart-Ulm (Stuttgart 21), en Alemania. Este importante proyecto de una nueva línea de ferrocarril de 120 kilómetros de recorrido, impulsado por la empresa ferroviaria alemana Deutsche Bahn, mejorará el acceso regional e internacional a la ciudad de Stuttgart. Este tramo generó un gran excedente de materiales, motivo por el cual Vinci propuso un uso alternativo de los mismos, tratados con aglutinante hidráulico, para reutilizarlos en la mayor medida posible para los terraplenes. Esta alternativa requiere un aprendizaje de los estándares ferroviarios alemanes, muy distintos a los franceses. □





1  
© PHOTOGRAPHE DIEGO ELGUETA

# CHILI - RÉALISATION D'UN TUNNEL POUR CÂBLES ÉLECTRIQUES DANS LE DÉSERT D'ATACAMA

AUTEUR : THOMAS BLANCHARD, INGÉNIEUR PROJET, BESSAC

SITUÉ SOUS UNE VALLÉE AUX CONFINS DU DÉSERT D'ATACAMA AU CHILI, CE TUNNEL DE 2,50 m DE DIAMÈTRE ET DE PRÈS DE 900 m DE LONGUEUR EST DESTINÉ À FAIRE TRANSITER DES CÂBLES ÉLECTRIQUES HAUTE TENSION POUR ALIMENTER LA MINE DE CUIVRE QUEBRADA BLANCA. L'ARTICLE PRÉSENTE LES DISPOSITIONS TECHNIQUES PARTICULIÈRES RETENUES POUR LE CREUSEMENT DE CET OUVRAGE AU MOYEN D'UN MICROTUNNELIER DE GRAND DIAMÈTRE AINSI QUE LES CAPACITÉS D'ADAPTATION DONT ONT DÛ FAIRE PREUVE LES ÉQUIPES SUR PLACE POUR S'ADAPTER À UN ENVIRONNEMENT ÉLOIGNÉ ET ISOLÉ, DANS LE CONTEXTE PARTICULIER DE L'INDUSTRIE MINIÈRE AU CHILI ET EN PÉRIODE DE PANDÉMIE MONDIALE DE COVID.

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

### PASSAGE SOUTERRAIN DE CÂBLES ÉLECTRIQUES HAUTE TENSION

Dans le cadre des travaux du projet de la mine de cuivre "Quebrada Blanca phase 2" mené par Teck, une usine de dessalement d'eau de mer doit être bâtie sur la côte Pacifique dans le nord de Chili.

Les ouvrages associés s'étendent sur un linéaire d'environ 160 km jusqu'à la mine, avec notamment l'installation d'une double canalisation pour l'acheminement de l'eau, ainsi qu'un réseau de lignes électriques 220 kV.

Dans le secteur de la vallée Quebrada Guatacondo (figure 1), située au pied de la Cordillère des Andes et à 170 km au sud-est de Iquique, la ville la plus proche, l'alignement du réseau élec-

1- Vue aérienne du projet - Puits d'entrée en haut et de sortie en bas de la photo.

1- Aerial view of the project - Entry shaft at top of photo and exit shaft at bottom of photo.

trique exige un passage souterrain pour traverser le lit d'une rivière. Ceci est le cadre du projet de Tunnel Guatacondo. L'entreprise Bessac et son partenaire Soletanche Bachy Chili ont obtenu de Transelec le contrat pour la conception et la construction de cet ouvrage : un microtunnel de 898 m de long et de diamètre intérieur 2,50 m en un seul tronçon entre 2 puits situés sur les berges de la vallée.





© PHOTOGRAPHE THOMAS BLANCHARD

2

**2- Arrivée du tunnelier au port D'Iquique, Chili.**  
**3- Transport maritime des tuyaux dans un navire dédié.**

**2- Arrival of the TBM at the port of Iquique, Chile.**  
**3- Sea transport of the pipes in a specific ship.**



© PHOTO THÉO PUNTO SYSTEM

3

## D'UN TUNNELIER À UN MICRO-TUNNELIER - OPTIMISATION POUR RÉSOUDRE LES PROBLÈMES D'EMPRISE

La solution initiale prévue par Transelec prévoyait l'utilisation d'un tunnelier type pression de terre avec revêtement en voussoirs BA. Durant le processus d'appel d'offres, plusieurs contraintes liées à cette méthodologie ont été identifiées : dimension importante du puits de lancement du tunnelier, approfondissement nécessaire des puits et du tunnel en raison des contraintes de pente maximale pour le matériel de marinage sur rails et surtout des contraintes environnementales sévères, liées à des sites archéologiques, qui rendaient les emprises de chantier non compatibles avec le projet.

Au vu de toutes ces difficultés, Bessac a proposé à Transelec une solution variante consistant à réaliser l'ouvrage avec un microtunnelier de grand diamètre installant un revêtement en tuyaux de fonçage.

Cette solution présente plusieurs avantages :

- Le puits de départ est circulaire et son diamètre intérieur est de 12 m seulement.
- La surface des installations des équipements en surface est considérablement réduite et reste compatible avec les permis environnementaux.
- Le microtunnelier peut facilement prendre des pentes jusqu'à 10 %, il n'est donc plus nécessaire d'approfondir les puits.

→ Toutes les étapes de mobilisation et de démarrage sont plus rapides qu'avec la solution tunnelier, ce qui permet de réduire le planning global du projet ainsi que les coûts.

Ce design alternatif a été accepté par Transelec.

Le tunnel présente un profil en long "en banane" pour traverser la vallée sous le lit de la rivière, avec d'abord une pente descendante de 8 % puis une pente ascendante de 8,5 %.

## LE CONTEXTE PARTICULIER DE LA MINE AU CHILI

L'exploitation minière est enracinée dans l'histoire du Chili. Ce secteur d'activité a permis au pays de se développer considérablement au cours du 20<sup>e</sup> siècle et d'être aujourd'hui

le premier producteur de cuivre au monde.

De nos jours, l'industrie de la mine au Chili est synonyme d'excellence en termes de sécurité, d'environnement et de qualité.

