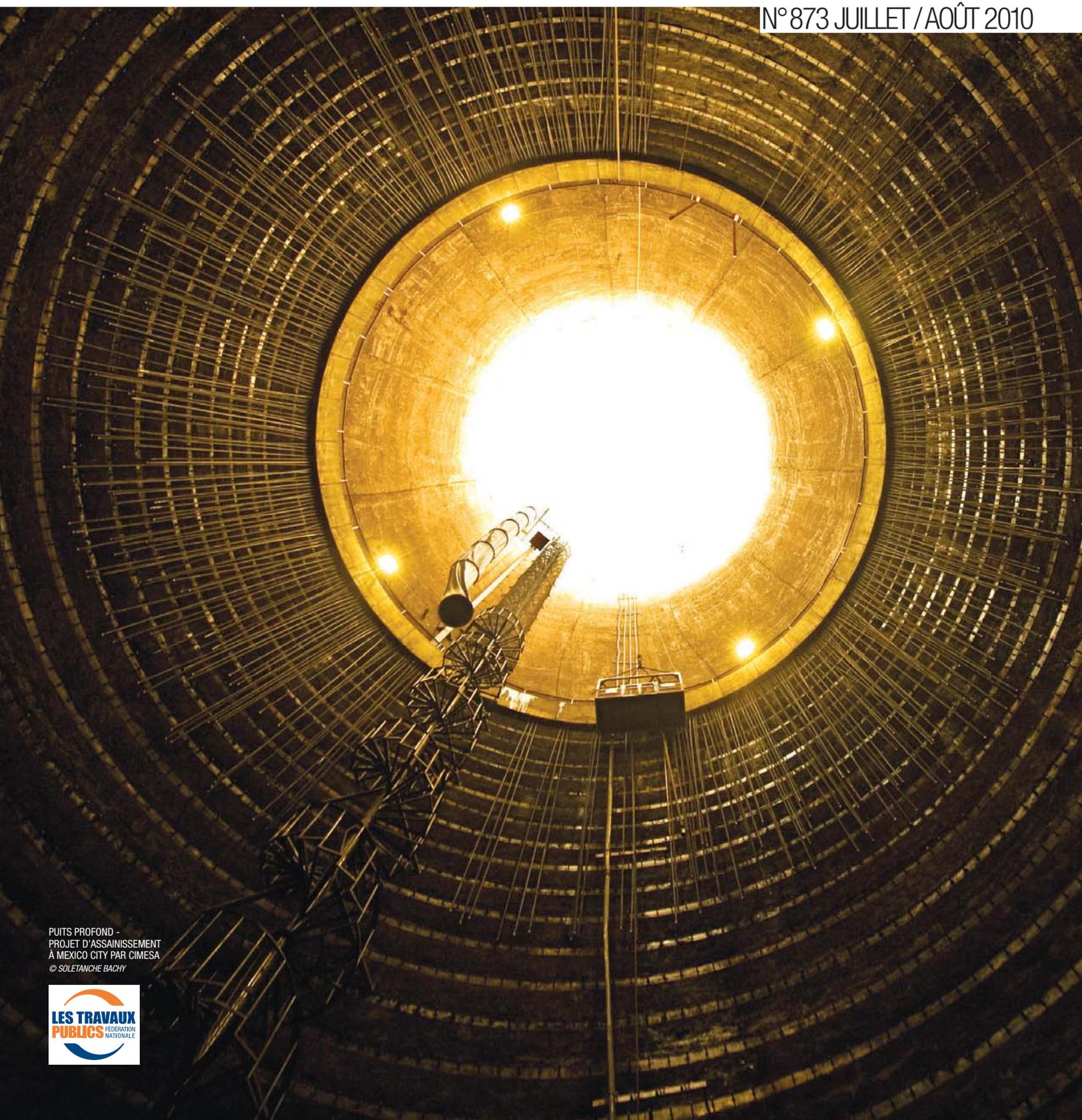


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

INTERNATIONAL. EMCC VOLE AU SECOURS D'UN PONT EN GUYANE. METRO DE DELHI : CONSTRUCTION D'UN VIADUC. AUTOROUTE MALIAKOS-KLEIDI EN GRECE. PREMIERE LIGNE FERROVIAIRE A GRANDE VITESSE EN CHINE. STADE MBOMBELA : UN NOUVEL EQUIPEMENT POUR LA COUPE DU MONDE. VOILE D'INJECTION DU BARRAGE HOWARD HANSON A WASHINGTON. MUSCAT INTERNATIONAL AIRPORT GROUND IMPROVEMENT.

N°873 JUILLET / AOÛT 2010



PUITS PROFOND -
PROJET D'ASSAINISSEMENT
À MEXICO CITY PAR CIMESA
© SOLETANCHE BACHY



Directeur de la publication
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée
Rédactrice en chef
Mona Mottot

3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fnfp.fr

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction Grands Projets), Jean-Bernard Datry (Setec TPI), Philippe Jacquet (Bouygues), Stéphane Monleau (Solétanche Bachy), Bruno Radiguet (Bouygues), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel), Mona Mottot (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Marc Montagnon,
Monique Trancart
Secrétariat de rédaction
Julia Deck

Service Abonnement et Vente Com et Com

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

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

Publicité

Régie Publicité Industrielle
Xavier Bertrand - Nouredine Bennai
9, bd Mendès France
77600 Bussy-Saint-Georges
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27
Email : bertrand@rpi.fr - bennai@rpi.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Réalisation et impression

Com'1 évidence
8, rue Jean Goujon - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34
Email : contact@com1evidence.com

Maquette

Idé Edition

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 bu 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°0111 T 80259
ISSN 0041-1906

