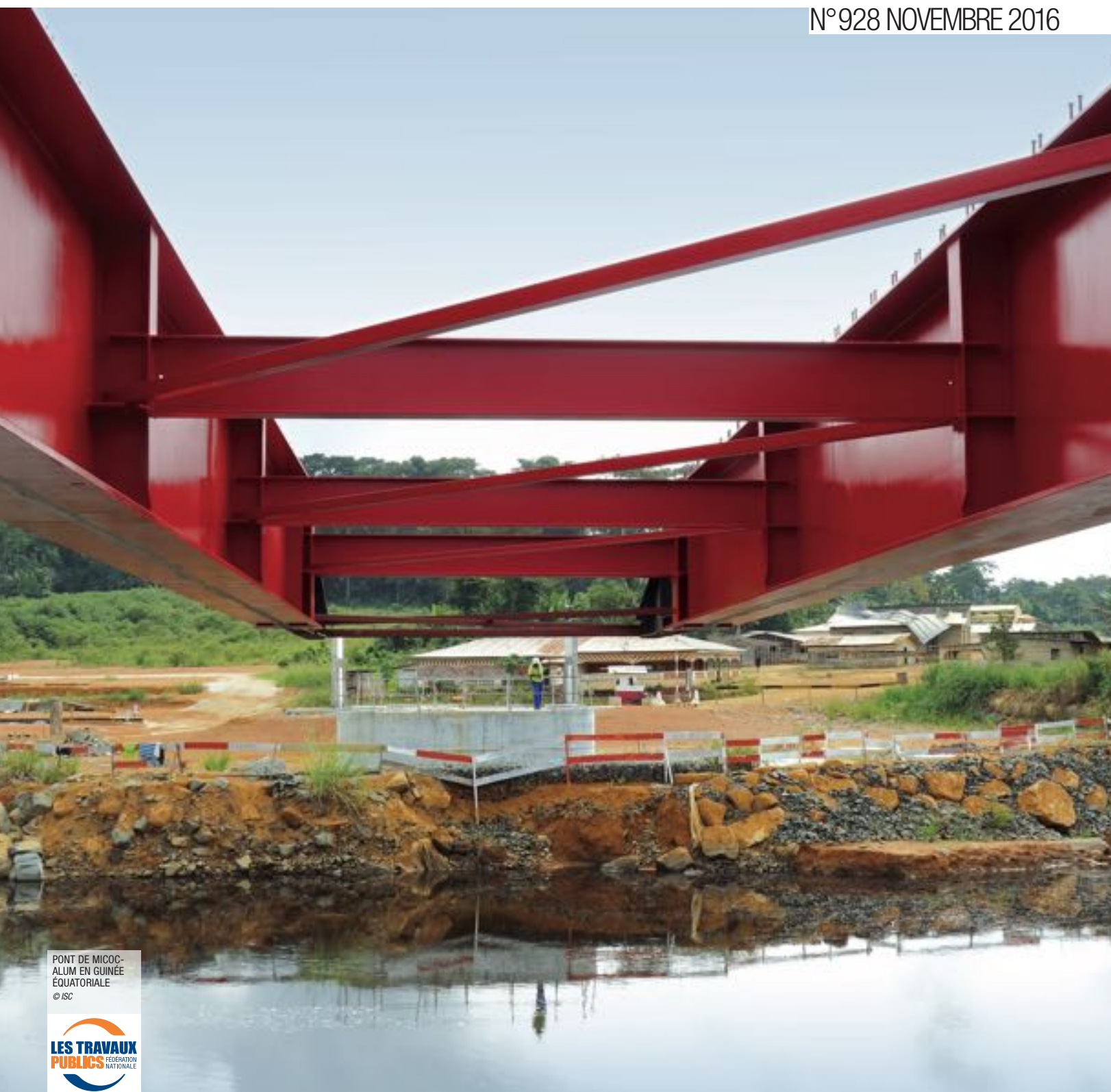


# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**INTERNATIONAL.** ROUTE NATIONALE N°1 AU CONGO. RENFORCEMENT DE BASE DE REMBLAI PAR GEOGRILLE PARALINK®. NOUVEAU QUAI D DU PORT DE POINTE NOIRE. URBAN RENEWAL OF A SYDNEY HARBOUR SITE KNOWN TO BE POLLUTED. PONT A HAUBANS MOHAMED VI AU MAROC. VIADUC DE GARCIA CADENA EN COLOMBIE. PONT DE MICOC-ALUM EN GUINEE EQUATORIALE. BRAZZAVILLE - LA ROUTE DE LA CORNICHE ET LE PONT DU 15 AOUT 1960

N°928 NOVEMBRE 2016



PONT DE MICOC-  
ALUM EN GUINÉE  
ÉQUATORIALE  
© ISC





ArcelorMittal

## Connecting pioneers

Mon expérience globale de la nouvelle génération AZ<sup>®</sup>-800 est très positive. Notre premier essai de battage, avec ces palplanches plus larges, a démontré qu'avec notre matériel de battage actuel la mise en œuvre est plus rapide. Je souhaite bonne chance à la gamme AZ<sup>®</sup>-800. Le gain de temps lors du fonçage des profils réduit les coûts et n'entraîne pas d'investissement supplémentaire.

*Hans-Jörg Krauter, Chef de Projet Fondations Spéciales, Züblin Spezialtiefbau GmbH*



Il y a des pionniers des deux côtés d'un nouveau produit ; les chercheurs et les ingénieurs d'une part, les entrepreneurs et les concepteurs de projets de l'autre. Deux univers unis par un lien d'acier : les palplanches signées ArcelorMittal.



**Directeur de la publication**  
Bruno Cavagné

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

**Comité de rédaction**  
Hélène Abel (Ingerop), David  
Berthier (Vinci Construction France),  
Sami Bounatirou (Bouygues TP),  
Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe  
Gotteland (Fntp), Jean-Christophe  
Goux-Reverchon (Fntp), Laurent  
Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar  
(Eiffage TP), Florent Imberty  
(Razel-Bec), Claude Le Quééré (Egis),  
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),  
Jacques Robert (Arcadis), Claude  
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion  
(Systra), Michel Morgenthaler (Fntp)

**Ont collaboré à ce numéro**  
**Rédaction**  
Monique Trancart, Marc Montagnon

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

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

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

**Directeurs de clientèle**  
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04  
b.cosson@rive-media.fr  
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05  
c.reininger@rive-media.fr

**Site internet : www.revue-travaux.com**

**Édition déléguée**  
Com'1 évidence  
Siège :  
101, avenue des Champs-Élysées  
75008 PARIS  
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).

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

# CONSTRUIRE UN MONDE EN COMMUN



© ANDREW MCLEISH

**N**otre monde est plus connecté et interdépendant que jamais. Notre quotidien peut aujourd'hui être directement impacté par les choix de développement de la Chine ou de l'Inde, dont les classes moyennes aspirent à un niveau de vie comparable à celui de l'Europe, ou encore par l'instabilité géopolitique au Moyen-Orient et en Afrique. Quant aux conséquences du dérèglement climatique, elles ne s'arrêtent pas aux frontières. Face à tous ces défis, notre destin est désormais commun.

Pour réaliser l'agenda du développement durable adopté en 2015 par tous les pays de la planète, nous avons besoin, collectivement, de changer de modèles. De faire émerger de nouvelles trajectoires de croissance. Et de le faire tous ensemble - avec le tissu économique, institutionnel et social en France, avec nos partenaires et nos clients à l'international. Les enjeux sont colossaux et ils sont communs : dérèglement climatique, urbanisation croissante, manque d'infrastructures, accès à l'énergie.

L'Agence Française de Développement (AFD) relève ces défis au quotidien. En 2015, près de 50 % de nos engagements (près de 4 milliards €) ont été consacrés aux secteurs des infrastructures, des villes durables, de l'énergie et de l'eau potable et assainissement. Plus de la moitié des 8,3 milliards € que nous avons engagés en 2015 sont destinés non à des États, mais à des clients non souverains, publics et privés (collectivités locales, entreprises, ONGs, etc).

Sur la voie des Objectifs de Développement Durable, les pays, qu'ils soient en développement ou émergents, ont avant tout besoin de projets. Ils ont aussi besoin d'entreprises et les entreprises ont besoin de nouveaux

marchés. Les entreprises françaises, reconnues pour leur excellence, leur inventivité et leur compétitivité, doivent y prendre toute leur part. L'Afrique, notamment, a un énorme potentiel de développement. Elle comptera plus de 2 milliards d'habitants en 2050 ; aujourd'hui, plus de la moitié de la population du continent a moins de 19 ans. C'est donc une terre d'opportunités, avec une demande locale très forte. La transition énergétique de l'Asie est l'enjeu clé des années à venir. Comment y réaliser dès à présent les bons investissements en infrastructures sobres en carbone ? L'avenir de la transition écologique mondiale en dépend.

Créée à Londres en 1941 par le général de Gaulle, l'AFD est l'opérateur de la politique publique de développement de notre pays. Depuis soixante-quinze ans, elle finance et accompagne des projets et des politiques publiques qui protègent l'environnement, luttent contre la pauvreté et réduisent les inégalités. Elle soutient également le dynamisme économique et social des Outremer. Présente dans 90 pays à travers un réseau de 75 bureaux et près de 2 000 agents, l'AFD est en première ligne pour construire le monde de demain. Par notre connaissance des économies locales, des acteurs et de leurs besoins, nous pouvons accompagner le développement international des entreprises françaises. Notre filiale Proparco appuie le secteur privé. Notre métier à l'AFD : connaître la demande de nos clients à l'étranger et y répondre par de l'expertise française, au service du développement durable.

Pour encourager la prise de risques, à la hauteur des enjeux communs, l'AFD se dote de moyens supplémentaires et invente de nouveaux outils ; c'est tout le sens de l'annonce faite en 2015 par le Président de la République, de 4 milliards de financements annuels supplémentaires à horizon 2020 au service du développement, dont la moitié en faveur du climat. L'AFD se rapproche des entreprises et des territoires pour favoriser le rayonnement de notre pays à l'international. Pour nous ancrer dans les territoires, nous allons sceller une alliance stratégique avec la Caisse des Dépôts et Consignations, à l'occasion de notre 75<sup>e</sup> anniversaire, le 6 décembre prochain.

Nous en sommes certains, car c'est notre expertise depuis trois quarts de siècle : un développement harmonieux dans l'ensemble des pays sera la source d'une prospérité partagée.

**RÉMY RIOUX**  
DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT





# INTER NATIONAL

LA ROUTE NATIONALE N°1 AU CONGO © EGIS / XU HUI - CSCEC





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



14

**ENTRETIEN AVEC  
MANUEL PELTIER**  
SOLETANCHE FREYSSINET -  
UNE EXPERTISE SANS ÉQUIVALENT

20 RINCENT LABORATOIRES -  
ESSAIS, MESURES ET ANALYSES :  
UN KALÉIDOSCOPE DE SPÉCIALITÉS



26

**LA ROUTE NATIONALE N°1  
AU CONGO**  
Un projet d'exception



33

**RENFORCEMENT  
DE BASE DE REMBLAI  
PAR GÉOGRILLE PARALINK®**  
Sur la RN1 au Congo



38

**LE NOUVEAU QUAI D  
DU PORT DE POINTE NOIRE**



44

**BARANGAROO, AUSTRALIA**  
Urban renewal of a Sydney  
Harbour site known to be polluted



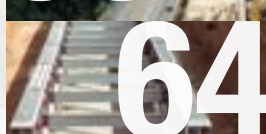
50

**LE PONT À HAUBANS  
MOHAMED VI**  
sur l'Oued Bouregreg



58

**VIADUC DE GARCÍA  
CADENA**  
à Bucaramanga (Colombie)



64

**CONCEPTION  
ET CONSTRUCTION  
DU PONT DE MICOC-ALUM**  
en Guinée Équatoriale



70

**BRAZZAVILLE**  
La route de la corniche  
et le pont du 15 août 1960









## LE PONT MOHAMED VI À RABAT

### UN DES PLUS GRANDS PONTS À HAUBANS D'AFRIQUE

#### L'OUED BOUREGREG

sépare Rabat, la capitale du Maroc, de Salé, l'ancienne cité des corsaires. L'activité des passeurs en barque est moins florissante de nos jours. De grands ouvrages le franchissent tels le pont Hassan II (2011), le pont Moulay Youssef (2014) et le dernier en date, le pont Mohamed VI inauguré le 7 juillet 2016, élément du contournement autoroutier de Rabat. Ce pont à haubans est un ouvrage aussi technique que spectaculaire, fruit de la collaboration entre Marocains, Français et Chinois. L'architecte est Hervé Vadon de Strates OA, la maîtrise d'œuvre a été confiée à Setec Tpi et Maroc Setec, les études ont été exécutées par Egis Jmi.

(voir article page 50).



© EGIS JMI



## GRÂCE AU BIM, L'EXPLOITATION INFLUENCE LA CONCEPTION

**La démarche Bâtiment et informations modélisés (Bim) chemine à grands pas. Elle commence à mieux intégrer l'exploitation et déclenche une cascade de formations.**



La tour de Saint-Gobain à la Défense est conçue avec un Bim incluant l'exploitation dont le nettoyage des vitres.

Quatre fédérations professionnelles ont co-rédigé un manuel pratique sur le Bim en exploitation accompagné d'un kit<sup>(1)</sup>. Ces outils témoignent du rapprochement entre concepteurs, représentés ici par Syntec-Ingénierie, et exploitants avec la Fédération des services énergie et environnement (Fedene) dont le Syndicat du pilotage et de la mesure de la performance énergétique (Sypim) et le Syndicat professionnel des entreprises de multiservice immobilier et de facilities management (Sypemi).

Inclure l'exploitation dans la démarche Bim permet au maître d'ouvrage de mesurer l'impact de ses choix sur le long terme. « Grâce aux métrés obtenus très tôt dans le projet de notre tour à la Défense, nous avons pu évaluer le contrat de ménage et de nettoyage des vitres, nous avons pu simuler l'incidence

d'un choix de conception sur le coût de fonctionnement, » a expliqué un représentant de Saint-Gobain, lors de la présentation du manuel.

### → Gisement d'économies

Le manque de visibilité sur le retour sur investissement du Bim constitue un frein à son utilisation. Or, « le plus grand gisement de retour sur investissement du Bim se trouve sur la gestion du patrimoine car, sur la durée de vie d'un immeuble, l'exploitation représente plus de 75% de son coût global, déclarent les quatre organisations professionnelles à l'intention des maîtres d'ouvrage. Le kit Bim en exploitation va décrire la structuration des données nécessaires à cette phase et permettre aux donneurs d'ordre de l'insérer en phase programmation et conception dans tous les documents contractuels. »

Le maître d'ouvrage a intérêt à disposer d'une description fine de ce qui a été réalisé pour lui et à conserver cette connaissance dans le temps. Cela suppose que les données soient interoperables avec d'autres (format IPC4 recommandé), c'est-à-dire qu'elles fonctionnent dans tout environnement, et qu'elles correspondent bien au réel.

### → Entrer les données avec grand soin

Selon les organisations, il est rare d'hériter de données valides à la livraison d'un bâtiment. La démarche Bim en exploitation veut remédier à cette situation car une vérification après-coup coûte cher. Le personnel qui entre les données doit être averti de l'importance du sérieux de sa tâche.

Les techniciens de terrain trouveront eux aussi un intérêt à bien renseigner les documents. Lors de leurs interventions, ils gagnent du temps en localisant plus

facilement les installations, ils savent à l'avance ce qui doit être fait. L'utilisateur de l'immeuble sera dérangé moins longtemps.

### → Standing digital d'un immeuble

Les entreprises prestataires de performance énergétique (Sypim) parlent désormais de standing digital d'un bâtiment : « un bien immobilier se remet mieux sur le marché si les données d'exploitation sont connues », autrement dit son coût à long terme pour l'occupant. Le kit Bim se fonde sur une démarche circulaire avec, au centre du dialogue, l'exploitation. Pour le moment, il compile les lots chauffage-ventilation-climatisation, plomberie et électricité. À court terme, seront inclus la sécurité incendie et l'architecture. Le manuel sera traduit en anglais. ■

<sup>(1)</sup> "Réussir le Bim pour l'exploitation" contient une présentation du kit qui sera mis à disposition après inscription, gratuite, sur [www.fedene.fr](http://www.fedene.fr).

## SIX PROJETS, EXPLOITATION COMPRISE

**Les réalisations et projets suivant une démarche Bim (Bâtiment et informations modélisés) incluant la maintenance ne sont pas encore très nombreux. Voici quelques exemples :**

- Thalès Helios (Yvelines),
- Centre de recherche Air Liquide (Yvelines),
- Complexe sportif, patinoire (Val-d'Oise),
- Tour Saint-Gobain (La Défense),
- Centre de recherche L'Oréal (Val-de-Marne),
- Aéroport de Santiago (Chili).

## 80 000 PERSONNES À FORMER EN TROIS ANS

Une étude réalisée au premier semestre estime que 80 000 salariés du secteur de la construction devront être formés à la démarche Bim d'ici à 2020, considérant qu'elle mobilise des compétences inédites. Elle a été réalisée pour l'Observatoire paritaire des métiers du numérique, de l'ingénierie, des études et du conseil, et des métiers de l'événement, par Kyu Lab et ACTH.

### → Revaloriser l'ingénierie

Selon ce document, l'adoption de la démarche entraîne une perte de productivité de l'ordre de 15% durant la phase de montée en compétences. Elle nécessite une profonde mutation des modes de travail, aussi bien dans l'entreprise

qu'avec les partenaires extérieurs, depuis le maître d'ouvrage jusqu'à l'exploitant. L'outil numérique Bim a besoin d'être alimenté avec des données exactes et

précises. « Certains éléments de mission de conception devront être détaillés et entraîneront un élargissement du rôle de l'ingénieur, écrit Syntec Ingénierie qui a

participé au pilotage de l'étude. La plus grande coordination entre les intervenants appelle la mise en place d'un Bim manager. L'adoption du Bim par l'ensemble de la filière confirme le rôle de pilote de projet des ingénieries, ce qui devra s'accompagner (...) d'une revalorisation de la profession. »

Syntec Ingénierie relève qu'au premier semestre 2016 « 68% des ingénieries françaises se déclaraient encore peu matures pour mettre en œuvre la démarche ». L'organisation professionnelle a présenté son plan d'actions pour les accompagner dont la brochure "Réussir le Bim pour l'exploitation" (cf. ci-dessus) et de la formation. ■

## SE CERTIFIER EN BIM

**Quinze personnes participent à la première formation "le projet en Bim" que l'École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP) a lancée le 5 octobre.**

**Cette formation, destinée aux salariés, dure dix jours (150 heures) étalés sur quatre mois et demi. Il y aura deux sessions par an. Elle débouche sur un certificat co-signé de l'École et de Sightline Group, accompagnateur de professionnels dans la démarche Bim.**



## PRIX IABSE DES SPÉCIALISTES EN STRUCTURES

Les auteurs français d'un article sur le pont Mathilde à Rouen (Seine-Maritime) ont reçu un prix de l'International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE, Suisse). Ce "technical outstanding paper award" récompense Bruno Godart, Jacques Berthelémy et Jean-Pierre Lucas, pour "Diagnostic, évaluation et réparation du pont Mathilde proche de l'effondrement lors d'un incendie", paru en août 2015 dans la revue de l'IABSE, *Structural Engineering International*<sup>(1)</sup>. En octobre 2012, le pont Mathilde est déformé par l'incendie d'un camion-citerne<sup>(2)</sup>. Il est refait en 2014.

Un autre prix pour un article, cette fois scientifique, a été accordée par l'organisation aux Suédois Lars Pettersson, Esra Bayoglu Flener et Hakan Sundquist pour la conception de ponts en tôle ondulée composée d'un acier associé aux sols environnants<sup>(3)</sup>.

### → De la conception au chantier

Les prix de l'IABSE 2016 nomment deux membres honoraires : Yozo Fujino (Japon), expert en dynamique des structures d'ouvrage d'art - pont Millenium à Londres, pont Stonecutter à Hong-Kong, etc. - et Riccardo Zandonini (Italie), spécialiste des déformations sur structures en acier ou acier-béton.

Le grand prix IABSE distingue Hector Beade Pereda (Espagne) pour la qualité de sa conception d'ouvrages d'art en s'impliquant à toutes les étapes jusqu'au chantier. Il a construit toutes sortes de



Les auteurs d'un article sur la réfection d'une travée, la 1<sup>re</sup> à droite sur la photo, du pont Mathilde à Rouen (Seine-Maritime), ont reçu un prix.

ponts, surtout en Espagne, depuis la passerelle à Logrono (nord de l'Espagne) jusqu'au viaduc pour train à grande vitesse à Caceres (centre-Ouest).

### → Ouvrages hors du commun

Dans la catégorie des ouvrages extraordinaires construits récemment, l'organisation a couronné deux réalisations.

La tour de Shanghai (Chine) - 632 m de haut (583 pour sa structure) - sort du lot pour les liens entre sa structure principale et le système de support des murs rideaux. Elle est construite sur un sol instable avec des fondations profondes. Le mur rideau extérieur est séparé de la structure principale. La tour comprend un

second mur rideau, intérieur et circulaire. La forme triangulaire de l'extérieur réduit la prise au vent de la tour.

Finaliste de cette catégorie : le viaduc au-dessus de la rivière Ulla en Espagne, sur la ligne de train à grande vitesse entre La Corogne et Pontevedra (Galice). Longueur : 1 620 m avec trois travées de 225, 240 et 225 m. ■

(1) Titre original : "Diagnosis, Assessment and Repair of the Mathilde Bridge Close to Collapse during a Fire".

(2) Cf. *Travaux* n°896, avril-mai 2013.

(3) En anglais : corrugated steel sheets in composite action with the surrounding soil (<https://trid.trb.org/view.aspx?id=1375892>).

## PRIX EUROPÉEN DE L'URBANISME AU GRAND ROISSY

Le grand prix européen de l'urbanisme 2016 a été remis à l'Association des collectivités du Grand Roissy et à l'Établissement public d'aménagement Plaine de France pour le développement du territoire autour de l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle (Val-d'Oise). Soixante communes du Grand Roissy (Val-d'Oise et Seine-Saint-Denis) et l'EPA y travaillent depuis sept ans avec Aéroports de Paris. Elles considèrent l'aéroport non pas comme une nuisance mais comme un atout.

Le jury du prix a apprécié « la démarche d'unification d'un territoire fragmenté, de coopération des échelles et d'approche globale du développement urbain, au service de la compétitivité métropolitaine. (...) Le plan stratégique élabore les conditions de l'appropriation de la dynamique et des bénéfices du pôle aéroport au profit de la requalification du cadre de vie des habitants et des voyageurs en escale à Paris. »

### → L'économie prime

La compétitivité économique, au cœur de la démarche, « passe par une offre foncière et urbaine diversifiée et cohérente, par l'accueil d'équipements comme un centre de congrès, des parcs d'activités et quartiers d'affaires internationaux. » Les zones plus anciennes, comme le parc d'activités Paris Nord 2 (années 1980) et les terrains de PSA, sont redéveloppées.



Le redéploiement du parc d'activités Paris Nord 2 est au programme du Grand Roissy, au nord de Paris.

## VIVAPOLIS, ASSOCIATION NATIONALE ET INTERNATIONALE

Vivapolis, marque à l'international du savoir-faire français en matière de ville durable, est devenue association en mars 2016. Son conseil d'administration s'est réuni pour la première fois le 5 juillet et a choisi Patrice Vergriete, maire de Dunkerque (Nord), comme président<sup>(1)</sup>, une façon de souligner l'importance de l'ancrage territorial dans ce domaine.

Depuis mars, l'activité de Vivapolis est élargie au national avec le lancement du réseau des acteurs de la ville durable dont l'animation et le pilotage ont été confiés à Michèle Pappalardo.

Dénommée "Vivapolis, l'institut pour la ville durable", l'association réunit l'État et



Bus au gaz naturel de ville (GNV) à Dunkerque (Nord), ville dont le maire est le 1<sup>er</sup> président de l'association Vivapolis.

ses opérateurs, les collectivités territoriales, les entreprises et les experts, dans le but de faire progresser la ville durable en France et à l'international. L'adhésion

au réseau est gratuite mais nécessite une implication des membres dans les travaux.

### → Sujets non traités ailleurs

Lieu d'échange d'informations et d'expériences, Vivapolis se concentre sur les sujets insuffisamment développés dans d'autres instances.

Trois premières thèmes d'action ont été définis : innovation (4 réunions par an, 3 ateliers sur programmes européens) ; international (présence française aux grands événements, développement de l'exportation) ; valorisation (diffusion de l'expérience française).

À suivre sur [www.vivapolis-ivd.com](http://www.vivapolis-ivd.com) ■

(1) Cf. rubrique Nominations.



## SYNTEC- INGÉNIERIE SE RENFORCE À L'INTER- NATIONAL

Début septembre, Syntec-Ingénierie et Expertise France - agence publique de coopération technique internationale - ont signé une charte de bonne conduite afin d'élaborer des offres associant savoir-faire privé et public sur des projets internationaux. En juin, l'organisation a créé un groupe de travail avec le Syndicat des énergies renouvelables en vue d'actions communes avec le soutien de l'Ademe internationale.

## OUVERTURE DE L'ADSTD

L'Association des directeurs de services départementaux (ADSTD) est désormais ouverte aux directeurs techniques des métropoles et des régions. Elle change de nom et devient ADTech.

## PROJETS RAIL OU CÂBLE

Les candidats à l'appel à projets Transports ferroviaires et guidés (ferré, par câble, passagers ou marchandises) ont jusqu'au 31 mars 2017 pour y répondre (réf. IA Fer2016).

Il s'agit de soutenir financièrement la recherche-développement de réalisations industrialisables de ces modes de transport, en urbain, inter urbain, à courte ou longue distance.

## PARTENARIAT SNCF-CSTB

SNCF Immobilier et le Centre scientifique et technique du bâtiment ont signé un partenariat de recherche de trois ans sur le Bim bâtiment et la maquette numérique urbaine (1<sup>re</sup> action), l'acoustique et les vibrations, la stratégie énergétique à l'échelle de l'îlot et du quartier, l'analyse du cycle de vie et les impacts carbone.

## VALORISER LES DÉCHETS DE SECOND ŒUVRE



Pour trier finement les déchets sur chantier, il faut disposer d'un petit contenant par matière.

Un prototype de bâtiment de stockage construit à partir de 90 % de matériaux recyclés verra le jour à l'été 2017 dans le groupe SNCF. « Nous voulons créer une véritable filière pour réutiliser les déchets de chantiers », précise Cyrille Blard, chef de projet industrialisation des produits de dépose à SNCF Réseau. Le groupe a une stratégie d'économie circulaire depuis 2010 et entend dynamiser une boucle matière allant jusqu'à la fabrication de produits de qualité. Seulement 35 % des 10 millions de tonnes de déchets de second œuvre sont valorisés, chaque année. On est loin des 70 % en 2020 demandée par la directive cadre européenne 2008/98/CE. Le projet Démoclés, lancé en 2014 pour améliorer les pratiques dans ce domaine, a publié ses conclusions fin septembre. À l'origine du projet : Récyclum. L'éco-organisme des équipements électriques et électroniques le pilote avec sept autres organisations<sup>(1)</sup>.

### → Diagnostic à communiquer

Les conclusions du projet se fondent sur dix-neuf chantiers. Recycler des déchets ne coûte pas plus cher que les mettre en décharge. À certaines conditions. L'entreprise de curage ne peut pas se retrouver seule face à ce qu'elle découvre. « Tous les acteurs sont responsables mais il n'y a pas de réel dialogue entre eux sur toute la chaîne », a constaté Hervé Grimaud, coordinateur de projet et directeur de Récyclum. La réunion dans Démoclés de maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises du bâtiment, gestionnaires de déchets,

industriels et pouvoirs publics, témoigne de l'amorce d'un dialogue.

Les maîtres d'ouvrage sous-estiment souvent ce poste. Ils doivent joindre un diagnostic déchets - à partir de 1 000 m<sup>2</sup> de plancher détruits - aux dossiers d'appels d'offres. Un lot peut être dédié aux déchets.

### → Trier avec soin

Le taux de valorisation des déchets peut atteindre 80 % si les matières sont collectées séparément et si elles restent propres. Du verre sali par de la colle ou de la résine, est bon à jeter.

Il faut disposer de réceptacles multiples : « Il n'y a pas de place en milieu urbain pour plusieurs bennes. Tout est mis dans la même. Des petits contenants au plus près de chaque poste de travail conviennent mieux », explique Laurent Chateau,

réfèrent déchets BTP de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Sacs à gravats, casiers grillagés sur palette, etc., feront l'affaire.

Le gestionnaire de déchets, de son côté, informera son client sur les matières récupérables et comment elles doivent être préparées.

### → Le Démoclés 2 démarre

Démoclés entre dans une phase de mise en pratique de ses recommandations. L'Ademe a accordé son financement pour une nouvelle période de dix-huit mois. Le Démoclés 2 comprend un volet formation à côté de l'appui apporté aux différents acteurs. ■

<sup>(1)</sup> AIMCC, AMF, CNLRQ, Fieec, Sned, SR BTP, Untec. Financement : Ademe, Récyclum, Ares Services (insertion), GTM Bâtiment et Nantes.

## ÉVACUATION PAR PÉNICHE

Une péniche de 300 tonnes évacue une partie des déchets de la rénovation du magasin La Samaritaine (Paris 1<sup>er</sup>), chantier confié à Petit (entreprise générale, Vinci Construction France).

La barge transporte en vrac les gravats, et les déchets qui ne peuvent pas être triés et ne sont pas dangereux (déchets industriels banaux). Faute d'un quai adapté à proximité, il faut d'abord que des camions les acheminent chez CHR-Raboni, à Ivry-sur-Seine (Val-de-Marne). De là, ils rejoignent par la Seine le site de Paprec, à 38 km (Gennevilliers, Hauts-de-Seine), où ils seront triés et recyclés.

À la fin du chantier en 2018, 35 % auront été évacués par le fleuve. Bateau et camion tendent à arriver à un coût comparable, selon les partenaires.



## CLASSEMENTS ARCADIS

### SINGAPOUR, PAYS LE PLUS ATTRACTIF POUR LES INFRASTRUCTURES

Singapour est le pays le plus attractif pour les investissements en infrastructures, selon le rapport mondial *Global Infrastructure Investment Index*<sup>(1)</sup>, publié tous les deux ans par Arcadis.

La société d'ingénierie classe 41 pays selon « le taux d'imposition, le PIB par habitant, la politique gouvernementale, la qualité des infrastructures existantes et la disponibilité du financement par la dette. »

La République de Singapour, pays-ville de 5,5 millions d'habitants, présente le contexte le plus favorable aux investisseurs. Elle se maintient en tête du classement par rapport à 2014. Si « la plupart des projets sont traditionnellement financés par l'argent public, le pays cherche à développer des partenariats avec des investisseurs institutionnels privés, » écrit Arcadis.

Le Qatar et les Émirats arabes unis, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> derrière Singapour comme en 2014, se tournent aussi vers le privé, notamment à cause de la chute des revenus du pétrole. En 4<sup>e</sup> place, on trouve toujours le Canada suivi de la Malaisie qui, elle, remonte de deux rangs par rapport à 2014.

Les premiers pays d'Europe apparaissent au 6<sup>e</sup> rang avec la Norvège puis la Suède. Le Royaume-Uni vient en 9<sup>e</sup> place



À Singapour, téléphérique entre l'île principale et l'île de Sentosa, touristique.

avançant d'un rang par rapport à 2014 tout comme les Pays-Bas qui la suivent. **→ L'Europe reste un marché rassurant**

La France est classée au 19<sup>e</sup> rang comme en 2014 mais deux places derrière le classement de 2012. « L'objectif de réduction des déficits fixé par l'Union européenne a conduit à une maîtrise de la dépense publique, d'où moins d'investissements dans les infrastructures, explique Philippe Autuori, directeur de la division infrastructures Europe du Sud d'Arcadis. À l'échelon régional, l'augmentation des charges liée à une crois-

sance réduite (...) a eu le même effet sur les investissements locaux. »

L'Allemagne progresse d'un point à la 13<sup>e</sup> place, l'Autriche passe de la 16<sup>e</sup> à la 14<sup>e</sup>.

Globalement, les pays européens restent des marchés stables, matures et attractifs pour les investisseurs. Cependant, « la région est affectée par des challenges économiques en particulier en Europe continentale, tempère le rapport d'Arcadis. Le plan Juncker de 315 milliards d'euros<sup>(2)</sup> vise à créer une base de données européenne des projets et une plateforme ouverte aux partenariats publics privés. »

**→ Le Chili, 16<sup>e</sup>**

Les États-Unis, passés de la 11<sup>e</sup> place en 2012 à la 8<sup>e</sup> en 2016, sont estimés solides économiquement, moins risqués, dotés d'un secteur financier fort et avec une marge de progression dans les transports.

À noter que le Chili occupe la très honorable 16<sup>e</sup> place, devant la Chine. La Corée du Sud est 20<sup>e</sup> et l'Inde, 23<sup>e</sup>. ■

<sup>(1)</sup> À retrouver sur <https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/2016/05/which-countries-are-the-most-attractive-for-infrastructure-investment/>.

<sup>(2)</sup> Le plan Juncker vise à susciter des investissements à hauteur de 315 milliards d'euros en faisant appel en grande partie au privé.

### ZÜRICH, VILLE LA PLUS DURABLE



Le quartier de Part-Dieu va booster l'économie de l'agglomération de Lyon.

Zürich (Suisse) est la ville la plus durable dans le monde avec de bons scores sur les volets économique et environnemental, mais moins bon en social, selon le rapport 2016 *Arcadis Sustain-*

*nable Cities Index*<sup>(1)</sup>. Le social est le parent pauvre du développement durable presque partout. Londres obtient un bon classement écologique - 9<sup>e</sup> place - et économique (4<sup>e</sup>) mais pêche sur le social (37<sup>e</sup>). Les villes équilibrant le mieux les trois volets du développement durable sont Stockholm (Suède) et Vienne (Autriche).

Paris arrive en 15<sup>e</sup> position du classement global. Elle gagne une 9<sup>e</sup> place sur l'économique grâce à l'implantation de sièges sociaux d'entreprise qui en font la 1<sup>re</sup> ville de l'Union européenne en la matière, devant Londres et Berlin.

Lyon, deuxième ville française à apparaître dans ce palmarès, figure en 47<sup>e</sup> position. « Les actions dédiées à ses habitants en font une ville très attractive

pour sa qualité de vie, développe Frédéric Courthial, directeur Sud-Est d'Arcadis France. (...) La Part-Dieu, 2<sup>e</sup> quartier d'affaires après La Défense, doublera d'ici peu son volume d'activité tertiaire. (...) À moyen terme, Lyon deviendra une grande place de business européenne. »

**→ Singapour en 2<sup>e</sup> position**

Singapour se hisse à la 2<sup>e</sup> place du classement des villes durables en occupant la tête du volet économique (1<sup>re</sup> mondiale) mais en étant beaucoup moins performante sur le social (48<sup>e</sup>) notamment à cause du temps de travail et de la cherté de la vie. ■

<sup>(1)</sup> Tout le palmarès sur : <https://www.arcadis.com/media/0/6/6/6/7B06687980-3179-47AD-89FD-F6AFA76EBB73%7DSustainable%20Cities%20Index%202016%20Global%20Web.pdf>.

### LA HAVANE RÉNOVE SON AÉROPORT

Aéroports de Paris associé à TAV Airports et en consortium avec Bouygues Bâtiment International, est entré en phase de discussion exclusive pour le marché de développement de l'aéroport international José Martí de La Havane (Cuba). Le contrat de concession portera sur la rénovation, l'extension et l'exploitation des terminaux existants. L'objectif est d'accueillir deux fois plus de passagers qu'avant, soit 10 millions en 2020.