En tant que société minière majeure, Teck a ses propres exigences internes, très élevées, tout comme l'entreprise américaine Bechtel qui assure pour Teck le développement du projet.

Dans ce contexte particulier, nous avons donc dû concilier les règles spécifiques de ces compagnies privées et la législation chilienne. Cela demande en termes de planification, de conception et d'ingénierie, de méthodologie d'exécution, de gestion des ressources humaines et de la qualité. ▷





4

© PHOTOGRAPHE DIEGO ELGUETA

Par exemple, chaque personne sur le chantier se voit attribuer une tâche spécifique et ne peut pas en effectuer d'autres, même à titre exceptionnel. On peut citer par exemple l'opérateur de la pelle mécanique qui ne peut pas utiliser le chariot élévateur et vice versa. Il y a besoin par conséquent d'un plus grand nombre de travailleurs que dans un chantier de construction "classique". Pour chaque poste de production du microtunnel, nous avons ainsi embauché pas moins de 25 personnes, quand seulement une dizaine suffirait dans ce même type de chantier ailleurs. Par ailleurs, il faut compter 3 semaines minimum de délai pour chaque nouveau travailleur avant de pouvoir intégrer le site de construction : examen médical poussé, processus administratifs lourds liés à l'embauche et au contrat de travail, inductions client, formations spécifiques pour les opérateurs, temps d'approbation du travailleur par le client, etc. Cela demande une certaine capacité d'anticipation et de gestion des risques liés au personnel (maladie, besoin de personnel expert pour tâches spécifiques liées au tunnelier, etc.). Nous avons pour cela mis en place une cellule RH spécifique sur le chantier qui était dédiée à cette gestion.

### LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le rapport de sol disponible pour nos travaux était peu détaillé car il était initialement élaboré pour des travaux de terrassement et de pose de canalisations en surface. Selon ce rapport, les terrains rencontrés sont des dépôts alluviaux sablo-grave-

leux avec une teneur en fines (limons, argiles) comprise entre 5 % et 20 %. En termes d'hydrogéologie, une nappe phréatique pouvait être recoupée au point bas du tunnel.

Ces terrains ont bien été ceux recoupés par le projet, cependant lors de l'excavation des puits, des blocs jusqu'à 600 mm de diamètre ont été rencontrés.

Le microtunnelier proposé était équipé d'une roue de coupe mixte. Pour éviter les risques de blocage de la roue de coupe, les difficultés de concassage à l'intérieur du cône et de perte de stabilité au front, nous avons décidé d'adapter sur site la géométrie de la roue de coupe. Seize barreaux ont été ajoutés

**4- Vue aérienne du chantier avec la centrale de traitement des déblais et boues au premier plan.**

**5- Tunnel en cours de construction.**

**4- Aerial view of the project with the excavated material and sludge treatment plant in the foreground.**

**5- Tunnel undergoing construction.**

pour limiter la taille des ouvertures de la roue à 200 mm maximum afin que les plus gros éléments de roche restent devant et soient attaqués par les molettes de la roue de coupe.

### LE CHALLENGE PRINCIPAL : UNE SITUATION TRÈS ISOLÉE DANS LE DÉSERT

Le site se trouve dans le désert d'Atacama au nord du Chili, à quelques pas de la frontière bolivienne. La première ville, Iquique, est située à 3h30 de route. Il faut en outre parcourir 2000 km pour trouver la capitale Santiago et pas moins de 10000 km nous séparent du siège de Bessac, situé près de Toulouse.



5

© PHOTOGRAPHE DIEGO ELGUETA



Cet isolement géographique a représenté l'un des grands défis de ce projet. Les principaux équipements ne sont pas disponibles localement et doivent être importés, principalement par la voie maritime. Par exemple, l'équipement spécifique pour l'excavation des tunnels, composé du microtunnelier (figure 2) et de son matériel associé ainsi que la station de traitement des boues, ont été importés de France, d'Allemagne et de Grande-Bretagne. Pas moins de 25 conteneurs ont traversé l'océan Atlantique et le canal de Panama pour un voyage d'environ deux mois.

Les tuyaux de fonçage en béton armé constituent quant à eux la matière première pour la construction du microtunnel. L'option de préfabriquer ces éléments localement a été envisagée mais s'est avérée impossible en termes



© PHOTOGRAPHIE THOMAS BLANCHARD

6

**6- Station de poussée principale dans le puits d'entrée.**  
**7- Station Covid-19 du chantier.**

**6- Main jacking station in the entry shaft.**  
**7- Covid-19 station on the worksite.**



© PHOTO THÉO DU CHANTIER

7

de délai. Les tuyaux ont donc été fabriqués en Europe et importés afin de pouvoir fournir des produits de haute qualité, répondant aux exigences de notre client. C'est toute une logistique que nous avons mise en place, avec notamment un navire dédié (figure 3), pour assurer la livraison sur chantier et dans les délais, des quelques 400 tuyaux DN2500 de 14 t chacun.

### LOGISTIQUE LOCALE ET GESTION DES RESSOURCES

Comme nous l'avons indiqué, les exigences de la mine impliquent le besoin d'une quantité importante de travailleurs (pas moins de 150 personnes dans le pic d'activité de notre projet). Le flux de déplacement de ces collaborateurs est conséquent, et l'organisation des trajets hebdomadaires depuis leurs domiciles éparpillés aux 4 coins du Chili jusqu'au projet n'est pas une mince affaire. C'est donc une équipe administrative à plein temps qui a été mise en place sur chantier pour la seule gestion de cette logistique très complexe.

Quant à l'eau et au fuel, ils sont nécessaires quotidiennement et en grande quantité pour le processus de microtunnelage. Une flotte dédiée de camions citernes à eau, à fuel ainsi que des camions bennes réalisait quotidiennement l'aller-retour (environ 8 h de trajet) jusqu'à la ville pour assurer la continuité des travaux de creusement 24h/24 et 7j/7. Il était primordial qu'aucun de ces engins ne tombe en panne, auquel cas la production aurait été arrêtée, nous avons donc une équipe de mécaniciens affectée à la révision quotidienne de ces engins.