POUR SUIVRE NOS EFFORTS À L'INTERNATIONAL



© DR

La situation économique actuelle n'est guère favorable pour notre activité dans le monde. Elle a évolué de façon brutale par rapport à l'année dernière où la mise place de plans de relance par les gouvernements des grands pays ont largement contribué au soutien de la construction en 2009 et début 2010. Aujourd'hui, en France, nous enregistrons au mieux une stagnation de nos chiffres d'affaires, tandis qu'à l'international la situation est très contrastée selon les pays et selon les métiers. Dans plusieurs régions du monde, notre activité s'est sensiblement réduite :

→ En Europe, notamment en Espagne, au Royaume-Uni où les plans gouvernementaux mis en place tout à fait récemment conduisent à une forte réduction du nombre de projets lancés en construction et en Europe Centrale, où les marchés sont également en décroissance ;

→ Au Moyen-Orient, notamment avec l'arrêt des chantiers et des opérations à Dubai.

En revanche, la croissance a été au rendez-vous dans plusieurs régions du monde :

- En Afrique, où malgré la pression efficace des entreprises chinoises nous arrivons encore à nous positionner convenablement,
- En Amérique du Nord,
- En Amérique Latine et en particulier au Mexique qui affiche une très forte croissance,
- En Asie et en Australie, en particulier à Hong Kong.

Ce sont généralement des pays où des projets gouvernementaux importants - notamment, la construction de quais, de métros, d'infrastructures d'assainissement, de barrages - ont pris le relais des investisseurs immobiliers qui annulaient ou différaient leurs constructions.

Dans ces pays nous venons d'enregistrer quelques beaux succès commerciaux, qui nous permettent d'aborder les années 2010 - 2011 avec un carnet de commandes renouvelé. Nous pouvons ainsi escompter une très légère croissance de notre chiffre d'affaires à l'international en 2010.

Il est vrai que le contexte concurrentiel s'est dégradé, et que nos entreprises ont davantage de difficultés à remporter des contrats, face à la concurrence chinoise, indienne, ou même espagnole à présent. Cela étant, nous disposons toujours d'atouts précieux sur lesquels nous appuyer : un vrai leadership dans les technologies et les travaux de niches ; un savoir-faire en matière d'ingénierie financière et de management de grands projets ; un tissu d'implantations locales dans la plupart des pays du monde.

En jouant de ces atouts avec habileté, et en particulier, en poursuivant nos efforts de recherche et développement, je suis convaincu que nous saurons sortir de cette crise avec de nouvelles très belles cartes dans notre jeu.

BRUNO DUPETY

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SOLETANCHE FREYSSINET
PRÉSIDENT ET DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SOLETANCHE BACHY
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION EUROPE-INTERNATIONAL / SEFI DE LA FNTP

SYSTRA : L'EXCEPTION FRANÇAISE EN INGÉNIERIE

LE GROUPE SYSTRA A BOUCLÉ L'ANNÉE 2009 AVEC UN CHIFFRE D'AFFAIRES EN HAUSSE POUR LA QUATRIÈME ANNÉE CONSÉCUTIVE, PASSANT DE 241,3 MILLIONS D'EUROS EN 2008 À 252,6 MILLIONS D'EUROS EN 2009, SOIT UNE AUGMENTATION DE 4,7 %, DONT 88 % À L'INTERNATIONAL. **ENTRETIEN AVEC PHILIPPE CITROËN, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SYSTRA.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



À CE JOUR, LE CARNET DE COMMANDES DE CE BUREAU D'INGÉNIERIE, FILIALE DE LA RATP ET DE LA SNCF CORRESPOND À 15 MOIS DE CHIFFRE D'AFFAIRES. SI LE MOYEN ORIENT, RESTE LE PREMIER MOTEUR DE SA CROISSANCE, SYSTRA A ÉGALEMENT RENFORCÉ SES POSITIONS EN ALGÉRIE, AU MAROC ET EN EGYPTE. EN FRANCE, IL A CONFIRMÉ SON LEADERSHIP DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS EN COMMUN EN SITE PROPRE (TCSP) ⁽¹⁾, TANDIS QUE SON ACTIVITÉ DANS LE RESTE DU MONDE SE CONCENTRE SUR DES PROJETS PHARES COMME LE MÉTRO DE HANOÏ EN ASIE, OU CROSSRAIL FUTUR RER DU GRAND LONDRES.

PHILIPPE CITROËN, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SYSTRA, FAIT LE POINT SUR LES GRANDS CHANTIERS EN COURS ET À VENIR DU GROUPE.

Le groupe Systra a présenté récemment ses résultats 2009 qui font apparaître une croissance importante, situation remarquable en période de crise. Comment expliquez-vous cette « exception » française ?

Les sociétés d'ingénierie et notamment Systra se trouvent dans un secteur porteur, aussi bien en France qu'à l'étranger. En France, nous avons enregistré

plusieurs succès avec les TCSP ⁽¹⁾ du Havre, de Brest, de Tours, de Lens-Liévin et les extensions de Bordeaux.

D'autres projets sortent cette année comme les extensions du métro de Rennes. Des grands projets vont être lancés dans les prochains mois dans le domaine du ferroviaire avec des « réalisations qui font rêver » : le Grand Paris, Arc Express,

la branche Ouest d'Eole, trois opérations pour lesquelles le débat public sera lancé, semble-t-il, à l'automne prochain sans oublier les projets de TGV Bretagne Pays de Loire et le contournement Nîmes-Montpellier. Le Grenelle de l'environnement a créé une très grande dynamique en France de la part de RFF et des collectivités publiques, pour lancer des projets, ce qui devrait engendrer une activité importante pour nos métiers.

Cette dynamique qui profite à Systra est-elle également perceptible à l'étranger et, principalement, dans quels pays ?