### MONACO S'AGRANDIT PAR LA MER

La principauté de Monaco va gagner six hectares sur la mer dans l'anse du Portier. L'agence d'architecture Valode & Pistre est chargée du plan d'ensemble, de la conception architecturale des infrastructures et aménagements publics, du quartier central et de celui de la colline. Sont également impliqués dans le projet : Renzo Piano pour le quartier du port, Michel Desvigne, paysagiste, et l'architecte monégasque Alexandre Giraldi.

Bouygues Construction a démarré les travaux de l'infrastructure maritime, 1<sup>re</sup> phase de cette extension. Il s'agit de construire un barrage formé d'un remblai confiné dans une ceinture de 18 caissons trapézoïdaux préfabriqués, en béton armé, de 26 m de haut, munis de chambres d'amortissement. Ils protégeront le site de l'impact des fortes houles.



© VALODE & PISTRE

L'extension de 6 ha crée un nouveau rivage.



**EDF INVESTIT DANS L'ÉOLIEN EN ASIE**

EDF Énergies Nouvelles détient désormais 80 % des parts de la société AMW de Hong Kong, spécialisée dans l'éolien.

Le gouvernement chinois a annoncé vouloir augmenter la puissance électrique d'origine éolienne de 15 GW par an, d'ici à 2020, pour atteindre un total de 200 GW. Par ailleurs, l'entreprise a pris 50 % du capital de Sitac Wind, en Inde qui vise 60 GW installés en 2022.\*

\* Le Monde, 27 septembre 2016.

**EIFFAGE, ACQUÉREUR D'UN FLAMAND**

Eiffage Benelux (branche construction d'Eiffage) s'est portée acquéreur du groupe Chris Vuylsteke, implanté en Flandre occidentale, spécialisé dans la construction et la promotion immobilière. Les autorités de la concurrence belges doivent donner leur accord.

Le groupe emploie 160 personnes et réalise 45 millions d'euros de chiffre d'affaires.

**SOLAIRE ET DIESEL**

Deux sociétés allemandes spécialisées dans l'énergie solaire photovoltaïque associée à d'autres solutions vont coopérer. IBC Solar AG propose du solaire photovoltaïque et du stockage d'énergie, et Dhybrid Power Systems GmbH conçoit des productions d'énergie hybrides. Les deux partenaires veulent offrir des systèmes associant du solaire à du diesel, le second, fonctionnant en relai du premier par mauvais temps.

**CHANTIER RTE DANS LES HAUTES-ALPES**



© HELIOS IMAGEN/DATHÉQUE RTE

Cent kilomètres de lignes sont enterrés.

Réseau de transport d'électricité (RTE) a commencé les travaux pour refaire 215 km de son réseau Haute-Durance (Hautes-Alpes). À ceci plusieurs raisons : leur vétusté - l'ossature remonte à 1930 -, l'éloignement nécessaire des habitations car les communes se sont étendues depuis l'époque, la préservation du paysage et la nécessité de les renforcer.

Ce réseau est situé entre le secteur du lac de Serre Ponçon-Grisolles, à l'est de Gap, et Le Serre Barbin, au nord-ouest de Briançon. Il court sur 215 km en aérien avec une ligne de 150 000 V et

plusieurs lignes de 63 000 V vers le réseau de distribution.

**→ Diagnostic énergétique**

Une fois les sept chantiers terminés en 2021, 115 km auront été renouvelés en aérien et 100 km auront été enterrés. Ce programme portera ainsi à 20 % le taux de mise en souterrain du réseau de transport d'électricité des Hautes-Alpes, égalant celui de l'Île-de-France. Il ne restera que 356 pylônes contre 670, auparavant. La ligne à 150 000 V est remplacée par deux de 125 000 V, afin d'en avoir une de secours en cas de rupture. Ce projet a fait l'objet d'une importante

concertation entre 2009 et 2015. Un diagnostic énergétique des besoins locaux a déterminé les puissances nécessaires au développement du territoire, incluant l'apport d'énergies nouvelles renouvelables et tempérées par les économies d'énergie possibles. La puissance de transport s'élèvera à 250 MW en 2020.

**→ Objectif : zéro accident**

Par ailleurs, les sept chantiers du projet devraient être exemplaires en matière de sécurité du personnel. Pour le volet prévention, RTE a signé une convention avec l'Organisme professionnel de prévention du BTP, avec Haute Durance Initiative émanant de la Chambre de commerce et d'industrie des Hautes-Alpes et la Fédération départementale du BTP. En ce qui concerne le bon déroulement du chantier, l'entreprise est accompagnée par l'Institut pour une culture de sécurité industrielle. Le chantier comprend des bâtiments, du génie civil sur routes, la mise en place de pylônes et du transport par hélicoptère. La réalisation est confiée à une cinquantaine d'entreprises sous-traitantes. Les actions prévention-sécurité visent à aller au-delà des exigences réglementaires et à faire partager une culture commune. Objectif : aucun accident. Les travaux du réseau Haute-Durance, qui s'élèvent à 230 millions d'euros, constituent un gros investissement pour RTE dans la région. ■

**GRANDS CANIVEAUX SUR PLATE-FORME FER-ROUTE**

La plate-forme intermodale en construction à Bettembourg au Luxembourg sera drainée par des caniveaux au lieu d'un grand bassin de rétention à ciel ouvert qui aurait accaparé de la surface d'exploitation. Cette plate-forme vient agrandir le terminal existant. Elle comprend un côté rail-route composé de deux voies ferrées de 700 m chacune pouvant alimenter des semi-remorques et un côté route-rail de quatre voies ferrées, de 700 m également, et une route à deux voies. Chaque année, 300 000 conteneurs pourront y être manipulés par des engins pesant jusqu'à 90 tonnes et soulevant jusqu'à 45 tonnes.

La société nationale des chemins de fer luxembourgeois (CFL) a opté pour des caniveaux Birco. L'entreprise a réduit le nombre de pièces spéciales de 60 %

grâce à une gestion et un tracé optimisés, ce qui a raccourci les temps de pose.

**→ Réseau de 16 km**

Début septembre, elle avait livré : 14,56 km de caniveaux, 1,6 km avec coupes d'angle et 350 avaloirs. Les caniveaux sont en béton armé recouvert d'un

silicate contre les produits corrosifs. Ils sont fournis en 4 m de long sur 0,5-0,6 m de large. Ils sont capables de répondre à des sollicitations de la classe F900 tout comme les avaloirs de 1 m de long sur 0,70 m de large avec des parois de 150-245 mm d'épaisseur. ■



© BIRCO

Les caniveaux occupent moins de surface qu'un bassin de rétention des eaux pluviales.



### LA SEINE MUSICALE POINTE SON ŒUF SUR L'ÎLE SEGUIN



La cité musicale départementale ouvre au printemps 2017.

Il n'aura fallu que vingt-cinq ans à l'île Seguin (Hauts-de-Seine) pour se métamorphoser. En 1992, le site Renault cesse d'y produire des voitures. En 2005, les bâtiments sont rasés. Depuis l'époque médiévale, l'île a déjà connu de nom-

breuses transformations. Armand Seguin, qui lui donne son nom, l'achète en 1794 pour y expérimenter un nouveau procédé de tannerie.

#### → 800 m<sup>2</sup> solaires

Aujourd'hui, différents projets se côtoient dans la ligne du plan urbain de Jean Nouvel. À une extrémité, sort de terre l'auditorium en forme d'œuf de la cité musicale départementale, dénommée Seine musicale. Les Hauts-de-Seine ont acquis le tiers de l'île, soit 2,35 hectares, en 2010, pour un euro symbolique.

La Seine musicale borde la Seine sur 324 m de long et se développe sur 36 500 m<sup>2</sup> construits. Le chantier, commencé en décembre 2013, devra être terminé pour le premier concert au printemps prochain.

La Seine musicale se présente comme un paquebot d'où émerge un œuf en verre protégé d'une résille de bois qui abrite une première salle de 1 150 places<sup>(1)</sup>. Une voile de 45 m de haut supportera 800 m<sup>2</sup> de panneaux photovol-

taïques. Toutes les musiques y seront jouées grâce à la seconde salle de spectacles qui accueillera 4 000 à 6 000 personnes. Le bâtiment abritera aussi des studios d'enregistrement, un jardin de 7 410 m<sup>2</sup> sur le toit et tous les services liés à la fréquentation de ce lieu culturel.

#### → Projet public privé

Rappelons que la conception architecturale est aux mains de deux architectes : le Japonais Shigeru Ban, associé à Jean de Gastines<sup>(2)</sup>.

L'opération est réalisée en partenariat public privé. Le contrat de trente ans lie le Conseil départemental à un groupement mené par Bouygues Bâtiment Île-de-France (le fonds Infravia, Sodexo, TF1 Entertainment) avec les architectes. Montant : 170 millions d'euros dont 120 à la charge du département. ■

<sup>(1)</sup> Cf. *Travaux* n°900, octobre 2013, page 15.

<sup>(2)</sup> Les deux architectes ont déjà collaboré au Centre Pompidou de Metz.

### GÉOTEXTILE À BANDE RÉFLÉCHISSANTE

Ce géotextile à bandes en aluminium réfléchit et amplifie le signal d'un radar géophysique servant à ausculter l'état et l'épaisseur d'un ballast. Placé sous le ballast d'une voie ferrée, il en permet un contrôle plus fin et donc, la détection plus précoce d'un désordre.

L'Enka D-Tec de Low & Bonar est utilisé par la SNCF. Rien n'empêche de l'installer en sous-couche routière, piste d'aéroport, à des points nécessitant une surveillance particulière.



Pose sous ballast.

### TUYAUX À REVÊTEMENT ANTI COURANTS VAGABONDS

Les tuyaux en fonte se corrodent plus vite s'ils se trouvent dans un milieu où circulent des courants électriques vagabonds. Dans la zone industrielle Aeroconstellation à Toulouse (Haute-Garonne), ces courants sont générés par les activités notamment aéronautiques et par le passage du tramway. Ni le métal ni les terres ne leur font obstacle. C'est pourquoi la métropole de Toulouse a opté pour des tuyaux en fonte avec



Installation dans la zone industrielle Constellation à Toulouse (Haute-Garonne).

revêtement intérieur et extérieur en polyuréthane (produit Vonroll) pour les réseaux d'eau, d'assainissement et d'incendie sur une longueur de 138 m, enterrés à 4 m de profondeur. Le polyuréthane résiste aux courants vagabonds.

#### → Durée de vie : trente ans

Leur durée de vie, sans corrosion, devrait passer de cinq à trente ans, selon Frans Bonhomme qui distribue ses canalisations. ■

### BLINDAGE EN BÉTON

Spie Batignolles TPCI et EuroMC lancent une paroi protégeant un bâtiment des ondes électromagnétiques (parasitage des transmissions). La paroi est constituée d'un béton chargé en particules conductrices pour absorber les hautes fréquences, associé à un treillis conducteur fixé sur la peau pour les moyennes et basses fréquences. La performance de l'atténuation dépend de la maille du treillis, de la nature des

fibres métalliques et de leur pourcentage, et de l'épaisseur du béton.

#### → Deux fois moins cher

Cette paroi ne nécessite aucune maintenance. Elle est fabriquée à partir de produits courants et son montage est traditionnel. Elle coûte, selon ses concepteurs, deux fois moins cher que la construction d'un blindage en panneaux métalliques autoportants ou de feuilles de cuivre fixées sur les parois. ■



Schéma de principe de la paroi absorbant les ondes.

### TOILE DE BÉTON

Cette toile de béton convient pour la protection des berges, bassins de rétention, canaux de drainage, merlons, etc.

La toile de 5 ou 8 mm d'épaisseur comprend une géomembrane de 1,4 mm, imperméable, résistante aux hydrocarbures en plus de l'être à l'abrasion, aux UV et à la perforation.

Cimtex Hydro est constitué d'une matrice de fibres en trois dimensions contenant un mélange élaboré à partir de béton sec. Une fois positionné, il est arrosé pour que les fibres renforcent le ciment et forment une couche de béton mince.

Les bandes de 1 m ou 1,10 m de large sont assemblées sur chantier par thermosoudage.



La géomembrane apporte étanchéité et résistance à la toile.



## RECALAGE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Le logiciel 1Integrate recalcule les données géographiques de plusieurs documents, par exemple ceux donnant les emplacements de réseaux enterrés. Des relevés géospatiaux et des fonds de plan peuvent être corrects en valeur relative mais s'écarter de plusieurs mètres de la réalité de terrain, un inconvénient pour qui veut les superposer. Les replacer dans un système géographique plus global pose problème s'ils ne peuvent pas être placés au bon endroit et s'ils ne sont pas interopérables. Dans 1Integrate, les vecteurs de déplacement sont calculés par appariement des identifiants des géométries sources et cibles en exploitant un algorithme mathématique, la triangulation Delaunay, précise 1Spatial qui fournit l'outil.

## PALPLANCHES PLUS GRANDES

Cette nouvelle génération de palplanches AZ, de 800 mm de largeur au lieu de 700 auparavant, a été mise en œuvre cet été. Un essai de battage dans un sol dur (SPT > 45) a eu lieu dans le Sud de la France. Des palplanches doubles AZ 20-800 de 15 m de longueur ont été foncées par vibrofonçage et battues au marteau diesel. Une nouvelle technique de laminage autorise des dimensions supérieures dans une épaisseur optimisée, sans accroître le poids (Arcelor Mittal). Ainsi, faut-il moins de profils pour une longueur de rideau donné, d'où une pose plus rapide.



Palplanches de 15 m de long.

© DFC BATTAGE

## INNOVATIONS TECHNIQUES AUX TROPHÉES DE LA CONSTRUCTION



© ATELIER D'ARCHITECTURE KING KONG

Ce lustre contribue à l'acoustique de l'auditorium de la chapelle Corneille à Rouen (Seine-Maritime).

Le lustre de la Chapelle Corneille à Rouen (Seine-Maritime) éclaire, chauffe et canalise le son. Il a remporté un des Trophées de la construction organisés par Batiactu sous le parrainage du ministère du Logement et de l'Habitat durable<sup>(1)</sup>. Vingt-trois réalisations ont été distinguées le 13 septembre. Nous en retenons ici deux dans la catégorie "solutions techniques et métier d'art".

La chapelle Corneille du XVII<sup>e</sup> siècle a été réhabilitée notamment pour abriter des concerts de musique non amplifiée, d'où la nécessité d'en retravailler l'acoustique. « Elle offre une bonne réverbération du son, celui-ci se propage très facilement mais il a besoin d'être canalisé, » précise l'Atelier d'architecture King Kong, maître d'œuvre mandataire.

### → Prouesse hors norme

Le lustre, qualifié de « prouesse hors norme tant technique qu'artistique » par le jury des trophées, est une sphère de 6,50 m de diamètre. Un hémisphère est un miroir, l'autre, porte des pampilles d'éclairage et de chauffage radiant. En position concert, la face lumière, tournée vers le bas, éclaire et chauffe la scène. L'hémisphère miroir se présente alors en creux et rabat le son vers les musiciens et le public.

Deux autres dispositifs contribuent à rediriger le son vers l'assistance : les dossiers de 2,50 m de haut des chaises des derniers rangs de l'auditorium et des boîtes à rideau absorbant, sur roulettes, qui se placent là où nécessaire.

La conception acoustique a été confiée à Kahle Acoustics.

Hors événements musicaux, le lustre peut se retourner, lumière en haut, miroir en bas.

La chapelle de 1 140 m<sup>2</sup> avec son nouvel auditorium de 700 places a été livrée en janvier 2016 après deux ans de travaux, intérieurs et extérieurs.

Coût : 6,5 millions d'euros. Maîtrise d'ouvrage : Région Haute-Normandie.

### → Luminaire à lumière naturelle

Autre trophée technique : la technologie d'Echy qui « véhicule par fibre optique la lumière naturelle en conservant le spectre lumineux comparable à celui du soleil », écrit le jury.

À l'extérieur, des trackers photovoltaïques concentrent le rayonnement solaire.

La fibre le transporte jusqu'à des luminaires diffusant une lumière "naturelle". Les lampes s'allument et s'éteignent selon l'ensoleillement.

Le procédé dont le principe est secret, sert à mettre en valeur des zones stratégiques comme les caisses d'un magasin, un rayon fruits et légumes, etc. Il a été installé dans un magasin à Bonneval (Eure-et-Loir). ■

<sup>(1)</sup> Le trophée réunit 22 partenaires dont la FNTP.



© ECHY

Des luminaires alimentés par capteurs solaires diffusent une lumière naturelle sur les caisses du supermarché.

## LAVEUR DE VOIES EN BÉTON ÉCONOME EN EAU

Ce système de lavage-aspiration sur béton consomme quatre fois moins d'eau par rapport à une solution traditionnelle, selon GCP Applied Technologies qui le propose en collaboration avec Hydris. Il s'utilise soit après chantier de béton désactivé, soit en entretien de béton décoratif ou drainant.

La pulvérisation des produits désactivants génère des boues et poussières. Les aspirer immédiatement évite le nettoyage post-chantier. L'eau circule en circuit fermé. La remorque du Moby Cline traite les eaux usées au fur et à mesure de l'avancée de la machine sur le béton.

### → Éviter de salir l'environnement

L'eau filtrée est réinjectée dans le lavage. Les boues sont recueillies dans un sac.

Ce fonctionnement stoppe la projection de salissures sur les vitrines, le mobilier urbain, les murs, véhicules ou végétation.

Il évite le colmatage des réseaux d'assainissement et diminue le risque de pollution des rivières. ■



© GCP APPLIED TECHNOLOGIES

Voie en béton dans les monts du Lubéron (Vaucluse) après passage du laveur.



## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 8 DÉCEMBRE

**Meet'ingé forum : gestion des risques en milieu urbain**

Lieu : Bordeaux

[www.syntec-ingenierie.fr](http://www.syntec-ingenierie.fr)

#### • 8 ET 9 DÉCEMBRE

**Capurba, Capicities (ville innovante et intelligente)**

Lieu : Lyon

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

#### • 14 ET 15 DÉCEMBRE

**Energaiia, forum énergies renouvelables**

Lieu : Montpellier

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

#### • 15 DÉCEMBRE

**5<sup>e</sup> rencontres Windustry (éolien)**

Lieu : Montpellier

<http://windustry.fr>

#### • 24 ET 25 JANVIER

**Rencontres de la mobilité intelligente**

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)

[www.congres-atecitsfrance.fr](http://www.congres-atecitsfrance.fr)

#### • 24 AU 26 JANVIER

**Assises européennes de la transition énergétique**

Lieu : Dunkerque (Nord)

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

#### • 31 JANVIER

**18<sup>e</sup> colloque du Syndicat des énergies renouvelables**

Lieu : Paris (Maison de la mutualité)

[www.colloque-ser.fr](http://www.colloque-ser.fr)

#### • 2 ET 3 MARS

**Valoriser le suivi de l'état structurel des ponts**

Lieu : Zagreb (Croatie)

[www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr)

#### • 7 AU 9 MARS

**Rencontres géosynthétiques**

Lieu : Lille

[www.rencontresgeosynthetiques.org](http://www.rencontresgeosynthetiques.org)

#### • 15 ET 16 MARS

**GC 2017, Génie civil et aménagement des métropoles**

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)

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

### FORMATIONS

#### • 6 DÉCEMBRE

**Nouvelles mesures de la loi sur la liberté de création, l'architecture et le patrimoine (loi Cap, n°2016-925)**

Lieu : Paris

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

#### • 7 AU 9 DÉCEMBRE

**Aménagements fluviaux, digues et berges**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 8 ET 9 DÉCEMBRE

**Génie civil pour les réseaux enterrés**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 12 DÉCEMBRE

**Nouveau fascicule 65 sur l'exécution des ouvrages de génie civil**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 12 AU 15 DÉCEMBRE

**Fondamentaux d'un chantier : matériaux et construction**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 16 ET 17 JANVIER

**Fabrication de la maquette numérique**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 30 JANVIER ET 1<sup>er</sup> FÉVRIER

**Eurocode 7 : calcul des fondations**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

### NOMINATIONS

#### CCCA-BTP :

**Didier Bouvelle est le nouveau secrétaire général du Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics, en remplacement de Marcel Malmartel.**

#### ERMCO :

**L'Association européenne du béton prêt à l'emploi est désormais présidée par Yavuz Isik (Turquie). Il succède à Stein Tosterud (Norvège).**

#### EUROSTAR :

**Philippe Mouly a été nommé directeur des opérations, chargé de la production et de l'exploitation du réseau.**

#### NEWFORMA FRANCE :

**Céline Blanc a été nommée directrice du marketing de l'éditeur de logiciels.**

#### SER-SOLER :

**Xavier Daval a été élu président de la commission solaire photovoltaïque (Soler) du Syndicat des énergies renouvelables. Il succède à Arnaud Mine.**

#### SNECOREP :

**Frédéric Wattebled a été élu président du Syndicat national des entrepreneurs, concepteurs et réalisateurs de stations de pompage à la suite de Patrice Le Gal. Tiphaine Fritz en est la secrétaire générale depuis octobre 2015, après une**

**année d'intérim assurée par Arnaud Lavalade.**

#### SYNTEC INGÉNIERIE :

**Anne Le Treut remplace Romain Brochu à la tête du club Responsabilité sociétale des entreprises.**

#### VALERIAN :

**Thierry Le Friant, directeur de Mallet, devient aussi directeur de Valerian en remplacement de Christophe Paris.**

#### VIVAPOLIS :

**Patrice Vergriete a été désigné président de l'association "Vivapolis, l'institut pour la ville durable". Vice-présidents : Gérard Wolf (international et export) ; Marie-Christine Prémartin (innovation) ; Jean Rottner (capitalisation) ; Maud Lelièvre (formation, recherche) ; Bruno Hervet (ville durable et intelligente, et secrétaire). Claude Arnaud (Advancity) est trésorier.**



# SOLETANCHE FREYSSINET

# UNE EXPERTISE

# SANS ÉQUIVALENT

LEADER MONDIAL DANS LES MÉTIERS DU SOL, DES STRUCTURES ET DU NUCLÉAIRE, PRÉSENT DANS UNE CENTAINE DE PAYS, LE GROUPE SOLETANCHE FREYSSINET RÉUNIT UN ENSEMBLE D'EXPERTISES ET DE MARQUES SANS ÉQUIVALENT DANS L'UNIVERS DU GÉNIE CIVIL SPÉCIALISÉ AUTOUR DE SIX MARQUES : SOLETANCHE BACHY, MENARD, FREYSSINET, TERRE ARMÉE, NUVIA ET, DEPUIS SEPTEMBRE 2016, SIXENSE, UNE NOUVELLE BRANCHE CRÉÉE POUR REGROUPER, SOUS LA MÊME BANNIÈRE, DIFFÉRENTES ENTITÉS DU GROUPE VINCI SPÉCIALISÉES DANS LE SUIVI ET L'OPTIMISATION DES INFRASTRUCTURES, DES SOLS ET DE L'ENVIRONNEMENT. **MANUEL PELTIER, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SOLETANCHE FREYSSINET, NOUS PRÉSENTE LE GROUPE ET QUELQUES-UNES DE SES RÉALISATIONS PHARE À L'INTERNATIONAL.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Manuel Peltier, directeur général de Soletanche Freyssinet.

## Comment se présente aujourd'hui Soletanche Freyssinet ?

Soletanche Freyssinet a réalisé en 2015 une année très solide, et il en est de même en 2016.

Le groupe connaît une croissance dynamique avec une activité en forte progression de près de 20 % et un chiffre d'affaires 2015 qui atteint les 3,2 milliards d'euros avec un résultat opérationnel sur activité de 169 millions d'euros.

Ce chiffre d'affaires est réalisé à 80 % à l'exportation dont 47 % en Europe.

L'ensemble du groupe emploie 22 500 collaborateurs répartis dans 80 pays d'implantation et une centaine de pays d'exploitation.

Dans le domaine des sols, Soletanche Bachy et Menard ont réalisé en 2015 un chiffre d'affaires de 1 866 millions d'euros ; dans celui des structures, Terre Armée et Freyssinet ont atteint 948 millions d'euros ; dans le nucléaire, le chiffre d'affaires de Nuvia se situe à 358 millions d'euros.

Il y a d'ailleurs un signal fort qui ne trompe pas : nos cinq métiers, dans les





domaines des sols, des structures et du nucléaire, sont tous en croissance. Nous pouvons aussi nous réjouir en 2016 d'une prise de commandes qui approche les 3,3 milliards d'euros. Notre couverture internationale est étendue et équilibrée.

Elle nous permet d'absorber dans les meilleures conditions les fluctuations des marchés. Cette année, par exemple, l'Amérique latine, l'Amérique du Nord, le Moyen-Orient et l'Asie Pacifique ont été les moteurs de notre développement.

Pour profiter de la dynamique de nos marchés, nous poursuivons la création de nouvelles filiales et réalisons des acquisitions ciblées.

Parmi nos opérations récentes, on peut citer : pour Soletanche Bachy, acquisition de Foundation Alliance basé à Singapour, prise de contrôle de Grupo Rodio Kronsa implanté dans la péninsule ibérique, au Maroc et en Amérique centrale ; pour Freyssinet, nouvelles implantations en Bulgarie et au Luxembourg ; pour Sixense Soldata, nouvelles implantations au Chili et au Mexique.

À Hong Kong et Singapour, nous sommes présents de longue date sur tous les grands chantiers d'infrastructure, notamment les lignes de métro, les aéroports, les grands bâtiments. Plus récemment, nous nous sommes beaucoup développés en Amérique latine et en Australie, où les besoins d'infrastructures sont très importants.

### Comment votre couverture internationale est-elle organisée ?

Depuis son origine, le groupe s'est construit en assemblant des sociétés à vocation très internationale.

À travers les acquisitions de Menard et Terre Armée à la fin des années 90, puis en 2007, la filialisation de Nuvia, précédemment au sein de Freyssinet,

## MANUEL PELTIER EN BREF

**Manuel Peltier, ancien élève de l'École Polytechnique et de l'École des Ponts ParisTech, a débuté sa carrière chez Freyssinet en 1995 à l'international, sur des chantiers de construction de ponts à haubans à Hong Kong puis aux États-Unis.**

**Il a ensuite dirigé plusieurs projets pour l'entreprise, le pont de Millau, les viaducs du métro de Dubaï et de Sungai Prai en Malaisie. Il a été nommé directeur de la division Grands Projets en 2008. En juillet 2012, il est devenu Directeur Général adjoint de Freyssinet, puis Directeur Général en avril 2014.**

**Manuel Peltier est Directeur Général de Soletanche Freyssinet depuis janvier 2016.**

et l'entrée de Soletanche Bachy à 100% dans VINCI, notre stratégie de développement a toujours été fondée sur un enracinement local fort de nos implantations pour développer des projets de toutes tailles, avec des solutions adaptées à chacun des marchés.

Ces implantations à l'étranger, dont la taille varie d'une dizaine à 500 colla-

borateurs, fonctionnent comme des équipes autonomes, réactives, proches de leurs clients, à l'écoute de leurs besoins. Elles opèrent chacune sous leur marque et constituent notre richesse et notre force.

Pour chaque métier, le réseau des filiales géographiques peut s'appuyer sur un support technique et opérationnel transverse, un réseau d'experts pointus dans chacune des spécialités techniques du groupe, un service matériel qui assure la fabrication et la maintenance de nos propres équipements.

Cette capacité d'apporter une compétence globale sur tous les marchés locaux dans lesquels nous sommes implantés a de la valeur pour les clients qui sont très sensibles au fait que ces filiales soient complètement intégrées au pays dans lequel elles exercent leur activité, avec des responsables et des équipes locales.

### Dans cette organisation, quel est l'objectif de Sixense ?

Cette nouvelle branche du groupe, la sixième, compte 600 collaborateurs répartis dans 20 pays.

Elle vient d'être créée pour regrouper 10 entités spécialisées du groupe Vinci dont l'expérience, pour certaines d'entre elles, remonte à plus de 20 ans.

L'offre globale de Sixense permet de proposer des solutions d'aide à la décision, pour l'optimisation et le suivi des infrastructures, des sols et de l'environnement, durant tout le cycle de vie des ouvrages via de l'expertise, de l'instrumentation, des analyses, du conseil et de l'accompagnement technique, en s'appuyant sur trois domaines de compétences que sont l'ingénierie, les technologies et le digital.

### Pourriez-vous nous présenter quelques exemples de projets importants actuellement en cours ?

Comme je vous l'indiquais précédemment, notre carnet de commande se porte bien.

En complément de nombreuses petites et moyennes affaires, nous traitons des projets plus importants : à Singapour, avec plusieurs lots de travaux sur la ligne de métro Thomson Line (T219), en Turquie pour le troisième pont sur le Bosphore, dans les Émirats Arabes Unis à Dubaï pour « The Tower », en Australie pour la réparation du terminal Webb Dock du port de Melbourne, aux États-Unis pour les murs en Terre Armée® de l'auto-route I-4 Ultimate en Floride, en Corée du Sud avec le tunnel Techspan® de l'autoroute Suwon-Kwangmyon (SKM), ainsi qu'en France, où nous avons réalisé pour la première fois des murs en Terre Armée® à proximité des voies de la future LGV Tours-Bordeaux, et en Grande-Bretagne pour le tunnel d'assainissement Tideway à Londres, et prochainement pour la réalisation de lots techniques sur les futures tranches nucléaires de Hinkley Point. ▷

**2- La station Orchard de la Thomson Line (T219) à Singapour.**

**3- Installation des voussoirs de la partie centrale du tablier du troisième pont sur le Bosphore.**

**4- Chantier du projet Capital District à Abu Dhabi.**

**5- Le projet « La Mer » à Dubaï nécessite la construction de trois presqu'îles.**

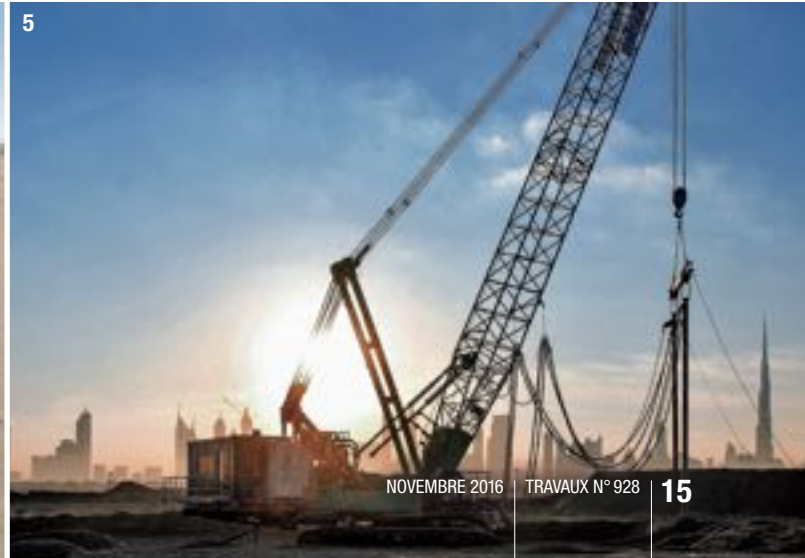
© SOLETANCHE FREYSSINET

4



© SOLETANCHE FREYSSINET

5





### Pour revenir plus en détail sur ces réalisations, commençons par Singapour.

Dans le cadre de la construction de la Thomson Line, Soletanche Bachy intervient sur trois lots de construction de stations et de leurs tunnels associés (Orchard, Gardens by the bay et Tanjong Rhu). Les travaux se déroulent dans le centre-ville de Singapour dans un environnement particulièrement dense. Il s'agit d'un chantier extrêmement technique qui est actuellement l'une de nos réalisations phare.

### Quel a été votre rôle pour le pont sur le Bosphore ?

Il aura fallu moins de 11 mois à Freyssinet pour concevoir, fabriquer et installer l'intégralité des haubans du pont Yavuz Sultan Selim, troisième pont sur le Bosphore.

D'une conception innovante, cet ouvrage de 1 408 m de portée centrale comprend un tablier en béton précontraint pour les travées arrière et en acier dans la travée centrale, porté par un système hybride comprenant 176 haubans et deux câbles de suspension auxquels sont accrochés 34 paires de suspentes verticales soutenant la partie centrale.

L'installation des voussoirs de la partie suspendue a été réalisée grâce à un système de levage conçu et fourni par Hebetec.

### Quelle est la nature de vos interventions dans les Émirats Arabes Unis ?

Le Moyen-Orient est un marché où nos clients font les choses en grand.

Trois des entreprises du groupe y sont très présentes : Menard pour l'amélioration et la consolidation de sols, Soletanche Bachy pour les fondations de bâtiments de grande hauteur et d'ouvrages de génie civil et Freyssinet



6 © DR

pour la précontrainte d'ouvrages d'art et de bâtiments.

Un certain nombre de projets dans la région incluent des développements à grande échelle, tels celui de New Cities au Koweït, où Menard Vibro, filiale locale de Menard, a compacté 11 millions de m<sup>2</sup> en quelques mois ou, plus récemment, celui d'une nouvelle raffinerie, toujours au Koweït, avec 4,5 millions de m<sup>2</sup> compactés.

À Dubaï, pendant six mois, entre septembre 2015 et février 2016, Menard Vibro s'est mobilisé autour du projet « La Mer » qui comprend une plage, une zone de loisirs et des zones résidentielles nécessitant la construction de trois presqu'îles.

En amont, des travaux de compactage profond devaient être entrepris. Près de 7 millions de m<sup>3</sup> ont ainsi été traités par vibrocompactage sur des profondeurs allant de 12 à 16 m. S'en sont suivis le déblayage et le compactage du site avant le compactage d'une surface d'environ 470 000 m<sup>2</sup> grâce au compactage dynamique à haute énergie.

Poursuivant sur cette lignée, Menard Vibro s'est vu attribuer en mars 2016 un important contrat de sous-traitance pour les travaux d'amélioration de sol dans le cadre du projet Capital District à Abu Dhabi.

Capital District est un élément clé du projet Plan Abu Dhabi 2030, une

monumentale initiative d'aménagement envisagée par feu le Sheikh Zayed bin Sultan Al Nahyan visant à guider et à promouvoir l'évolution constante d'Abu Dhabi en tant que capitale mondiale. Le projet global s'étend sur 45 millions de m<sup>2</sup>. En raison de l'ampleur du chantier, les travaux ont été divisés en lots. Menard Vibro s'est vu attribuer le contrat de sous-traitance du lot 4 (Emirati Neighborhood) couvrant une zone de 5 millions de m<sup>2</sup>.

Menard Vibro intervient en conception/construction prenant ainsi l'entière responsabilité du respect des critères de performance établis, grâce à la mise en place d'une vaste gamme de techniques d'amélioration de sol requises dans les spécifications techniques, comprenant colonnes ballastées, compactage dynamique, plots ballastés, vibrocompactage et High Energy Elliptical Roller.

À Dubaï, après plusieurs réalisations marquantes, Soletanche Bachy est mobilisé actuellement sur le chantier de fondations de la tour « The Tower », œuvre de l'architecte espagnol Santiago Calatrava, dont la hauteur n'a pas encore été révélée mais qui se situerait au-delà de celle de la tour Burj Khalifa, de 828 mètres. Le système de fondations de cette tour est constitué d'une paroi moulée circulaire, d'un système de pieux circulaires travaillant en tension ainsi que des barrettes profondes réalisées à l'Hydrofraise qui descendent à plus de 75 m de profondeur.