### ANTICIPATION DES BESOINS

L'un des principaux risques sur ce type de projet isolé est celui du retard dû au manque d'éléments spécifiques de tunnelier : pièces de rechange, outils de coupe, produits et consommables particuliers, etc. Un stock important et redondant de tous ces éléments a été importé avec anticipation sur site pour faire face à tous les aléas.

Par ailleurs, l'exécution du projet se déroulant en même temps que la crise de Covid, toutes ces difficultés liées à cet éloignement ont été renforcées, avec notamment une réduction drastique des solutions de transport maritime et souvent une pénurie de matières premières... Il était donc d'autant plus important d'anticiper toute la logistique et le stock de pièces détachées pour éviter un arrêt long du chantier.





### FORMATION DE LA MAIN D'ŒUVRE LOCALE

Le projet dans un pays éloigné exige également une adaptation à la culture locale et aux habitudes de travail.

Le personnel chargé de l'encadrement du chantier, les pilotes de microtunnelier et les électromécaniciens spécialisés étaient des expatriés qui avaient une expérience technique de ce type de projet dans d'autres régions du monde.

Les autres postes ont été recrutés et pourvus localement. Étant donné qu'il y a peu d'expérience de construction de tunnel par fonçage au microtunnelier au Chili, nous avons mis en place tout un processus de formation, durant la phase de préparation du projet et celle de démarrage du microtunnelier. Cela a été d'autant plus compliqué que le chantier fonctionnait 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Il a donc fallu mettre en place quatre équipes de 25 personnes, en système de rotation 14j/14j, pour faire fonctionner le microtunnelier en continu.

Un vrai marathon, mais une expérience humaine enrichissante, tant pour les travailleurs locaux que le personnel spécialiste expatrié.

### BONNE PRATIQUE DU RECYCLAGE DE L'EAU DANS UN CONTEXTE ARIDE ET ISOLÉ

Afin de réutiliser au maximum l'eau sur site, c'est-à-dire d'éviter au maximum les transports d'eau depuis la ville et l'évacuation des boues en centrale de traitement externe (complexe dans

ce contexte isolé), il a été décidé de mettre en place sur site un système de traitement et de destruction des boues saturées issues du procédé de microtunnelage (figure 4) et de réutiliser l'eau sortant du processus pour arroser les pistes.

Un système de centrifugeuse avec unité de floculation a ainsi été utilisé avec des réservoirs de stockage supplémentaires.

### 8- Tunnel terminé réceptionné par le client.

### 9- Arrivée du microtunnelier dans le puits de sortie.

### 8- Completed tunnel inspected for acceptance by the client.

### 9- Microtunneller arrival in the exit shaft.

Avec ce système, l'eau recyclée sortant du processus de destruction de la boue était conforme aux spécifications des standards chiliens pour l'arrosage en termes de pH, de turbidité et de paramètres chimiques. Grâce à ce procédé environnemental innovant, le site a pu économiser beaucoup de transports depuis et vers Iquique et a ajouté l'avantage d'utiliser moins d'eau et d'être plus autonome.





## EXCAVATION D'UN LONG MICROTUNNEL DE GROS DIAMÈTRE (figure 5)

Pour la station de poussée principale située dans le puits d'entrée (figure 6), nous avons opté pour un bâti de poussée long avec 4 vérins télescopiques. La course maximum des vérins est de 4 000 mm, la force maximale de poussée de la station est de 1 400 t.

Vu le diamètre extérieur des tuyaux de fonçage et la surface de frottement qui en résulte, nous avons opté pour l'installation de 8 stations intermédiaires de 1150 t de capacité unitaire. La quantité de stations et la distance entre chaque station se sont finalement justifiées en raison de l'aspect aléatoire des zones de friction sur ce projet.

En complément, la lubrification de l'espace annulaire est fondamentale pour ces longs tunnels en fonçage. Nous avons donc décidé de mettre en place dans le tunnel trois lignes de lubrification : une pour le tunnelier et deux pour le tunnel.

Pour que cela puisse fonctionner, nous avons affecté une équipe de 4 personnes par poste exclusivement dédiés au système de lubrification.

De plus, une surveillance en temps réel avec des débitmètres installés sur les pompes en surface et reprise sur l'écran du conteneur de pilotage complétait l'ensemble.

## NE PAS S'ARRÊTER MALGRÉ UNE CRISE SANITAIRE, GLOBALE SANS PRÉCÉDENT DIFFICULTÉ DE MOBILISATION D'EXPATRIÉS EXPERTS

Au démarrage de l'excavation du tunnel, la majorité des personnes expatriées clés n'a pas pu se rendre sur place en raison de la pandémie : restriction de visa Covid-19, restriction du transport aérien et mises en quarantaine obligatoires au Chili.

Certains opérateurs locaux ont bénéficié d'un enseignement à distance par les experts de Bessac. Néanmoins, au démarrage du tunnelier, nous avons dû réduire le temps de travail afin de nous assurer de la bonne exécution des travaux avec le personnel présent. La cadence d'excavation moyenne a ensuite augmenté lorsque tous les opérateurs ont finalement pu arriver sur place, avec des pointes quotidiennes allant jusqu'à 22 m.

## MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME SANITAIRE ROBUSTE

Dans ce contexte minier, nous avons une quantité élevée de travailleurs, et le remplacement de l'un d'eux ou l'intégration de nouveaux collaborateurs est un processus long et compliqué.

Il a donc été fondamental pour nous de ne pas avoir de cas de contamination sur le projet, qui aurait impliqué la mise en quarantaine et donc la perte de travailleurs essentiels.

Pour ce faire, nous avons revu tout notre modèle de travail et avons largement formé notre personnel aux risques et contrôles liés à la pandémie (figure 7).

Celui-ci a été très réceptif aux mesures mises en place. Nous avons par exemple revu et adapté toutes nos procédures d'exécution des travaux en prenant en compte le nouveau danger de la pandémie dans les analyses de risque. Nous avons aussi mis en place des systèmes permettant d'assurer au

mieux la distanciation sociale, même dans les espaces confinés comme les puits ou le tunnel.