Systra a fait une percée au Moyen-Orient. Plus de 5 000 kilomètres de voies ferrées seront à étudier et à construire dans le Golfe, d'ici l'horizon 2018. Systra a réalisé le tour de force d'être présent sur plusieurs projets, notamment celui du GCC (réseau ferroviaire des pays du Golfe), et d'être

© SYSTRA



1



2

l'ingénierie ferroviaire de référence dans la région.

À Dubaï, les 52 premiers des 70 kilomètres de la Red Line ont été inaugurés le 9 septembre 2009. Six ans seulement se sont écoulés depuis les études préliminaires qui nous ont été confiées en 2003. Depuis 2005, en partenariat avec Parsons, nous assurons la supervision des travaux de construction de ce réseau de métro automatique.

Une équipe de 200 personnes travaille aujourd'hui sur place et participe à la supervision de la Green Line qui sera inaugurée en août 2011. Ce métro construit sous la forme du Viaduc en U, l'un des produits phares du département Génie-Civil et Ouvrages d'Art de Systra, fait 60 km en viaduc et 11 km en souterrain.

Le succès rencontré à Dubaï a renforcé notre notoriété dans cette région, notamment en Arabie Saoudite, et nous a permis de signer le contrat d'études d'exécution du génie civil du métro de Mashaer Mugadassah, situé au sud-est de la Mecque, qui a mobilisé 45 personnes du département Génie Civil et Ouvrages d'Art jusqu'à la fin de l'année 2009. Les études de faisabilité et d'avant-projet, ainsi que les spécifications techniques de cette ligne de 17 km ont été réalisées en 2008 par un groupement dont Systra était le leader. Nous sommes enfin présents avec nos partenaires Canarail sur le projet minier North South Railways avec près de 200 personnes en Arabie Saoudite.

- 1- Métro de Dubaï.
- 2- Tramway du Havre.
- 3- Métro de Dubaï.
- 4- Métro de Hanoï.

2 500 COLLABORATEURS

Systra emploie 2 500 personnes, dont 700 à son siège parisien ou en mission (Systra est déployé en cinq pôles techniques : Génie civil et Ouvrages d'art, Systèmes de transports, Infrastructures de transports, Management de projets et Matériel roulant et ateliers), 700 dans ses filiales internationales (MVA, Systra USA et Canarail). En fonction des contrats et des chantiers, entre 800 et 900 personnes sont recrutées localement.



Cela signifie-t-il que d'autres projets sont en cours ou vont voir le jour dans cette région ?

Il en est un au moins : le réseau ferroviaire des pays du Golfe (GCC Railway), qui est le projet du « siècle » dans la région, d'un montant de l'ordre de 20 à 30 milliards de dollars. Pour le mener à bien, le Gulf Cooperation Council a étudié la faisabilité d'une ligne de chemin de fer reliant les 6 pays membres⁽²⁾. Cette étude réalisée par Systra et nos filiales canadiennes a été avalisée au sommet du GCC en mai 2009. Des décisions concrètes pour la

construction de certaines parties de ce réseau, comme celui d'Abu Dhabi avec Union Railway vont être prises.

Il est une autre région du monde où de très nombreux projets ou réalisations sont en cours et sur lesquels intervient Systra : ce sont les pays du Maghreb. Où en est l'avancement de ces opérations dans chacun de ces pays ?

L'Algérie a décidé d'investir 40 milliards de dollars dans le cadre de son plan quinquennal 2010-2014 pour développer et moderniser son

réseau ferroviaire. Après le métro d'Alger, sur lequel nous travaillons depuis plusieurs années, nous participons à la maîtrise d'œuvre de la ligne Est du tramway d'Alger dont les travaux sont très actifs aujourd'hui. Nous assurons la maîtrise d'œuvre complète de réalisation du Génie civil et du Système des 23 kilomètres de son parcours qui sera jalonné de 38 stations.

Les prestations d'étude de conception et d'ingénierie de deux extensions de la ligne 1 du métro d'Alger viennent également d'être confiées à Systra. Il s'agit là d'extensions intégralement souterraines. Nous sommes, je l'espère sincèrement, arrivés à bâtir une vraie coopération avec l'Entreprise du Métro d'Alger qui assure la maîtrise d'ouvrage de tous ces projets.

Les projets ferroviaires algériens bénéficient-ils du même degré d'avancement ?

Il s'agit là de projets considérables pour la réalisation desquelles l'État algérien a d'ailleurs créé l'Anesrif. Dans le secteur ferroviaire, Systra vient de démarrer la maîtrise d'œuvre du doublement de la ligne El Affroun – Khémis, d'environ 60 km. Ce chantier comprend la construction de deux tunnels dont un bi-tube de 7 km. Systra conduit également les études de deux lignes nouvelles entre Hassi Messaoud et Touggourt, sur 185 km, et entre Boumedfaa et Djelfa, sur 266 km.

Comment êtes-vous organisés sur place pour traiter ces projets très lourds ?

Systra compte une centaine de personnes travaillant sur ces projets urbains ou ferroviaires en Algérie. ▷

3



4



Nous avons créé une filiale en 2009 – Systra Algérie – pour asseoir notre développement dans ce pays. Nous allons continuer à recruter localement.

Le Maroc a-t-il des ambitions similaires au niveau des infrastructures de transport ?