### Quelles sont les caractéristiques du chantier de Webb Dock en Australie ?

Dans le cadre d'un grand projet portuaire à Melbourne, Freyssinet est en charge de la réparation et du renforcement de plusieurs quais du terminal de Webb Dock. L'objectif est de reconfigurer ce dernier afin d'augmenter ses



© SOLETANCHE FREYSSINET

7



© FRANCIS VIGOUROUX

8





9  
© SOLETANCHE FREYSSINET

capacités : il doit pouvoir accueillir a minima un million de conteneurs par an. Il s'agit du plus grand projet de réhabilitation de quais jamais entrepris en Australie. Menard y avait déjà travaillé en 2014-2015 pour améliorer les sols. La mission de Freyssinet comprend notamment la réparation des bétons, la réparation des pieux en acier ainsi que l'installation et la surveillance continue d'un système de protection cathodique par courant imposé.

Les équipes font preuve d'une mobilisation sans faille sur le chantier pour respecter les délais de réalisation très stricts. Une plateforme d'accès submersible a été conçue et mise en œuvre spécifiquement pour le projet avec, notamment, un système de confinement innovant afin d'éviter toute pollution des eaux environnantes.

#### Qu'en est-il du projet I-4 Ultimate en Floride ?

La technique de la Terre Armée® est très développée en Amérique du Nord, en particulier pour les projets autoroutiers où elle constitue une référence. En mars 2015, après plusieurs mois de négociations, RECo (The Reinforced Earth Company USA), filiale nord-

#### 6- Image de synthèse de « The Tower » due à l'architecte espagnol Santiago Calatrava.

#### 7- Projet Dogae-Bonglim en Corée du Sud de double voûte de 300 m en Terre Armée®.

#### 8- Les murs en Terre Armée® sur la LGV SEA reliant Tours à Bordeaux.

#### 9- Le projet franco-britannique de radio-géographie Epure.

#### 10- Démantèlement du réacteur de la centrale EDF de Choosz.

#### 11- Construction d'une installation pour tester les panneaux de blindage de la première enceinte du réacteur d'Iter.

américaine de Terre Armée, a signé le plus gros contrat de toute son histoire : le projet I-4 Ultimate à Orlando, en Floride.

Les 34 km de travaux qu'il comporte transformeront totalement la région : deux voies de circulation à péage seront ajoutées dans chaque direction sur l'autoroute I-4 et les intersections seront modernisées le long du trajet. Il s'agit d'un partenariat public-privé avec une durée de concession de 40 ans et une durée de construction de 6 ans. Environ 290 000 m<sup>2</sup> de murs en Terre Armée® seront construits sur l'Interstate-4.

Deux autres réalisations remarquables à l'actif de Terre Armée® doivent également être mentionnées.

En France, et il s'agit d'une première dans le cadre d'un chantier ferroviaire, des murs en Terre Armée® ont été réalisés le long de la LGV SEA reliant Tours à Bordeaux. Onze ouvrages comprenant au total 20 murs ont été construits, essentiellement en support de voies ferroviaires de part et d'autre de sauts de mouton. Pour deux de ces ouvrages, la vitesse de circulation commerciale des trains sur la voie portée atteindra les 320 km/h. Outre la réduction des coûts

et la rapidité d'exécution, ce type de réalisations offre une compatibilité démontrée avec les sollicitations dynamiques apportées par le passage des trains.

En Italie, Terra Armata participe au projet Quadrilatero de construction de 160 km de routes supplémentaires entre la côte Adriatique et l'intérieur des régions des Marches et de l'Ombrie pour améliorer la fluidité du trafic. Terra Armata est intervenue sur l'autoroute SS77, infrastructure clé reliant Foligno à Tolentino. En collaboration avec la filiale espagnole Tierra Armada, elle a conçu et livré 1 500 m de voûtes TechSpan®. Elle a également fourni une assistance technique pour leur installation. Elle a en outre conçu et livré 20 000 m<sup>2</sup> de murs de soutènement en Terre Armée® avec des panneaux TerraClass®.

#### Pour compléter ce panorama synthétique de quelques-uns des chantiers de référence du groupe dans le monde, d'autres réalisations ou projets en cours appellent-ils un commentaire particulier ?

À Londres, l'opérateur Thames Water a confié le lot Est du tunnel d'assainissement Tideway à un groupement composé de Vinci Construction Grands Projets, Costain et Bachy Soletanche, filiale de Soletanche Bachy au Royaume Uni. Ce lot porte sur la construction de deux sections de tunnels, un tunnel principal de 5,5 km et un tunnel de connexion de 4,6 km.

En Corée du Sud, la division Terre Armée de Freyssinet Korea a été chargée du projet Dogae-Bonglim, un tunnel à double voûte de 300 m en tranchée couverte. L'ancienne structure en acier a été remplacée par des voûtes TechSpan® pour empêcher les infiltrations d'eau, les déformations importantes et la fissuration au niveau des fondations. ▢

© SOLETANCHE FREYSSINET

10



© SOLETANCHE FREYSSINET

11





Le tunnel est constitué de 448 voussoirs d'une largeur totale de 2,80 m pour une travée de 10,10 m et une hauteur de 5,80 m.

**Quant à Nuvia, la filiale « nucléaire » du groupe, quelle est son activité à l'international, et peut-être aussi en France où le sujet est d'actualité ?**

Nuvia est très présente en France mais aussi en Angleterre et en République Tchèque, suite à des acquisitions faites dans ces deux pays. Cette présence en Angleterre est importante car c'est le pays d'Europe dans lequel les centrales nucléaires sont les plus anciennes.

Un programme a été lancé pour construire de nouvelles tranches en particulier dans le cadre du projet d'Hinkley Point. Il s'agit d'ailleurs d'un projet EDF puisqu'EDF est propriétaire de l'essentiel des centrales nucléaires en Angleterre depuis le rachat de British Energy. Après avoir reçu l'aval de son conseil d'administration, EDF peut désormais lancer la construction de deux réacteurs nucléaires EPR sur le site d'Hinkley Point.

Par ailleurs, bien qu'il ne s'agisse pas uniquement d'activité à l'international, Nuvia connaît une année 2016 marquée par de nombreux défis, en particulier, la réalisation de projets majeurs aussi bien en maintenance et en démantèlement en France, sur les centrales de Cattenom et de Chooz, qu'en EPC<sup>(1)</sup> sur le site de Sellafield au Royaume-Uni auxquels s'ajoutent le projet franco-britannique de radiographie Epure, le projet de construction d'une installation pour tester les panneaux de blindage de la première enceinte du réacteur d'Iter et le projet de conception/construction d'un système de manutention d'une cellule chaude pour le réacteur Jules Horowitz sur le site du CEA de Cadarache.

## SIXENSE EN BREF

**Les dix entités qui composent Sixense :**

**SIXENSE CONCRETE :**  
Expertise, gestion et maintenance du patrimoine existant

**SIXENSE DIGITAL :**  
Éditeur de logiciels

**SIXENSE ENVIRONMENT :**  
Conseil et monitoring en bruit, vibrations et qualité de l'air

**SIXENSE GEOPHYSICS :**  
Géophysique appliquée terrestre et maritime

**SIXENSE IN SITU :**  
Diagnostic, durabilité, expertise des ouvrages et constructions en béton armé

**SIXENSE IPRS :**  
Ingénierie de la protection des aciers et des bétons

**SIXENSE MAPPING :**  
Numérisation et modélisation de sols et structures

**SIXENSE NECS :**  
Modélisation du comportement des matériaux et des structures

**SIXENSE SOLDATA :**  
Détection et surveillance des sols, structures et environnement

**SIXENSE SYSTEMS :**  
Solutions pour la gestion et la surveillance des infrastructures

**En ce qui concerne le Grand Paris, le groupe est sans doute déjà impliqué fortement dans ce projet à très long terme ?**

Pour ce projet titanesque, dont les travaux sont à effectuer dans une zone ultra-urbanisée, Soletanche Bachy a évidemment un rôle de premier plan à jouer afin de mettre en œuvre l'ensemble des métiers de génie civil et d'ingénierie dont elle dispose. Nous avons répondu à plusieurs des appels d'offres qui ont déjà été lancés et nous avons obtenu le premier lot déjà attribué, en l'occurrence celui de la gare Fort d'Issy - Vanves - Clamart de la ligne 15, dont la première étape assu-

ra la liaison entre le Pont de Sèvres et Noisy-Champs.

D'un point de vue plus général, dans des aires urbaines qui ne cessent de

se densifier, la construction se développe vers le monde souterrain pour mieux répondre à la densification de la ville et redéployer des espaces en surface. De ce fait, les travaux souterrains connaîtront dans les années à venir un développement important en France et dans le monde.

Pour ces projets, quelle qu'en soit la nature - métro, eau, assainissement, voire commerces et loisirs - nous disposons d'équipements sophistiqués, d'une grande expérience et d'une bonne connaissance des sols.

Les mégapoles du monde, à l'image du Grand Paris, sont un formidable terrain pour faire valoir nos expertises et proposer nos solutions innovantes.

C'est déjà le cas pour les métros de Singapour, de Hong Kong, de Lima. La réalisation du Grand Paris s'inscrit dans cette perspective.

**Face à ces projets de plus en plus complexes, quelles évolutions guident votre développement ?**

Nous sommes engagés sur de nombreux projets pour les énergies renouvelables et nous investissons dans l'éco-conception pour que nos chantiers soient moins énergivores.

Enfin, nous tirons parti de la révolution technologique à l'œuvre, la digitalisation. Robotique, BIM, monitoring et big data, une nouvelle manière de concevoir nos projets est en train d'émerger. Accélération des processus, suivi des opérations, amélioration de la sécurité, nos chantiers vont bénéficier de ces innovations multiples.

Notre ambition d'excellence technique est nourrie de ces évolutions, qui permettent de repousser les limites tout en maîtrisant les risques. □

1- EPC : Engineering, Procurement and Construction.

© PHILIPPE GAZEAU

12



© SOLETANCHE FREYSSINET

13





**PRO BTP,  
LE MEILLEUR DE LA  
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ  
PRÉVOYANCE  
RETRAITE  
ÉPARGNE  
ASSURANCES  
ACTION SOCIALE  
VACANCES

**PRO BTP**  
GROUPE





1  
© RINCENT LABORATOIRES

# RINCENT LABORATOIRES

# ESSAIS, MESURES

# ET ANALYSES :

# UN KALÉIDOSCOPE DE SPÉCIALITÉS

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

RINCENT LABORATOIRES EST UNE SOCIÉTÉ INDÉPENDANTE QUI RÉALISE DES ESSAIS, DES MESURES ET DES ANALYSES DANS LES DOMAINES DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES, AÉROPORTUAIRES ET PORTUAIRES, DES BÂTIMENTS, DE L'ENVIRONNEMENT AIR-EAU-SOL. ELLE ASSURE ÉGALEMENT LA CONCEPTION ET LA FABRICATION DE MATÉRIELS PROPRES ET DISPENSE PAR AILLEURS DES FORMATIONS TECHNIQUES DANS LES DOMAINES DE LA MAINTENANCE DES OUVRAGES, DE LA QUALITÉ DE L'AIR ET DE L'EAU, DES SITES ET SOLS POLLUÉS. UN ENSEMBLE TRÈS COMPLET D'ACTIVITÉS, QUE NOUS PRÉSENTE SON FONDATEUR ET PRÉSIDENT JEAN-JACQUES RINCENT, QUI LUI A PERMIS D'INTERVENIR DEPUIS SA CRÉATION EN 1993 DANS 68 PAYS DANS LE MONDE.

Cette PME française de 200 personnes, dont 30 % d'ingénieurs, basée à Courcouronnes, dans l'Essonne, a été créée par Jean-Jacques Rincenc, docteur en génie civil de l'INSA de Toulouse, qui a décidé au début des années 90 de voler de ses propres ailes

après dix années passées au CEBTP en tant que directeur du département Géomécanique. Depuis, la société a connu une croissance régulière pour atteindre un chiffre d'affaires de 10,7 millions d'euros en 2015, dont 25 % à l'in-

**1- La dynaplaque Maxidyn est l'un des matériels développés par Rincenc ND Technologies.**

ternational au travers de 30 agences, dont 11 à l'international, tout particulièrement en Amérique Latine et en Afrique. Au Brésil, Rincenc Laboratoires dispose de deux agences à Recife, depuis 2007, et deux à Sao Paulo, depuis 2014.



© MARC MONTAGNON  
2

## RINCANT LABORATOIRES : 30 AGENCES EN FRANCE ET DANS LE MONDE

Le réseau du groupe se répartit en agences ayant une activité transversale liée à un savoir-faire et en agences liées à des territoires.

**Pour les premières :** ND Technologies, ND Applications, Recherche, Auscultation, Matériaux, Airport, Port, EGEH Eau, Air.

**Pour les autres :**

- En Amérique latine : Rincant do Brasil, Rincant Airports Eng., Nordeste Recife, Sao Paulo, et Colombie (en cours) ;
- En Afrique : Burkina Fasso, Labogec Tchad, Madagascar, Bouaré Mali, Rwanda Sénégal, Tchad ;
- En France : Aquitaine, Bourgogne, Champagne Ardenne, Île-de-France Nord, Île-de-France Sud, LACQ La Réunion, Midi-Pyrénées, Nord, Normandie, PACA.

Elle en ouvrira une au Pérou et une en Colombie en 2017 et une implantation supplémentaire est prévue au Chili dans un avenir proche.

Le réseau se répartit en agences liées à des territoires, en France, dans les DOM-COM et à l'étranger et des agences ayant une activité transversale liée à un savoir-faire : par exemple, Rincant Eau, Rincant Airport, Rincant Air. Ce savoir-faire est issu de travaux de recherches appliquées qui aboutissent à des brevets, des développements de matériels de mesure, des activités de service innovantes.

Les brevets concernent les « Efforts dans les tirants déterminés au moyen d'essais non destructifs », « l'Effort de traction sur des plaques collées ou fixées sur un support au moyen d'essais non destructifs » et un matériel dit « Euradar », breveté au niveau de l'antenne d'auscultation d'une couche de chaussée, routière ou aéroportuaire.

Par ailleurs, Rincant Laboratoires est membre de commissions chargées de l'élaboration de normes européennes. Elle est représentée activement dans plusieurs projets nationaux et européens, membre d'EuroLab France<sup>(1)</sup> et qualifiée OPQIBI<sup>(2)</sup> pour plusieurs entités spécialisées.

**2- Jean-Jacques Rincant, président et fondateur de Rincant Laboratoires.**

**3- Contrôle des fondations d'une embase d'éolienne dans le Nordeste du Brésil.**

**4- Contrôle des fondations de la raffinerie de Suape au Brésil.**

### BRÉSIL : PORT ET ÉOLIENNES SOUS SURVEILLANCE...

L'agence de Recife, dans la région du Nordeste au Brésil est en place depuis 2007.

L'un des gros chantiers qu'elle ait eu à traiter reste celui de la construction de la raffinerie du port de Suape, sur la côte atlantique. Sur ce chantier, entre 2007 et 2015, l'agence a réalisé chaque année 300 essais de chargement statique, 250 essais dynamiques et quelque 15 000 essais d'impédance mécanique pour les contrôles des fondations profondes de l'ensemble des installations de la raffinerie.

Depuis, son activité demeure identique sur le fond mais a évolué vers les contrôles des fondations profondes des grands parcs éoliens.

En effet, entre Sao Luis et Salvador, le Brésil compte plus de 3000 km de côtes balayées par des vents forts et constants. Si les plages de ces côtes

sont le paradis des surfeurs, la région constitue également une destination privilégiée pour les producteurs d'énergie éolienne, une industrie en pleine croissance dans le pays : elle abrite déjà 80 % de la production éolienne nationale.

Volitalia<sup>(3)</sup> vient d'y inaugurer une ferme éolienne de 93 mégawatts à Serra do Mel (Nordeste). Le producteur français indépendant fournit aujourd'hui 300 MW au Brésil à partir d'une dizaine de parcs et compte d'autres projets en cours. À petits pas, le Brésil étoffe son dispositif. Aujourd'hui, plus de 9000 MW de capacités éoliennes sont installés et produisent l'équivalent de 7 % de l'électricité dans le pays. D'autres contrats ont déjà été signés après des ventes aux enchères supervisées par l'État, afin que cette quantité double d'ici à 2019. Rincant Laboratoires est présent sur la plupart des grandes fermes éoliennes pour y effectuer des opérations de contrôle de grande envergure, tant sur les pylônes que sur les postes électriques d'acheminement du courant :  
→ Contrôles des fondations superficielles par des essais statiques à la plaque,  
→ Contrôles d'impédance sur les pieux de fondations.

Cette activité représente plus de 15 000 essais par an.

### ... ET AÉROPORTS SOUS CONTRÔLE

Un autre domaine dans lequel les agences brésiliennes sont particulièrement bien placées est celui du contrôle des pistes d'aéroports portant, dans le cadre du Programme multisectoriel d'Investissement en Logistique (PIL) lancé par l'État brésilien en décembre 2012. ▶



© RINCANT LABORATOIRES  
3



4



Après plusieurs semaines de négociations et de fournitures de documents afin de répondre aux critères techniques et administratifs, Rincenc Airport a signé fin juillet 2014 un contrat pour la réalisation des essais non destructifs sur les aéroports du lot 5 du PIL pour le compte d'un consorcio formé par les bureaux d'études brésiliens Concremat et Themag. Il portait sur la réalisation d'essais de déflexion à l'aide d'un HWD (Heavy Weight Deflectometer) à masse tombante et d'un Géo-radar sur 29 aéroports gérés par Infraero Aeroportos, entreprise publique fédérale brésilienne gérant les plus grands aéroports du pays.

Les essais réalisés concernaient l'ensemble du territoire brésilien, dont cinq aéroports situés dans la région amazonienne avec un transport uniquement fluvial pour acheminer les équipements. Les charges appliquées sur les chaussées (4,1 t et 8,2 t) reproduisaient les charges dynamiques induites par les roues des avions lors des décollages et atterrissages. Une fois recueillies, les données étaient analysées par deux ingénieurs et ensuite présentées au client pour validation.

Travail difficile non seulement en raison des délais imposés mais aussi des moyens d'accès aux aéroports, en particulier en Amazonie.

Ces mesures qualifient mécaniquement les structures des chaussées aéroportuaires et permettent d'apprécier quels types de porteurs ces pistes peuvent recevoir ou à quelles conditions de renforcement des structures cela est possible.

#### ND TECHNOLOGIES : DES MATÉRIELS EXCLUSIFS

Rincenc ND Technologies est spécialisée dans la conception, la fabrication et la maintenance d'instruments d'es-



5

© RINCENC LABORATOIRES

sais non destructifs pour le contrôle de fondations d'ouvrages d'art, de plateformes et de structure de chaussée routière ou aéroportuaire.

Parmi ses développements récents, la dynaplaque Maxidyn et le radar Euradar sont les plus représentatifs des capacités d'innovation de l'entreprise.

La dynaplaque Maxidyn réalise des essais de mesure de portance de plateforme conformément à la norme NF P 94-117-2.

Cet équipement est contrôlé à sa fabrication par un laboratoire COFRAC réalisant des prestations métrologiques d'étalonnage et de vérification des instruments de mesure ou d'appareils d'essais.

**5- À Suape, Rincenc Recife a réalisé chaque année 300 essais de chargement statique, 250 essais dynamiques et 15 000 essais d'impédance mécanique.**

**6- Mesure des teneurs en particules de l'air à Bamako.**

**7- Les pistes de 29 aéroports brésiliens ont été contrôlés à l'Euradar.**

Après validation, le bras et la dynaplaque sont expédiés et montés sur place sur un véhicule de chantier courant sur lequel des aménagements légers du châssis sont nécessaires à la fixation de la base du bras hydraulique dont le fonctionnement est autonome. La Maxidyn est équipée d'un GPS qui permet un rendu cartographique de la localisation des essais.

L'Euradar, dont le brevet est sorti en août 2016 utilise une technologie multifréquence lui conférant une précision de mesure au millimètre près jusqu'à 1,50 m.

Il permet l'auscultation à haut rendement des chaussées routière, ferroviaire ou aéroportuaire.

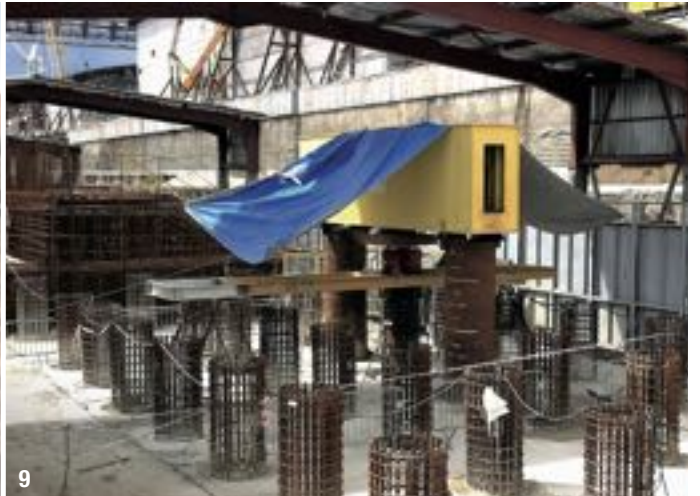


6



7

© RINCENC LABORATOIRES



Le principe du radar d'auscultation classique est de travailler dans le domaine temporel : il délivre une impulsion électromagnétique de fréquence élevée (> 1Ghz) vers la chaussée où elle rebondit à chaque changement interne de structure. Dans ce type de radar, la fréquence est fixe et impose un compromis entre profondeur de pénétration et résolution.

Plus la fréquence est élevée, meilleure est la résolution mais pire est la pénétration.

Ainsi pour obtenir une image de la chaussée à plusieurs fréquences, il faut soit recourir à plusieurs antennes sur le même véhicule, soit effectuer plusieurs passages à des fréquences différentes. Grâce à la technologie de l'Euradar multifréquences ou à saut de fréquence, une seule antenne et un seul passage sont nécessaires. D'où un gain considérable en temps, en poids et en énergie.

Le radar Euradar analyse la chaussée sur environ 200 fréquences différentes alors que le radar temporel se contente d'au mieux trois fréquences. Avec ces données supplémentaires il est possible d'effectuer une analyse bien plus poussée de la chaussée et grâce à des traitements numériques retrouver des informations comme la teneur en bitume, la compacité ou la teneur en eau de la chaussée. Ces paramètres, s'ils sont mesurés à intervalles réguliers, donnent une information sur le vieillissement de la chaussée.

#### FORMATION : VALORISER LES SAVOIR-FAIRE » TERRAIN »

L'activité de formation est largement liée aux essais de laboratoires et de chantiers. Elle a pour objet la validation des « savoir-faire terrain » des opérateurs à l'international.

#### 8- Recherche d'eau souterraine à Amjarass et Kalaït au Tchad.

#### 9- À Tchernobyl, Rincet ND Recherche et Expertise a procédé à des essais de contrôle d'intégrité des fondations profondes.

Pilotées par les techniciens et ingénieurs du groupe, ces formations techniques visent un réel transfert de savoir-faire. Elles ont principalement lieu sur site, en France mais aussi à l'international, en Afrique et au Brésil, notamment.

En Afrique, par exemple, des agences de gestion du patrimoine routier ont bénéficié du cycle de formation sur les diagnostics des chaussées afin de maîtriser les typologies d'essais à réa-

liser, pour caractériser l'état des routes et anticiper toute dégradation majeure. Dans un contexte similaire, des agents de niveau ingénieur de l'ASECNA<sup>(4)</sup>, ont été formés aux opérations d'auscultation sur les sites aéroportuaires, afin de participer aux choix des travaux à mettre en œuvre (Recommandations OACI - Annexe 14). Il est en effet essentiel pour un gestionnaire de connaître l'état de son patrimoine, de comprendre les enjeux de la gestion et de définir une stratégie de maintien de l'infrastructure.

Parmi les actions récurrentes du groupe figure également une formation sur les essais de laboratoires qui permet à des techniciens de laboratoire de bénéficier de mises à jour sur les méthodes et outils disponibles pour réaliser et interpréter ces essais.

#### AIR : MIEUX RESPIRER À SUAPE ET À BAMAKO

Parmi les réalisations de Rincet Air, ses interventions sur le port de Suape,

au Brésil et à Bamako, au Mali, illustrent son implication dans cette discipline de plus en plus d'actualité.

Dans le cadre de la mise en place de moyens de surveillance de la qualité de l'air sur la zone portuaire de Suape, pour établir l'état initial de la qualité de l'air dans l'environnement, deux polluants traceurs de l'activité ont été sélectionnés :

→ Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) polluant majoritairement émis par la combustion de carburants automobiles qui constitue donc un excellent traceur de la pollution liée au transport routier ;

→ Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) : principalement lié au secteur de transformation d'énergie et l'industrie, ce composé également émis par les carburants contenant du soufre.

Le principe de la mesure reposait sur la diffusion passive des polluants à travers une cartouche d'adsorption spécifique (capteur passif) exposée à l'air ambiant pendant deux semaines. Cette méthode permet d'obtenir une concentration moyenne représentative de la période d'exposition. Les capteurs sont placés à l'intérieur de boîtes de protection afin de les protéger de la pluie et du vent. Les boîtes sont ensuite fixées en hauteur (environ 2,50 m) sur des supports existants de type candélabre, poteau... À Bamako, l'objectif était de comprendre et de caractériser la qualité de l'air dans le district. Capitale économique et administrative du Mali, la ville est un district à l'échelle nationale et, avec un peu moins de 2 millions d'habitants, représente 13% de la population totale du Mali et 46,7% de la population urbaine totale. Par ailleurs, la ville de Bamako abrite à elle seule l'essentiel des infrastructures et activités industrielles du pays. ▷

### ACCRA : CHERCHEZ LA CAUSE

**Une usine se trouvant sur le site portuaire d'Accra au Ghana, dispose de cuves en béton armé qui, bien que récentes, présentent localement des signes de dégradation caractérisés essentiellement par une corrosion des aciers et par des fissures. Une première mission d'inspection a été conduite par l'agence Rincet Recherche Expertise destinée à caractériser la pathologie à l'aide de divers moyens d'auscultation, certains d'entre eux ayant été conçus par l'agence (méthode impact-écho)**

**Ces investigations ont conduit à placer l'ouvrage sous surveillance. Celle-ci a été assurée à l'aide d'un matériel, également conçu par Rincet Recherche Expertise, constitué de capteurs autonomes reliés à un système de télétransmission. Cela permet, depuis la France, de visualiser les ouvertures/fermetures des fissures en fonction du temps tout en prenant en compte les variations de températures.**





© RINCENT LABORATOIRES

Connaître la qualité de l'air qu'on y respire et remédier éventuellement à sa pollution, constitue donc une préoccupation majeure des autorités maliennes. L'étude s'est déroulée de novembre 2013 à février 2015 sous l'autorité du ministère de l'équipement et des transports du Mali. Particulièrement complète et détaillée, elle a permis de mettre en évidence les mesures à prendre pour préserver ou améliorer la qualité de l'air de la capitale malienne. Pour Rincenc Air, un autre projet est en cours, relatif à la pollution de l'air dans la ville de Douala. En effet, à l'image de nombre de métropoles africaines à très forte croissance démographique, Douala, le poumon économique du Cameroun, connaît des problèmes environnementaux graves parmi lesquels la qualité de l'air reste l'un des plus sensibles. C'est sans doute l'une des questions environnementales qui fragilise le processus de développement. L'objectif des autorités camerounaises est de contribuer à l'amélioration du cadre de vie et de la santé dans un développement urbain durable.

#### EAU : UNE MISSION CAPITALE AU TCHAD

Pour Rincenc Eau, la réalisation actuellement la plus importante consiste en une mission de recherche en eau souterraine sur les zones d'Amjarass et de Kalaït, dans la république du Tchad. Amjarass et Kalaït sont deux villes de la région de l'Ennedi, dans le nord-est du Tchad, qui présentent d'importants déficits en eau potable. Des prospections par forages de reconnaissance ont été réalisées dans la région sans obtenir les résultats escomptés. Le gouvernement tchadien souhaite donc lancer une étude de recherche en eau souterraine pour

## AFRIQUE : PRÉSENCE ET ACTIVITÉS DE LONGUE DATE

Les références africaines de Rincenc Laboratoires sont multiples puisque l'entreprise y possède des agences depuis déjà de longues années dans plusieurs pays. Elle intervient également dans des états où elle ne dispose pas d'implantation propre : Algérie, Bénin, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, Guinée, Guinée Équatoriale, Maroc, Mauritanie, Mozambique, Nigeria, République Démocratique du Congo (RDC), Tanzanie, Togo, Tunisie.

Quelques exemples illustrent la diversité de ses interventions :

- **Au Rwanda** : des glissements de terrain et des instabilités de talus importantes sont apparus sur le tracé de trois routes du centre et du sud du pays : une étude a permis de hiérarchiser les problèmes d'identifier les causes et de proposer des solutions d'urgence ;
- **Au Gabon, sur le pont de Kango** : relevé des anomalies et pathologies visible sur l'ensemble du pont, recherche du ferrailage (câbles de précontrainte) par radar, examen du béton par essai non destructifs (vitesse du son, scléromètre), relevé topographique du tablier, examen de l'intégrité des pieux et estimation de leur longueur par impédance mécanique ;
- **Au Cameroun** : auscultations complètes des chaussées des trois aéroports internationaux de Yaoundé Nsimaïen (3400 m), Garoua (3400 m) et Douala (2850 m) ;
- **Au Nigeria** : 65 pieux, de 0,80 à 1,20 m de diamètre et de 15,50 à 18,50 m testés dans le port de Lagos, sur le site du terminal d'Ashayet, préalablement à la mise en place d'un scanner fixe pour le contrôle des conteneurs ;
- **En Mauritanie** : dans le nouveau port minier de Nouadhibou, essais de chargement statique et dynamique de pieux battus off-shore avec suivi afin de finaliser le dimensionnement, ainsi que dans le port de Nouakchott ;
- **En Tunisie, dans le port de Radès** : essai de chargement statique de pieux de 80 m de long et essai instrumenté avec une charge d'environ 2000 t ;
- **Au Mozambique** : contrôle d'un rideau de palplanches au moyen d'essais non destructifs sur le barrage de Maccaretane ;
- **En Algérie** : dans le port d'Arzew, expertise sur les fondations profondes des appontements.

Toutes interventions auxquelles s'ajoutent de nombreuses formations réalisées au Cameroun, au Sénégal, au Tchad, au Togo... ainsi que des études sur la qualité de l'air et de l'eau au Rwanda et au Mali.

#### 10- Ruptures de soutènement au Rwanda.

#### 11- Essais de chargement dynamique dans le port minier de Nouadhibou en Mauritanie.

caractériser les ressources des deux zones d'études. L'objet est la recherche des zones favorables pour faire de l'alimentation en eau souterraine pour les besoins des populations et des animaux qui y vivent. Pour mener à bien cette démarche, il est prévu trois phases d'intervention : pré-étude hydrogéologique, études géophysiques sur le terrain, suivi des forages de reconnaissance.

Une première visite a ainsi été réalisée en juin 2016 pour identifier les deux zones d'étude et organiser la future mission de terrain.

Étant donné l'isolement des zones d'études et la durée des investigations de terrain, une bonne organisation logistique des missions est primordiale. Cet aspect de l'étude sera pris en charge par Rincenc Labogec Tchad implantée à N'Djamena et qui possède une grande expérience dans l'organisation de chantiers et de missions de grande ampleur sur tout le territoire tchadien.

Au niveau du matériel, c'est le PROMIS multi-fréquences, pouvant réaliser des investigations jusqu'à 200 m de profondeur qui a été choisi. Le PROMIS est un équipement électromagnétique utilisant la méthode slingram. Il est constitué d'une boucle de courant émettrice produisant un champ magnétique primaire, reliée par un câble à un récepteur situé à une distance donnée de l'émetteur.



© RINCENT LABORATOIRES

12

L'appareil mesure les 3 composantes en phase et en quadrature du champ magnétique secondaire induit par la réponse du sol et la présence éventuelle de structures conductrices.

À l'issue des trois phases d'investigations, le rendu réalisé permettra au porteur de projet de passer à l'étape suivante, à savoir la réalisation des ouvrages de production et l'étude d'acheminement de cette eau vers les deux villes considérées.

#### ND RECHERCHE EXPERTISE : LE CAS DÉLICAT DE TCHERNOBYL

Dans un tout autre domaine, mais toujours en relation avec les activités « essais et mesures », l'agence Recherche Expertise est intervenue sur le site de Tchernobyl à la demande de la joint-venture Novarka (Bouygues-Vinci). Depuis la catastrophe d'avril 1986, le sarcophage qui a été mis en place à cette époque s'est dégradé avec le temps et il est nécessaire de procéder à la mise en place d'une nouvelle

#### 12- Rincenc Airport a réalisé des auscultations complètes des chaussées des trois aéroports internationaux du Cameroun.

#### 13- En Tunisie, dans le port de Radès, essai de chargement statique de pieux de 80 m de longueur.

#### 14- En Algérie, expertise sur les fondations dans le port d'Arzew.

couverture qui permettra également le démantèlement de l'existant. Il s'agit d'une arche de 16 000 tonnes qui est acheminée en pièces détachées, assemblée sur site puis levée dans une zone dédiée. Lorsque l'assemblage est

achevé, l'ensemble est ripé jusqu'au sarcophage existant afin de le recouvrir. Cette voûte géante repose sur deux rails en béton de plusieurs mètres de largeur et de hauteur fondés sur des pieux métalliques tubulaires battus et des pieux forés en béton aux abords de l'existant. Afin de contrôler le design de ces fondations, des essais d'intégrité, de portance statique et dynamique et de comportement au chargement latéral ont été réalisés sur 300 pieux. Ces essais ont permis de proposer une conception de pieux battus répondant à la nécessité d'assurer la portance requise tout en limitant leur longueur. Afin d'assurer la validation de ce design, il a été nécessaire de faire appel à une technique de chargement dynamique avec contrôle du déplacement pendant le choc pour disposer de signaux vibratoires de qualité. Cela a été complété par des essais de chargement statique verticaux et latéraux. Par ailleurs, afin de contrôler les vibrations générées par ces travaux, un

matériel de suivi a été spécifiquement conçu par Rincenc Recherche et Expertise afin de répondre aux demandes normatives en vigueur. Ce système de mesure est constitué de plusieurs géophones 3D couplés à un système de traitement de signal temps réel ainsi qu'à une alarme.

Les essais de chargement statique vertical ont été menés également sur les pieux forés, ceux-ci étant instrumentés pour différencier les frottements latéraux de l'effort de pointe. Latéralement, il s'est avéré nécessaire de comparer leur comportement unitaire, d'une part, et par paire, d'autre part, en prenant en compte un massif de tête.

En complément de ces essais de chargement, Rincenc est également intervenu pour procéder aux contrôles d'intégrité des fondations profondes par des techniques d'impédance mécanique et de carottage sonique (méthode par transparence).

Un exemple parmi beaucoup d'autres de la totale ouverture de l'entreprise francilienne à poursuivre et maintenir sa présence partout dans le monde où sa maîtrise des techniques d'essais, de mesures et d'analyses apporte des solutions pragmatiques aux problèmes que peuvent connaître les ouvrages de génie civil et les chaussées routière et aéroportuaires. □

1- **Eurolab France** : L'association Eurolab France a été créée en 1989 pour représenter la communauté française des laboratoires d'essais, d'étalonnage et d'analyses accrédités par le COFRAC.

2- **OPQIBI** : Organisme Professionnel de Qualification de l'Ingénierie Bâtiment Industrie (OPQIBI).

3- **Voitalia** : Cette entreprise française créée en 2005 développe, détient et exploite des centrales avec une stratégie multi-énergies en sélectionnant les sites les mieux adaptés aux technologies d'énergies renouvelables (éolien, solaire, biomasse, hydraulique).

4- **ASECNA** : Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar.