Avec plus de 150 personnes sur le chantier, nous n'avons eu aucun cas de contamination sur chantier pendant tout le projet. Une belle prouesse !

## CONCLUSION

Avec l'achèvement de ce microtunnel (figure 9), Bessac a réalisé son cinquième projet au Chili. Celui-ci présentait plusieurs défis, tant par les contraintes techniques avec les dimensions hors-norme de l'ouvrage, que par sa localisation dans le désert qui a apporté une forte complexité logistique. L'exécution de l'ensemble du projet en plein cœur de la crise du Covid a accentué encore ces difficultés. Grâce à son expertise, sa capacité d'adaptation et son expérience internationale, Bessac a pu mener à bien ce projet de manière professionnelle (figure 8). □

## CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU MICROTUNNELIER

- Microtunnelier à pression de boue type AVN 2400
- Diamètre creusement : 3 080 mm
- Poids du bouclier avec roue de coupe : 52 t
- Longueur du bouclier avec roue de coupe : 4,75 m
- Longueur totale avec modules suiveurs (groupe hydraulique et chambre hyperbare) : 10,74 m
- Tuyaux de fonçage en béton armé DN2500

## PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR DE LA GALERIE : 898 m

QUANTITÉ DE TUYAUX DE FONÇAGE DN2500 STANDARDS : 372

QUANTITÉ DE STATIONS INTERMÉDIAIRES DE POUSSÉE : 8

QUANTITÉ DE DÉBLAIS : 10 000 m<sup>3</sup>

PUITS D'ENTRÉE : diamètre 12 m, profondeur 10 m

PUITS DE SORTIE : diamètre 8 m, profondeur 24 m

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

EXPLOITANT ET FINANCEMENT : Teck

ENTREPRISE PRINCIPALE ET CLIENT : Transelec

## ABSTRACT

### CHILE - CONSTRUCTION OF A TUNNEL FOR ELECTRIC CABLES IN THE ATACAMA DESERT

THOMAS BLANCHARD, BESSAC

In 2019, Bessac and its partner Soletanche Bachy Chili won a contract with the Chilean firm Transelec for the construction of an underground gallery as part of a project by the Teck mining company for the development of its Quebrada Blanca copper mine in Chile. The project comprises two shafts and a microtunnel 898 m long and of inner diameter 2.50 m, executed in alluvial formations. Apart from the technical challenge represented by the large diameter and length of the structure for the microtunnel method with jacking pipes, and the logistic challenges due to the constraints of geographic isolation, the consortium had to comply strictly with the QHSE (Quality Health Safety Environment) expectations of the mining industry, which are far more stringent than customary construction standards. All this against the backdrop of the Covid-19 pandemic, experienced even in the heart of the Atacama desert. □

### CHILE - REALIZACIÓN DE UN TÚNEL PARA CABLES ELÉCTRICOS EN EL DESIERTO DE ATACAMA

THOMAS BLANCHARD, BESSAC

En 2019, Bessac y su socio Soletanche Bachy Chili obtuvieron un contrato de la empresa chilena Transelec para la construcción de una galería subterránea, en el marco de un proyecto de la compañía minera Teck para el desarrollo de su mina de cobre Quebrada Blanca en Chile. El proyecto consta de dos pozos y un microtúnel de 898 m de longitud y 2,50 m de diámetro interior, realizados en formaciones aluviales. Además del desafío técnico que el diámetro y la importante longitud de la obra suponen para el método del microtúnel con tubos de hinca y los problemas logísticos relacionados con las características de aislamiento geográfico, el consorcio tuvo que respetar estrictamente las exigencias QHSE (calidad, higiene, seguridad y medio ambiente) de la industria minera, que van más allá de las normas habituales de la construcción. Todo ello en un contexto de pandemia Covid, que se ha extendido hasta el corazón del desierto de Atacama. □





# HALFWAY RIVER BRIDGE, PLANNING CHAUD CONTRE HIVERS FROIDS !

AUTEUR : ÉTIENNE THIBAUT, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE INTERNATIONAL

FIN 2019, LE MINISTÈRE DES TRANSPORTS DE COLOMBIE BRITANNIQUE (CANADA) CONFIAIT AU GROUPEMENT EIFFAGE - INFRACON LE RÉALIGNEMENT ET LE RELÈVEMENT DE 3,7 km DE L'AUTOROUTE H29 POUR UN MONTANT DE 72 M€. CE TRONÇON COMPORTE NOTAMMENT LA RÉALISATION D'UN PONT MIXTE DE 1 042 M DE LONGUEUR, DONT LA PARTICULARITÉ FUT D'INSTALLER LES POUTRES MÉTALLIQUES PAR -25°C, À 50 m DE HAUT, PAR GRUTAGE, SUR LES APPAREILS D'APPUI À POT SPHÉRIQUE DÉFINITIFS.

## CONTEXTE ET SITUATION

C'est à Eiffage Canada (mandataire), que le Ministère des Transports a confié la réalisation de ce pont emblématique, le plus grand marché au bordereau qu'il n'ait jamais passé dans cette province. Situé à proximité de Fort Saint John, à 800 km à vol d'oiseau au nord de Vancouver, au confluent de deux rivières : Halfway River (enjambée par le pont), et Peace River, l'une des 10 plus grandes rivières canadienne.

Ce projet est une petite partie du barrage "Site C" en cours de construction pour le compte de BC Hydro (l'équivalent de EDF français). La mise en eau de ce barrage inondera sous 30 m d'eau la vallée, d'où la réalisation du pont de Halfway River.

## CONDITIONS CLIMATIQUES

Dans cette région, le climat est rude et il est impossible de parler de la construction du pont de Halfway River sans s'arrêter un peu sur cette réalité ! Sur ce site, il faut jongler entre le froid, le froid extrême (jusqu'à -40°C), la neige, les orages, la pluie ou le vent... Pour le froid il suffit de regarder la courbe historique des températures (figure 2) et de constater que les températures moyennes ne sont positives nuit et jour que de mai à septembre (5 mois). Ainsi, le pont a été dimensionné pour des températures allant de -40 à +40°C.