Ce pays a également de nombreux projets ferroviaires importants et structurants menés par l'ONCF. L'un des plus importants est celui de la LGV Kenitra – Tanger, d'une longueur de 190 km, d'un montant de 2 milliards d'euros, et qui a fait l'objet d'un protocole de financement entre la France et le Maroc. Les études d'avant-projet détaillé, pour le Génie civil, sont réalisées, pour l'un des tronçons, par Systra. Il s'agira d'un projet phare en matière de construction de ligne à grande vitesse dans le monde. Pour les tramways, Systra, associée à sa filiale Systra Maroc et à une ingénierie marocaine, a été choisie pour assurer la maîtrise d'œuvre de la première ligne de tramway à Casablanca – 29 km et 50 stations –, dont elle avait déjà réalisé les études préliminaires et l'avant-projet. Nous exécutons parallèlement des prestations d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la conception et la réalisation du tramway de Rabat-Salé.

Quels sont vos projets en Tunisie ?

Les ambitions du gouvernement tunisien en matière de transport ferroviaire sont également importantes : un appel d'offres est en cours pour la réalisation de la première tranche du réseau ferroviaire rapide du Grand Tunis. Nous attendons les décisions officielles d'attribution de marchés.



MÉTRO DES LIEUX SAINTS DE LA MECQUE : 72 000 PASSAGERS / HEURE

Le métro des lieux saints de la Mecque vise à transporter les pèlerins sur les 6 kilomètres du parcours entre quatre sites (Arafat, Muzdalifah, Mina et La Mecque) pendant les jours de grand pèlerinage. Ces mouvements s'accomplissent actuellement en bus ou en voitures particulières : 70 000 véhicules doivent parcourir 6 km au même moment sur 9 routes, d'où des temps de parcours de plus de 10 heures.

Le projet consiste à construire un métro lourd, de type RER, d'une capacité de 72 000 passagers/ heure avec des trains de 300 mètres pouvant accueillir 3 000 passagers.

Sa construction et son exploitation pour une durée de trois ans est confiée à China Railway Construction Corporation.

Au-delà des pays du Golfe et de ceux du Maghreb, quels sont les autres pays dans lesquels Systra est également présent au niveau des grands projets d'infrastructure ?

Nous continuons d'intervenir auprès de la NAT en Égypte sur les travaux et projets du métro du Caire qui se concentrent sur la ligne 3, engagés depuis déjà de très nombreuses années et qui mobilisent fortement

le gouvernement et le BTP français. Dans le reste du monde, nous nous intéressons bien entendu à l'Inde qui représente un fort potentiel pour le transport urbain avec des succès sur le métro de Mumbai notamment. Nous allons fortement développer la capacité de production technique en Génie civil, Ouvrages d'art et en Systèmes de notre filiale Systra India. Depuis novembre 2007, Systra assure pour le Hanoi Metropolitan

Rail Transport Project Board (HRB), une mission de consultant général. Nous sommes en charge de l'ensemble des études de conception du projet (partiellement financé par la France et par l'Agence française de développement), y compris architecturales, de l'établissement des documents d'appel d'offres qui sont en cours, et nous assurerons une assistance au dépouillement des offres à la passation de marchés pour le client vietnamien. D'autres projets de métro vont être lancés rapidement à Hanoi et Ho Chi Minh Ville. En Azerbaïdjan, nous sommes leader du consortium qui a remporté l'appel d'offres international lancé par le Métro de Bakou qui prévoit un vaste programme d'extension de son réseau.

Systra exerce son activité en France, en Europe et quelquefois très loin dans le monde. Cela vous pose-t-il des problèmes particuliers ?

Vu l'ampleur des projets, comme tous nos concurrents anglo-saxons, nous cherchons activement des directeurs de projet et des ingénieurs prêts à s'expatrier dans des « pays lointains ».

Travaillez-vous avec le BTP français à l'international ?

Pas assez. Nous espérons bien sûr que les grandes entreprises françaises du BTP nous sollicitent davantage dans le futur, dans le cadre de projets à l'international. □

(1)- **TCS** : Transport en Commun en Site Propre.
(2)- Koweït, Arabie Saoudite, Bahreïn, Oman, Qatar, Emirats Arabes Unis.

© SYSTRA



5



6

TROIS INGÉNIEURS EXPATRIÉS, TROIS EXPÉRIENCES DE VIE



TÉMOIGNAGE 1 GEORGES MAURIS

AGE : 26 ans

FONCTION : Ingénieur

ENTREPRISE : Systra

PAYS : Inde

« J'AI PLUS DE CONTACT AVEC
LE CHANTIER ET MES FONCTIONS
SONT PLUS ÉTENDUES QU'EN FRANCE »

Travailler en Inde, ce n'est pas travailler dans n'importe quel pays. « Pour partir à l'étranger, il vaut mieux être vraiment intéressé par le pays pour s'impliquer personnellement, estime Georges Mauris, ingénieur ouvrages d'art, depuis un an à Systra India. J'avais voyagé en Asie. Je voulais retourner dans un endroit dépaysant, y vivre et le parcourir. L'Inde est très intéressante. Elle est à un tournant. Avec la croissance économique, le niveau de vie s'élève pour une partie de la population. Un climat d'effervescence règne. Le pays réfléchit aux questions d'environnement. Des lignes de métro se construisent partout, des projets de trains à grande vitesse s'élaborent. C'est un pays très riche culturellement, ce qu'on y découvre dépasse l'entendement ».

Le jeune ingénieur issu de l'École des Mines de Nancy et doté d'un master du Centre des hautes études du béton armé et précontraint, a passé deux ans chez Systra en France avant de venir renforcer l'équipe de Systra India (filiale). Il s'occupe de la conception et des études détaillées de projets en Inde et dans d'autres pays d'Asie. Il est avec quelques collègues expatriés comme lui et encadre des équipes indiennes dynamiques d'ingénieurs et de projecteurs. « À Paris, je n'aurais pas autant de contact avec le chantier, reconnaît celui dont c'est la première longue expérience à l'international. En France, vous avez, par exemple, un superviseur études, un contrôleur de travaux, et personne ne déborde de son rôle. Ici, je suis amené à élargir mes fonctions tout en restant dans certaines limites ».