© RINCENT LABORATOIRES

13



14





1  
© EGIS / XU HUI - CSCEC

# LA ROUTE NATIONALE N°1 AU CONGO, UN PROJET D'EXCEPTION

AUTEUR : PATRICK PASQUET, CHEF DE MISSION PROJET RN1, EGIS.

LONGTEMPS RÊVE INACCESSIBLE, LE PROJET EST DÉSORMAIS CONCRÉTISÉ : 535 KM DE ROUTE NEUVE RELIENT LA VILLE DE BRAZZAVILLE, CAPITALE POLITIQUE DE LA RÉPUBLIQUE DU CONGO, AU PORT DE POINTE-NOIRE, CENTRE DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET COMMERCIALE DU PAYS. INITIÉS PAR LE PRÉSIDENT DENIS SASSOU NGUESSO DANS LE CADRE DU PARTENARIAT CONGO-CHINE CONCLU EN 2006, CES TRAVAUX DE 2 MILLIARDS D'EUROS, RÉALISÉS PAR LA SOCIÉTÉ CHINOISE CSCEC SOUS LE CONTRÔLE D'EGIS, ONT ÉTÉ INAUGURÉS LE 1<sup>ER</sup> MARS 2016.



**LA ROUTE DU  
DÉVELOPPEMENT  
PASSE PAR LE  
DÉVELOPPEMENT  
DE LA ROUTE**

**T**el pourrait être l'adage de la Délégation Générale aux Grands Travaux qui souhaite moderniser le secteur routier du territoire, afin de faire du Congo un pays carrefour pour le transit continental. Engagé par l'État congolais dès 2007, l'aménagement de la Route Nationale N°1 est au cœur du Plan National des Transports (PNT) adopté en 2003, qui vise à mailler l'ensemble du pays d'infrastructures viables. Il répond à de

**1- Vue aérienne de la route RN1 finie.**

**1- Aerial view of the finished highway RN1.**

forts enjeux, non seulement nationaux pour favoriser l'intégration nationale, dynamiser les échanges et l'économie

du pays, mais également régionaux. Il projette ainsi de faire du Congo la porte d'entrée des pays de l'hinterland, et de son port de Pointe-Noire une plate-forme de transbordement de premier plan. L'axe Nord avec la RN2 ouvrira le corridor vers la Centrafrique, le Tchad et le Cameroun. L'axe Ouest avec la RN3 permettra de relier le Gabon et enfin, l'axe Est ouvrira les voies vers la République Démocratique du Congo.





2



3

Pour piloter ce vaste chantier, l'État congolais a délégué sa maîtrise d'ouvrage au ministre à la Présidence de la République Jean-Jacques Bouya, chargé de l'Aménagement du Territoire et de la Délégation Générale aux Grands Travaux (organe administratif et technique en charge de la gestion des grands marchés publics). La construction de la route a été confiée à l'entreprise China State Construction Engineering Corporation

**2- État de la RN1 à l'origine.**  
**3- Une piste longtemps impraticable.**

**2- Initial state of RN1.**

**3- A track that was impracticable for a long time.**

(CSCEC), une des plus importantes entreprises de construction chinoises, tandis qu'Egis, groupe international de conseil, d'ingénierie et d'exploitation dans les domaines de la construction (transports, ville, bâtiment...) a assuré la maîtrise d'œuvre déléguée, supervisant ainsi l'ensemble des études et travaux de ce projet d'envergure. Présent au Congo depuis 1949, Egis intervient aujourd'hui dans une quinzaine de projets liés à la modernisation

des infrastructures routières, portuaires et aéroportuaires, ainsi que dans le domaine de l'aménagement urbain. Les équipes d'Egis mènent notamment des études sur le prolongement de la RN1 au-delà de la RN2 et la création d'un port fluvial sur le fleuve Congo à Maloukou-Tréchet, ou encore le projet de pont route/rail, à proximité du futur port de Maloukou-Tréchet, qui enjambrera le fleuve Congo pour relier Brazzaville à Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo.

### UN CHANTIER SANS PRÉCÉDENT

L'ancienne RN1, une piste étroite en partie détruite ou fermée par la végétation, handicapait lourdement le développement économique du pays, avec une liaison très difficile entre Brazzaville, située à 500 km dans les terres, et Pointe-Noire, ville portuaire. Le nouveau tracé, entièrement neuf et à 95 % en 2x2 voies, va permettre de désenclaver de nombreuses villes des provinces du sud du pays (figures 2 et 3). L'aménagement de la RN1 se décompose de la façon suivante :

- **Tronçon 1** de Pointe-Noire à Dolisie (160 km), un site très difficile, marqué par un relief montagneux couvert de forêts denses et un climat de type équatorial humide. Ce tronçon est ouvert à la circulation depuis le 21 décembre 2011.
- **Tronçon 2** entre Dolisie et Mindouli (208 km), traversant un relief peu marqué, mais présentant de nombreux cours d'eau, des zones compressibles et un déficit en matériaux de qualité.
- **Tronçon 3** entre Mindouli et Brazzaville (167 km), au cœur des plateaux Batéké caractérisés par une formation limoneuse-sableuse particulièrement sensible à l'érosion, et rejoignant la RN2 à environ 50 km au nord de Brazzaville. Ce tronçon comprend également le doublement de la RN2 sur une vingtaine de kilomètres à proximité de Brazzaville.
- **Deux échangeurs en tréfle**, un à Pointe-Noire et l'autre à Brazzaville, destinés à acheminer le trafic lourd vers les gares, ports et aéroports via les futurs contournements des deux villes. Ce dernier aménagement montre bien la volonté de l'État congolais, dans son plan général de développement des infrastructures, de créer des plates-formes multimodales assurant aux investisseurs et opérateurs économiques congolais un haut niveau de performance logistique. ▶





4

© EGIS / ELION BASILE BLANCHARD - DGGT

Afin de réaliser des travaux aussi volumineux dans un délai exceptionnellement court pour un tel linéaire, l'entreprise de travaux a eu recours à un parc matériel considérable (225 engins de terrassement, 450 camions, 15 centrales à béton, 9 concasseurs, 9 centrales d'enrobés, 19 finisseurs), des ressources humaines exceptionnelles (9 000 personnes au plus fort de la mobilisation) et mis en place une organisation structurée, permettant de gérer jusqu'à 13 chantiers indépendants. Pour répondre efficacement à la capacité de production de l'entreprise, tant au niveau des études que des travaux, et aux difficultés techniques rencontrées, Egis a mobilisé au plus fort de

son activité une équipe de contrôle sur site de plus de 170 personnes, réparties sur 535 km. Disposant d'une forte capacité d'adaptation au contexte local, cette équipe pluridisciplinaire composée d'ingénieurs, projeteurs, techniciens, opérateurs, etc., a ainsi vérifié plus de 202 000 plans et effectué plusieurs milliers d'essais géotechniques tout au long du chantier. Le Groupe a également fait appel à des ingénieurs et techniciens congolais, pour la plupart jeunes diplômés, leur permettant de bénéficier d'une expérience professionnelle très riche.

Au cours de ce chantier marathon échelonné sur plus de 8 ans, les équipes d'Egis ont dû relever de nom-

**4- Traversée du massif du Mayombe.**

**5- Déblai de 50 m stabilisé par clouage.**

**6- Déblai de 24 m protégé par béton projeté.**

**4- Crossing through the Mayombe mountains.**

**5- 50-metre earth cut stabilised by nailing.**

**6- 24-metre earth cut protected by shotcrete.**

breux défis techniques, tels que la gestion complexe des eaux de surface et souterraines, celle des terrassements de très grande masse, ou encore les problèmes posés par des ouvrages d'art non courants, tous en fondations profondes :

→ L'eau constitue l'ennemi numéro 1 de la route. Sa parfaite gestion est un facteur déterminant pour la pérennité de l'ouvrage. Sous ces latitudes, la gestion des eaux de surface est généralement déterminée par le caractère torrentiel des pluies, les fortes pentes et par la variabilité de la nature des matériaux. Les lois intensités-durées-fréquences utilisées conduisent à une



5



6

© EGIS / XU HUI - CSCGC





7



8

densité des ouvrages d'assainissement importante et un dimensionnement hydraulique conséquent. Pour les eaux souterraines, la décompression par les déblais des massifs montagneux entraîne inévitablement à terme une modification de leur régime de circulation, parfois plusieurs années après les travaux, d'où la nécessité d'anticiper et de dimensionner parfaitement les systèmes profonds de drainage.

→ La réussite des terrassements de grande masse repose, quant à elle, sur un choix judicieux du matériel de production et sur la pertinence de la méthodologie en fonction des contraintes de volume, de nature

**7- Déblai de plus de 60 m à proximité de Mindouli.**

**8- Remblai de 22 m.**

**9- Traitement des eaux de surface par bassin de rétention.**

**7- Earth cut of more than 60 metres near Mindouli.**

**8- 22-metre backfill.**

**9- Surface water treatment by means of a retention basin.**

de matériaux, souvent hétérogènes, et du maintien de la circulation.  
→ Deux types d'ouvrages d'art non courants ont été retenus afin de franchir les cours d'eau de grande largeur, sans appui intermédiaire. Il s'agit d'une part de 8 ponts mixtes poutres métalliques/tablier béton de 60 m de portée, et d'autre part d'un pont en arc métallique/tablier béton d'une portée de 160 m. Sur la base d'investigations géotechniques approfondies, ils ont tous été fondés sur des pieux forés d'environ 20 m de profondeur.

Un des challenges les plus spectaculaires rencontrés par les équipes d'Egis a été la traversée sur environ 60 km du

Mayombe, massif montagneux au relief très tourmenté, formant une véritable barrière naturelle entre les départements du Kouilou et du Niari, au sud-ouest du pays (figure 4).

En raison de l'hétérogénéité et de l'instabilité des sols gorgés d'eau du massif, ainsi que de la pluviométrie très forte et étalée sur de longs mois, des dispositifs variés de protection et de stabilisation des talus (clouage, béton projeté, mur de soutènement) ont été mis en œuvre à grande échelle afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage (figures 5 et 6). Avec des déblais de plus de 60 m de hauteur et des remblais proches de 25 m, sa réalisation en deux ans et demi a été particulièrement remarquable (figures 7 et 8).

La traversée des sables Batéké, situés dans le département du Pool, fut également un vrai défi, en raison de la nature fragile de ces sols limoneux-sableux, excessivement sensibles aux érosions. Les méthodologies et phasages de travaux ont donc été spécialement adaptés à cette contrainte. De nombreux bassins de rétention et d'infiltration, en remplacement des classiques ouvrages en béton généralement réalisés sur de grands linéaires pour amener l'eau jusqu'aux points bas, ont été mis en œuvre (figure 9).

## ENVIRONNEMENT AU CŒUR DES PRÉOCCUPATIONS

Le bassin congolais est un véritable réservoir de richesses minérales, végétales et animales, souvent méconnu de la population locale. Avec le soutien du ministre chargé de l'aménagement du territoire, Egis a intégré très tôt au projet la protection et l'aménagement de quelques sites remarquables, à fort intérêt historique, géologique, faunistique ou floristique.



9





Ainsi, Egis a initié la protection et l'aménagement d'un site rocheux, à proximité de la ville de Mayama, présentant de nombreuses diaclases et fissures couvertes d'une végétation arboricole. Ce biotope singulier abrite une biodiversité d'espèces troglodytes. En raison de la richesse de cet écosystème, le tracé du projet a été modifié afin de sauvegarder cet espace naturel et de l'aménager pour développer son attrait touristique, à forte valeur pédagogique pour les usagers de la route.

En matière de développement durable, le choix technique le plus innovant proposé par Egis est l'utilisation à grande échelle (12 millions de plants) d'une graminée pérenne appelée vétiver, pour protéger et stabiliser les talus de déblai dans la zone des sables Batéké (figures 10 et 11).

La nature fragile de ces sols, associée aux fortes pluies de la région et au relief singulièrement vallonné, engendre des phénomènes d'érosion excessivement rapides et de grande ampleur, aux conséquences désastreuses tant sur les ouvrages que sur la biodiversité (écosystèmes savanicoles) et difficilement maîtrisables avec des solutions classiques, généralement énergivores et coûteuses. Egis a développé une réponse qui se

veut à la fois novatrice, simple, efficace, économique et locale :

- Simple, par sa production et sa mise en œuvre.
- Efficace, par ses propriétés anti-érosives. Disposés en plants serrés, les vétivers permettent la formation de haies vives compactes et successives qui ralentissent la vitesse

**10- Protection des talus sableux par plantation de vétiver.**

**10- Protection of sandy embankments by planting vetiver.**

des eaux de ruissellement et évitent la battance des pluies directement sur les talus. Par ailleurs, sa grande résistance à la sécheresse, son entretien inexistant et sa capacité de régénération après le passage d'un feu constituent des atouts supplémentaires.

- Économique, car cinq à six fois moins onéreuse que la moins coûteuse des solutions classiques.
- Locale, car faisant appel à une abondante main-d'œuvre pour la production en pépinière et la mise en place sur site, générant ainsi des revenus à la population et permettant l'acquisition d'un savoir-faire transmissible.
- Écologique, car le vétiver, pour former son importante biomasse racinaire et foliaire, a besoin d'absorber et d'accumuler le dioxyde de carbone atmosphérique (CO<sub>2</sub>), ce qui lui permet de diminuer durablement l'empreinte carbone du projet.

Cette solution de génie végétal, parfaitement adaptée au contexte environnemental et socio-économique du pays, peut servir d'exemple pour les aménageurs institutionnels ou privés du Congo et être régulièrement utilisée contre les problèmes d'érosion des sols sableux en Afrique.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- 535 km de linéaire
- 38 ponts dont 27 ponts en béton armé, 8 ponts mixtes (poutres métalliques + tablier béton) de grande portée (60 m) et 1 pont métallique en arche (160 m)
- 41,26 millions de m<sup>3</sup> de terrassements
- 2,39 millions de m<sup>3</sup> de couche de fondation en grave naturelle ou litho stabilisée
- 1,75 million de m<sup>3</sup> de couche de base en concassé
- 1,35 million de m<sup>3</sup> d'enrobés
- 873 dalots
- 1 029 km d'assainissement (caniveaux bétonnés)
- 89 033 m<sup>3</sup> de mur de soutènement
- 122,29 km de tirants pour la stabilisation des talus
- 127 855 m<sup>2</sup> de béton projeté pour la protection des talus
- 80 ha de vétiver pour la protection des talus sableux
- 10 gares de péage/pesage
- 7 écoles



11

© EGIS / PATRICK PASQUET

Le chantier de la RN1 restera dans les mémoires comme le projet le plus important du Congo depuis son indépendance en 1960 et le plus représentatif de la coopération avec la Chine. Une œuvre titanesque qui, au-delà de son intérêt pour l'intégration régionale et le désenclavement, contribue efficacement au développement socio-économique du pays. Pour l'heure, l'État congolais, parfaitement conscient des nouveaux enjeux en termes d'entretien et de gestion du patrimoine routier, prépare activement la mise en concession de la RN1 et de la RN2 (plus de

**11- Le vétiver, une solution naturelle aux propriétés antiérosives.**

**11- The vetiver, a natural solution with anti-erosion properties.**

1 300 km), afin de sauvegarder et rentabiliser ses importants investissements. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** État congolais

**MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ :** Ministre à la Présidence de la République chargé de l'Aménagement du Territoire et de la Délégation Générale aux Grands Travaux

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Délégation Générale aux Grands Travaux

**MAÎTRE D'ŒUVRE DÉLÉGUÉ :** Coordination Technique de la DGGT

**BUREAU D'ÉTUDE ET DE CONTRÔLE :** Egis

**ENTREPRISE :** China State Construction Engineering Corporation (CSCEC)

## ABSTRACT

### NATIONAL HIGHWAY 1 IN THE CONGO, AN EXCEPTIONAL PROJECT

PATRICK PASQUET, CHEF DE MISSION PROJET RN1, EGIS

**National highway 1 (RN1), the backbone of the Congolese national economy and transport chain, is nearing completion after more than eight years' work. It stretches over 535 km of new road, 95% two-lane dual-carriageway, between Brazzaville, the political capital, and Pointe-Noire, the economic capital. This €2 billion project, launched by President Sassou Nguesso within the framework of the Congo-China partnership of 2006, was carried out by the Chinese company Cscec, under the supervision of international consulting, engineering and operating group Egis, the project management representative for all the design engineering and works. This is an exceptional project, in terms of work volume, mobilisation and technical challenges. □**

### LA CARRETERA NACIONAL N°1 DE CONGO, UN PROYECTO EXCEPCIONAL

PATRICK PASQUET, CHEF DE MISSION PROJET RN1, EGIS

**Tras ocho años de obras, la RN1, espina dorsal de la economía nacional y de la cadena de transporte de Congo, está a punto de ser finalizada. Se extiende a lo largo de 535 km de carretera, nueva en su 95%, con dos carriles en ambas direcciones, entre Brazzaville, capital política, y Pointe-Noire, capital económica. Impulsado por el Presidente Sassou Nguesso en el marco de la colaboración Congo-China de 2006, este proyecto valorado en 2.000 millones de euros ha sido realizado por la empresa china CSCEC, bajo la supervisión de Egis, grupo internacional de asesoría, ingeniería y explotación, coordinador delegado del conjunto de los estudios y las obras. Un proyecto excepcional en términos de volumen de obras, movilización y desafíos técnicos. □**



PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

SPÉCIAL LGV 912

TRAVAUX SOUTERRAINS 913

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 914

OUVRAGES D'ART 915

SOLS ET FONDATIONS 916

SPÉCIAL BIM 917

INTERNATIONAL 918

VILLES, TRANSPORTS ET PATRIMOINE 919

SPÉCIAL BFUP 920

TRAVAUX SOUTERRAINS 921

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 922

OUVRAGES D'ART 923

SOLS ET FONDATIONS 924

SPÉCIAL HONG KONG 925

ÉNERGIE 926

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

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

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

- |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 912 x | <input type="checkbox"/> 917 x | <input type="checkbox"/> 922 x |
| <input type="checkbox"/> 913 x | <input type="checkbox"/> 918 x | <input type="checkbox"/> 923 x |
| <input type="checkbox"/> 914 x | <input type="checkbox"/> 919 x | <input type="checkbox"/> 924 x |
| <input type="checkbox"/> 915 x | <input type="checkbox"/> 920 x | <input type="checkbox"/> 925 x |
| <input type="checkbox"/> 916 x | <input type="checkbox"/> 921 x | <input type="checkbox"/> 926 x |

Soit un montant total de :

\_\_\_\_\_ numéros x 15 € = \_\_\_\_\_ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

\*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais porteur : 4,80€ d'envoi France, 9,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi Informatique et des Libertés du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

#### JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Entreprise \_\_\_\_\_ Fonction \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville \_\_\_\_\_

Tél. : \_\_\_\_\_ Fax : \_\_\_\_\_

Email : \_\_\_\_\_  Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de COM<sup>1</sup> ÉVIDENCE

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

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

\*Offre valable jusqu'au 31/12/17 - cometcom.fr - octobre 2016







1

© RAZEL-BEC

# RENFORCEMENT DE BASE DE REMBLAI PAR GÉOGRILLE PARALINK® SUR LA RN1 AU CONGO

AUTEUR : ALEXANDRE PLASTRE, DIRECTEUR TECHNIQUE, FRANCE MACCAFERRI

LA LIAISON ROUTIÈRE ENTRE LES VILLES DE KINKALA ET MINDOULI SUR LA RN 1 AU CONGO CONSTITUE UN AXE MAJEUR DE DÉVELOPPEMENT SUR L'AXE RELIANT POINTE NOIRE À BRAZZAVILLE. ELLE PERMETTRA LE DÉSENCLAVEMENT DU DÉPARTEMENT DU POOL ET CONTRIBUERA AU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE DU PAYS. LE PROJET EST FINANCÉ PAR L'ÉTAT DU CONGO ET LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT (FED). LONG DE 53 KM, LE TRACÉ TRAVERSE DES ZONES MARÉCAGEUSES DONT LES SOLS PRÉSENTENT DES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES TRÈS FAIBLES. DANS CERTAINES ZONES DE REMBLAI IMPORTANTES POUVANT ALLER JUSQU'À 8 M DE HAUTEUR, UNE SOLUTION DE RENFORCEMENT DE LA BASE DU REMBLAI PAR GÉOGRILLE PARALINK® A ÉTÉ CHOISIE POUR ÉVITER DES PURGES IMPORTANTES ET ACCÉLÉRER LES TRAVAUX. CETTE TECHNIQUE A ÉTÉ UTILISÉE POUR UNE SURFACE TOTALE DE 50 000 M<sup>2</sup>.

## CONTEXTE

Le Congo est un pays équatorial où l'intérieur des terres est caractérisé par une forêt dense et une humidité importante.

La zone située entre Kinkala et Mindouli ne déroge pas à la règle et le nouveau tracé routier de la Route Nationale 1 reliant les 2 villes traverse des bas-

1- Vue d'ensemble.

1- General view.

fonds très humides caractérisés par des sols vasards très compressibles et peu porteurs (figure 2).

Suivant la hauteur du remblai à réaliser et la profondeur de la couche « molle », des épaisseurs de purge de 0,40 m à 4 m de profondeur ont été dimensionnées par le groupement Razel-Bec/Dtp effectuant les travaux.

Lors des terrassements réalisés sur site, les volumes de matériaux de purge se sont avérés plus importants que prévus.

Il en est résulté un besoin en matériaux nobles plus conséquent, allongeant la durée du chantier, ce qui n'était pas envisageable compte tenu du délai contractuel limité à 32 mois. ▷





2

© FRANCE MACCAFERRI

À titre d'exemple, le premier tronçon d'un kilomètre réalisé a nécessité la substitution (déblaiement du matériau vasard et remblaiement avec du matériau noble) d'environ 70 000 m<sup>3</sup> de matériaux.

### PRINCIPE DE LA SOLUTION

Une solution alternative a été recherchée par le département technique de la direction internationale de Razel (groupe Fayat) qui a fait appel à l'expertise de France Maccaferri pour étudier un moyen de limiter les substitutions, voire de s'en affranchir.

Une solution qui peut être utilisée dans ce genre de situation consiste à ériger le remblai en plusieurs phases avec un temps de consolidation entre chaque phase. Il est en effet possible de déterminer par le calcul la hauteur de remblai maximale que le sol est en mesure de supporter puis d'estimer le temps de consolidation nécessaire à l'érection de la couche suivante de remblai.

Pour des remblais de 8 m de hauteur, il peut être nécessaire de réaliser 3 à 4 phases de terrassement avec un temps d'attente de plusieurs mois entre chaque phase.

En proposant l'insertion d'une géogridde de renforcement à haute résistance à la traction à la base du remblai, France Maccaferri a proposé une solution permettant à la fois de s'affranchir de la

### SCHÉMA DE RUPTURE DU REMBLAI PAR GLISSEMENT SUR LA BASE



3

### SCHÉMA DE RUPTURE DU REMBLAI PAR EXTRUSION DU SOL DE FONDATION



4

### SCHÉMA DE RUPTURE CIRCULAIRE INTERNE AU REMBLAI



5

© FRANCE MACCAFERRI

2- État de l'existant - zone marécageuse.

3- Schéma de rupture du remblai par glissement sur la base.

4- Schéma de rupture du remblai par extrusion du sol de fondation.

5- Schéma de rupture circulaire interne au remblai.

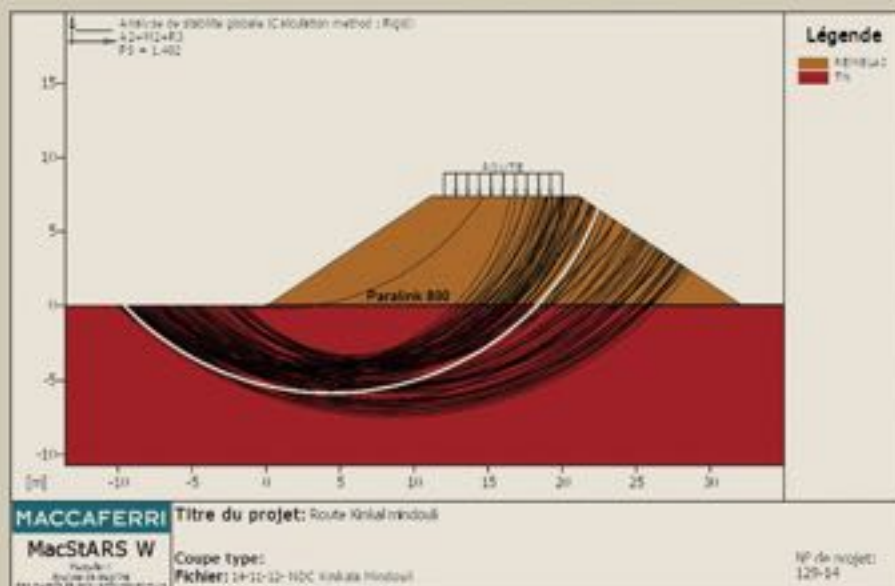
2- Existing situation - marshland area.

3- Diagram of backfill failure by slipping on the base.

4- Diagram of backfill failure by extrusion of the foundation soil.

5- Diagram of internal circular failure of the backfill.

## MODÉLISATION DU PROFIL DE CALCUL SOUS MACSTARS



de « parachute ») ainsi qu'une rupture interne du remblai.

La déformabilité des renforts synthétiques (de l'ordre de 12% de déformations à la rupture) permet une reprise progressive des efforts par le renforcement qui se déforme à mesure de la montée du remblai et de l'amplitude des tassements.

### DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement du renforcement est donc réalisé de façon à lui permettre de se déformer sans rompre tout en ayant la capacité de reprendre des efforts importants. Les paramètres pris en compte lors de la conception concernent la géométrie et les caractéristiques mécaniques du remblai, les charges appliquées et la résistance en cisaillement à court terme du sol de fondation.

Dans le cadre du chantier, les hypothèses décrites dans le tableau 1 ont été considérées.

Le dimensionnement a été mené conformément aux méthodes développées dans la norme britannique BS 8006 : 2010 qui décrit les vérifications de stabilité à réaliser, mais en utilisant les facteurs partiels des eurocodes 7 sur les actions (efforts appliqués), les matériaux (remblai, sol de fondation, renforcement) et les résistances (sol).

Il a ainsi été vérifié la résistance au glissement sur la base (figure 3), à la non extrusion du sol de fondation (figure 4) et à la stabilité face à une rupture circulaire entraînant le remblai (figure 5), le renforcement et le sol de fondation.

La stabilité liée à une rupture circulaire dans le corps du remblai et mobilisant le renforcement a été vérifiée par le logiciel Macstars (MACcaferri STAbility of Reinforced Slopes), logiciel développé par le groupe Maccaferri pour la vérification de stabilité des talus, remblais et murs de soutènement et intégrant les caractéristiques propres des renforts fabriqués par la société (figure 6). Ce logiciel a été entièrement validé en comparaison à des logiciels équivalents.

### PRODUITS UTILISÉS

Les renforcements utilisés sont des géogrilles très résistantes à la traction Paralink® composées de bandes Paraweb® thermocollées formant un maillage régulier (figure 7). Les bandes sont constituées de fibres en polyester haute ténacité protégées par une gaine en polyéthylène.

#### 6- Modélisation du profil de calcul sous Macstars.

#### 7- Géogrille Paralink® avant mise en place.

#### 6- Modelling the design profile under Macstars.

#### 7- Paralink® geogrid before placing in position.

substitution tout en érigeant le remblai en une seule phase de terrassement. L'économie en matériaux de purge et la réduction des temps d'installation ont fait de cette solution une réponse technico-économique particulièrement adaptée.

Le principe du renforcement de base de remblai sur sol compressible repose sur la reprise des efforts de tension développés à la base du remblai par l'élément de renforcement, permettant ainsi une meilleure homogénéité de la descente de charge sur la fondation. L'insertion du renforcement n'empêche pas le développement des tassements mais évite un poinçonnement du sol de fondation (le renfort jouant un rôle

© FRANCE MACCAFERRI  
6



© FRANCE MACCAFERRI  
7

TABLEAU 1 : LES HYPOTHÈSES CONSIDÉRÉES

Nature du Remblai	Sablo limoneux
Hauteurs considérées	4 m < H < 8 m
Poids volumique du remblai	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Angle de frottement du remblai	$\phi = 25^\circ$
Cohésion du remblai	C = 10 kPa
Pente des talus	3H:2V
Cohésion non drainée du sol de fondation	$C_u = 30 \text{ kPa}$



Le polyester apporte une très grande résistance à la traction et un faible coefficient de réduction au fluage alors que la gaine polyéthylène assure une protection optimale contre l'endommagement lors de la mise en œuvre et la dégradation chimique liée à l'agressivité des sols.

Les géogrilles Paralink® sont les produits de renforcement ayant les coefficients de réduction les plus faibles du marché.

Cette gamme de géogrille fait l'objet d'une certification BBA (organisme de certification britannique indépendant) qui évalue le produit quant à son adaptation pour une application spécifique.

Dans le cas de la Paralink®, son utilisation est principalement destinée au renforcement des sols sous remblai disposé sur des zones présentant des risques de cavités, des sols compressibles ou sur des inclusions rigides. Son utilisation est donc largement répandue sur les infrastructures routières et ferroviaires, comme récemment au Maroc, où 30 000 m<sup>2</sup> de géogrille Paralink® viennent d'être installés sur la ligne à grande vitesse entre Kenitra et Tanger.

Afin de limiter le nombre de références sur chantier, deux résistances de géogrille ont été sélectionnées, des Paralink® 250 (pour des hauteurs de remblai  $\leq 5,50$  m) et des Paralink® 800 (pour des hauteurs comprises entre 5,50 et 8,50 m) ayant des résistances nominales à la traction de 250 et 800 kN/m.

### BÉNÉFICES

Aux environs du PK30, sur un tronçon de 600 m, d'une hauteur de 4 m et d'une largeur en base de 23 m, la mise en place d'une Paralink® 250 a permis d'éviter d'avoir à purger près de 50 000 m<sup>3</sup> de matériaux sur une profondeur de 3,90 m.

Outre les avantages économiques, la solution de renforcement de base de remblai par géogrille Paralink® a permis :

- De réduire les volumes de matériaux à déblayer ;
- De réduire les volumes de matériaux de carrière à exploiter et à approvisionner ;
- De réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et baisser l'empreinte carbone du chantier ;
- D'optimiser le phasage de chantier et les ateliers mobilisés ;
- De réduire les délais d'intervention.



8

© FAZEL-BEC



9

© FAZEL-BEC

### MISE EN ŒUVRE

La méthodologie de réalisation du remblai a été élaborée conjointement par les services techniques de Razel-Bec et de Maccaferri.

Avant la mise en place de la géogrille, les étapes suivantes ont été suivies :

- Décapage du sol support et toute matière organique ;
- Reprofilage grossier avec des matériaux du site ;
- Mise en place d'un géotextile non tissé aiguilleté destiné à éviter la contamination du remblai par le sol de fondation vasard (figure 8) ;

#### 8- Installation du géotextile anti-contaminant.

#### 9- Installation de la géogrille Paralink®.

#### 8- Installing the anti-contaminant geotextile.

#### 9- Installing the Paralink® geogrid.

→ Mise en place d'une couche de matériaux d'apport d'une trentaine de centimètres pour assurer le passage des engins ;

→ Réglage de la couche de matériaux d'apport ;

→ Mise en œuvre de la géogrille de renforcement Paralink®.

La géogrille a été installée perpendiculairement à l'axe du remblai dans le sens de sa plus grande résistance (figures 9 et 10).

Le sens de pose de la géogrille est essentiel car elle ne dispose pas d'une résistance équivalente dans le sens



© FRANCE MACCAFERRI  
10

transversal et une mise en œuvre parallèlement au remblai aurait conduit à une ruine certaine du remblai sus-jacent.

Un recouvrement de 30 cm entre géogrilles a été assuré pour éviter un glissement des nappes les unes sur les autres lors des opérations de compactage et de remblaiement. Des colliers de serrage en plastique ont également été utilisés dans les zones de recouvrement pour maintenir les géogrilles en place.

Le remblaiement a été réalisé en opérant parallèlement à l'axe du remblai et en débutant par les deux bords externes afin de lester et mettre en tension la géogrille. Les opérations se sont poursuivies en remblayant par bandes de roulement vers l'intérieur du remblai (figure 11).

#### CONCLUSION

La technique de renforcement de base de remblai sur sol compressible par un renforcement synthétique de type géogrille s'est avérée techniquement, économiquement et opérationnellement la plus viable pour mener à bien ce chantier de terrassement dans une zone marécageuse particulièrement difficile d'accès et de stabilisation. □

### SCHÉMA DE REMBLAIEMENT



10- Tranche de sol avec les différentes couches de sol et géosynthétiques.  
11- Schéma de remblaiement.

10- Soil slice with the various soil layers and geosynthetics.  
11- Backfilling diagram.

© FRANCE MACCAFERRI  
11

### PRINCIPALES QUANTITÉS

PARALINK® 250 ET PARALINK® 800 : 50 500 m<sup>2</sup>

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : État du Congo  
MISSION DE CONTRÔLE : Techniplan  
ENTREPRISES : groupement Razel Congo (Mandataire) et Dtp  
FOURNISSEURS DES PARALINK® : France Maccaferri

#### ABSTRACT

### STRENGTHENING OF BACKFILL BASE BY PARALINK® GEOGRID ON RN1 IN THE CONGO

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

The article describes a technique for strengthening a backfill base erected on compressible soils, used successfully on the Kinkala-Mindouli highway in the Congo. It involves inserting a Paralink® geogrid at the interface between the foundation soil and the backfill, for the purpose of ensuring stability of the backfill against the risk of shear failure, slipping on the base or circular internal failure. This innovative and economical technique speeded up the earthworks stages and limited the rock removal volumes required for replacement of foundation materials. Dimensioning of this solution was performed by the France Maccaferri engineering office with the Macstars software. □

### REFUERZO DE BASE DE TERRAPLÉN MEDIANTE GEOGRILLA PARALINK® EN LA RN1 EN CONGO

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

El artículo presenta una técnica de refuerzo de la base de un terraplén erigido sobre suelos compresibles, utilizada con éxito en la carretera Kinkala-Mindouli, en Congo. Consiste en la inserción de una geogrilla Paralink® entre el suelo de los cimientos y el terraplén con la finalidad de garantizar la estabilidad del terraplén contra el riesgo de punzonamiento, deslizamiento sobre la base o ruptura interna circular. Esta técnica innovadora y económica ha permitido acelerar las etapas de movimiento de tierras y limitar los volúmenes de purga necesarios en caso de sustitución de los materiales de cimentación. El dimensionamiento de esta solución ha sido realizado por el gabinete técnico de France Maccaferri con el programa Macstars. □





1  
© SAIPEM

# LE NOUVEAU QUAI D DU PORT DE POINTE NOIRE

AUTEUR : PATRICK NYFFENEGGER, CHEF DE PROJET, SAIPEM SA.

**UNE RENAISSANCE POUR LE QUAI D DU PORT DE POINTE NOIRE, APRÈS 80 ANS D'EXISTENCE ET DE SERVICE : RECONSTRUCTION, APPROFONDISSEMENT, ÉLARGISSEMENT DES TERRE-PLEINS ET ADAPTATION AU TRAFIC DU XXI<sup>e</sup> SIÈCLE.**

## UN PEU D'HISTOIRE

Le Congo des années 1900 a connu des travaux d'infrastructure importants, parmi lesquels la voie ferrée Brazzaville - Pointe Noire qui se construisait dans la forêt équatoriale de 1921 (1<sup>er</sup> coup de pioche) à 1936 dans les conditions d'une époque révolue : accidents mortels, fièvre jaune, paludisme, et la construction du Port de Pointe Noire, dont l'implantation n'était pas encore définie au démarrage du projet de la voie ferrée. Au sein de ce port, le quai D, construit entre 1937 et 1940, fut le premier à recevoir des navires à fort tirant d'eau (figure 1).