En conséquence, durant la construction, un suivi rigoureux des températures des bétons a été réalisé, impliquant :

1- Février 2021,  
vue de P10 à C0.

1- February 2021,  
view from P10  
to C0.

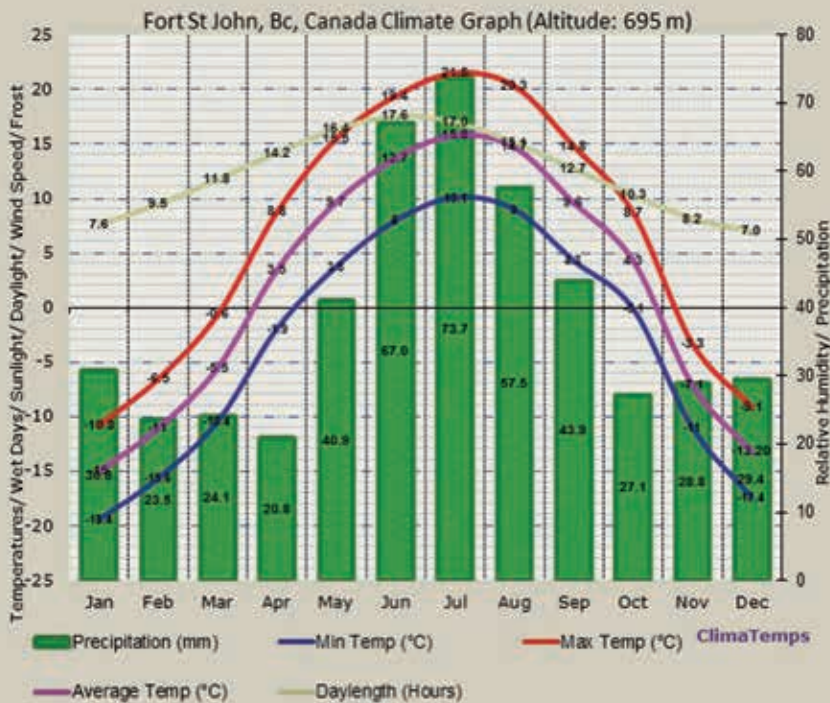
- En été, le contrôle de la température de livraison des bétons par l'ajout de glace (objectif autour de 15°C au point de livraison), afin de permettre une montée plus lente de la température à cœur.
- En hiver, le chauffage de l'eau et des granulats pour garantir une température de béton frais supérieure à 11°C.
- Un suivi en temps réel (cloud) des températures à cœur et en surface,

ainsi que du delta entre les deux, afin d'ajuster le système d'isolation/ chauffage, pour garantir une température maximum à cœur de 75°C et un delta surface/cœur inférieur à 25°C tout au long de la prise du béton.

Pour les faces non coffrées (reprise de bétonnage, chevêtres, bossages d'appui, matages etc.), une attention particulière a été apportée afin d'éviter toute fissure dans le béton, particulièrement préjudiciable pour la durabilité de l'ouvrage compte tenu des conditions météo (gel/dégel) et de la forte quantité de sel apposée sur les routes dans cette région. Pour cela, un contrôle hygrométrique de ces surfaces a également été mis en place systématiquement.



## DONNÉES CLIMAT DE FORT SAINT JOHN



- Prédalles en béton armé entre poutres métalliques ; épaisseur finale de tablier de 25 cm sur une largeur de 11 m.
- Barrières de sécurité en béton armé coulées en place et surmontées d'un garde-corps métallique (béton extrudé non autorisé au marché).
- Au-delà des considérations classiques de dimensionnement, on peut noter les entrants particuliers suivants :
  - Phénomène de *ice jacking* et de *jamming* lors du gel de l'eau au droit des piles (jusqu'à 3 m d'épaisseur de glace sur ce site).
  - Montée en charge et poussée des glaces lors du phénomène de *freshet* : l'ensemble de la calotte de glace recouvrant la rivière cède et est emportée sous forme de blocs par le courant.
  - Le tirant d'air sous le pont a été contraint par la hauteur de la vague qui résulterait en amont d'un glissement de terrain dans le réservoir (le haut de la vague ne devant pas atteindre les poutres métalliques du tablier).
  - La surface de roulement est directement sur le béton du tablier (béton strié, sans étanchéité ni enrobé) qui reçoit uniquement l'application d'un vernis haute performance ; les aciers de la dalle et des barrières de sécurité sont en inox.
- Incorporation d'un adjuvant à structure cristalline dans la formulation du béton des embases d'appuis pour assurer l'imperméabilité de la structure immergée.
- Calcul de l'épaisseur du *haunch* (matage/calage) avant pose des prédalles selon la courbure réelle des PRS après installation.
- Bétonnage de la dalle du tablier par travée décalée entière. ▷

© EIFFAGE  
2

### CONCEPTION

Caractéristiques principales :

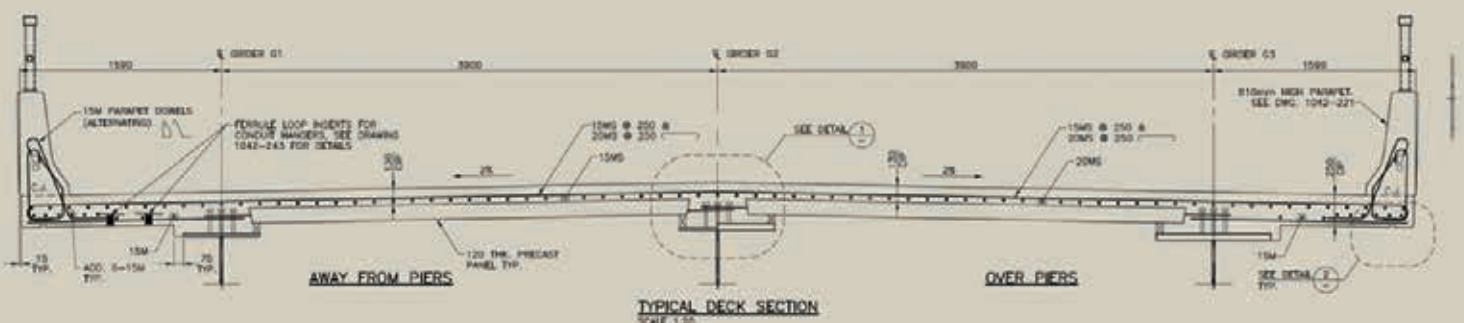
- Pont mixte à 2x1 voies + 2 BAU (figure 3), en alignement droit en plan et concave en élévation.
- Longueur totale de 1042 m répartie en 13 travées de 68 à 84 m de portée à une cinquantaine de mètres de hauteur.
- 3 files de PRS de 3 m de hauteur (tous les assemblages sont boulonnés, l'acier est de type "corten").
- 8 pieux forés tubés par appui.