→ Pont extradossé pour le métro de New Delhi

Georges Mauris consacre l'autre partie de son temps au chantier du pont de Moolchand. L'ouvrage franchit un carrefour très fréquenté de New Delhi. Il supportera deux voies de la future ligne violette du métro entre le sud de la capitale et son centre-nord. C'est une des quatre lignes actuellement en construction qui ajouteront 75 km aux 65 km existants. À l'horizon 2020, le réseau parcourra 350 km. Ce pont extradossé a été conçu par Systra pour la société Delhi Metro Rail Corporation. Il s'agit d'un ouvrage en béton précontraint à voussoirs préfabriqués de trois travées (51, 66 et 51 m). Le tracé en plan est courbe sur une partie de la longueur du pont. Le caisson mesure 2 m de haut. Les câbles extradossés sont placés entre les deux voies et sont déviés par des selles sur les

Les calculs du pont extradossé sur la future ligne de métro violette de New Delhi sont constamment remis à jour pour s'adapter aux méthodes de construction et au matériel utilisé.

pylônes. Ils sont constitués par des haubans pour pallier la fatigue. Les problèmes de vibration sont traités par les « friction dampers » de VSL. « Nous mettons à jour les calculs au fur et à mesure de l'avancement du chantier, précise-t-il. Il faut s'adapter aux méthodes de construction. Nous devons trouver la juste mesure entre la précision que demande la réalisation d'un ouvrage complexe et le pragmatisme local (matériel disponible

et façons de faire). Nous rencontrons beaucoup nos clients pour expliquer nos calculs, donner des conseils et les soutenir sur le chantier. Notre but est de réaliser un ouvrage conforme au design d'origine ».

→ **Prendre le projet à bras le corps**
Autre intérêt du poste de Georges Mauris : intervenir à la fois sur chantier et en conception. « En France, on se repose plus sur les maîtres compagnons très expérimentés pour mener à bien la réalisation, indique-t-il. Ici, il faut prendre le projet à bras le corps, car chaque étape peut être critique. Nous sommes beaucoup plus moteurs auprès de l'équipe de chantier ». L'ingénieur vient d'accepter de renouveler sa présence en Inde pour un an. Une fois le pont de New Delhi terminé, à la fin de cet été, il se consacrera entièrement à la conception d'autres ouvrages sur la zone Asie. □



TÉMOIGNAGE 2 ROLA RAAD

AGE : 28 ans

FONCTION : Ingénieure méthodes

ENTREPRISE : VINCI Construction Grands Projets

PAYS : Qatar



C'EST UN PRIVILÈGE DE PARTICIPER À L'ÉMERGENCE DE GRANDS ET BEAUX PROJETS



© MEHDI GHASSEMI/QDVC

Difficile de faire plus cosmopolite : dans une même journée, Rola Raad peut discuter avec des Indiens ou des Pakistanais, ouvriers du chantier, des Philippins nombreux dans les bureaux, des Français et des Anglais pour l'encadrement, et des Égyptiens et des Libanais, à la tête des entreprises sous-traitantes. L'ingénieure méthodes sur le projet de métro-tramway, le « Light Rail Transit System » (LRT), pour la ville nouvelle de Lusail au Qatar, rencontre rarement directement des Qataris, décisionnaires mais minoritaires dans la population. Elle fait partie de la centaine d'expatriés en poste chez QDVC⁽¹⁾, société à capitaux détenus à 51 % par Qatari Diar et à 49 % par VINCI Construction Grands Projets.

Rola Raad a été embauchée en 2005 chez VINCI Construction Grands Projets dont les chantiers se situent, pour la plupart, à l'international. « J'avais effectué un de mes stages à l'étranger chez VINCI pendant mes études d'ingénieure en génie civil et urbanisme à l'Insa⁽²⁾ de Lyon et les projets de mon cursus se situaient aussi hors de France, précisée-elle. Depuis que j'ai rejoint le groupe, j'ai travaillé six mois en Russie sur un

projet de centre commercial, je suis rentrée huit mois au siège, puis je suis repartie en Écosse sur un pont près d'Edimbourg et à l'agence de Londres ». Au Qatar où elle est arrivée en octobre 2008, le LRT n'est pas son premier projet. Elle a contribué aux études du parking de l'hôtel Sheraton. Puis, avant le chantier de Lusail, elle prend part, à partir de Doha, capitale du pays, à la conception et à l'approvisionnement en matériel de villas en Erythrée.

Aujourd'hui, elle participe à la phase des excavations du futur LRT de la ville nouvelle située en bord de mer. Ce chantier comprend le terrassement en déblais, le rabattement de nappes, la sécurisation par des clôtures et des merlons, des ponts provisoires pour maintenir les réseaux au-dessus de la zone d'excavation. Le LRT combine un métro et un tramway. Les tranchées en cours seront remblayées pour former les tunnels du métro (6,6 km). Puis celui-ci émerge et devient tramway sur 22 km.

→ Ouverture et adaptation au quotidien

« Je suis responsable des méthodes, en charge entre autres d'une équipe de projeteurs pour émettre les plans

Rola Raad est ingénieure méthodes sur le chantier de métro-tramway de la ville nouvelle de Lusail. Elle apprend des techniques propres aux excavations dans des sols sablonneux, notamment celles de soutènement des parois de la fouille.

destinés à la production (chantier), explique celle qui a également obtenu un mastère en stratégie et pilotage d'opérations à l'École supérieure de commerce de Paris.

À partir du projet initial, je dois imaginer des solutions techniques viables et les traduire graphiquement.