Ces travaux furent réalisés selon la méthode du quai-blocs de Louis Ravier, de la société de construction

des Batignolles, avec des éléments préfabriqués, coiffés d'une poutre de couronnement en béton armé, d'une technicité durable et réalisés avec des moyens de mise en œuvre étonnants pour l'époque tels que préfabrication lourde et manutention avec grues de forte capacité. Cette construction en béton a d'ailleurs montré une résistance exceptionnelle lors des travaux de démolition de 2015...

L'objectif de la construction du quai D, dès cette époque, était de faire du port de Pointe Noire un acteur du trafic maritime dans le golfe de Guinée : port de transit en eaux profondes, pour désenclaver les territoires voisins (Moyen Congo, Gabon, Oubangui-Chari et Tchad) et devenir la Porte Océane

**1- Vue du port et du quai D au premier plan.**

**1- View of the port and Dock D in the foreground.**

toujours été à saturation, notamment dans les années 1960 où le manganèse était exporté dans des proportions importantes. Le premier quai D offrait déjà 5 postes de chargement pour les navires.

## CONTEXTE ÉCONOMIQUE DU XXI<sup>e</sup> SIÈCLE

de l'Afrique Centrale, qui continuera à prospérer jusqu'à notre époque, notamment grâce au développement de l'activité pétrolière et parapétrolière.

De nombreux projets d'extension virent ensuite le jour, dont un projet à 3 môles en 1952, mais ces extensions étaient trop réduites au départ pour faire face au développement industriel de Pointe Noire. Depuis sa naissance, le port a

Un programme d'investissement prioritaire (PIP) de modernisation lancé à l'initiative du Port Autonome de Pointe Noire, dont les études ont été lancées dès les années 2000, a permis, dans un premier temps de 2010 à 2014, de rempiéter et réaliser un premier quai supplémentaire (quai G) de 806 m en lui donnant un tirant d'eau de 15 m et d'augmenter la surface du terre-plein



© SAIPREM  
2

du Terminal à Containers concédé en exploitation à Congo Terminal. Fort de ce premier investissement, avec le concours de l'exploitant Congo Terminal et le financement intégral du groupe Bolloré, le PAPN a décidé de poursuivre cette œuvre, avec la reconstruction du quai D. Ce nouveau quai D, perpendiculaire au quai G, s'inscrit aussi dans ce contexte d'augmentation du trafic afin de faire face aux nouveaux enjeux de ce siècle.

**2- Tronc d'arbre extrait dans l'axe des pieux.**  
**3- Trépan de déroctage.**

**2- Tree trunk extracted on the centreline of the piles.**  
**3- Rock excavation drill bit.**

Il renforce la disponibilité de postes en eaux profondes du PAPN déjà équipé de plus de 3 000 m de longueur cumulée de quai et d'une flotte de remorqueurs neufs ainsi que des navires de servitude en adéquation.

#### CONCEPTION

Le contexte climatique, la courantologie, et les facilités d'accès du port, n'ont pas nécessité de protection supplémentaire des quais, et le concept retenu pour le

quai D a reconduit la conception adoptée sur le quai G en 2010, en intégrant dans les méthodes et les séquences de réalisation le retour d'expérience lié aux difficultés de mise en œuvre du rideau combiwall du quai G4 - présence de déchets métalliques de toutes dimensions, pneus de défense, billes de bois fondrières, perdus en 80 années d'activité intense (figure 2).

Le principe de base du nouveau quai D de 720 m, comme pour le précédent quai G, prend en compte la présence des structures béton existantes de l'ancien quai en optimisant la démolition des caissons Ravier.

Un phasage permet d'utiliser 2 postes de déchargement sur les 3 postes du quai (D1, D2, D3) opérationnels avant travaux, avec une période de carence limitée à 8 jours entre chaque phase de quai. Ce qui revient à travailler par tranches de 240 m.

Le quai est constitué d'un front d'accostage situé 10 m devant l'ancien quai.

Ce front est constitué d'une poutre de couronnement en béton armé de 3,65 m de largeur et de 2 m de hauteur, fondée sur les pieux métalliques de diamètre 1 829 mm épaisseur 20 mm, d'un rideau mixte composé d'alternances pieux-triplette PU22, ancré par des tirants d'entraxe 3,67 m solidaires d'un rideau arrière en AZ17, à 33 m. Cette poutre d'accostage permet de recevoir des navires porte-containers de 110 000 t et d'un tirant d'eau maxi de 15 m et des vraquiers. Elle est équipée d'un rail supportant la partie avant du portique de manutention, d'un caniveau à câble couvert d'une bande type Panzerbelt, destiné à alimenter les portiques de manutention. À l'arrière, une longrine de dimensions : 2,00 m de largeur en partie courante et 1,50 m de hauteur reprend les descentes de charges verticales des portiques d'exploitation portuaire sur le 2<sup>e</sup> rail et des chambres d'ancrage permettent de les fixer en cas de tempête. À l'issue d'une campagne d'investigations géotechniques avec un maillage fin, réalisée dans l'encombrement du trafic maritime à 5 m de la magistrale existante à partir d'une plateforme en encorbellement posée sur le quai, la géologie constatée sur cette partie du port a mis en évidence une zone de marnes gréseuses très compactes côté Sud, en superposition à des horizons d'argiles indurées, impossibles à traverser au battage des pieux sans traitement préalable par déstructuration mécanique de la matrice.



© SAIPREM  
3



Ce complexe marno-gréseux, situé au-dessus de marnes bariolées extrêmement compactes raides constituait l'obstacle majeur au battage direct. Les variations importantes d'épaisseur de ces horizons gréseux et argileux nécessitaient d'anticiper leur traversée avant battage des pieux, sans mobilisation d'outils de forage peu adaptés à la configuration du site. Pour ce faire, Saipem SA a revisité le principe du trépan émulseur type air lift avec un outil composé d'un guide posé sur pieux supports, de 2 casing de diamètre suffisant pour intégrer la zone de battage dans un périmètre enveloppe suffisant pour éliminer tout obstacle rocheux (figure 3). Le trépan air lift de 15 t en chute libre, en étant guidé par les casing-guides, fracture ainsi le grès sur une hauteur variable de 0,8 m à 1 m à une cote située entre -14 et -15 CM sur une centaine de mètres linéaires ; les débris rocheux sont évacués par l'air lift.



4 © SAIPEM

#### L'ORDONNANCEMENT DES TACHES (figure 4)

Forte des expériences précédentes, en dehors du traitement spécifique de la zone rocheuse de 100 m décrite ci-dessus, l'entreprise a porté une attention particulière à la préparation du fond marin avant fichage et battage des pieux, palplanches, en écrétant à

la benne de 7 t, sur 4 m de hauteur, tout l'horizon sédimentaire vasard réceptacle de 80 ans de pertes d'objets au chargement et déchargement de bateaux : profilés métalliques, fers à béton, pneus, tubes pétroliers, épaves de bateaux coulés, câbles, ancrs, troncs d'arbres enfouis parfois jusqu'à 4 m de profondeur.

**4- Ordonnement des tâches.**

**5- Dragage.**

**4- Work sequencing.**

**5- Dredging.**

Cet écrêtage des fonds a mobilisé à 100% une grue type 6180 HD Sennebogen avec chute libre (figure 5) et deux sous-traitants de plongée implantés au Congo pour le renflouage d'épaves et pour les inspections quotidiennes du nettoyage des fonds. Le bilan des produits retirés représente des centaines de tonnes de fer-



5 © SAIPEM





6

© SAIPEM

raillies ou autres obstacles au battage. Après ce grand nettoyage en amont, visant surtout à éviter tout risque de dégrafage des palplanches, voire de déviation et de déchirure de profilés, le battage du combiwall peut démarrer, à l'aide un guide de battage (figure 6), conçu pour ce type de travaux, évolution technique basée sur diverses expériences, avec un minimum de tolérance d'inclinaison, avec des moyens classiques de vibration (ICE 1412, PTC 65 HD, 2 ICE 815) et de battage (IHC S120), manutentionnés par une grue de 300 t LR1300.

- 6- Guide de battage.**
- 7- Mise en place du rideau arrière.**
- 8- Démolition du quai existant.**

- 6- Pile driving guide.**
- 7- Placing the rear screen.**
- 8- Demolition of the existing dock.**

Un système « maison » par détection électrique de défauts liés au dégrafage sur les serrures permet de valider le bon positionnement des serrures de palplanches entre les pieux et surtout d'avoir un moyen de contrôle du bon ancrage de chaque triplette PU22. Parallèlement, un atelier de vibrocompaction au niveau de la longrine arrière, préalable au lancement du rideau arrière d'ancrage des tirants, densifie et consolide les terrains et sables d'apport, tant vis-à-vis de la portance de la longrine arrière qu'en butée de rideau arrière.

Le rideau arrière AZ 17 peut alors être vibrofoncé dès terminaison de la phase 1 de vibrocompaction de la zone de la longrine arrière (figure 7). En temps masqué, le partenaire en terrassements-démolitions de Saipem SA, à savoir Socofran Cde, intervient en terrassements démolition des caissons Ravier, de façon à ce que la pose des tirants, à la cote +1 CM s'intercale entre le coulage des têtes de pieux et le fonçage des palplanches du rideau arrière (figure 8).

Les tirants de diamètre 100 mm, dès leur mise en tension par vérinage et ▷



7



8

© SAIPEM





9

© SAPEM

serrage des écrous, permettent de poursuivre les remblais après pose des préfabriqués et coulage de la poutre de couronnement (figure 9).

La phase 2 de vibrocompaction peut alors intervenir dès montée en résistance des premiers éléments de la poutre de couronnement.

La vibrocompaction fait l'objet en permanence de contrôle (DPT) à chaque maille de traitement, et le démarrage du génie civil de la longrine arrière incombant à Socofran Cde peut alors intervenir.

Après terminaison du génie civil de la poutre de couronnement (figure 10) et de la longrine arrière, les tiges d'ancrage des platines de support de rail sont fixées par scellement à la résine, la pose des rails intervient en phase finale avec des soudures aluminothermiques.

La précision requise pour la pose de ces rails nécessite une équipe de géomètres à temps complet pour un contrôle qualité de rectitude et de parallélisme des rails.

#### DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

La logistique est bien entendu un problème pouvant faire obstacle au bon déroulement des travaux, mais l'expérience de Saipem due à sa longue présence au Congo a grandement facilité les choses.

Environ 1 000 t d'équipements lourds, venant d'un projet précédent au Maroc, ont été mobilisés par bateau affrété

(toupies, grues à chenille et automotrice, pelleuses, BRH, matériel de battage).

Les nouvelles formalités douanières, complexifiées par le passage au GUOT (Guichet Unique des Opérations Transfrontalières) avec de nouveaux logiciels de contrôle douanier, furent également une contrainte du chantier nécessitant une connaissance fine du pays.

#### 9- Installation des tirants.

#### 10- Poutre de couronnement.

#### 9- Installation of tie anchors.

#### 10- Capping beam.

La contrainte technique du projet est principalement liée au type de rideau avant en combiwall lequel requiert une étanchéité globale de la paroi pieux/palplanches pour retenir d'une manière pérenne les sables de remblai.

Cette exigence est difficile à garantir en raison de la présence d'obstacles dans les fonds marins. Elle oblige à monitorer en permanence le battage



10

© SAPEM





11

© SAIPEM

des pieux et des palplanches, en observant la moindre déviation ou les refus. Toutefois, grâce à la bonne préparation préalable, seuls deux points générant une déviation de pieu et palplanche ont nécessité l'arrachage et la purge complète de blocs d'anti-affouillement qui avaient glissé des talus lors des opérations d'écrêtage. Le risque d'obstacles imprévus liés aux

**11- Le quai D et le quai de batelage en second plan.**

**11- Dock D and the lighterage dock in the background.**

ouvrages anciens existants non cartographiés fut globalement évité grâce à l'archivage rigoureux du PAPN de documents de plus de 80 ans (plans d'exécution, géologie). Toutefois, des conduites enterrées de déchargement de vraciers de ciment, non repérées, ont nécessité des adaptations qui n'avaient pas été prévues et un phasage particulier.

#### CONCLUSION

Le quai D sera achevé fin 2016, il fait suite au quai G, projet démarré en 2010.

Le quai D sera prolongé par la reconstruction du quai de batelage (figure 11). Ce nouveau projet est le résultat d'une confiance mutuelle installée entre Saipem, son partenaire Socfran et le Port Autonome de Pointe Noire. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**LINÉAIRE DE QUAÏ : 720 m**

**SABLE DE REMBLAI DU NOUVEAU QUAÏ ISSU DE L'INTÉRIEUR DU PORT : 165 000 m<sup>3</sup>**

**BÉTON C35/45 PRISE MER : 10 000 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES ET STRUCTURES MÉTALLIQUES PIEUX PALPLANCHES : 8500 t**

**DÉFENSES : 47 u**

**BOLLARDS DE 150 T : 25 u**

**EFFECTIF MOYEN : 200 personnes**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Port Autonome de Pointe Noire**

**MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ ET FINANCEUR : Congo Terminal (Bolloré)**

**MAÎTRE D'ŒUVRE ET CONTRÔLEUR TECHNIQUE : Seaport Ingénierie - Cesim**

**ENTREPRISES : Groupement Saipem SA - Socfran Cde**

**BUREAU D'ÉTUDES : Saipem SA Maritime Works**

**SOUS-TRAITANTS : Tpsmi (enlèvement d'épave et pose d'anodes) - Tsmc (inspections)**

### ABSTRACT

#### THE NEW DOCK D IN THE PORT OF POINTE NOIRE

PATRICK NYFFENEGGER, SAIPEM SA

**Dock D** forms part of the programme of infrastructure modernisation for the port of Pointe Noire in the Congo. Its construction will be completed by the end of 2016 and, with its 720 m of quays of 15-metre draught, it will be able to provide a berth for modern ships of very large capacity. It follows the reconstruction of Dock G, delivered in 2014. It will be extended by the lighterage dock on which construction will begin in early 2017. Saipem is building all three docks. □

#### EL NUEVO MUELLE D DEL PUERTO DE POINTE NOIRE

PATRICK NYFFENEGGER, SAIPEM SA

**El muelle D** se inscribe en el programa de modernización de las infraestructuras portuarias del puerto de Pointe Noire, en Congo. Su construcción concluirá a finales de 2016 y, con sus 720 m de muelles con un calado de 15 m, permitirá acoger buques modernos de muy alta capacidad. Las obras se han llevado a cabo tras la reconstrucción del muelle G, entregado en 2014. Se prolongará con un muelle de transporte marítimo, cuya construcción comenzará a principios de 2017. Saipem construirá estos tres muelles. □





1  
© SBIMBJV

# BARANGAROO, AUSTRALIA - URBAN RENEWAL OF A SYDNEY HAR- BOUR SITE KNOWN TO BE POLLUTED

AUTEURS : ALEXANDRE BEAUVILAIN, PROJECT MANAGER, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV -  
CAMILLE DEBOST, SITE ENGINEER, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV

**AN INNOVATIVE METHOD FOR CONSTRUCTING RETAINING WALLS IN A HEAVILY POLLUTED ENVIRONMENT. CONVENTIONAL TECHNIQUES FOR CONSTRUCTING CUT-OFF WALLS, JET-GROUT WALLS, ANCHORS, SHEAR-PINS AND DIAPHRAGM WALLS REQUIRED A NEW TWIST IN ORDER TO PROVIDE AN EFFICIENT SOLUTION TO A PROJECT THAT IS LOCATED IN THE CENTRAL BUSINESS DISTRICT ON THE SYDNEY HARBOUR FORESHORE AND IS KNOWN TO BE HEAVILY POLLUTED DUE TO PREVIOUS INDUSTRIAL ACTIVITIES.**

Thanks to an innovative technical offer, Soletanche Bachy International / Menard Bachy Joint Venture (SBIMBJV) were awarded a contract to build the temporary retaining walls for the highly sensitive soil remediation contract as well as the permanent retaining walls forming the basement of the towers, thereby forming what is known as the Perimeter Retention Wall. The technical solution

consists of multiple types of walls including soil-bentonite cut-offs, anchored diaphragm walls and jet-grout walls executed under special environmental control measures (figure 1).

## BACKGROUND INFORMATION

The industrial history of the site marked the area profoundly and continues to have an impact today. Early in Sydney's development the site was established

### 1- General view of Barangaroo Perimeter Retention Wall construction.

### 1- Vue générale de la construction de la paroi étanche périmétrale à Barangaroo.

as the "Millers Point Gasworks". Coal was used to create the gas that supplied the first gas street-light network outside of Europe. The gasworks operated for almost a century, but with the advent of the age of electricity, there was less need of the gasworks, which were decommissioned in the 1920s. In 1925, the aboveground structures were hastily removed in an effort to combat bubonic plague in the portside area.





The underground gasworks structures were abandoned and these structures remain to this day: gas holders and tanks cut into the Sydney sandstone still containing coal tar.

Subsequently the site witnessed the construction of timber wharves and sandstone seawalls. From the mid 1960's, containerisation of shipping led to changes in the wharves. A concrete seawall was constructed parallel to the former seawall. A combination of regular end tipping and construction of suspended concrete slabs formed the concrete apron which defines the

**2- Perimeter Retention Wall layout and extent of Pollution Plume.**

**3- Typical cross section of the Jet Grout Perimeter Wall.**

**2- Implantation de la paroi étanche et étendue du panache de pollution.**

**3- Section type de la paroi étanche en jet grouting.**

site today. There are an estimated 150,000 tonnes of contaminated fill material underneath the site. The presence of materials containing tar, and significant concentrations of carcinogens in the groundwater, fill materials and natural sediments have been identified by the Environmental Protection Agency as a significant risk of harm to human health and the environment.

**SCOPE OF THE PROJECT**

The Environmental Protection Agency has defined remediation goals for protecting human health and the environment, which include the removal of materials containing tar insofar as possible and the removal/remediation of contaminated soil and groundwater.

The preferred remediation method is ex-situ removal of the material and off-site treatment and/or disposal of contaminated materials. Prior to any ex-situ remediation works, the construction of a Perimeter Retention System is required. The first step in this process is the construction of the Perimeter Retention Wall system. SBIMBJV's contract scope is the design and construction of these works.

PERIMETER RETENTION WALL LAYOUT AND EXTENT OF POLLUTION PLUME



TYPICAL CROSS SECTION OF THE JET GROUT PERIMETER WALL



© SBIMBJV

2

3





#### GROUND CONDITIONS - A HIGHLY VARIABLE SITE HEAVILY IMPACTED BY HUMAN ACTIVITY

The site is underlain by a layer of fill of variable thickness (1.00 m to 25.0 m) resting on sandstone. The fill is seen to contain sandstone cobbles, brick fragments, steel bars and timber.

Relics from the former industrial structures such as timber piles, bored piles of various diameters, a number of reinforced concrete slabs, sandstone masonry walls and buried ceramic or concrete service ducts were found along the perimeter of the site.

The bedrock profile along the perimeter of the site was heavily influenced by the construction of the wharves, followed by the construction of the gasholder tank and subsequent buried service installation. The site is crossed by a nearly vertical dolerite dyke, between 1.5 m and 3 m wide.

The Perimeter Retention Wall crosses a former gasholder tank that was constructed by bulk excavation in the sandstone. An annulus trench about 1.8 m wide and 9.5 m deep was used to hold residual material from gas operations.

The tank was backfilled when the gasworks were shut down, but this material, especially coal tar, remained in the annulus. More generally, a large portion of the fill was contaminated by gasworks waste as a result of the previous use of the site as a gasworks plant. The variable nature and distribution of fill materials has caused localised variations in groundwater flow

and associated contaminant migration, which is further complicated by tidal influences.

#### THE PERIMETER RETENTION WALL SYSTEM DEVELOPED BY SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV

The Perimeter Retention System consists of a combination of 3 types of walls (table A).

The aforementioned walls form the Perimeter Retention Wall System, consisting of two cells.

#### 4- Moving the Jet Grouting Mobile OCEs.

#### 5- Jet Grouting set up inside OCE.

#### 4- Déplacement des cellules mobiles de confinement OCE.

#### 5- Jet grouting à l'intérieur d'une cellule mobile de confinement OCE.

#### AN INNOVATIVE SOLUTION DEVELOPED BY SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV

The construction of the Perimeter Retention Wall in the polluted area (see yellow "pollution plume" shown in figure 2) could not be completed by such excavation techniques as secant pile wall, contiguous pile wall or slurry wall, due the presence of gas vapour in the soil and the proximity to public areas. Due to the close proximity of public areas and the significant risk of

TABLE A : THE PERIMETER RETENTION SYSTEM CONSISTS OF A COMBINATION OF 3 TYPES OF WALLS

Wall Type	Purpose	Length (m)	Thickness (m)	Depth (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Environmental Conditions
<b>CutOff Wall</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil Bentonite</li> <li>• Sheet Piles</li> <li>• Inclined Anchors</li> <li>• Shear Pins</li> </ul>	Hydraulic CutOff (Partial Structural Retention)	200	0.8	8 - 24	3,500	Non-Polluted
<b>Jet Grout Wall</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jet Grout</li> <li>• Vertical Anchors</li> <li>• Inclined Anchors</li> <li>• Shear Pins</li> <li>• Micropiles</li> </ul>	Hydraulic CutOff and Structural Retention	275	1.5 - 1.6 column diameter	1 - 14	1,500	Polluted
<b>Diaphragm Wall</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical Anchors</li> <li>• Inclined Anchors</li> </ul>	Hydraulic CutOff and Structural Retention	235	0.8 - 1.2	14 - 25	4,500	Non-Polluted



6

© SBIMBJV

odour emissions, SBIMBJV developed a construction method that allowed works to be carried out in conjunction with control measures limiting the risk of odour escape. In areas known to be contaminated, jet grouting using low-headroom equipment was deemed to be the only construction method meeting both the structural requirements and the environmental constraints. It required the execution of works within confined and covered areas called Odour Containment Enclosures (OCEs). The solution for building all sections of

**6- Spoil OCEs & ECS stack installation.**

**7- Aerial view of the site with OCE and ECS tents in place.**

**6- Groupe de cellules de confinement OCE et ECS pour le spoil.**

**7- Vue aérienne du chantier avec les tentes des cellules de confinement OCE et ECS.**

the Perimeter Wall in these contaminated soils was a sequence of overlapping jet-grouting columns of diameters 1.5 and 1.6 metres to provide a structurally homogeneous wall in the in-situ fill embedded on top of the weathered rock, as shown in figure 3. At shallower depths, the temporary anchor was replaced by a second row of inclined columns built behind the vertical columns to form a gravity wall. This allowed bulk excavation down to a depth of 16 metres for remediation works and basement construction.

The jet grouting process involved drilling through the contaminated ground and generating spoil composed of in-situ contaminated material mixed with cement grout. The jet grout works were completed inside two tents known as Odour Containment Enclosures (OCEs). These OCEs were mounted on rails and moved up and down the length of the perimeter. These enclosures, shown in figure 4, were 15 m long x 8.74 m wide x 6.2 m high. The jet grouting drilling equipment, tooling and excavation plant had to be located within the OCE to complete the works (figure 5). A mini drill rig was used, equipped with a short mast and a detachable diesel-operated power pack remaining outside of the OCE, in order to significantly reduce heat and diesel particulate matter loads inside the OCE. The contaminated spoil was pumped through sealed pipes from the rig location to spoil management areas housed within two larger Odour Control Enclosures shown in figure 6. These enclosures were 20 m long x 21 m wide x 10 m high at the apex, and remained stationary over the spoil management area for the duration of the jet grouting works. The spoil management OCEs were fitted with rapid roller doors at each end to allow trucks to enter and exit in a straight line. The OCEs were also fitted with an air curtain to reduce the potential for airborne odours to escape. The air curtain was activated whenever the OCE doors were opened.

AERIAL VIEW OF THE SITE WITH OCE AND ECS TENTS IN PLACE



© SBIMBJV

7





8 © SEMBLV

All OCEs were operated under negative pressure, the atmosphere within these enclosures being extracted and treated through an Emission Control System (ECS) before discharge.

Jet grout enclosures were ventilated by a single mobile ECS servicing both tents with flexible ducting and moved with the enclosures as the jet grouting works progressed. A larger, fixed ECS was used to service the spoil management enclosure with intake ducting extracting air from either side of the enclosure and treating it in the ECS. Both ECSs included particulate filters and granular activated carbon beds to

remove dust particles, organic contaminants and odours prior to discharge into the atmosphere. In addition, all the OCEs are cooled by active air conditioners (figure 7).

This approach limited the exposure of contaminated materials to the atmosphere, significantly reducing the potential for generation of odours or volatile organic contaminants. The general site layout therefore changed every day based on works progress.

#### WATER TREATMENT

A water treatment plant was installed on site to treat runoff and process water

**8- Spoil stockpiles inside OCE.**

**9- Coal tar attached to drilling rod.**

**10- Coal tar in spoil returns.**

**8- Dépôt de spoil dans une cellule OCE.**

**9- Bitume adhérent à la tige de forage.**

**10- Bitume dans le spoil.**

from contaminated areas. This water was collected and pumped directly into storage tanks where it was either reused as part of the jetting process or discharged under licence into storm-water facilities onsite.

#### SPOIL MANAGEMENT

Jet grouting spoil was pumped from its point of generation to spoil management OCEs and then stockpiled in storage bays, as shown in figure 8, where it underwent pre-treatment by drying and curing prior to transfer into trucks for offsite disposal. Total storage in spoil management OCEs was 200 m<sup>3</sup>.



9



10

© SEMBLV

Material was kept on site long enough to complete the geotechnical and environmental testing required in order to determine the waste classification and allow lawful off-site disposal.

### CONTAMINATION CONTROL

During execution of the works, coal tar was encountered within the fill in variable concentrations, often mixed with soil. A relatively large quantity of pure coal tar came from the gas annulus trench. It was found adhering to the drilling rods and in very dark spoil returns, as can be seen in figures 9 and 10.

While working within OCE tents, workers were highly exposed to hazardous agents. A number of control and monitoring measures were implemented with the help of an occupational hygienist to eliminate the risk of unacceptable exposure.

The site work areas were divided into a "Clean" zone and a "Red" zone, the red zone being the exclusion zone where works involving exposure to contamination were carried out. The OCEs were located in the "Red" zone. All jet grouting personnel entering the red zone were subject to the following Personal Protective Equipment (PPE) requirements, as shown in figure 11:

- Positive air flow full-face vapour respirator combined with a hard hat and a communication system;
- 2 layers of nitrile inner gloves;
- 1 layer of industrial rubber gloves
- Chemical-/liquid-tight disposable coveralls (Category III, Types 3, 4, 5 and 6) with hood on;
- Chemical-resistant gumboots;
- Gloves and boots to be taped to the coveralls.

Personnel that entered the red zone decontaminated themselves in decontamination facilities located between the



11  
© SBIMBJV

**11- Personal protective equipment worn inside OCE.**

**11- Équipement de protection individuel porté à l'intérieur d'une cellule OCE.**

red and clean zones. The process included a series of precise steps for cleaning, checking, maintaining, storing or disposing gear as per the occupational hygienist's plan.

In order to protect workers from exposure, daily monitoring was performed for particulate matter, asbestos fibres, heat stress and noise. This included real-time air monitoring for concentrations of volatile organic compounds, benzene and ammonia, as well as area sampling of airborne asbestos fibres

and personal sampling using absorption badges. In addition, field odour measurement and monitoring were conducted with a Nasal Ranger.

All these measures ensured that atmospheric levels were in line with expectations and judged safe for personnel and the public close to the site.

### CONCLUSION

The Barangaroo Perimeter Retention Wall system has been an exceptionally challenging project that inspired a certain amount of creative and rather lateral thinking in order to succeed.

Design requirements, ground conditions and working conditions all required a high degree of control and management throughout the process in order to execute the works safely.

Worker comfort management became of utmost importance and measures were constantly adapted to ensure that labour-force fatigue due to non-breathable work suits and fully enclosed space type helmets did not compromise the project's safety standards. Ultimately, the engineered solution for constructing a Perimeter Retention Wall System under OCEs was proved to be efficient in protecting both the workforce and the public, and it allowed construction of the wall to proceed successfully. □

### REFERENCES :

- AECOM (2014) - Stage 1B Perimeter Retention Wall Investigation Report.
- COFFEY GEOTECHNICS (2014) - Barangaroo South Stage 1B Geotechnical Investigation and Testing.
- ENVIROPACIFIC SERVICES (2016) - Remedial Works Plan - Barangaroo Block 4/5 Perimeter Retention Wall.
- NSW BARANGAROO DELIVERY AUTHORITY (2013) - History of Barangaroo <<http://www.barangaroo.com/discover-barangaroo/history.aspx>>.
- PARSONS BRINCKERHOFF (2016) - Occupational Health and Hygiene Management Plan - PRW Works for Barangaroo Blocks 4 & 5.

### ABSTRACT

#### BARANGAROO, AUSTRALIE - RÉNOVATION URBAINE D'UN SITE NOTOIREMENT POLLUÉ DANS LE PORT DE SYDNEY

A. BEAUVILAIN, PROJECT MANAGER AND C. DEBOST, SITE ENGINEER, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV

**La transformation du site sur une friche industrielle de 22 hectares à Barangaroo, situé à l'ouest du port de Sydney, est un des projets de rénovation urbaine les plus ambitieux en cours actuellement dans le monde. Ce projet comporte un parc, trois tours d'appartements et de bureaux, un hôtel ainsi qu'un casino et un centre commercial. L'intégralité du chantier doit être achevée d'ici fin 2023. Ce chantier sur une friche industrielle a posé de nombreux défis importants sur les plans géotechnique et environnemental du fait de la mauvaise qualité du terrain, lequel était très pollué, comprenant des remblais en matériaux de décharge, et aussi du fait de sa situation à proximité du port. □**

#### BARANGAROO, AUSTRALIA - RENOVACIÓN URBANA DE UNA ZONA CONTAMINADA PRÓXIMA AL PUERTO DE SYDNEY

A. BEAUVILAIN, PROJECT MANAGER AND C. DEBOST, SITE ENGINEER, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL / MENARD BACHY JV

**La transformación de la zona baldía de Barangaroo, de 22 hectáreas, al oeste del puerto de Sydney, es uno de los proyectos de renovación urbana actualmente en marcha más ambiciosos del mundo. Incluye un parque, tres torres de apartamentos y oficinas, un hotel, un casino y una zona comercial. Está previsto que las obras de este complejo terminen a finales de 2023. Dado que se erige en un parque industrial abandonado, el proyecto planteó varios desafíos geotécnicos y medioambientales a causa de la baja calidad del suelo, muy contaminado y formado por distintos materiales de relleno sintéticos, así como por su proximidad con el puerto. □**





# LE PONT À HAUBANS MOHAMED VI SUR L'OUED BOUREGREG

AUTEURS : ZINE EL ABIDINE AZZOUZI, RESPONSABLE DU PROJET, AUTOROUTES DU MAROC - ÉMILIE BELLANGER, INGÉNIEUR OUVRAGE D'ART, SETEC TPI - GÉRARD LATALLERIE, INGÉNIEUR OUVRAGE D'ART, SETEC TPI - CLAUDE LE QUÉRÉ, INGÉNIEUR OUVRAGE D'ART, EGIS JMI - EMMANUEL ROUSSET, INGÉNIEUR OUVRAGE D'ART, EGIS JMI

LA CONSTRUCTION D'UN OUVRAGE EXCEPTIONNEL VIENT DE S'ACHEVER AUX PORTES DE RABAT. IL S'AGIT D'UN PONT À HAUBANS DE 376 M DE PORTÉE CENTRALE PORTÉ PAR DEUX PYLÔNES DE PRÈS DE 190 M. SA CONSTRUCTION, DÉBUTÉE À L'ÉTÉ 2011, A NÉCESSITÉ DES TERRASSEMENTS IMPORTANTS PUIS L'UTILISATION DE COFFRAGES GRIMPANTS SOPHISTIQUÉS POUR RÉALISER LES PYLÔNES À QUATRE JAMBES. LA CONSTRUCTION DU TABLIER PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS A FAIT L'OBJET D'UN PHASAGE TRANSVERSAL AVEC LES NERVURES LATÉRALES COULÉES EN PLACE ET UN HOURDIS RÉALISÉ AU MOYEN DE DALLES PRÉFABRIQUÉES. LES ÉTUDES D'EXÉCUTION DE CET OUVRAGE ONT ÉTÉ MENÉES À BIEN GRÂCE AUX EFFORTS CONJUGUÉS D'UNE ÉQUIPE MULTINATIONALE ET À UN PROCESSUS DE VALIDATION TRÈS RIGOUREUX.

## CONTEXTE DU PROJET

### OBJECTIFS DU PROJET

L'autoroute de contournement de Rabat a été planifiée pour répondre à deux grands objectifs :

→ Permettre au trafic de transit d'éviter la traversée des villes de Temara, Rabat et Salé ;

→ Permettre la connexion entre les autoroutes qui convergent vers l'agglomération de Rabat-Salé en provenance du sud (vers El Jadida et Marrakech), de l'est (vers Fès) et du nord (vers Tanger), et ainsi la continuité du réseau autoroutier.

**1- Clavage central du pont haubané.**

**1- Centre keying of the cable-stayed bridge.**

Ces deux objectifs s'inscrivent dans le cadre général d'aménagement du territoire et dans les grands projets du contrat-programme entre l'État Marocain et la Société Nationale des Autoroutes du Maroc (ADM) au titre de la période 2008-2016. Le projet a donc une incidence locale forte mais aussi

## SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE L'OUVRAGE



© SETECT/FPI

2

nationale et internationale. Il constitue un des maillons majeurs du réseau autoroutier national de par la situation géographique et l'importance administrative de la ville.

L'autoroute de contournement de Rabat porte sur la construction d'un tronçon de 41,1 km d'autoroute à 2x2 voies, avec trois viaducs, dont un haubané, sur les oueds Yqem, Akkrach et Bouregreg.

Parmi ces viaducs, l'ouvrage de franchissement de la vallée du Bouregreg a fait l'objet d'une volonté spécifique de la part d'ADM.

Plusieurs variantes ont été étudiées, de pont à poutres à pont haubané, à la recherche à la fois de la meilleure solution technique et de la solution la plus marquante. Le choix final d'un ouvrage à haubans confirme l'option forte de

construire un ouvrage spectaculaire aux portes de Rabat.

Le coût du projet est de 720 millions de dirhams (65 millions d'euros) hors taxes.

### SITUATION, TOPOGRAPHIE DU SITE ET CONTEXTE ARCHITECTURAL

Le site de franchissement de l'oued Bouregreg par l'autoroute est situé à l'intérieur des terres, à une quinzaine de kilomètres en amont de la ville de Rabat et à quelques centaines de mètres du barrage Sidi Mohamed Ben Abdallah (figure 2).

L'oued Bouregreg, qui prend sa source dans le Moyen Atlas, est un fleuve important dans le développement futur de l'agglomération. Le site en aval du barrage pourra exprimer pleinement

son potentiel paysager et devenir une zone de développement urbain pour l'agglomération.

D'où le choix d'un ouvrage exceptionnel dont la conception architecturale a été confiée à Hervé Vadon, du cabinet Strates Oa (figure 3).

### DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

#### CONCEPTION GÉNÉRALE

La conception initiale de l'ouvrage a été détaillée dans la revue *Travaux* n° 879. Le viaduc, d'une longueur totale de 954,30 m se décompose en 2 parties (figure 4a) :

→ Un viaduc haubané de 745 m de long à 2 pylônes, de la culée C0 côté nord à la pile culée PC3 côté sud ;

→ Un viaduc en poutres VIPP de 208,80 m de long, composé de 5 travées, de la pile PC3 à la culée C8. La voie portée est une autoroute à 2x3 voies et le profil en travers est en toit, avec un dévers de 2,5%, le tablier unique étant de largeur utile 25,10 m (figure 4b).

Le gabarit est de 5,10 m, auquel s'ajoute une protection supplémentaire de 60 cm pour les haubans. Le profil en long est constitué d'une pente de 1%, descendant de la rive droite (côté Nord) vers la rive gauche (côté Sud). Le tracé en plan est un alignement droit. L'axe longitudinal est orienté nord-sud.

#### LE VIADUC HAUBANÉ

L'ouvrage haubané comprend un tablier à trois travées de 183 m, 376 m et 183 m. Le tablier et les pylônes sont en béton C40/50. Le choix des portées et de la conception structurelle répond à deux enjeux forts :

- Au souhait du maître d'ouvrage d'une architecture forte et unique ;
- Aux données du site : à la différence de nombreux ponts à haubans, le franchissement le plus important n'est pas l'oued à proprement parler, mais les deux travées de rive qui franchissent des zones à la pente très raide où l'implantation de piles intermédiaires est difficile.

En conséquence, l'ouvrage retenu est un pont à haubans avec travées de rive de  $r/c = 0,5$  sans pile intermédiaire, construit par encorbellements à partir de pylônes auto-stables lors de la construction.

Le tablier est encastré dans les pylônes et simplement appuyé sur culées. Il est supporté par deux fois 20 paires de haubans par pylône organisés en deux nappes latérales. Ces haubans sont espacés de 8 m au niveau de leur ancrage dans le tablier. Le haubanage est disposé en semi-éventail. La section transversale du tablier, d'une largeur totale de 30,40 m, est constituée de deux nervures latérales en béton de 2,20 m de largeur et 2 m de hauteur, distantes de 26 m et reliées entre elles par des entretoises métalliques en acier S355 espacées tous les 4 m. Des boucles en acier et des connecteurs assurent la continuité avec le ferrailage des pièces en béton. L'ancrage des haubans est prévu dans les nervures latérales. La chaussée est portée par des dalles préfabriquées en béton de 25 cm d'épaisseur posées entre les nervures latérales et reposant sur les entretoises métalliques.

2- Situation géographique de l'ouvrage.  
3- Une structure inscrite dans la brèche.

2- Geographic location of the bridge.  
3- Structure inserted in the gap.



© EGIS/JMI

3



À l'encastrement dans chaque pylône, les nervures du tablier s'élargissent pour être confondues avec les entretoises béton des pylônes reliant les jambes entre elles. Sur les culées, pour éviter tout soulèvement, le tablier est plein sur environ 8 m avant la ligne d'appui.

Le tablier est précontraint longitudinalement par l'intermédiaire de câbles de précontrainte de type 19T15S. Le tablier est également précontraint transversalement au niveau de chaque jonction nervures/tablier plein à l'approche des culées.

### COUPE EN TRAVERS SUR TABLIER DU VIADUC HAUBANÉ

Les pylônes, d'une hauteur totale de 197 m pour P1 et 185 m pour P2, sont fondés sur semelles superficielles de 30 m x 25 m x 5 m de hauteur. Ils sont constitués de quatre jambes en béton (caisson) se rejoignant en tête et en pied. La figure 5 fournit la volumétrie du pylône P1. Dans la partie haute, la zone d'ancrage des haubans est constituée de boîtes en acier S355 et S460 de 25 m de hauteur et 300 t par pylône entourées de voiles minces en béton afin d'assurer la continuité architecturale.

La jonction pylône-tablier est assurée par des entretoises transversales en béton précontraint (2 x 18 x 19T15S) reliant les quatre jambes du pylône. Dans la partie basse, les 4 jambes du pylône sont reliées par l'intermédiaire de voiles béton fonctionnels et architecturaux.

Les haubans sont de type multi-torons parallèles (MTP) ancrés de part et d'autre du pylône dans les boîtes en acier et dans chaque nervure latérale du tablier. Ils sont constitués de torons T15,7 Super, classe 1860 MPa TBR galvanisés, gainés, cirés.

L'ensemble des torons constituant le hauban est protégé par une gaine aérodynamique en PEHD.

La puissance des haubans s'échelonne entre 29T15S et 75T15S. Un amortissement des haubans est prévu pour obtenir un décrétement logarithmique de 4%. Avec un vent de 15 m/s, l'amplitude de vibration ne doit pas dépasser 10 cm (à 10% près).

Les haubans sont munis en partie basse de tubes anti-vandalisme et d'amortisseurs sur l'ensemble des haubans.

### LE VIADUC D'ACCÈS VIPP

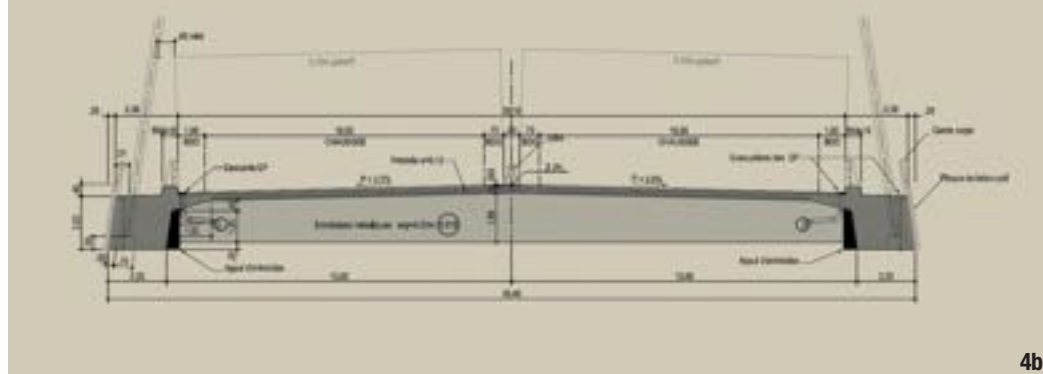
Le viaduc d'accès est un viaduc en béton précontraint type VIPP (Viaduc



4a

© SETEC TPI

### COUPE TRANSVERSALE DU PONT HAUBANÉ



4b

© SETEC TPI

4a- Profil en long de l'ouvrage.

4b- Coupe transversale du pont haubané.

5- Volumétrie des pylônes.

4a- Longitudinal profile of the bridge.

4b- Cross section of cable-stayed bridge.

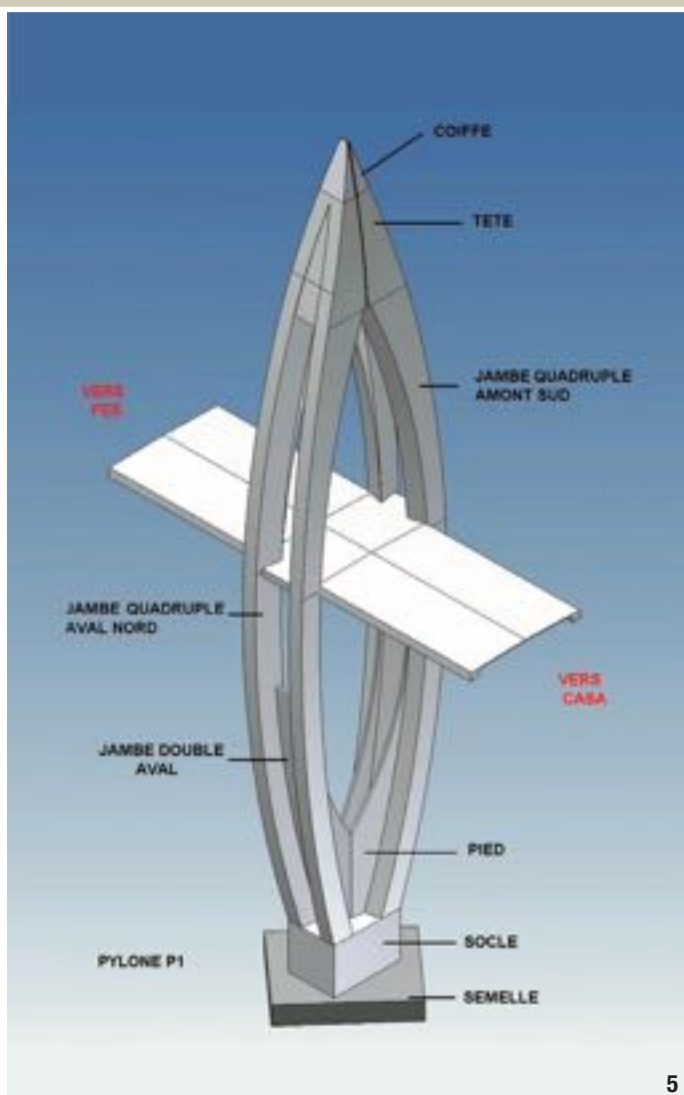
5- Pylon volumes.

Indépendant à Poutres Précontraintes). Il comporte 5 travées de 40 m de PC3 à C8.

Chaque travée est constituée de 10 poutres en béton précontraint C40/50 espacées de 3 m environ et solidarisées par un hourdis de 24 cm d'épaisseur en béton C35/45.

En raison de la grande largeur de l'ouvrage (26,90 m), rapportée à la portée des poutres, de 40 m, un joint longitudinal est disposé au voisinage de la DBA centrale.

Les poutres préfabriquées, de hauteur 2,30 m, comportent une table de compression de 1,50 m et un talon



5

© EGIS JMI

6- Panneau d'information multilingue sur chantier.

7- Vue générale du modèle PCP.

8- Déformée théorique du tablier à la mise en service.

6- Multilingual information signpost on site.

7- General view of the PCP model.

8- Theoretical deformation of the deck on commissioning.



© EGIS JMI  
6

de 0,80 m. L'épaisseur de l'âme varie de 0,23 m à mi-travée à 0,40 m sur appui.

Elles sont solidarisées par un hourdis général et des entretoises sur appuis. Les poutres sont réalisées en béton C40/50, tandis que les entretoises et le hourdis, y compris les prédalles, sont réalisés en C35/45.

Les piles d'une hauteur variable de 14 m à 32 m réalisées en béton C30/37 reproduisent la forme des jambes des pylônes, de dimensions globales de 3,72 m x 2,60 m en caisson. Elles sont fondées sur fondations superficielles et surmontées d'un chevron d'une largeur de 3 m avec une hauteur variable de 3 m à 1 m.

## ORGANISATION ET SPÉCIFICITÉS DES ÉTUDES D'EXÉCUTION

### CONTEXTE INTERNATIONAL ET MULTICULTUREL DES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution du viaduc autoroutier sur le Bouregreg, pilotées par Egis Jmi pour le compte de l'entreprise

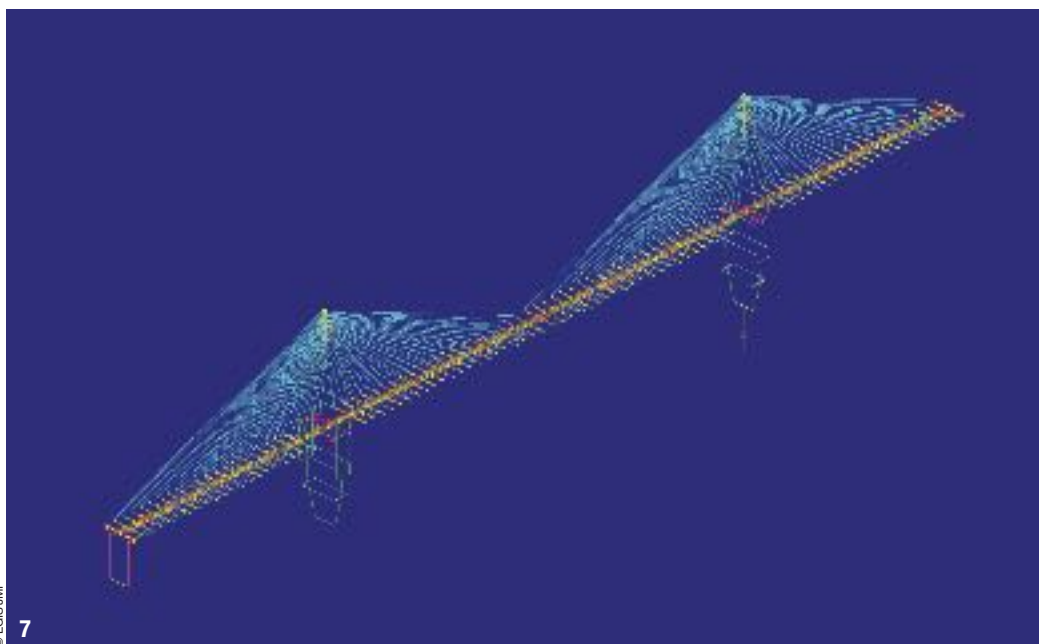
chinoise Mbec, ont impliqué de nombreux acteurs, dont les implantations géographiques, les langues et les cultures étaient très diverses (comme l'illustre la figure 6). Les calculs justificatifs ainsi que les plans généraux de coffrage et les plans de principe de précontrainte, de haubannage et de charpente ont été réalisés en France (Egis Jmi), les plans de détails et de ferrailage en Chine (bureau d'études Brdi), les plans de coffrage et de ferrailage du viaduc d'accès en Thaïlande (Jmi Pacific), les études de méthodes en Chine (Mbec), la définition des éléments de haubannage en France (Freysinnet International). Le contrôle externe a été assuré depuis la France (Egis Bceom) et le Visa depuis la France et le Maroc (Adm, Setec Tpi et Maroc Setec). Dans ce contexte, un système de gestion électronique des documents a été mis en place via la plateforme en ligne SGTI, afin d'assurer la diffusion et la circulation des documents entre les différentes étapes de contrôle, de garantir leur traçabilité et leur validation, et enfin de permettre un archivage complet. Ce système a notamment permis à l'Entreprise, depuis le chantier au Maroc, d'avoir en permanence une vision claire sur l'avancement de la production et du contrôle des études et ainsi de les coordonner au mieux avec le planning des travaux.

Les études d'exécution ont également été rendues plus efficaces par l'utilisation d'une maquette numérique 3D unique, comprenant la globalité de l'ouvrage. Les différentes équipes de production ont établi leurs études en se basant sur un référentiel unique ce qui a permis par exemple d'anticiper et d'éviter des conflits entre câbles de précontrainte.

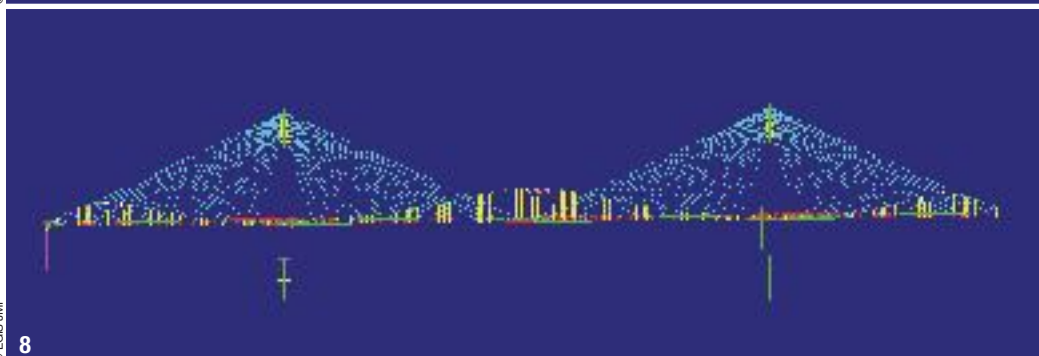
Ces outils issus du BIM (Building Information Management) ont été essentiels pour mener à bien, dans un contexte complexe, la production, le contrôle et l'archivage des 90 notes de calculs et 2 500 plans d'exécution.

### MODÈLE GÉNÉRAL DE CALCUL

Les calculs généraux du viaduc haubané ont été menés grâce à un modèle complet implémenté sous le logiciel PCP édité par le Cerema (figure 7). L'utilisation de ce logiciel a permis de réaliser les calculs généraux en prenant en compte l'intégralité du phasage de construction, les effets du retrait et du fluage scientifique du béton, les effets de la précontrainte et ses pertes, et le comportement en chaîne des haubans.



© EGIS JMI  
7



© EGIS JMI  
8



La complexité de l'ouvrage et son environnement ont également rendu nécessaires les calculs dynamiques modaux de vent turbulent et de séisme, ainsi que l'étude de stabilité au second ordre des pylônes et des fléaux en construction. Un modèle 3D a donc été bâti à partir d'éléments barres. Le phasage de construction établi par l'entreprise a été introduit précisément dans le modèle :

- Les dates et cycles de construction ;
- Les charges de coffrages, ferrailage et équipements ;
- La charge et la raideur des équipages mobiles ;
- Les tirants et les butons provisoires nécessaires pour la construction des pylônes, etc.

L'implémentation d'un point particulier du phasage est apparue comme essentielle lors du montage du modèle : le phasage transversal du tablier, à savoir la mise en place dans un premier temps des nervures latérales principales coulées en places dans l'équipage mobile, et la mise en place à l'avancement avec un voussoir de décalage du hourdis central préfabriqué par plot (figure 9). La prise en compte dans le modèle de ce principe constructif a été rendue possible en modélisant le tablier par une poutre-échelle composée :

- D'une barre modélisant le hourdis ;
- D'une barre modélisant les deux nervures ;
- De barreaux verticaux (bras rigides) espacés régulièrement et connectant les deux barres précédentes pour former une section indéformable.

Concernant les charges de service, ont été appliquées notamment dans le modèle :

- Les charges routières A(l), Bc, Bt et Mc120 suivant Fascicule 61 Titre II,
- Les effets thermiques avec notamment un gradient linéaire vertical de 12°C dans le tablier, un gradient linéaire horizontal de 10°C dans les jambes de pylônes (simulant un levé de soleil) et une variation de température dans les haubans de +/-10°C par rapport au reste de la structure.

Dans le cadre de sa mission d'assistance au maître d'œuvre et de sa mission VISA sur les études d'exécution Setec Tpi a mené des contre-calculs avec le logiciel interne Pythagore développé par Setec Tpi. Les données et résultats des deux calculs (Pcp et Pythagore) ont pu être analysés et comparés par les bureaux d'études Egis Jmi et Setec Tpi afin de converger au mieux et de valider les hypothèses et



9 © EGIS JMI

résultats des nombreux calculs menés durant les différentes phases d'études et de construction de l'ouvrage.

### RÉGLAGE DES TENSIONS DES HAUBANS

La définition et le calcul des tensions dans les haubans ont constitué l'un des sujets majeurs des études d'exécution. Il s'agissait de définir les tensions dans les câbles en service mais aussi au cours de la construction, au total cinq mises en tension :

- Trois durant la construction du tablier en encorbellement (T1, T2, T3) ;
- Une en fin de construction avant de mettre en place les équipements et la chaussée (T4) ;
- Enfin, une cinquième est prévue 3 ans après la mise en service, ce qui constitue une forte particularité de cet ouvrage (T5).

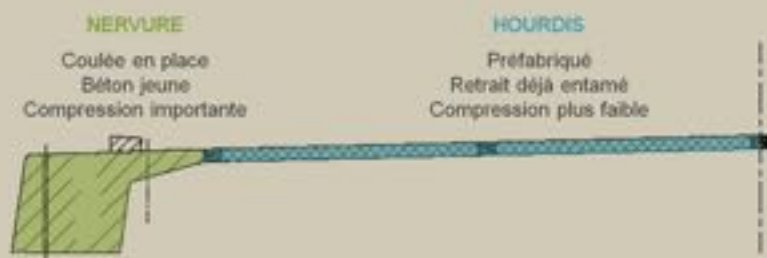
Durant la construction du tablier en encorbellement, trois phases de mises en tension ont été nécessaires du fait du poids important des voussoirs de 8 m (325 t de béton et d'acier) et

**9- Tablier en cours de construction : équipage au voussoir 10 pour bétonnage des nervures, pose des dalles préfabriquées au voussoir 9. 10- Phasage transversal de réalisation du tablier.**

**9- Deck under-going construction: rig at segment 10 for rib concreting, placing of pre-fabricated slabs on segment 9. 10- Scheduling of subsequent phases of deck execution.**

de l'équipage mobile (130 t). Les deux premières tensions, appliquées sur l'équipage mobile, ont été calculées en force de manière à reprendre le poids des nervures en béton et de l'équipage. La troisième a été calculée en longueur à vide (distance entre points d'ancrage pour un câble au repos, caractéristique d'une tension indépendante de la température et des charges de chantier) avec comme objectif d'aboutir, dans la phase de bétonnage du voussoir de clavage, à un fléau suivant le profil en long théorique, soit un tablier soumis à un moment de flexion proche de zéro. La quatrième tension a également été calculée en longueur à vide, visant à compenser la flèche due à la mise en place des superstructures (environ 15 cm à mi-travée), mais aussi à anticiper les effets du retrait et du fluage du béton entre la mise en service et 3 ans (environ 18 cm à mi-travée). Ainsi, l'objectif du calcul était d'obtenir un profil théorique pour le tablier (verticalement) et pour la tête des pylônes (horizontalement) à 3 ans, en jouant sur la tension des 2 nappes de 80 haubans (figure 8). Les effets du retrait et du fluage du béton entre 3 ans et l'infini ont nécessité le calcul d'une cinquième tension, car le vieillissement du béton a un fort impact sur la structure. D'une part, le fait de couler en place les nervures du tablier, de tendre les haubans puis de mettre en place le hourdis préfabriqué génère un retrait et un fluage différentiels très importants entre les nervures et le hourdis (figure 10). D'autre part, la travée centrale étant encastree dans les pylônes, le raccourcissement du tablier provoque le déplacement des têtes de pylônes vers le centre et par suite une flèche du tablier. Tout cela implique une perte de compression en fibre inférieure des nervures principales en béton à mi-travée, à tel point que

### PHASAGE TRANSVERSAL DE RÉALISATION DU TABLIER



**11- Centrale à béton de chantier.**

**12- Fouille et ferrailage de la semelle de fondation de P1, protégés par une digue provisoire.**

**11- Concrete mixing plant on site.**

**12- Excavation and reinforcement of foundation slab P1, protected by a temporary breakwater.**



© MBEC

11

cette contrainte est devenue un enjeu du réglage des haubans. Un léger bombement vers le haut du tablier à mi-travée (environ 6 cm à mi-travée), obtenu par le réglage des haubans, a permis d'injecter une précontrainte s'additionnant ainsi à la précontrainte longitudinale du tablier déjà très importante (2x22T15S).

### **EXÉCUTION DES TRAVAUX LES INSTALLATIONS DE CHANTIER ET L'APPROVISIONNEMENT EN BÉTON**

L'entreprise Mbec a fait le choix de monter une base vie et une centrale à béton directement sur le chantier pour disposer d'une meilleure autonomie pendant les travaux (figure 11).

### **LA FONDATION DES PYLÔNES**

La fondation du pylône P1 est constituée d'une semelle de fondation de 25 m x 30 m en béton C30/37 dont le niveau inférieur est situé à environ 6 m sous le fond de l'oued.

Côté oued, cette fondation est réalisée à l'abri d'une digue de protection en enrochements associée à une protec-

tion étanche. Cette phase transitoire permet de réaliser la semelle de fondation (coffrage, ferrailage, bétonnage). Il a été ainsi nécessaire de :

→ Dévier provisoirement l'oued au voisinage de la zone à terrasser et réaliser la digue de protection de fouille incluant un écran étanche ;

→ Mettre en place un dispositif de pompage en fond de terrassement à l'ouverture des fouilles, afin de traiter les circulations d'eau dans les schistes sains sous-jacents.

Les talus côté falaise, réalisés en parois clouées, ont plusieurs dizaines de mètres de hauteur.

Ils sont réalisés principalement dans le schiste sain, et recoupent en tête les niveaux de schiste fracturé et altéré ainsi que les conglomérats calcaires silicifiés (figure 12).

La fondation du pylône P2 est constituée d'une semelle de fondation de 25 m x 30 m en béton C30/37 dont le niveau inférieur est situé à +2,59 m NGM.

La réalisation de cette fondation a nécessité :



© SECTEPI

12



- La déviation du petit oued à proximité ;
- Le confortement de talus selon le même principe que pour le pylône P1, avec prise en compte des parties meubles supérieures.

### L'ÉLEVATION DES PYLÔNES

Les pylônes ont été réalisés en 43 levées de 4 m surmontées d'une coiffe de 12 m en béton mince.

Les levées 1 à 36 ont été construites avec un coffrage grim pant, conçu par Doka. Ce coffrage, composé de 3 plateformes, est déplacé par l'action de vérins hydrauliques. Parmi les diverses contraintes de construction et les difficultés de réalisation on peut citer principalement, la spécificité architecturale des pylônes qui a nécessité une adaptation de l'outil coffrant à chaque levée afin de suivre les variations géométriques, ainsi que la difficulté de mise en place des armatures (ratio supérieur à 250 kg/m<sup>3</sup>).

La jonction pylône/tablier est assurée par des entretoises transversales en béton précontraint (2 x 18 x 19T15S par pylône) reliant les quatre jambes. La zone d'ancrage des haubans (levés 38 à 43) est constituée de boîtes en acier S355 et S460 de 25 m de hauteur et 300 t découpées en 6 tronçons pour faciliter leur mise en place.

Les boîtes sont ensuite entourées de voiles minces en béton afin de préserver l'aspect architectural (figure 13). Le positionnement de ces boîtes en tête de pylône a nécessité une très grande précision (tolérance de 1‰) afin de garantir l'orientation des ancrages des haubans.

### LA CONSTRUCTION DES ENCORBELLEMENTS DU TABLIER HAUBANÉ

Le premier voussoir de part et d'autre des entretoises du pylône d'une longueur de 8 m est exécuté en deux phases par l'intermédiaire de poutres Bailey. Après enlèvement des poutres, on met en place les équipages mobiles (4 x 126 t pour les deux fléaux) pour l'exécution du deuxième voussoir soutenu par des haubans provisoires.

Une précontrainte de fléau de 10 câbles de 19T15S par nervure est mise en place sur ces deux premiers voussoirs. Les 20 voussoirs dits courants de part et d'autre de chaque pylône ont une configuration identique avec une longueur de 8 m, les nervures amont et aval sont coulées simultanément à l'aide des équipages mobiles reliés par des poutres de rigidité et soutenus



13  
© EGIS JMI

provisoirement en tête par les haubans définitifs (figure 14).

Le cycle détaillé comporte huit phases dont trois phases de mise en tension des haubans. Une première mise en tension en force pour reprendre le poids de l'équipage, des entretoises métalliques et des armatures, une deuxième mise en tension en force après le bétonnage des deux nervures, suivi du transfert des haubans de l'équipage vers les nervures, enfin une troisième mise en tension en longueur à vide après avancement de l'équipage de 4 m afin de régler géométriquement le fléau à l'avancement. L'exécution des voussoirs est réalisée symétriquement avec une moyenne de 10 jours par voussoir.

Le procédé d'isotension permet l'installation des haubans à l'aide de moyens de levage conventionnels et leur mise en tension au vérin monotoron. Pour commencer, seul le toron de référence et la gaine sont hissés au moyen de la grue. Après ancrage et tension du toron de référence, les autres torons

sont hissés un par un à l'aide d'un treuil à câblette et de poulies de renvoi et mis en tension toron par toron.

### LA MAÎTRISE DES DÉFORMATIONS ET LE RÉGLAGE FINAL

La maîtrise des déformations d'une étape de fléau est très délicate. Tout d'abord, bien qu'on dispose d'outils de montage symétriques, la pose des entretoises métalliques, des dalles préfabriquées du hourdis et le bétonnage des nervures sont fait asymétriquement de part et d'autre du pylône. Ces difficultés ont nécessité la mise en œuvre

d'une procédure de suivi des déformations interactive avec le chantier, comprenant les étapes suivantes :

- Mise en place d'un point de référence altimétrique sur le tablier au niveau du nœud pylône/tablier ;
- Mise en place systématique de cibles au droit des ancrages fixes des haubans, à chaque étape d'encorbellement ;
- Calcul des niveaux requis avec prise en compte de la contreflèche de construction et la déformation de l'équipage durant le bétonnage, de la température...
- Prise en compte des écarts significatifs de position et transmissions des consignes de première mise en tension des haubans (MT1 en force) ;
- Nivellements de contrôle lors du bétonnage ;
- Deuxième mise en tension des haubans (MT2 en force) après bétonnage (mise en tension individuelle d'un ou plusieurs haubans des quatre haubans de l'étape en cours) et nivellements de contrôle ;
- Avancement asymétrique des équipages et troisième mise en tension (MT3) et initialisation de l'étape suivante.

Le montage des fléaux est dicté par l'objectif d'arriver en face aux différents clavages tout en respectant au mieux les données du profil théorique avec contreflèches.

### LE CLAVAGE DES FLÉAUX

Trois clavages doivent être réalisés : avec le viaduc d'accès et la culée en rive droite ainsi qu'au centre de la travée principale. La difficulté consiste à maîtriser la géométrie pour garantir au mieux une concordance. Longitudinalement, un voussoir spécifique de clavage de 2 m est réalisé, sur la base d'un relevé géométrique précise et en tenant compte de la température. Transversalement, les deux tabliers peuvent être alignés au moyen d'un vérinage transversal, lequel ne demande que de très faibles forces grâce à la souplesse en torsion de la structure (figure 1). Enfin, le réglage vertical est obtenu de deux manières : en agissant sur les haubans de retenue et en déplaçant les équipages mobiles de quelques mètres. Dans les deux cas, on génère une déformation sur l'ensemble du fléau, ce qui évite une cassure locale dans le profil en long. Une quatrième mise en tension (MT4) a été réalisée afin d'adapter la géométrie en fonction des déformées constatées sur chantier.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**SURFACE UTILE DU TABLIER : 26 000 m<sup>2</sup>**

**BÉTON : 58 000 m<sup>3</sup>**

**ACIERS PASSIFS : 12 000 t**

**ACIERS DE PRÉCONTRAINTÉ : 600 t**

**HAUBANS : 1 140 t**

**CHARPENTE MÉTALLIQUE DES PIÈCES DE PONT : 2 900 t**

**CHARPENTE MÉTALLIQUE DES BOÎTES D'ANCRAGES DES HAUBANS : 700 t**

**PAROIS CLOUÉES : 9 000 m<sup>2</sup>**



14

© EGIS JMI

## CONCLUSION

Le nouveau pont à haubans sur l'oued Bouregreg a été inauguré le 7 juillet 2016 par le roi Mohamed VI. Il répond parfaitement à la volonté de marquer et de magnifier la beauté de ce site exceptionnel. La construction de cet ouvrage particulièrement technique a été le fruit d'une collaboration constructive entre Marocains, Français et Chinois. Ce pont est à ce jour, et pour quelques décennies sans doute, le plus grand pont à haubans d'Afrique. □

**14- Construction par encorbellements - phase de pose des pièces de pont.**

**14- Construction by cantilevering - transverse girder placing phase.**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Autoroutes du Maroc (ADM)

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Autoroutes du Maroc (ADM)

**MAÎTRE D'ŒUVRE PARTICULIER ET CONCEPTEUR :** Setec Tpi/Maroc Setec

**ARCHITECTE :** Strates OA (Hervé Vadon)

**GROUPEMENT CONSTRUCTEUR :** Covec / Mbec (Chine)

**BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION :** Egis Jmi

## ABSTRACT

### THE MOHAMMED VI CABLE-STAYED BRIDGE OVER WADI BOUREGREG

ZINE EL ABIDINE AZZOUZI - ÉMILIE BELLANGER, SETEC TPI - GÉRARD LATALLERIE, SETEC TPI - CLAUDE LE QUÉRÉ, EGIS JMI - EMMANUEL ROUSSET, EGIS JMI

As part of the project for a motorway around Rabat, *Autoroutes du Maroc (ADM)* decided to build an exceptional structure for the Bouregreg valley crossing. *Setec and Strates OA* designed a 3-span cable-stayed bridge 745 metres long and with a 376-metre centre span. The three-lane dual-carriageway road is carried by a single 25.10-metre deck supported by two layers of stay cables with a semi-fan system. It is formed of two side ribs in prestressed concrete cast in situ on the mobile rig, and a precast concrete top slab carried by transverse steel girders. The pylons, nearly 190 metres high, have a complex shape, with four curved legs connected at the base, the head and the junction with the deck. The construction of this bridge lasted five years and was the work of a Chinese firm (*Mbec*) assisted by *Egis Jmi* as detailed design office. □

### EL PUENTE ATIRANTADO MOHAMED VI SOBRE EL OUED BOUREGREG

ZINE EL ABIDINE AZZOUZI - ÉMILIE BELLANGER, SETEC TPI - GÉRARD LATALLERIE, SETEC TPI - CLAUDE LE QUÉRÉ, EGIS JMI - EMMANUEL ROUSSET, EGIS JMI

En el marco del proyecto de autopista de circunvalación de Rabat, *Autoroutes du Maroc (ADM)* decidió dar un carácter excepcional al paso del valle del Bouregreg. El diseño de *Setec y Strates OA* consiste en una construcción atirantada en 3 tramos de 745 m de longitud y una luz central de 376 m. Los 3 carriles en ambos sentidos se sustentan sobre un tablero único de 25,10 m, soportado por 2 capas de cables atirantados en semi-abanico. Está formado por 2 nervios laterales de hormigón pretensado en obra en el equipo móvil y de una bovedilla de hormigón prefabricado y soportado por vigas transversales metálicas. Los pilones, de casi 190 m de altura, tienen una forma compleja con 4 piernas curvas unidas en el pie, en la cabeza y en la unión con el tablero. La construcción de esta infraestructura ha durado 5 años y ha sido obra de una empresa china (*Mbec*), asistida por *Egis Jmi* como gabinete de estudios de ejecución. □



# VIADUC DE GARCÍA CADENA À BUCARAMANGA (COLOMBIE)

AUTEURS : ÁLVARO RUIZ CARRILLO, DIRECTEUR GÉNÉRAL, EIFFAGE-PUENTES Y TORONES – GIANCARLO VERUTTI GOMEZ, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE-PUENTES Y TORONES – MANUEL FERNANDO MOLINA, DIRECTEUR TRAVAUX - EIFFAGE-PUENTES Y TORONES – EDGAR EDUARDO PARRA, INGÉNIEUR TRAVAUX - EIFFAGE-PUENTES Y TORONES

LE VIADUC DE GARCIA CADENA FAIT PARTIE DU PROJET D'ÉLARGISSEMENT DE L'UNE DES PRINCIPALES AUTOROUTES URBAINES DE LA VILLE DE BUCARAMANGA, CAPITALE DU DÉPARTEMENT DE SANTANDER, EN COLOMBIE. L'OUVRAGE, CONSTRUIT EN PARALLÈLE DU PONT EXISTANT, COMPREND 5 VOIES DE CIRCULATION DONT UNE EST RÉSERVÉE AU TRANSPORT COLLECTIF EN SITE PROPRE (TCSP), LE RÉSEAU METROLÍNEA. L'OUVRAGE PRÉSENTE UNE LONGUEUR DE 277 M ET UN TABLIER DE 22,50 M DE LARGE. IL COMPORTE UN PONT PRINCIPAL AVEC UNE GRANDE TRAVÉE DE 110 M, CONSTITUÉ D'UN CAISSON À TROIS ALVÉOLES EN BÉTON PRÉCONTRAIT CONSTRUIT PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS.



© PUENTES Y TORONES

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

La construction du nouveau viaduc de Garcia Cadena (figure 1) s'inscrit dans le cadre du projet d'élargissement de l'une des principales autoroutes urbaines (figure 2) de la ville de Bucaramanga en Colombie.