2- Données climat de Fort Saint John.  
3- Coupe transversale du tablier.

2- Fort Saint John climate data.  
3- Cross section of the deck.

- Embase de pile de 5 m de diamètre extérieur sur environ 25 m de haut ; voile d'épaisseur 50 cm.
- Transition conique (qui correspond au futur niveau d'eau du réservoir) de 2,7 m de hauteur et enfin un fût de 2,6 m de diamètre sur environ 15 m de haut, coiffé d'un chevêtre en béton armé.
- Appareil d'appuis à pot sphérique : fixes sur les piles P4 à P9, glissants longitudinalement sur les culées et les piles P1 à P3 et P10 à P12.

## COUPE TRANSVERSAL DU TABLIER



3  
© EIFFAGE



## PLANNING

L'ordre de service de démarrage des travaux a été reçu le 6 janvier 2020 avec une date de fin prévue pour août 2022 (32 mois).

Compte tenu des contraintes climatiques locales et des considérations économiques, il n'était pas raisonnablement envisageable de faire les bétonnages du tablier en hiver, ni d'avoir une trêve hivernale de plusieurs semaines durant cette opération. Seuls les plateformes/accès, les pieux, et la mise en place de la charpente métallique peuvent être réalisés relativement facilement en hiver. Ainsi fallait-il impérativement que le bétonnage du tablier puisse se faire entre mai et août 2021, et un planning optimisé ambitieux a dû être suivi avec pour conséquence une livraison de l'ouvrage en novembre 2021 (soit avec 9 mois d'avance) (figure 4).

## RÉALISATION DES FÔTS

### FERRAILLAGE

L'ensemble des barres verticales sont de diamètre 35 mm avec des longueurs minimales de recouvrement de 3 m. Afin de limiter les recouvrements, la hauteur des cages de ferrailage préfabriquées était comprise entre 12

## PLANNING



4 © EIFFAGE

et 16 m, avec un poids pouvant aller jusqu'à 26 t.

Les cages de ferrailage de fût et de chevêtre (16 t) ont été préfabriquées (hors partie conique ferrillée en place), puis acheminées et installées avec une grue à chenille type 275 t (figure 5).

### COFFRAGE

Pour le coffrage des faces extérieures, c'est un système de coffrages et de plateformes Doka qui a été utilisé (fût, cône, chevêtre).

### 4- Planning.

5- Acheminement d'une cage préfabriquée de 14 m de hauteur.

6- Installation du coffrage de chevêtre.

### 4- Work schedule.

5- Transport of a 14-metre-high rebar cage.

6- Installing the pier cap formwork.

Pour le coffrage intérieur de la section creuse, une variante avec polystyrène expansé a été proposée par Eiffage, acceptée par le client et mise en œuvre avec succès. En effet, le marché de base prévoyait de venir remplir la section creuse en deuxième phase avec du béton maigre (les considérations locales de *ice jacking* à l'intérieur du fût de pile interdisant de laisser tout vide, et le designer ne voulant pas surcharger les pieux). À la place, Eiffage a conçu et réalisé aux moyens de blocs de poly-



5 © EIFFAGE



6 © EIFFAGE





© EIFFAGE

styrène un coffrage perdu, répondant également à la fonctionnalité de remplissage voulue par le client (figure 7). Les hauteurs des levées de pile ont été les suivantes :

- Fûts de diamètre 5 m : entre 4,25 m et 6 m, conduisant à 5 levées sur cette section.
- Section conique de transition et amorce du fût de 2,6 m : levée unique de 6 m.
- Fûts de diamètre 2,6 m : entre 4,50 m et 9,50 m, conduisant à 2 ou 3 levées sur cette section.

Ces hauteurs de bétonnage étaient contraintes essentiellement par :

- Les hauteurs de cage de ferrailage, elles-mêmes contraintes par des considérations de stabilité avant bétonnage ;
- La formulation du béton qui était différente entre les sections creuses et les sections pleines ;

#### 7- Polystyrène pour les levées 3 et 4.

#### 8- Transport d'un PRS unique sur son âme.

#### 7- EPS for concrete lifts 3 and 4.

#### 8- Transport of a single built-up girder on its web.

- Une pression limite admissible par le polystyrène expansé au-delà de laquelle sa stabilité verticale était compromise.

Les contraintes de design, d'exécution et de planning (notamment de cure et de préparation des joints de reprise) ont conduit à réaliser les levées de pile en pianotant d'une pile à l'autre, plutôt

que de réaliser une levée après l'autre sur la même pile.

Les coffrages de chevêtre étaient préparés et assemblés au sol, puis installés en un seul colis (25 t) au moyen d'un palonnier et d'une grue 275 t (figure 6).

### CHARPENTE MÉTALLIQUE ET APPAREILS D'APPUI

Le constructeur Eiffage avait la charge du design des appareils d'appui. Ainsi, l'équipe projet a développé avec son fournisseur un système permettant, outre le respect du cahier des charges des appuis définitifs, de regrouper les fonctionnalités requises pour :

- Poser la charpente métallique directement sur appuis définitif (et d'encaisser les charges, les mouvements et les rotations en phases provisoires) ; les appareils d'appui à pot fixes sont provisoirement glissants ;

- Permettre un ajustement de la position définitive du pot sur son appui juste avant sa fixation.