Je les présente et les défends devant le client, nous intégrons ses souhaits, s'il en a, et transmettons à l'équipe de travaux. Je travaille aussi en relation avec le bureau d'études géotechnique qui produit des calculs et des recommandations pour les soutènements des parois de la fouille en cours de travaux. Enfin, je m'assure que ce qui est construit correspond à ce qui a été

conçu, avec des géomètres qui contrôlent régulièrement que les niveaux et la géométrie sont bien respectés ». L'expérience à l'étranger de Rola Raad remonte à son enfance.

D'origine libanaise, elle a vécu avec sa famille en France, aux États-Unis, a passé son bac au Liban. Comme quand elle était enfant, elle aime « expérimenter la différence, s'adapter à un nouvel environnement.

Être à l'étranger régénère le regard, ajoute-t-elle, c'est une leçon d'ouverture et d'adaptation au quotidien. Je me considère comme l'invitée de passage dans le pays d'accueil, je respecte leur culture et leur façon de travailler ».

→ Excavations en bordure de mer

Elle s'étonne de l'ampleur du chantier où elle exerce actuellement, et du nombre de grands et beaux projets - tours, villes nouvelles, parkings souterrains, stations de pompage - dans ce petit pays qui ne cesse de gagner sur la mer. « C'est un privilège de participer à l'émergence de ce genre d'ouvrages, » confie-t-elle. C'est la première fois qu'elle est ingénieure méthodes. En Grande-Bretagne, elle occupait un poste d'ingénieure travaux.

« J'apprends aussi beaucoup en géotechnique. Nous excavons à une profondeur de 20 m à quelques mètres de la mer dans des terrains sablonneux. J'apprends comment retenir la tranchée, pomper l'eau, rabattre la nappe, comment dimensionner les solutions de soutènement ».

La phase des excavations du LRT se termine.

Rola Raad prévoit de rester au Qatar plusieurs années, le temps de mener à bien la suite du projet.

Elle a participé au chiffrage du coût de l'étape suivante : rails, travaux en surface des couches constitutives des rails et viaduc au-dessus d'une autoroute. □

(1)- À Lusail, QDVC travaille sur quatre parkings souterrains de 560 places, 4 lignes de tramway (29 stations) avec un viaduc sur autoroute et un dépôt-atelier des rames.

(2)- Institut national des sciences appliquées. Elle obtient aussi un DEA à l'Institut d'urbanisme de Lyon.



© DINA DASKALAKI

TÉMOIGNAGE 3 OLIVIER BOURCIER

AGE : 30 ans
FONCTION : Ingénieur structures
ENTREPRISE : Setec TPI
PAYS : Grèce

« JE VÉRIFIE QUE LA CONCEPTION
DES OUVRAGES D'ART
CORRESPOND AU CONTRAT »

Olivier Bourcier de Setec TPI travaille depuis un an et demi, en Grèce, au sein d'une équipe d'ingénieurs chargés de la mission d'Independent engineer sur un projet autoroutier en concession, mission confiée jusqu'en 2014 à l'entreprise française associée à la société grecque Salfo.

Elle occupe une quarantaine de personnes - en majorité grecques - dont huit employés Setec.

L'État grec a confié à Olympia Odos la concession - financement, conception, construction, exploitation et maintenance - de l'autoroute au Nord et à l'Ouest du Péloponnèse (Sud de la Grèce).

Olympia Odos rassemble Vinci, Hochtief (Allemagne) et trois sociétés grecques : Aktor, J&P Avax, Tema.

Le projet s'élève à 2,5 milliards d'euros. Le contrat inclut l'obligation de faire certifier par une structure indépendante (Independent engineer) la conformité de la réalisation aux exigences de départ.

→ Interfaces entre structures

L'autoroute de 365 km comprend 19 km de tunnels, une quinzaine de tranchées couvertes, plus de 300 ouvrages d'art, plusieurs centaines d'ouvrages hydrauliques et murs de soutènement, des bâtiments, péages et équipements autoroutiers.

« Personnellement, je vérifie que la conception des ouvrages d'art, sauf les tunnels, répond au cahier des charges, explique l'ingénieur en structures.

Le contrat définit des règles de bonne conception mais il n'y a pas de solution d'ouvrage prédéfinie. L'entreprise est libre de choisir la sienne. Il s'agit d'un monitoring plus que d'un contrôle hyper précis. Avec mes collègues, nous ne soulevons que les points qui posent problème parce qu'ils ne correspondent pas au contrat, indiquons là où cela achoppe et là où des améliorations sont possibles. Je dois aussi m'assurer de la bonne prise en compte de toutes les interfaces lors de la conception des différentes structures ».



© JULIA GIOTISETEC TPI

Des codes de construction de différents pays sont appliqués sur le chantier de l'autoroute de l'Ouest du Péloponnèse.

L'ingénieur en génie civil sorti de l'École nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), note des façons différentes de travailler. Setec, dont le métier est la maîtrise d'œuvre, a une vision d'ensemble. Les tâches dévolues aux bureaux d'études locaux sont les études de détail, selon les codes de construction allemands appliqués dans le pays.

« Le règlement grec prévoit un code spécifique pour les calculs aux séismes, et le consortium de construction applique une méthodologie avancée concernant la prise en compte des multiples failles actives traversées par l'autoroute, » observe Olivier Bourcier.

→ Chantier avec maintien de la circulation

Le chantier se déroule avec maintien de la circulation sur certaines zones car ce nouvel axe reprend en partie des routes existantes. Les premiers 60 km,

déjà au format autoroutier, sont remis à niveau. Plus loin, en direction de l'ouest, les 120 km entre Corinthe de Patras (grand port vers l'Italie) suivent le tracé d'une route nationale très fréquentée, à deux sens sans séparation centrale, dangereuse. Au-delà de Patras, un nouveau tronçon sera construit vers Pyrgos, au sud, contournant le massif montagneux par l'ouest. Enfin, le tracé longe la côte et revient vers l'intérieur du Péloponnèse, avec transformation d'une route nationale, pour rejoindre l'autoroute Tripoli-Corinthe.