Le tracé de l'autoroute au droit de l'ouvrage présente un profil en long en pente de 0,9% du sud vers le nord, un axe en plan en alignement droit. Le profil en travers de la plateforme routière est en toit avec une pente de 2%. Le tablier du viaduc a une largeur hors tout de 22,50 m, il supporte 5 voies de

**1- Vue aérienne  
de l'ouvrage en  
construction.**

**1- Aerial view of  
the structure un-  
der construction.**

circulation dont une réservée au TCSP, et un trottoir de 2,50 m de large. D'une longueur totale entre axes des appuis sur culées de 277 m, l'ouvrage est constitué de deux ouvrages d'accès Nord et Sud et d'un pont principal présentant les caractéristiques suivantes (figure 3) :



© MAIRIE DE BUCARAMANGA  
2

- L'ouvrage d'accès Nord est un pont à une travée isostatique de 25,40 m de portée, constitué de 6 poutres précontraintes en forme de U, surmontées par un hourdis en béton armé coulé en place (figure 4).
- L'ouvrage d'accès Sud est un pont à deux travées de 16 m de portée, il comporte un tablier en dalle alvéolaire en béton précontraint construit sur cintre (figure 5) ;
- Le pont principal comporte 3 travées : 54,50 m, 110,00 m, 54,50 m pour une longueur totale de 219 m. Le tablier en béton précontraint est

- 2- Vue 3D du projet finalisé.
- 3- Coupe longitudinale.
- 4- Ouvrage d'accès Nord - Coupe transversale.

- 2- 3D view of the finalised project.
- 3- Longitudinal section.
- 4- North access structure - Cross section.

de type mono-caisson à hauteur variable (figure 6), dont les fléaux sont construits par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place à l'aide d'équipages mobiles. La hauteur du tablier varie paraboliquement entre 6,00 m sur pile et 2,50 m à mi-travée. Le tablier repose sur des appuis néoprène sur les piles-culées P1 et P4, et il est encastré sur les piles centrales P2 et P3.

Les piles du pont principal sont composées de deux fûts indépendants de section rectangulaire creuse de 6,10 m par 5 m avec une épaisseur de parois

de 50 cm. La hauteur des piles centrales est d'environ 22 m.

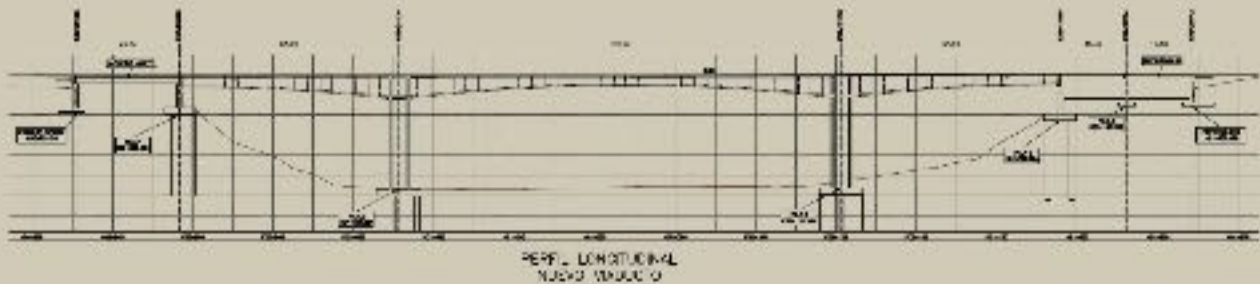
Les piles-culées P1 et P4 sont fondées sur deux files de 4 pieux Ø 1 500 mm, tandis que les piles centrales sont encastées dans une semelle reposant sur 3 files de 5 pieux Ø 1 500 mm. Les appuis des travées d'accès sont quant à eux fondés sur semelles superficielles (figure 7).

## PRÉPARATION DE CHANTIER

La période de préparation de chantier a démarré en décembre 2014.

Les travaux préparatoires revêtent pour tout projet une grande importance. Cela est d'autant plus vrai pour ce viaduc, dont le tablier en mono-caisson de grande largeur constitue la plus grande section construite par encorbellements successifs en Colombie. Le projet a pris forme grâce à une équipe compétente (ingénieurs, gestionnaires et professionnels en qualité et sécurité). Des bureaux ont été installés à proximité du chantier, ce qui a permis de commencer à programmer et à définir toutes les ressources nécessaires : les moyens de production à mettre en œuvre en matériel et en personnel (grues, étalements, ouvrages provisoires, courbe de main-d'œuvre, ...) afin de respecter le programme d'exécution des travaux. ▷

## COUPE LONGITUDINALE



© SAMUEL MONTERO VARGAS  
3

## OUVRAGE D'ACCÈS NORD - COUPE TRANSVERSALE



© SAMUEL MONTERO VARGAS  
4



- 5- Ouvrage d'accès Sud - Coupe transversale.
- 6- Pont principal - Coupe transversale.
- 7- Vue 3D de l'ouvrage.
- 8- Semelle de la pile P1.

- 5- South access structure - Cross section.
- 6- Main bridge - Cross section.
- 7- 3D view of the structure.
- 8- Foundation slab of pier P1.

Les différentes phases de construction ont été revues, tout comme les méthodes constructives détaillées, de manière à optimiser les coûts de revient de la construction et à préserver la sécurité et la santé des personnels. Comme évoqué précédemment, le défi à relever était la réalisation du tablier caisson à 4 âmes de 22,5 m de large, ce qui n'est pas courant, en Colombie, pour ce type de pont. Nous avons dû adapter les équipages mobiles dont dispose l'entreprise Puentes y Torones, pour les adapter à la grande largeur du tablier.

Lors de cette étape, des réunions ont été nécessaires avec le maître d'œuvre, les contrôleurs et le fournisseur du béton pour arrêter les détails techniques et logistiques préalablement au démarrage de la construction de l'ouvrage.

### LES MÉTHODES D'EXÉCUTION ET LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

#### RÉALISATION DES APPUIS

Après l'exécution des pieux forés, la réalisation des semelles (figure 8) a pu démarrer. Les semelles des piles centrales ont pour dimensions 11 m de largeur sur 20 m de longueur et 2,20 m de hauteur, pour un volume de béton de 484 m<sup>3</sup> coulé en une seule fois. La réalisation d'une semelle s'étend sur 15 jours, dont 12 h pour la phase de bétonnage. Une attention particulière est portée au bétonnage des semelles massives, à la fois au niveau de la formulation du béton en utilisant

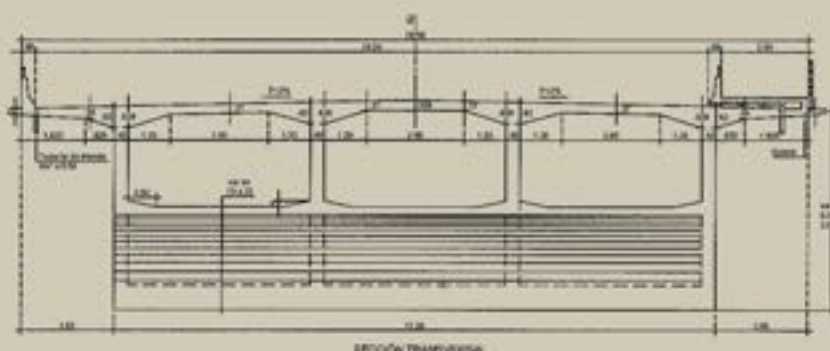
## OUVRAGE D'ACCÈS SUD - COUPE TRANSVERSALE



5

© SAMUEL MONTERO VARGAS

## PONT PRINCIPAL - COUPE TRANSVERSALE



6

© SAMUEL MONTERO VARGAS

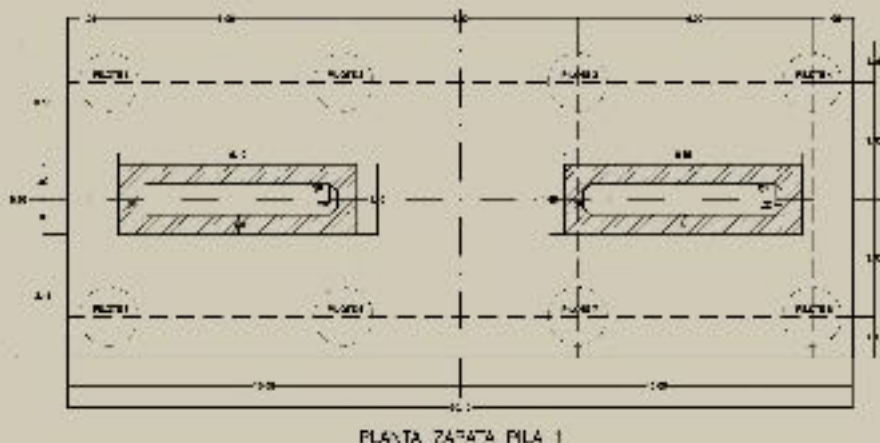
## VUE 3D DE L'OUVRAGE



7

© MARIÉ DE BUCRAMANGA

## SEMELLE DE LA PILE P1



8

© SAMUEL MONTERO VARGAS





9

© PUENTES Y TORONES



10



11

**9- Coffrage et ferrailage de pile.**

**10- Pile-culée P1.**

**11- Pile P2 achevée.**

**9- Pier form-work and reinforcement.**

**10- Abutment pier P1.**

**11- Completed pier P2.**

un ciment à faible chaleur d'hydratation de manière à répondre aux contraintes liées à la réaction sulfatique interne (RSI) en contrôlant et en limitant la montée en température du béton. Afin de permettre une vibration efficace en partie inférieure, des cheminées ont été aménagées dans la cage d'armatures de la semelle.

Les fûts de pile (figures 9, 10 et 11) sont réalisés à l'aide d'un coffrage grimpeur, permettant des levées de 4 m. Il est composé :

- D'un coffrage en deux parties : un noyau interne pour coffrer la partie creuse interne et d'un coffrage extérieur ;
- De plateformes de travail prenant appuis sur la levée précédente et permettant la pose et le réglage des parties coffrantes.

Toutes ces opérations (coffrage, mise en place du ferrailage, décoffrage, et hissage des plateformes de travail) sont réalisées à l'aide des grues à tour ou, ponctuellement, d'une grue mobile. ▷



## RÉALISATION DU TABLIER

Le tablier du pont principal est construit par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place à l'aide d'équipages mobiles, à partir des piles. Les voussoirs sur piles sont réalisés préalablement à l'aide d'un coffrage spécifique.

La complexité de ces voussoirs encastres sur les piles, a nécessité de concevoir une charpente métallique relativement lourde dont les poutres maîtresses prenaient appui sur les têtes de pile.

Le bétonnage du voussoir sur pile totalisant 370 m<sup>3</sup> est effectué en trois phases.

Le montage des équipages mobiles (figure 12) de part et d'autre du voussoir sur pile permet la réalisation des voussoirs courants par encorbellement symétrique.

L'outil mis au point par l'entreprise a été conçu par assemblage d'une paire d'équipages de faible largeur.

Au total 8 équipages existants ont été réutilisés pour assembler les 2 paires d'équipages nécessaires. Ces outils permettent de la sorte la réalisation des voussoirs toute largeur (22,50 m) et jusqu'à 4,25 m de longueur.



12

© PUENTES Y TORONES

Les voussoirs sont bétonnés successivement, puis précontraints par mise en tension des câbles de fléau jusqu'à la réalisation complète d'un fléau (figure 13).

Le cycle de réalisation d'une paire de voussoirs s'étend sur une semaine, pour un volume de béton compris

**12- Équipage mobile.**

**13- Voussoir de clavage.**

**12- Mobile rig.**

**13- Keying segment.**

entre 65 et 85 m<sup>3</sup> par voussoir. Les différentes parties sont ensuite clavées et solidarisées entre elles par la mise en tension des câbles de continuité intérieurs au béton.

Les unités de précontrainte sont constituées de câbles 12T15s et 19T15s. Les tabliers des ouvrages d'accès



13

© PUENTES Y TORONES SAS



© PUENTES Y TORONES  
14

(figure 14) ont été construits en même temps que le pont principal, et ont été coulés en place sur un étaie-ment gé-neral et des coffrages spécifiques.

## ENVIRONNEMENT ET SÉCURITÉ

Le projet n'a pas d'impact fort sur l'environnement car il se situe dans une zone d'habitations en développement qui n'est pas végétalisée. Tous les arbres situés dans l'emprise du chantier ont été conservés.

La législation colombienne sur la protection des espèces animales et végétales est très stricte et, comme indiqué sur le schéma, même si le projet n'a pas d'impact direct sur l'environnement, les urbanistes de la mairie ont conservé les zones boisées, entretenues et répertoriées, près de l'auto-route.

Tout au long du projet, la législation colombienne en vigueur sur la protec-

tion de l'environnement et la gestion des déchets a été respectée.

Concernant les déchets liés aux travaux, essentiellement des gants et des tenues de chantier usagés (résidus de graisse, ...), ils sont traités et récupérés par le client en un seul chargement. Côté ressources humaines, une grande attention est portée à la prévention des risques de chute.

L'entreprise travaille actuellement sur des campagnes pour sensibiliser et responsabiliser le personnel aux risques auxquels il est exposé et à

**14- Ouvrage d'accès Nord.**

**14- North access structure.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON PIEUX : 1 680 m<sup>3</sup>**

**BÉTON APPUIS ET TABLIERS : 9 100 m<sup>3</sup>**

**ACIERS HA : 1 720 t**

**PRÉCONTRAINTÉ : 160 t**

**BARRIÈRE MÉTALLIQUE : 300 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Bucaramanga (département de Santander, Colombie)**

**MAÎTRE D'ŒUVRE CONCEPTION : Samuel Montero Vargas (ingénieur-architecte)**

**GROUPEMENT CONSTRUCTEUR : Puentes y Torones / Constructora Valderrama Ltda.**

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :**

- Béton : Constructora Valderrama Ltda
- Précontrainte : Ovm / Emcocables S.A
- Aciers HA : Aceros Paz del Rio
- Appareils d'appuis : Escobar & Martínez S.A

## ABSTRACT

### GARCIA CADENA VIADUCT AT BUCARAMANGA (COLOMBIA)

EIFFAGE-PUENTES Y TORONES: ÁLVARO RUIZ CARRILLO, GIANCARLO VERUTTI GOMEZ, MANUEL FERNANDO MOLINA, EDGAR EDUARDO PARRA

**Construction of the Garcia Cadena viaduct forms part of the project for widening one of the main urban motorways in the city of Bucaramanga, capital of the Santander department in Colombia. The structure, built parallel to the existing motorway bridge, has five traffic lanes, one of which is a reserved right-of-way public transport lane for the Metrolínea network. The structure is 277 m long and the deck is 22.50 m wide. It comprises a main bridge with a large 110-metre span, consisting of a box section with three compartments of variable height, in prestressed concrete, built by the balanced cantilever method with segments cast in situ by mobile rig. □**

### VIADUCTO DE GARCIA CADENA EN BUCARAMANGA (COLOMBIA)

EIFFAGE-PUENTES Y TORONES: ÁLVARO RUIZ CARRILLO, GIANCARLO VERUTTI GOMEZ, MANUEL FERNANDO MOLINA, EDGAR EDUARDO PARRA

**La construcción del viaducto de Garcia Cadena se inscribe en el marco del proyecto de ensanchamiento de una de las principales autopistas urbanas de la ciudad de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, en Colombia. El proyecto, construido en paralelo al puente de la autopista existente, consta de 5 carriles de circulación, uno de ellos reservado al transporte común con vía propia, la red Metrolínea. La construcción posee una longitud de 277 m y un tablero de 22,50 m de anchura. Está formado por un puente principal con un gran tramo de 110 m, constituido por un cajón con tres alvéolos de altura variable de hormigón pretensado, construido por ménsulas sucesivas de dovelas en obra en un equipo móvil. □**





# CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU PONT DE MICOC-ALUM EN GUINÉE ÉQUATORIALE

AUTEURS : NICOLAS METGE, RESPONSABLE DU PÔLE CONCEPTION ET MAÎTRISE D'ŒUVRE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - THOMAS SHAO, INGÉNIEUR STRUCTURES, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE)

**LE CHANTIER DU PONT DE MICOC SE SITUE ENTRE DEUX VOIES RAPIDES, AU CENTRE DE LA GUINÉE ÉQUATORIALE. L'ISOLEMENT ACTUEL DE CET OUVRAGE SOULIGNE LA VOLONTÉ POLITIQUE DE DENSIFIER LE RÉSEAU ROUTIER. LA FIN DE CE CHANTIER, PRÉVUE EN DÉBUT D'ANNÉE 2017, OUVRIRA AU PAYS UNE NOUVELLE VOIE DE COMMUNICATION RAPIDE ET SÛRE.**

## CONTEXTE DU PROJET

Le chantier du pont de Micoc est situé au centre de la Guinée Équatoriale dans une zone forestière très dense et aujourd'hui mal desservie par le réseau routier.

Sogea Satom, filiale africaine du groupe Vinci, a été choisie pour réaliser les travaux de cet ouvrage traversant le Rio Wele, large d'environ 35 m au droit

de l'axe du réseau futur. Le pont a été entièrement conçu par Ingénierie des Structures et des Chantiers (Isc), filiale de Vinci Construction France. Fort d'un partenariat croissant entre les deux filiales, Sogea Satom a également confié à Isc la réalisation de toutes les études structures et méthodes du projet, ainsi que le pilotage du charpentier métallique.

**1- La charpente en cours de lancement.**

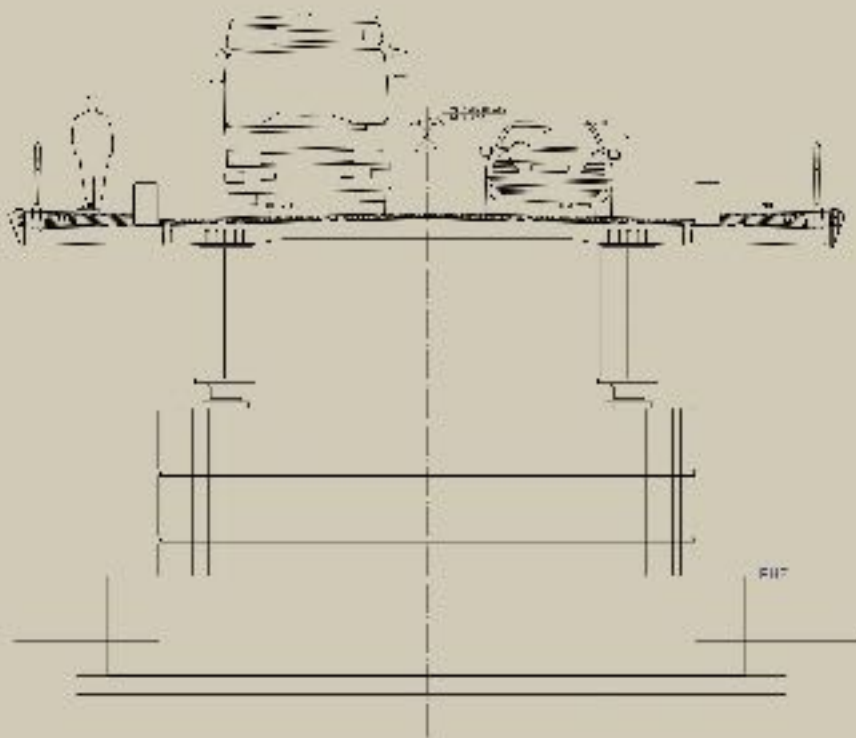
**1- The frame during launching.**

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le projet concerne le franchissement du Rio Wele entre les villages de Micoc et Alum.

D'une largeur totale de 12 m, le pont de Micoc accueille deux voies de circulations et deux trottoirs latéraux (figure 2). La conception choisie est celle d'un pont bipoutre mixte courant. Longitudinalement, l'ouvrage est constitué de

## COUPE TRANSVERSALE SUR PILE



© ISC  
2

trois travées de 32,5 - 55 - 32,5 m, soit une longueur totale de 120 m. L'ouvrage présente une très faible pente longitudinale de 0,66 % (figure 3). Les deux piles centrales encadrent le Rio Wele. Entre les culées et les piles, une large plage est laissée libre d'accès pour préserver le rôle social du fleuve, aujourd'hui au carrefour de la vie des riverains. La couleur rouge du pont rappelle celle du pont de Dimbala à Mongomo et met en valeur la luxuriance de la végétation tropicale omniprésente sur le site.

**2- Coupe transverse sur pile.**  
**3- Coupe longitudinale.**

**2- Cross section on pier.**  
**3- Longitudinal section.**

## LES FONDATIONS

Les piles et les culées sont fondées sur semelles superficielles. Au bord du fleuve, on trouve un sol composé de roche de bonne qualité capable d'assurer la reprise des charges de l'ouvrage. Des ancrages de sécurité ont néanmoins été réalisés pour solidariser ce substratum dur au béton des appuis. Le fleuve s'écoule la plupart du temps entre les deux piles mais peut, en cas de crue, déborder jusqu'aux culées.

## PILES ET CULÉES

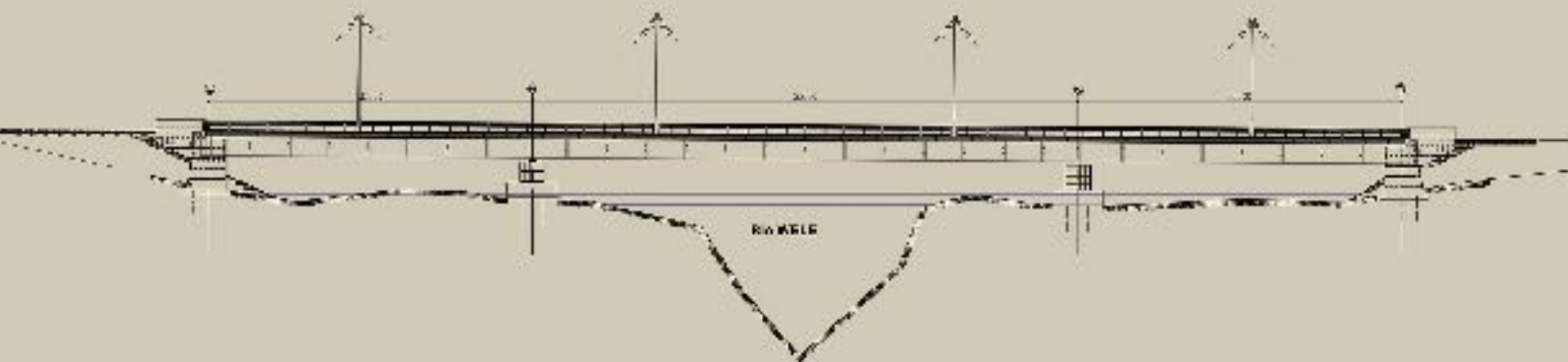
Le pont étant assez bas par rapport au sol, les piles sont de conception simple et discrète. Des fûts uniques supportent donc les deux poutres longitudinales du tablier. De base rectangulaire mais arrondis aux extrémités, les fûts doivent être suffisamment larges (2,5 m) pour la mise en place des appareils d'appui et surtout des dispositifs nécessaires au futur lançage du tablier. Les fûts présentent également des engravures conférant une élégante sobriété à l'ouvrage.

Les culées sont de conception classique. La semelle est relativement haute pour atteindre la roche et faire office de soutènement. Elles comportent un mur garde-grève de 30 cm d'épaisseur et une dalle de transition de 3 m de longueur. Les murs en retour et les murs-cache présentent un parement nervuré horizontalement qui rappelle celui des fûts de pile. Les murs en retour s'élèvent bien au-dessus du tablier pour assurer le recouvrement avec le garde-corps du tablier.

## LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

Les poutres principales de la charpente métallique sont deux PRS de hauteur constante de 2,0 m sur lesquels repose le hourdis. La semelle supérieure est de largeur constante de 800 mm et la semelle inférieure de largeur constante de 900 mm. Les épaisseurs de tôle varient de 35 mm à 85 mm. Les PRS sont raidis par des entretoises espacées d'environ 6,5 m. Des montants sont soudés aux PRS au droit de la connexion avec les entretoises. Pour finir, des cornières de contreventement sont mises en place pour les phases provisoires, tant que la dalle n'est pas réalisée.

## COUPE LONGITUDINALE



© ISC  
3



Étant donné les difficultés d'accès notamment en travée centrale, il a été fait le choix de conserver ces contreventements qui ont été traités contre la corrosion comme les autres éléments définitifs.

L'acier est de nuance S355 pour l'ensemble des éléments de charpente. Des goujons Nelson assurent la connexion avec le hourdis en béton armé. La quantité d'acier de charpente s'élève à 240 t.

Les assemblages participant à la reprise des efforts lors des phases définitives sont tous soudés. Les contreventements sont, quant à eux, boulonnés aux montants.

Toutes les vérifications de la charpente ont été menées conformément aux Eurocodes. Ces vérifications accordent une place égale aux phases définitives et aux phases provisoires qui jouent un rôle primordial lors du dimensionnement.

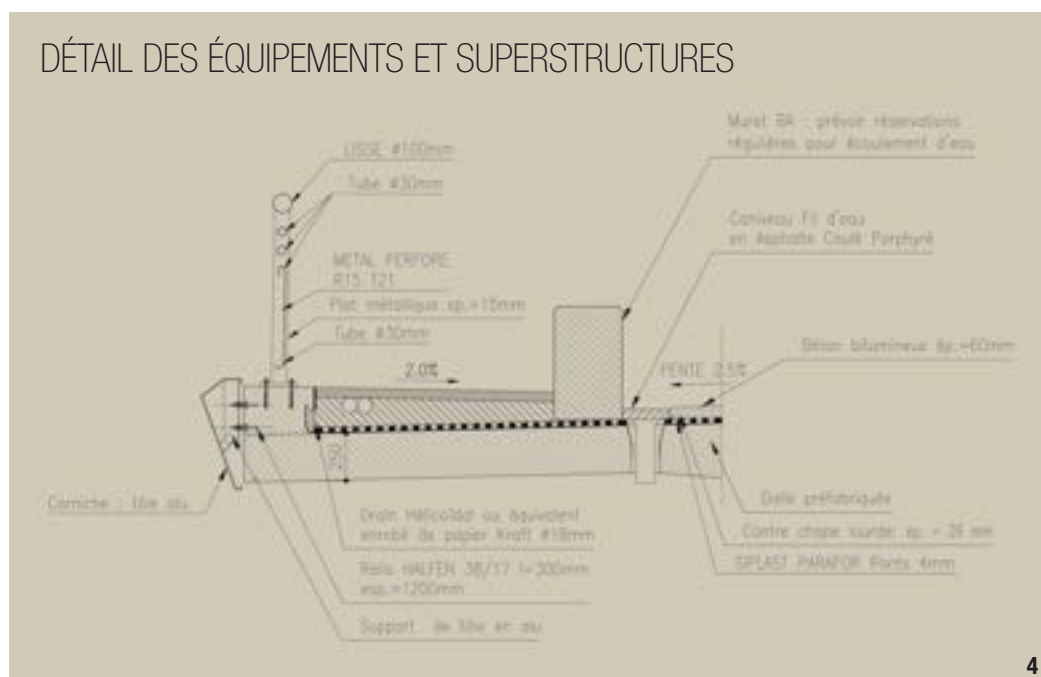
#### LE HOURDIS

La réalisation du hourdis par un équipement mobile n'était pas envisageable pour ce pont de faible longueur et pour lequel la main d'œuvre mobilisée n'avait pas d'expérience. On a donc opté pour un tablier réalisé avec des dalles préfabriquées. Seule une grue de 60 t était disponible pour la réalisation du chantier. Le calepinage des dalles a donc dû en tenir compte et celles-ci ne peuvent dépasser 1,20 m. La dalle du tablier est réalisée en tronçons de dalles préfabriquées qui sont ensuite clavées entre elles après la pose.

Le hourdis intègre les longrines latérales de l'ouvrage ainsi que les supports des candélabres.

#### LES SUPERSTRUCTURES

Une étanchéité de 3 cm est disposée sur l'ouvrage ainsi qu'un revêtement



en béton bitumineux d'environ 8 cm dans la zone circulée. Des murets sont disposés de part et d'autre des voies afin de contenir le trafic.

Le profil transversal en toit permet l'évacuation des eaux du pont via des avaloirs qui se déversent directement dans le fleuve. Des corniches métalliques viennent habiller les rives du tablier. La forme « cassée » permet de refléter le soleil. Cela crée une ligne claire en rive du tablier et met en valeur l'horizontale.

Les garde-corps sont en acier laqué. Formés de lisses horizontales et d'une tôle en métal perforé, les garde-corps se veulent discrets et transparents pour laisser passer le regard du promeneur ou des conducteurs. Des réverbères seront à terme disposés sur chaque rive de l'ouvrage pour éclairer la route de nuit (figure 4).

#### 4- Détail des équipements et superstructures.

#### 5- Semelle réalisée à l'abri d'un batardeau en gabion.

#### 6- Coffrage des culées.

#### 4- Detail of equipment and superstructure.

#### 5- Foundation slab executed sheltered by a gabion cofferdam.

#### 6- Formwork for the abutments.

### LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

#### ORGANISATION ET ENCADREMENT DU CHANTIER

Étant donné la situation isolée du chantier, toutes les équipes vivent sur place. L'encadrement est principalement constitué d'expatriés mais la main d'œuvre qualifiée est équato-guinéenne, habitant parfois l'un des deux villages situés de part et d'autre du pont.

Pour la charpente métallique, suite à une consultation internationale, l'atelier Roger Poncin s'est vu confier la fabrication et la mise en œuvre des éléments de structure. Fabriquée dans l'usine de Poncin à Ocquier en Belgique, le montage, l'assemblage, les soudures et la peinture de la charpente ont été réalisés par du personnel détaché sur place le temps du chantier.





7

© ISC



8

© SOGEA SATOM

## LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

La première étape du chantier consistait à réaliser la purge des terrains existants et à réaliser d'importants batardeaux à l'aide de gabions et d'enrochements afin de réduire la section d'écoulement du fleuve et de permettre ainsi la réalisation des fondations des piles (figure 5).

D'importants volumes de terre ont également dû être évacués afin de délimiter la future aire d'assemblage du tablier métallique. Le lançage devant avoir lieu en une seule fois, la plateforme devait donc pouvoir contenir le tablier dans sa totalité et permettre latéralement les déplacements de la grue pour la mise en place des tronçons de charpente.

**7- Montage à blanc à l'usine d'Ocquier.**

**8- Assemblage de la charpente sur l'aire.**

**9- Mise en place des dispositifs de lançage.**

**7- Trial erection in the Ocquier plant.**

**8- Frame assembly on the area.**

**9- Placing the launching systems in position.**

## LA CHARPENTE MÉTALLIQUE AU CŒUR DU PROJET

Le Rio Wele présente un obstacle incontournable pour les engins de chantier. Les études se sont donc orientées dès le début vers une solution de mise en place de la charpente par lançage.

## LA FABRICATION DE LA CHARPENTE

Les tronçons de poutres ont été limités à 12 m de longueur afin de rentrer dans les gabarits standards des conteneurs et de permettre la pose des poutres principales avec les grues disponibles lors de l'assemblage. La fabrication de la charpente a été entièrement réalisée en Belgique par l'atelier Roger Poncin au sein de leur usine d'Ocquier et livrée depuis le port d'Anvers jusqu'à celui de

Bata. Un montage à blanc a eu lieu afin de se prémunir contre toute mauvaise surprise sur site (figure 7). La peinture est appliquée en 3 couches dont deux sont réalisées en atelier sur l'ensemble de la charpente, excepté au droit des joints transversaux d'assemblage. La couche de finition est appliquée sur site.

## LE TRANSPORT DE LA CHARPENTE

Le transport des 12 tronçons de charpente, dont la longueur maximale est de 11,90 m et le poids maximal égal à 15 t, a été réalisé en une seule expédition. Les appareils d'appui du pont ont été livrés lors de la même expédition.

## ASSEMBLAGE ET MISE EN ŒUVRE DE LA CHARPENTE

La première étape est l'assemblage de la charpente. Elle se fait sur une plateforme située derrière la culée C0 et terrassée spécialement pour l'opération. La capacité de la grue sur site étant limitée à 60 t et certains tronçons d'appui pesant jusqu'à 15 t, cette étape a fait l'objet d'une méthodologie adaptée, étudiée en amont. Ainsi, la taille de la plateforme, l'ordre de pose des tronçons et les positions de la grue sont préalablement définis, ce qui permet un assemblage sans aléas malgré les contraintes contextuelles. Les tronçons de PRS sont posés sur des massifs en béton. Lors de la pose des tronçons, les entretoises et les cornières de contreventement sont boulonnées aux montants des PRS. Une fois l'ensemble des éléments assemblés, les équipes ont soudé les entretoises aux montants des PRS et les tronçons de PRS entre eux. L'avant bec de lançage est aussi boulonné à la charpente.



9

© ISC



Pour finir, la troisième couche de peinture de finition est appliquée, sauf sous la semelle inférieure car la peinture serait dégradée lors du lançage.

### LANÇAGE DE LA CHARPENTE

Le lançage de la charpente se fait sur des chaises à galets. Premièrement, la charpente est soulevée par des vérins hydrauliques pour être ensuite posée sur les chaises. Le mouvement est assuré par un treuil de traction dont le point d'ancrage se situe au droit de la culée C0. Étant donné la longueur de câble limitée, le treuil a été fixé à deux positions de la charpente lors du lançage. La première est au centre de la charpente, la deuxième au niveau de la culée C0 une fois les 50 premiers mètres de lançage parcourus (figure 9). L'opération de lançage dure quatre jours, démontage de l'avant bec compris (figures 10 et 11).

La charpente doit ensuite être posée sur appareils d'appui définitifs. Les appareils d'appuis sont pour supporter les rotations dues à la pose du hourdis. Cette étape dure cinq jours.

### PRÉFABRICATION FORAINE DES DALLES

Les dalles sont préfabriquées à proximité immédiate du pont. Elles sont coulées sur des bancs de préfabrication. Les bancs intègrent des faux goujons pour permettre d'avoir le meilleur positionnement possible du ferrailage et éviter tout risque d'interaction lors de la pose (figure 12). Les dalles intègrent les longrines de rive, supports des garde-corps définitifs et des candélabres. Elles sont au nombre de 102 au total, dont quatre types distincts. Une usine de ferrailage a été installée sur site afin de débiter, façonner et assembler selon les ouvrages l'ensemble du ferrailage.

### POSE DES DALLES

La pose des dalles est l'opération la plus délicate. Étant donné les moyens de levage limités à une grue mobile sur patins de 60 t sur site, le levage des dalles préfabriquées ne peut pas être entièrement réalisé depuis les rives. Il est donc nécessaire que la grue circule sur les dalles posées non clavées. Quarante-cinq dalles situées en mi travée sont concernées par cette pose mais la grue circule donc sur toutes les dalles entre la culée C3 et la pile P2. Les tronçons de dalle ont été ferrailés spécialement pour cette opération en prenant en compte les zones d'appui exactes correspondant à la grue dont dispose le chantier. Des profilés mis en



10

© ISC



11

© ISC

10- Lançage de la charpente au-dessus du Rio Wele.

11- Arrivée de la charpente sur la culée C3.

12- Préfabrication foraine des dalles.

10- Launching the frame above the Rio Wele.

11- Arrival of the frame on abutment C3.

12- On-site prefabrication of slabs.



12

© ISC





13

© ISC

place sous les patins de la grue permettent de répartir la charge des patins sur plusieurs dalles. La grue ne peut poser que 3 dalles pour une position et doit donc se repositionner très souvent (figures 13 et 14).