Ces 2 derniers points seront détaillés plus loin. Voyons tout d'abord les principes adoptés pour l'érection de la charpente métallique.

### LIVRAISON DES PRS

La charpente métallique est constituée de tronçon de PRS de 42 m de longueur et d'environ 40 t. Chacun a été convoyé couché sur l'âme, de préférence par deux - l'un sur l'autre - afin d'augmenter la rigidité du convoi, sinon seul mais alors en renforçant sa rigidité lors du transport par de la précontrainte par câbles (figure 8).

### CHOIX DE LA MÉTHODE D'INSTALLATION

La méthode de pose par grutage a été préférée à une méthode par lancement qui semblait initialement plus intuitive. En effet :

- Au Canada, l'approche sécuritaire du travail en hauteur ne disqualifie pas d'office ce type de méthode (le travail au harnais et à la nacelle élévatrice sont très ancrés dans les méthodes de travail et le personnel est solidement formé pour cela) ;
- Il en va de même pour les grutages critiques (dans le cas d'espèce : lourdes charges levées avec 2 grues) ; ▷



8

© EIFFAGE



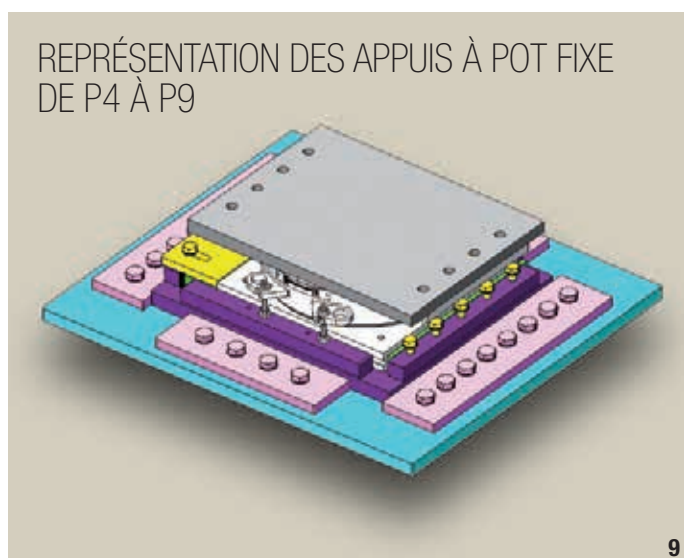
- Le surcoût lié aux plateformes à réaliser sous l'ouvrage était nul puisque déjà nécessaire par le choix des modes constructifs des appuis et notamment l'utilisation d'une grue à chenille 275 t pour l'acheminement et la pose des gros colis ;
- La séquence de construction de la dalle spécifiée par le client (premier coulage sur une travée de rive) aurait été fortement contrainte par le moindre aléa durant une pose par lançage. La pose par grutage offre plus de souplesse en cas de retard quelconque sur un appui.

Plus largement, la méthode par grutage s'est révélée évidente au regard des contraintes de coûts et de délais. Finalement aucune mauvaise surprise n'est venue entraver le déroulement de l'installation.

#### INSTALLATION SUR APPUIS FIXES (P4 À P9)

Au préalable, il faut préciser que tous les appareils d'appui devaient être démontables et que toute soudure de fixation était interdite au marché.

Le point fixe temporaire a été réalisé sur la pile P6 en utilisant des appareils d'appui à pot sphérique "classiques" sur chaque file de PRS. Tous les autres appuis étaient temporairement glissants dans le sens longitudinal (voir séquence ci-après).



L'installation de la charpente métallique a été réalisée une travée à la suite de l'autre depuis le point fixe provisoire (P6) vers les culées.

Dans la séquence de montage type ci-dessous, les couleurs des éléments se réfèrent à la figure 9 :

- 1- Bétonnage des bossages béton sur chevêtre avec incorporation d'une platine (bleue) métallique (connexion par goujons) comportant des trous pré-filetés en usine pour la fixation des contre-platines (rose).

#### 9- Représentation des appuis à pot fixe de P4 à P9.

10- Novembre 2020, 1<sup>er</sup> bi-poutre installé sur P6.

#### 9- Illustration of fixed pot bearings from P4 to P9.

10- November 2020, first double girder installed on P6.

- 2- Grutage des appareils sur la platine bleue, et fixation latérale via contre-platine temporaire (rose) à trous oblongs. À ce stade, les platines jaunes et vertes ne sont pas installées, de sorte qu'un glissement longitudinal est possible entre le pot (blanc) d'une part et la platine de glissement temporaire (violette) d'autre part.
- 3- Assemblage de l'ensemble des tronçons de poutres Nord et Milieu en pied de pile avec les contre-ventements définitifs en K, afin de réaliser des sections de bi-poutres (figure 10).
- 4- Grutage du bi-poutre sur appareils d'appui définitifs, et assemblage boulonné des PRS à la cale biaise supérieure (grise) du pot. Grâce aux trous oblongs des contre-platines temporaires (rose), les pots et la charpente peuvent être alignés parfaitement et être assemblés sans difficulté (figure 11). Longitudinalement, le pot est reculé au maximum dans la platine temporaire de glissement (violette) afin de laisser du jeu lors de la pose des tronçons en milieu de travée (étapes 7 et 8).
- 5- Stabilisation de l'ensemble par des câbles reliant l'extrémité des poutres à la semelle de la pile (figure 12).







© EIFFAGE  
11

- 6- Grutage de la troisième poutre Sud et assemblage aux deux premières avec les contreventements définitifs en K.
- 7- Grutage du bi-poutre central et assemblage boulonné aux PRS précédemment érigés côté point fixe (figures 12 et 13).
- 8- À ce stade, en hiver, il subsiste un espace entre le bipoutre central et le bipoutre sur appuis du fait de la contraction thermique de l'acier. Pour réaliser l'assemblage

**11- Pot fixe en configuration provisoire glissant.**

**12- Installation du bi-poutre entre P6 et P7.**

**11- Fixed pot bearing in temporary sliding configuration.**  
**12- Installation of the double girder between P6 and P7.**

boulonné, des vérins horizontaux sont installés entre les PRS à rapprocher. La partie inférieure du pot (blanche) glisse alors sur la platine de glissement provisoire (violette). Le jeu total de glissement (vert) était de 120 mm afin de couvrir une large amplitude de température lors de l'installation.