C'est la première mission d'Olivier Bourcier à l'international avec Setec où il a été embauché il y a plus de cinq ans. « Un intervenant à l'ENPC avait souligné qu'il valait mieux commencer sa carrière dans son pays car on apprend plus vite et plus solidement les bases techniques dans sa langue, relate-t-il. Mais j'avais pris goût à l'international lors d'un premier stage en Angleterre puis avec Vinci en Irlande pendant mon année de césure. Ensuite, j'ai obtenu un Master of science, spécialité structures, à l'Imperial College de Londres ».

→ Ne pas me limiter à ce que j'ai appris

Qu'est-ce qui le motive à travailler à l'étranger ? « Être dans un autre pays démultiplie l'expérience au niveau personnel et professionnel, confie-t-il. Il faut se faire comprendre. Je découvre d'autres façons de procéder, d'argumenter ».

Olivier Bourcier remarque qu'il ne faut pas arriver avec des préjugés ni des solutions toutes faites mais s'ouvrir aux propositions des autres : « Je suis plutôt quelqu'un qui entre dans les détails. Là, je suis amené à ne pas me limiter à ce que j'ai appris par le passé et à vérifier que les alternatives proposées remplissent la même fonctionnalité. Ensuite, le second point important est de réussir l'intégration dans une équipe de culture différente. Je prends des cours de grec. Je ne suis pas là pour donner des leçons mais pour apprendre au contact des équipes travaillant sur le chantier ».

Pour la même raison, il évoque pas spontanément avec les autres collègues la crise que traverse le pays même s'il sent que certains sont angoissés. □

LE « LABEL CANALISATEUR » VERSION 2010

PAR MARC MONTAGNON

CANALISATEURS DE FRANCE (1) VIENT DE LANCER LA VERSION 2010 DE SON LABEL DONT L'UN DES OBJECTIFS EST DE RELEVER LE NIVEAU DE QUALITÉ DES TRAVAUX EFFECTUÉS PAR LES ENTREPRISES AUXQUELLES IL EST DÉLIVRÉ.

Créé en 1990, la première version du label « canalisateur » privilégiait la qualité des ouvrages ou le respect des règles de l'art. Pour l'obtenir, le dossier ISO faisait foi.

Depuis deux ans, indique Philippe Goulley, membre de la commission « Label canalisateur » de Canalisateurs de France, le « ressenti des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre » l'a poussé à réviser les critères d'attribution. Le nouveau label tient compte de ce ressenti.

Désormais, les enquêtes d'appréciation lancées préalablement auprès des donneurs d'ordres, font la différence. Délivrée par une commission paritaire indépendante de la représentation locale de l'entreprise candidate, elle atteste de son professionnalisme dans le domaine de la pose ou de la réhabilitation de canalisations.

QUATRE SPÉCIALITÉS

Les entreprises peuvent l'obtenir dans quatre spécialités :

- Réseaux d'eaux,

- Réseaux d'assainissement,
- Réseaux de gaz ou fluides divers sous pression,
- Réhabilitation des canalisations sans tranchée.

Chaque spécialité est déclinée en quatre niveaux : platine, or, argent et bronze.

Véritable carte d'identité de ces entités, le label est accordé pour une durée de 3 ans en fonction des spécialités de l'entreprise.

Pour l'obtenir, les entreprises candidates font l'objet d'une étude indépendante qui garantit aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre un savoir-faire professionnel unique dans la pose et la réhabilitation de canalisations de qualité.

Elle présente un dossier dans lequel elle décrit son organisation et justifie l'exécution de travaux permettant d'obtenir une identification professionnelle. Au travers de ce dossier, les entreprises prouvent leur respect des engagements du « Label canalisateur » dans les domaines de la qualité, de la sécurité, de la protection de l'environnement et de la formation du personnel.

1- Descente d'une canalisation dans la tranchée.

2- Calage et réglage du tuyau de PVC en fond de tranchée.

UN CHANTIER DE RÉFÉRENCE

À l'occasion du lancement du nouveau label, Canalisateurs de France a organisé une visite de chantier dans le cadre des travaux de mise en œuvre d'un réseau de récupération des eaux pluviales dans le domaine national de Versailles (78). L'objectif était de démontrer in situ la compétence d'une entreprise exemplaire dans le domaine des travaux de canalisation.

Sobeia Environnement les réalise dans le cadre d'optimisation du réseau d'évacuation des eaux pluviales d'une partie du corps central de l'aile nord du château. Il s'agit essentiellement d'une mise en séparatif, avec récupération des eaux pluviales, afin d'alimenter le bassin de Neptune. Cette méthodologie de réutilisation d'une eau autrefois rejetée dans le réseau public s'inscrit tout naturellement dans le cadre d'une démarche de développement durable. Les eaux pluviales récupérées proviennent de 2 416 m² de voirie et de 1 570 m² de toitures et cours, pour un débit à évacuer de 532 l/s par un tuyau PVC de diamètre 574,8/630 mm.

Ces eaux de pluie, oxygénées, envoyées vers le bassin de Neptune, lui-même raccordé au Grand Canal puis au ru de Gally, outre l'intérêt écologique de l'opération, permettent également la décompression de la station d'épuration en cas d'orage. □

(1)- Organisation professionnelle membre de la FNTF.