#### LA RÉALISATION DU HOURDIS

Une fois l'ensemble des dalles posées, les clavages entre dalles et charpente métallique seront réalisés en deux temps. Dans un premier temps seront clavées les dalles en travée. Les clavages des dalles sur appui seront réalisés dans un deuxième temps pour limiter au maximum le risque de fissuration. □

**13- Pose des dalles préfabriquées.**

**14- Extrait de la procédure de pose des dalles.**

**13- Placing prefabricated slabs.**

**14- Excerpt from the slab laying procedure.**



© ISC 14

## DONNÉES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

**CHARPENTE MÉTALLIQUE : 240 t**

**RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE HOURDIS : 320 kg/m<sup>3</sup>**

**RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES CULÉES : 70 kg/m<sup>3</sup>**

**RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES PILES : 90 kg/m<sup>3</sup>**

**NOMBRE DE DALLES PRÉFABRIQUÉES : 102 u**

## INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** État de Guinée Équatoriale - Geproyectos

**ENTREPRISE PRINCIPALE :** Sogea Satom Guinée Équatoriale

**ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE CONCEPTION TECHNIQUE ET ARCHITECTURALE :** Isc (Ingénierie des Structures et des Chantiers)

**ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE ÉTUDE D'EXÉCUTION STRUCTURES ET MÉTHODES GÉNIE CIVIL :** Isc

**ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE CHARPENTE MÉTALLIQUE :**

Ateliers Roger Poncin & Cie S.A.

## ABSTRACT

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE MICOC-ALUM BRIDGE IN EQUATORIAL GUINEA

NICOLAS METGE, ISC (VINCI) - THOMAS SHAO, ISC (VINCI)

The Micoc-Alum Bridge, designed by Isc, is another example of the development of the road network in Equatorial Guinea. The structure, 120 metres long, crosses the Rio Wele. It is a composite double-girder bridge of constant height with three spans. Work on the structure, carried out by Sogea Satom Equatorial Guinea with the participation of the Roger Poncin workshop for the frame, will be completed at the start of 2017. □

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DE MICOC-ALUM EN GUINEA ECUATORIAL

NICOLAS METGE, ISC (VINCI) - THOMAS SHAO, ISC (VINCI)

Diseñado por Isc, el puente de Micoc-Alum es un nuevo ejemplo del desarrollo de la red viaria de Guinea Ecuatorial. Esta construcción, de 120 m de longitud y que atraviesa el río Wele, es una doble viga mixta de altura constante en tres tramos. Realizadas por Sogea Satom Guinée Equatoriale, con la participación de Ateliers Roger Poncin para la estructura, las obras finalizarán a principios de 2017. □





# BRAZZAVILLE - LA ROUTE DE LA CORNICHE ET LE PONT DU 15 AOÛT 1960

AUTEURS : SAMUEL REYNAUD, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SETEC TPI - AUDREY ZONCO, CHEF DE PROJET, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, DIRECTEUR, SETEC TPI - JEAN DRIVET, DIRECTEUR, TERRASOL

**LA CONSTRUCTION D'UN TRONÇON D'1,2 KM DE LA ROUTE DE LA CORNICHE À BRAZZAVILLE VIENT DE S'ACHEVER. CE NOUVEL AXE URBAIN DE 2X2 VOIES QUI LONGE LE FLEUVE CONGO RELIE L'OUEST DE LA VILLE À SON CENTRE ET PERMET D'AMÉLIORER SIGNIFICATIVEMENT LES COMMUNICATIONS. LA TOPOGRAPHIE DES BERGES A RENDU NÉCESSAIRE LA RÉALISATION D'UN PONT HAUBANÉ DE 545 M DE LONG ET DE SON VIADUC D'ACCÈS DE 360 M.**

## RÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Brazzaville, capitale de la République du Congo, a connu une urbanisation importante au cours des dernières décennies mais manque encore d'infrastructures permettant de maîtriser son développement. Le gouvernement a donc décidé de la création d'un nouvel axe le long du fleuve Congo permettant de relier les quartiers Ouest de la ville à son centre et de fluidifier la circulation : la Route de la Corniche. Le premier tronçon d'un kilomètre deux cents a été inauguré le 5 février 2016. Les travaux ont été confiés à l'entreprise chinoise Crbc sous la supervision du groupement de maîtrise d'œuvre Sgi

et Setec. Les travaux ont duré 26 mois pour un coût de 86 millions d'euros. La topographie du terrain naturel, avec notamment la traversée du Ravin de la Glacière, a demandé la réalisation d'un nouvel ouvrage d'art emblématique de Brazzaville. Le Pont du 15 Août 1960, est un ouvrage haubané de 545 m de longueur et de 285 m de portée centrale. Le tracé en plan de la route, dicté par le fleuve Congo, impose à l'ouvrage une courbe dans sa partie Ouest (figure 1). Il est précédé d'un viaduc d'accès de 360 m.

En dehors des ouvrages d'art, le projet a nécessité le renforcement des sols sableux des berges du fleuve, de faible capacité portante.

**1- Vue générale  
de l'ouvrage.**

**1- General view  
of the bridge.**

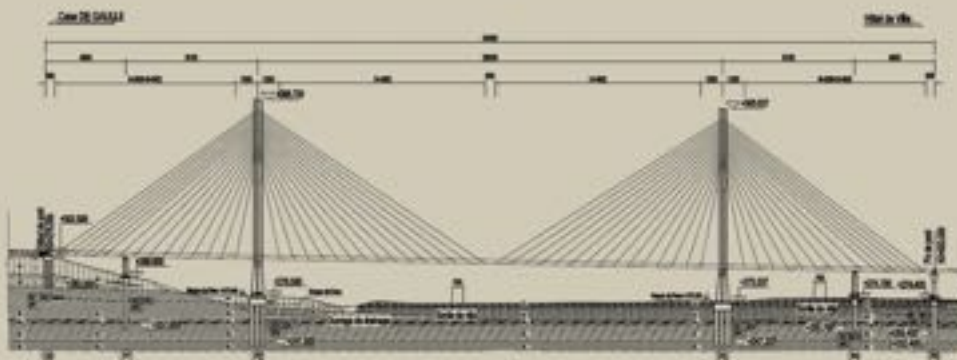
## ASPECTS GÉOTECHNIQUES ET RENFORCEMENTS DE SOL

D'un point de vue géologique, le projet est situé à l'extrémité Ouest de la cuvette du Pool, sur la formation dite de Stanley-Pool, datée du Crétacé et qui est représentée par des grès tendres intercalés d'argilites et de marnes.

Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence un substratum gréseux surmonté de dépôts alluvionnaires sableux de faibles caractéristiques mécaniques, superficiels, peu compacts, sur des épaisseurs de 6 à 13 m le long du tracé.

Ces terrains superficiels peu compacts ont nécessité la réalisation de fondations profondes sous chacun des appuis du pont haubané et du viaduc d'accès ainsi que des renforcements de sol constitués d'inclusions rigides et de colonnes ballastées pour l'élargissement de la route principale existante. Pour les appuis C0, P1 et P2, la stratigraphie est homogène sous chacun des appuis.

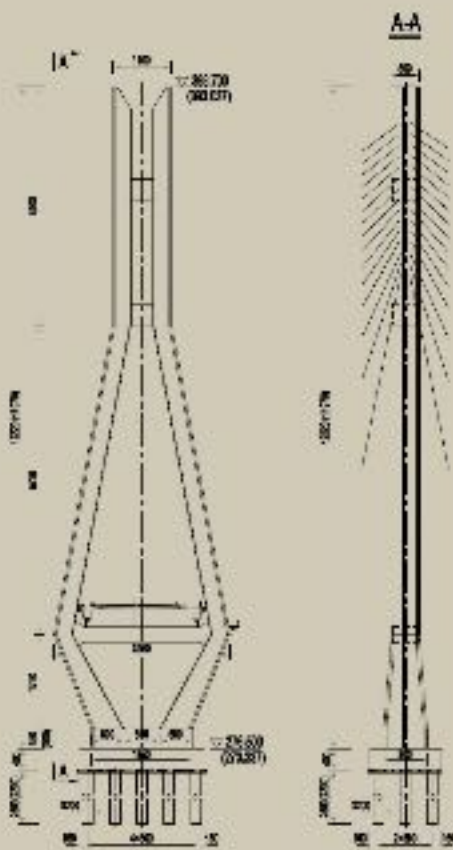
## ÉLÉVATION DE L'OUVRAGE



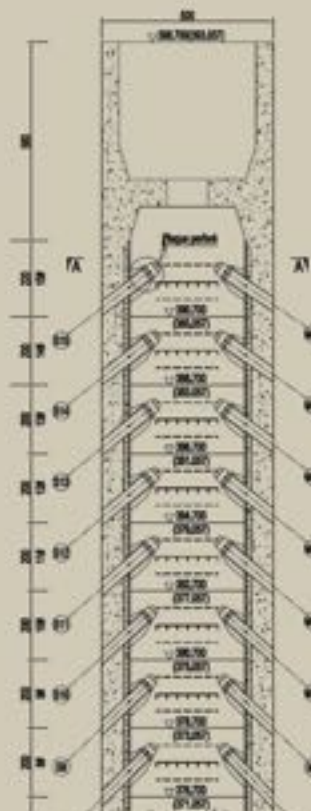
- 2- Élévation de l'ouvrage.
- 3- Élévation du pylône.
- 4- Enceinte d'ancrage des haubans.
- 5- Coupe du tablier.

- 2- Elevation view of the bridge.
- 3- Elevation view of the pylon.
- 4- Stay cable anchoring.
- 5- Cross section of the deck.

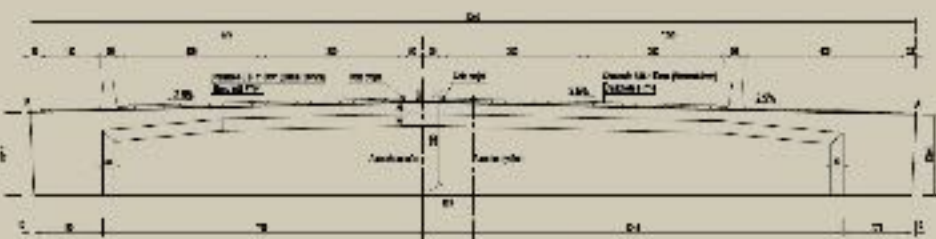
## ÉLÉVATION DU PYLÔNE



## ENCEINTE D'ANCRAGE DES HAUBANS



## COUPE DU TABLIER



Par contre, pour les appuis P3 à P5 ainsi que pour la zone de renforcement de sol, de fortes variations transversales ont été mises en évidence par les campagnes de reconnaissance ainsi que la présence d'un horizon sableux plus ou moins vasard.

Les colonnes ballastées, de diamètre 800 mm, sont réalisés selon une maille triangulaire de 2 m dont la profondeur varie le long du tracé sous la route. Les inclusions rigides, de 600 mm de diamètre, sont réalisées au droit du Rond-Point du Tchad.

### CONCEPTION DE L'OUVRAGE HAUBANÉ

La solution haubanée retenue est un pont à 3 travées avec une travée centrale de 285 m et des travées d'approche de 130 m chacune (figure 2). Le tracé en plan présente une courbure de rayon 550 m dans sa partie Ouest, côté pylône P2. Son profil en long est une rampe à 2%, en descente de C0 vers P5. La hauteur sous ouvrage au niveau du ravin de la Glacière est d'environ 25 m.

La section transversale est constituée de deux nervures de béton précontraint, entretoisées par des pièces de pont en béton précontraint et d'un hourdis de béton armé (figure 3).

La travée centrale est soutenue par 2x2 nappes de 15 haubans. À l'arrière, l'ancrage des haubans dans les travées de rive raidies par les pilettes P1 et P4 permettent de tenir efficacement la tête de mât des pylônes. Cette disposition permet d'équilibrer la travée centrale et de limiter la flexion des pylônes. L'ouvrage est réglé en une fois, dès la première mise en tension des haubans.





6

© SETEC TPI

Le réglage du tablier a été calculé pour qu'il atteigne le profil en long théorique à 10 ans après fluage du tablier et du pylône.

### PYLÔNES

Les 2 pylônes P2 et P3 en forme de diamant culminent à 120 m de haut (figure 4). Ils reçoivent le tablier sur la traverse inférieure et les ancrages des 2 nappes de haubans dans les mâts supérieurs. La structure des pylônes (jambes inférieures, traverses, mâts) a été conçue en caissons béton armé entièrement visitables. Les ancrages de haubans viennent se loger dans des enceintes en acier S355 connec-

tées au béton de la partie supérieure des mâts via des goujons (figure 8). La reprise des efforts d'ancrage est assurée par une structure mixte composée des lames acier de l'enceinte et de la paroi béton précontrainte par barres. En raison de la forme du pylône et des charges verticales importantes apportées par les haubans, la traverse inférieure est soumise à de fortes tractions. À celles-ci est opposée une force de précontrainte constituée de 30 câbles 25T15, soit environ 15 000 t de compression.

Le pylône P2 est également sollicité en tête par des charges transversales significatives dues à l'orientation

**6- Ouvrage haubané courbe.**

**7- Butée sismique.**

**8- Boîte d'ancrage en acier.**

**6- Curved cable-stayed structure.**

**7- Seismic thrust stop.**

**8- Steel anchor box.**

des haubans dans la partie courbe. Cet effet conduit à un cisaillement intense des traverses supérieures. La précontrainte de chaque traverse, constituée de 14 câbles 25T15, permet de les justifier.

Chaque pylône repose sur une semelle de 4 m d'épaisseur et leur encastrement est assuré par 21 pieux de diamètre 2 m et de 25 m de longueur, ancrés dans les grès altérés.

### TABLIER

Le tablier reçoit les 2x2 voies routières et deux trottoirs. Sa largeur est de 22 m. Sa structure reste assez classique des ponts haubanés à tablier mince en



7



8

© SETEC TPI

béton de cette gamme de portées. Elle est constituée par 2 nervures en béton précontraint de 2 m de hauteur et d'un hourdis en béton précontraint longitudinalement de 28 cm d'épaisseur (figures 6 et 7). Le moment d'axe vertical créé par la courbure du tablier est important mais ne nécessite pas de mettre en place une précontrainte excentrée transversalement. Le schéma de câblage retenu reste donc symétrique par rapport à l'axe du tablier.

Les entretoises sont réalisées en béton précontraint. Elles sont régulièrement espacées de 9 m et portent le hourdis. Le tablier est buté transversalement sur chaque ligne d'appuis mais ne comporte pas de point fixe longitudinal (figure 8).

Le non-décollement au niveau des pilettes P1 et P4 est assuré par un lest en béton lourd de densité 3,5 t/m<sup>3</sup> mis en place dans des caissons du tablier spécialement prévus.

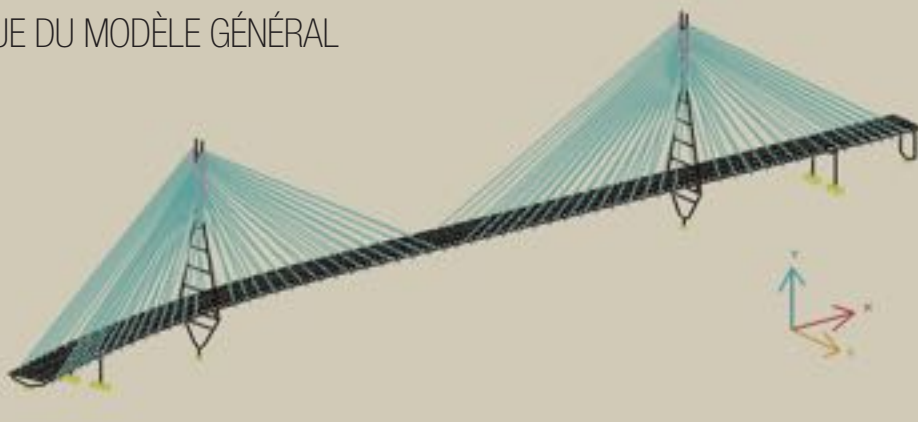
### HAUBANS

Les haubans mis en œuvre sont de type Multi Torons Parallèles (MTP). Ils ont été fournis par le groupe chinois Fasten. 10 types de haubans ont été mis en place dont la puissance varie de 27T15 à 51T15. Chaque toron T15 est galvanisé, ciré et possède sa propre gaine en polyéthylène. Leur limite à la rupture est de 1 860 MPa. Les torons sont placés dans une gaine collective de couleur blanche en polyéthylène

haute densité. Celle-ci est spiralée afin de se prémunir du phénomène d'excitation des haubans « Pluie + Vent ». L'ancrage actif est composé d'un déviateur, d'un bloc d'ancrage réglable qui reçoit les clavettes de chaque toron et qui s'appuie sur une plaque d'ancrage. Il est placé côté tablier.

Un amortisseur interne annulaire, placé entre le câble et le tube métallique, permet de dissiper l'énergie des vibrations par distorsion du néoprène. ▷

### VUE DU MODÈLE GÉNÉRAL



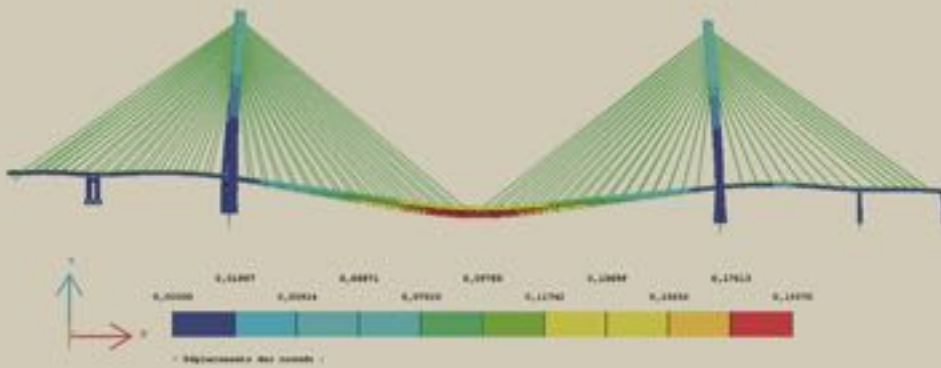
9- Vue du modèle général.

10- Déformée de l'ouvrage sous chargement de la travée centrale.

11- Prévisions d'évolution du profil en long du fléau P2.

12- Contraintes dans la structure métallique de l'ancrage de hauban.

### DÉFORMÉE DE L'OUVRAGE SOUS CHARGEMENT DE LA TRAVÉE CENTRALE



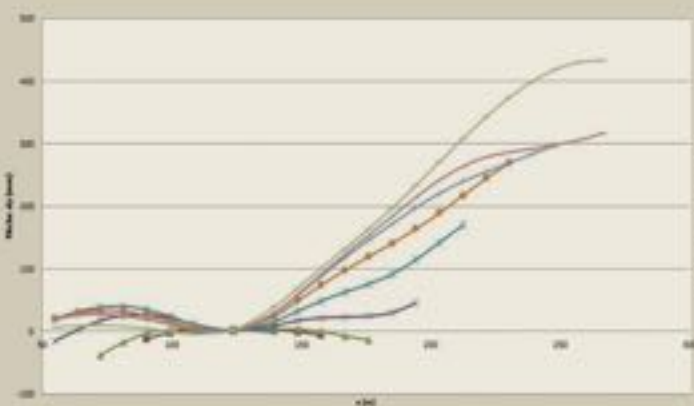
9- View of the general model.

10- Deformation of the structure under centre span loading.

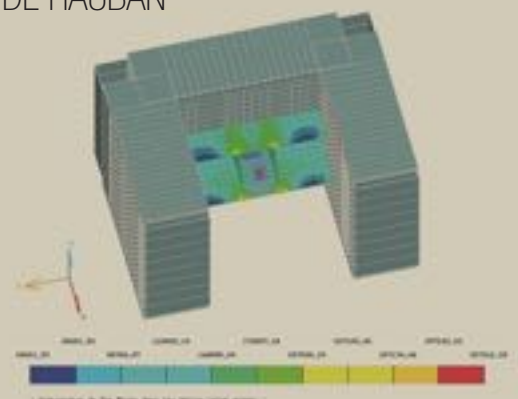
11- Predicted evolution of the longitudinal profile of deck section P2.

12- Stresses in the steel structure of the stay cable anchoring.

### PRÉVISIONS D'ÉVOLUTION DU PROFIL EN LONG DU FLÉAU P2



### CONTRAINTES DANS LA STRUCTURE MÉTALLIQUE DE L'ANCRAGE DE HAUBAN



12

© SETECP IPI

© SETECP IPI

© SETECP IPI



Les haubans sont ancrés tous les 9 m en travée centrale et 6 ou 9 m dans les travées de rive via des bossages en béton armé fretté en sous face des nervures. Leur longueur varie de 65 m à 168 m (figure 8).

Il n'a pas été jugé nécessaire de mettre en place des amortisseurs externes. Les essais sur les haubans ayant montrés des valeurs de décrétement logarithmique supérieures à 3 %, même pour les haubans les plus longs.

### ÉTUDES TECHNIQUES

Les études d'exécution ont été réalisées par le bureau interne de Crbc. Les missions de maîtrise d'œuvre et de contrôle extérieur ont été assurées par Sgi, Setec tpi et Terrasol. Les études ont été menées conformément aux règlements européens et français.

Les contre-calculs du pont haubané ont nécessité la réalisation de plusieurs modèles afin de comparer les résultats et de vérifier les études de l'entreprise chinoise.

Le modèle global de l'ouvrage, modèle à barres conçu sous le logiciel interne Pythagore, a permis de valider les principaux résultats (figure 9). Il n'a pas été nécessaire d'effectuer les calculs en grands déplacements, le module



13

apparent des haubans restant très proches du module d'Young théorique de 195 000 MPa (écart de l'ordre de 2 % pour les plus grands haubans). Les haubans sont alors considérés comme des barres bi-articulés par le programme. Le tablier a été modélisé par une structure en échelle permettant de prendre en compte son comportement transversal.

Ce modèle a permis de valider les étapes décisives :

- Le réglage initial de l'ouvrage. Les tensions finales des haubans sont obtenues sous la combinaison G + G' afin de régler le tablier et d'avoir le moment minimum en pied de pylône. Les tensions initiales sont ensuite obtenues par « déconstruction ».

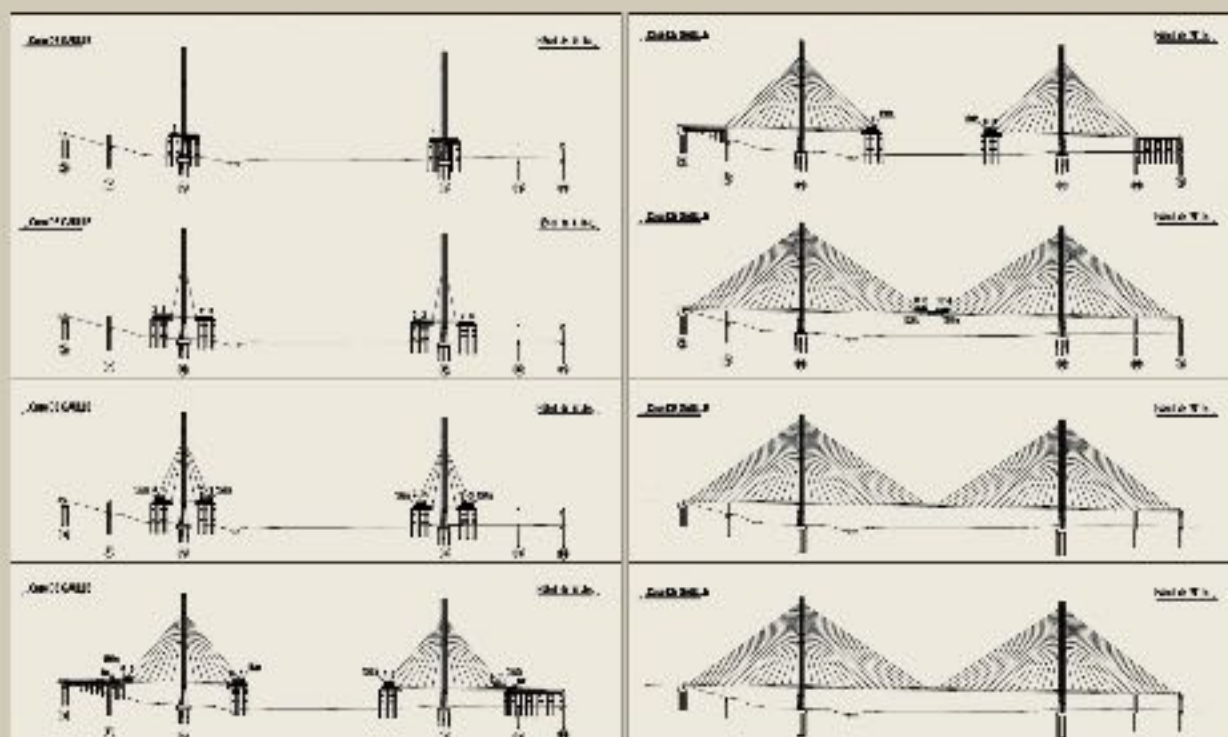
13- Construc-  
tion du pylône.

14- Phasage  
de l'ouvrage.

13- Construc-  
tion of the pylon.

14- Bridge work  
sequencing.

## PHASAGE DE L'OUVRAGE





15

© CRBC

→ La vérification des différents éléments du pont en construction et en service (figure 10).

→ Le réglage géométrique du tablier au cours de sa réalisation (figure 11). Les effets différés du béton sont pris en compte et sont calculés suivant le calendrier de construction fixé.

Certaines zones ont nécessité des modélisations spécifiques.

Un modèle local en éléments « dalles » des ancrages de haubans dans les pylônes a permis d'apprécier la répartition des efforts entre les lames métal et la paroi béton, puis de vérifier les contraintes dans la structure à la force ultime de rupture du hauban (figure 12).

Des modèles locaux 3D du tablier ont été réalisés en complément du modèle général pour calculer les efforts dans le hourdis et les entretoises en tenant compte à la fois des effets de la flexion de générale du tablier et de la flexion locale des éléments.

**15- Phases de réalisation.**

**16- Vue d'ensemble de la chaussée.**

**17- Ouvrage terminé.**

**15- Execution phases.**

**16- General view of the pavement.**

**17- Completed structure.**

### CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE HAUBANÉ

Le pont haubané a été réalisé dans un délai de 24 mois par l'entreprise chinoise Crbc qui a travaillé 24h/24h, 365 jours par an.

Un des principaux problèmes qui a été rencontré sur le chantier a été la fourniture des matériaux : armatures, enceintes métalliques, haubans, équipements, etc. En ce qui concerne la

production des bétons, une centrale a été spécialement montée sur le site et les formules spécifiquement mises au point pour le chantier. Les granulats et ciments ont été fournis par des carrières et cimenteries congolaises. En revanche, les constructions métalliques et autres équipements ont été transportés par cargo depuis la Chine, ce qui a amené à anticiper les études pour respecter les délais de livraison de l'ordre de 3 mois.

### RÉALISATION DES FONDATIONS

L'ouvrage haubané est fondé sur six appuis (C0 à P5) Les pieux des fondations ont été trépanés pour des diamètres de 2 m et des longueurs de 16 à 25 m de profondeur ancrés dans les grès pour les appuis C0 à P5. Le béton utilisé est de classe C30/37. Une dérogation concernant la classe de béton (pour des ponts) a été nécessaire sur les appuis principaux (P2 et P3) afin de vérifier les compressions dans le béton, ce qui a été approuvé par la réalisation

et la validation d'essais complémentaires en compression du béton de fondation.

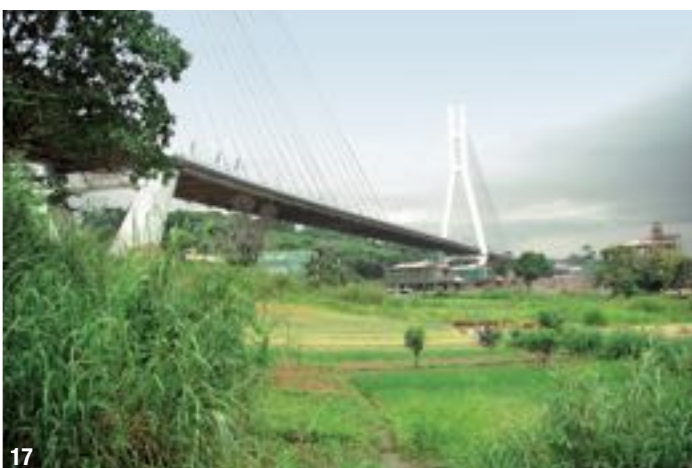
### RÉALISATION DES PYLÔNES

Après réalisation des fondations profondes, semelle et piédestal, les grues à tour de chaque pylône sont montées et la construction des jambes inférieures d'environ 16 m de hauteur peut débuter. Elles sont réalisées en 4 levées. Le béton utilisé est de classe C35/45. Chaque jambe de chaque pylône possède son atelier propre avec notamment un noyau central de coffrage des faces intérieures et un coffrage des faces extérieures. Les dimensions de ces coffrages sont revues à chaque levée. Un tirant provisoire est mis en place entre les deux jambes inférieures pour limiter les déplacements par fluage.

La traverse inférieure de dimensions extérieures 4,80 m x 3,00 m est bétonnée sur cintres, puis clavée avec les jambes inférieures.



16



17



Enfin les 30 câbles 25T15 rectilignes sont tendus à 1395 MPa. La traverse connaît alors une compression importante qui ne fera plus que diminuer. La construction des mâts supérieurs puis les efforts apportés par les tabliers la déchargeront progressivement.

Les jambes supérieures inclinées sont ensuite construites par levées successives. La section étant constante, les coffrages intérieurs et extérieurs restent inchangés sur la hauteur de la partie supérieure du pylône. 3 lits de butons sont disposés sur la hauteur des jambes inclinées au fur et à mesure de la construction afin d'éviter une déformation excessive (figure 13). Enfin la traverse intermédiaire est réalisée et ses câbles de précontraintes tendus. La partie supérieure des mâts devant recevoir les haubans est réalisée de la façon suivante :

- Les enceintes métalliques d'ancrage des têtes de haubans sont acheminées par tronçons d'environ 2 m de longueur en cargo depuis leur lieu de fabrication, la province Wuhan en Chine ;
- Ils sont mis en place à la grue, réglés, puis assemblés par boulonnage ;
- La paroi du pylône est ferrailée puis bétonnée par levées successives. Entre temps la traverse supérieure est réalisée et précontrainte ;
- Les barres de précontrainte autour des enceintes sont mises en tension au fur et à mesure des levées. Leur tension est recalée à la fin de construction des pylônes.

#### RÉALISATION DU TABLIER

La réalisation du tablier a démarré en mai 2015. Le tablier est réalisé par encorbellement depuis les pylônes P2 et P3. L'entreprise Crbc a retenu une construction du tablier sur cintres par tronçon de 18 m. Les segments de tablier sont construits symétriquement



© SETEC TPI

par rapport au pylône afin d'assurer à chaque étape l'équilibre du cantilever (figures 14 et 15). Le premier tronçon est cloué provisoirement à la traverse inférieure du pylône par des câbles de précontrainte verticaux. Le phasage type de la réalisation d'un tronçon suit le cycle de 12 jours suivant :

- Mise en place du cintre et des coffrages ;
- Ferrailage puis bétonnage du tronçon ;
- Mise en précontrainte du tronçon à 7 jours. La précontrainte transversale des entretoises est d'abord effectuée, puis la précontrainte longitudinale des nervures et enfin celle du hourdis ;
- Installation et mise en tension des 8 haubans. Les haubans sont mis en tension symétriquement par rapport au pylône. Les 4 haubans aux extrémités sont tendus simultanément puis les 4 haubans intérieurs. Les torons préfabriqués sont acheminés sur site en bobines puis installés

**18- Inauguration de l'ouvrage 5 février 2016.**

**18- Bridge inauguration on 5 February 2016.**

et tendus un par un au vérin monotoron jusqu'à environ 80% de leur tension théorique. Leur tension est ensuite homogénéisée à 85% de la tension théorique. Enfin ils sont tendus jusqu'à 100% de leur tension théorique au vérin annulaire.

#### PRINCIPALES QUANTITÉS - PONT HAUBANÉ

##### FONDACTIONS - PILES - CULÉE :

- Béton : 10 020 m<sup>3</sup>
- Aciers HA : 1 120 t

##### PYLONES :

- Béton : 16 376 m<sup>3</sup>
- Aciers HA : 4 060 t
- Aciers de précontrainte : 202 t
- Structures métalliques : 925 t

##### TABLIER :

- Béton : 9 559 m<sup>3</sup>
- Aciers HA : 2 149 t
- Aciers de précontrainte : 309 t

##### HAUBANS :

- Câbles (unités 27 à 51) : 120 u
- Torons T15 : 564 t

Il faut noter que les travées C0-P1 et P4-P5 sont réalisées entièrement sur cintre puis clavées avec la partie en fléau.

Le clavage central du tablier a eu lieu le 14 septembre 2015.

Il s'en est suivi la mise en tension des câbles de précontrainte de clavage, puis la pose des superstructures et équipements, et enfin les épreuves de l'ouvrage au mois de décembre 2015. Le 5 février 2016, lors de l'inauguration, des milliers de Brazzavillois ont pu finalement parcourir et s'approprier ce nouveau segment de leur ville (figure 18). □

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** État de la République du Congo

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :** Crbc

**MAÎTRISE D'ŒUVRE/INDEPENDENT CHECKER (GROUPEMENT) :** Sgi (mandataire) - Setec tpi - Terrasol

#### ABSTRACT

### BRAZZAVILLE - THE CORNICHE ROAD AND THE BRIDGE OF 15 AUGUST 1960

S. REYNAUD, SETEC TPI - A. ZONCO, SETEC TPI - J.-B. DATRY, SETEC TPI - J. DRIVET, TERRASOL

**A new 1.2 km road along the Congo River connects the western districts of Brazzaville to the city centre. This project required the creation of a cable-stayed bridge 545 m long and a 360-metre access viaduct. It was built in two years by the Chinese firm Crbc. The European engineering firms SGI and Setec took part as project manager and independent checker. The cable-stayed bridge crossing Ravin de la Glacière gully is a 3-span bridge including a 285-metre centre span. It has a curved horizontal alignment of radius 550 m. □**

### BRAZZAVILLE - LA CARRETERA DE LA CORNICHE Y EL PUENTE DEL 15 DE AGOSTO DE 1960

S. REYNAUD, SETEC TPI - A. ZONCO, SETEC TPI - J.-B. DATRY, SETEC TPI - J. DRIVET, TERRASOL

**Una nueva carretera de 1,2 km que discurre a lo largo del río Congo permite enlazar los distritos oeste de Brazzaville con su centro. Este proyecto ha requerido la creación de un puente atirantado de 545 m de longitud y un viaducto de acceso de 360 m. Ha sido construido en 2 años por la empresa china Crbc. Las empresas de ingeniería europeas Sgi y Setec han intervenido como coordinadoras del proyecto e independent checkers. La construcción atirantada que permite cruzar el barranco del Glaciel es un puente en 3 tramos, con 285 m de luz central. Presenta un trazado en plano curvo de 550 m de radio. □**



# SMA



**Ensemble,  
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,  
des professionnels, des dirigeants,  
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur [groupe-sma.fr](http://groupe-sma.fr)







# PRÉSERVONS L'AVENIR



Renforcement de remblai sur pieux et sur sols compressibles de la future ligne à grande vitesse entre Kenitra et Tanger au Maroc.

Dans une volonté de concevoir des solutions de renforcement durables et écoresponsables, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité.

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

**MACCAFERRI**

LGV Kenitra-Tanger, Maroc  
Géogrilles Paralink® - 32 000 m<sup>2</sup>

[www.maccaferri.com/fr](http://www.maccaferri.com/fr)