- 9- Même opération pour la poutre Sud.
- 10- Ajustement éventuel de l'alignement transversal du tri-poutre grâce aux trous oblongs (rose).

**11-** Relevé in situ de la position des vis des taquets de blocage (rose) et perçage selon relevé des nouveaux taquets de blocage (rose) sans trou oblong.

Pour les appareils d'appuis à pot glissant (C0 à P3 et P10 à C12), on applique exactement la même séquence, sauf que le système de pot ne comporte pas de platine temporaire de glissement (violette). En effet les besoins de glissement lors de l'installation se font directement entre le pot et sa platine supérieure de glissement. Il ne reste à ce stade qu'à bloquer la possibilité de glissement des pots fixes (blancs) sur la platine inférieure de glissement temporaire (violette). Au préalable, le designer a tenu à vérifier le fonctionnement réel de la charpente métallique avec les prédalles installées, au moyen de relevés de températures entre -20 et +20°C de la charpente d'une part, et de sa position relative par rapport à l'axe des piles, d'autre part. Le designer a pu ensuite ajuster la position longitudinale des pots (blanc) de quelques centimètres, afin de garantir un fonctionnement optimal de l'ouvrage.

L'opération de blocage consistait ensuite à introduire les platines de remplissage (vertes), au moyen de cales en aluminium d'épaisseurs variant de 1 à 50 mm (figure 14). ▶



12  
© EIFFAGE



13  
© EIFFAGE14  
© EIFFAGE

Afin de s'assurer du contact "parfait" entre le pot (blanc) et les platines aluminium (vertes), l'opération se fait lorsque la position du tablier oscille avec la température autour du point de blocage (plus ou moins autour de la température neutre) :

→ Le matin, lorsque la température est plus fraîche (le pont est rétracté), on introduit les platines alu (vertes) du côté opposé au sens de rétraction du pont ;

→ En milieu d'après-midi, lorsque la température monte au-dessus de la température de référence (le pont est dilaté), on introduit les platines alu de l'autre côté du pot.

L'opération de fixation des pots est alors terminée. À noter que cette opération pouvait être réalisée avant, après ou pendant la réalisation du tablier.

En plus d'assurer sa fonction de base, ce système d'appareils d'appui à pot aura permis de traiter 3 problématiques :

→ Les besoins de glissement temporaires lors de l'installation de la charpente métallique ;

## CHIFFRES CLEFS

**PIEUX** : 137 u Ø 1 200 mm (longueur totale 2,2 km)

**COFFRAGES** : 18 000 m<sup>2</sup>

**BÉTON (pieux, appuis et tablier)** : 18 000 m<sup>3</sup>

**PRÉDALLES** : 640 u

**CHARPENTE MÉTALLIQUE** : 3 000 t

**ARMATURES PASSIVES** : 3 200 t

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**GROUPEMENT** : Eiffage Canada (mandataire) - Infracon Construction Ltd.

**FINANCEMENT** : BC Hydro

**MAÎTRE D'OUVRAGE** : Ministère du Transport (BC MoTI)

**AMO** : Mc Elhanney

**CONCEPTEUR (Engineer of Records)** : Wsp

**SOUS-TRAITANCE**

**PIEUX** : Cdi (Construction Drilling Inc.)

**FOURNITURE BÉTON** : Rmc (Rolling Mix Concreting)

**FERRAILLEUR** : Agf

**CHARPENTE MÉTALLIQUE** : Rapid Span pour la fourniture et Surespan pour la pose

**COFFRAGES ET ACCÈS** : Doka

**APPAREILS D'APPUIS** : Maurer

**JOINT DE CHAUSSÉE** : Mageba

**13- Installation du tronçon Sud entre P6 et P7.**

**14- Pot fixe avec ses platines de remplissages en aluminium.**

**13- Installation of the South section between P6 and P7.**

**14- Fixed pot bearing with its aluminium filler plates.**

→ Une fixation parfaite des 18 pots fixes ;

→ L'ajustement de la position définitive du pot sur son appui en fonction du comportement réel du pont.

À ce jour, juin 2021, l'avancement du tablier est à 50% et le planning optimisé sera respecté. □

## ABSTRACT

### HALFWAY RIVER BRIDGE, HOT SCHEDULE TO COMBAT COLD WINTERS!

ÉTIENNE THIBAUT, EIFFAGE INTERNATIONAL

**At the end of 2019**, the Ministry of Transportation and Infrastructure of British Columbia (Canada) awarded the Eiffage-Infracon consortium a €72m contract for realignment and upgrading of 3.7 km of the H29 motorway. This section includes, in particular, the construction of a composite bridge 1,042 metres long. A specific feature of the work was that the steel girders were installed in a temperature of -25°C, at a height of 50 metres, by crane handling onto the permanent spherical pot bearing systems. The entire work schedule had to be contracted out (delivery 9 months ahead of schedule) in order to complete the works before the winter of 2021. □

### HALFWAY RIVER BRIDGE, ¡PLANIFICACIÓN CALIENTE CONTRA INVIERNOS FRÍOS!

ÉTIENNE THIBAUT, EIFFAGE INTERNATIONAL

**A finales de 2019**, el ministerio de transporte de Columbia Británica (Canadá) encargó al consorcio Eiffage-Infracon la realineación y la elevación de 3,7 km de la autopista H29, con un coste total de 72 millones de euros. Este tramo incluye la realización de un puente mixto de 1.042 m de longitud, caracterizado por la instalación de vigas metálicas a -25°C, a 50 m de altura, elevadas con grúa sobre los aparatos de apoyo con conector esférico definitivos. El conjunto de la planificación tuvo que contractualizarse (entrega con 9 meses de antelación), con un objetivo de finalización de las obras antes del invierno de 2021. □







# 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



Centre d'enfouissement  
technique du barrage  
de Nachtigal, Cameroun

Géotextile MacTex® H &  
geomembranes MacLine® 5DH