1



2

EN GUYANE, EMCC VOLE AU SECOURS DU PONT DU LARIVOT

AUTEUR : BERNARD SIGROS, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE, EMCC

LORSQUE S’AFFAISSE LE CHEVÊTRE D’UNE PILE DU PONT RELIANT CAYENNE ET KOUROU, EN GUYANE, IL FAUT AGIR VITE POUR RÉTABLIR LA CIRCULATION DANS LE PAYS. EMCC, FILIALE DE VINCI SPÉCIALISÉE EN TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX, PROPOSE UNE SOLUTION DE CONFORTEMENT DE TYPE « MÉCANO », PRÉPARÉE EN FRANCE, ACHEMINÉE PAR AVION PUIS ASSEMBLÉE SUR PLACE. LE PONT SERA FINALEMENT ROUVERT AVEC 19 JOURS D’AVANCE SUR LE PLANNING.

ASSURER LA LIAISON CAYENNE-KOUROU

En Guyane, le pont du Larivot traverse la rivière de Cayenne, large de plus d’1,2 km. Il assure ainsi la liaison entre Cayenne en rive droite et Kourou en rive gauche. Il est constitué de 35 travées de 35 m de longueur unitaire.

Chacune des piles consiste en un chevêtre parallélépipédique en béton armé qui repose sur six pieux métalliques inclinés remplis de béton et descendus à travers la vase jusqu’au substratum rocheux sur lequel ils prennent appui. À la suite d’un choc, d’un affouillement du fond de la rivière ou du glissement du pied d’un des pieux sur le rocher, le chevêtre de la pile n° 13 s’affaisse soudainement, entraînant le tablier dont le bord côté amont descend de plus de 20 cm. Présents en Guyane, les plongeurs d’EMCC mènent les investigations subaquatiques qui mettent

en évidence la rupture totale du pieu extérieur amont, tandis que deux autres pieux présentent des pliures pouvant à tout moment conduire à la rupture complète de la pile n° 13.

ROUVRIR L’OUVRAGE LE PLUS VITE POSSIBLE

La DDE de Guyane, assistée par le Setra et le CETE de Rouen, décide, le 25 novembre 2009, de fermer le pont à toute circulation : la Guyane est dorénavant coupée en deux ! Le 1^{er} décembre, le Setra convoque les principales entreprises françaises de travaux publics à une table ronde au cours de laquelle, après présentation du problème, il invite les participants à faire part de leurs propositions techniques de confortement. Vinci construction est représenté à cette réunion par les spécialistes ouvrages d’art de Vinci Construction Grands Projets, assistés notamment par EMCC, filiale de



« LES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE SONT RÉASSEMBLÉS SUR PLACE PAR BOULONNAGE, MIS À L’EAU ET TRANSPORTÉS PAR REMORQUAGE EN FLOTTAISON JUSQU’À LA PILE N° 13 DU PONT »

Vinci spécialisée en travaux maritimes et fluviaux. Dès le 4 décembre, la direction technique d’EMCC soumet une étude de faisabilité au Setra, qui en accepte les principes généraux.

Suivent deux réunions avec le Setra pour une rapide mise au point technique, puis, le 16 décembre, la signature du contrat par le directeur départemental de l’équipement de Guyane, Luc Federman, venu spécialement à Paris dans ce but. Le contrat prévoit un délai de réalisation très court : l’ouvrage doit rouvrir à la circulation le 3 avril au plus tard ; de lourdes pénalités seraient à supporter en cas de non-respect de cette date.

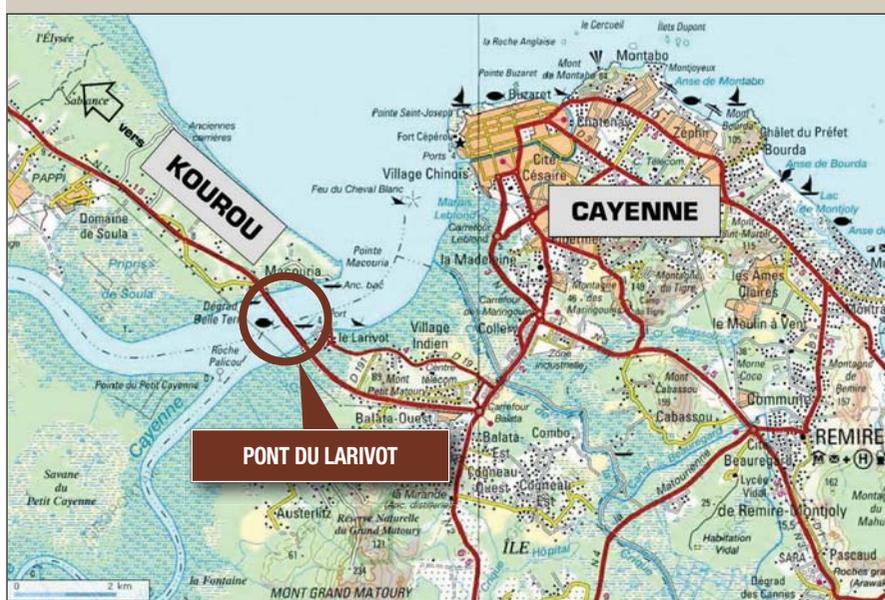
ACHEMINER LES STRUCTURES PAR BATEAU

La solution de confortement proposée consiste en un ensemble de structures métalliques conçues comme un « mécano », entièrement préparé en



PLAN DE SITUATION

2



France, assemblé à blanc puis acheminé en Guyane, par bateau ou par avion, pour les éléments de la structure ou les matériels indispensables aux premières phases de travaux.

Les éléments de structure sont réassemblés sur place par boulonnage, mis à l'eau et transportés par remorquage en flottaison jusqu'à la pile n° 13 du pont. La mise en œuvre est réalisée à l'aide de moyens nautiques. Les différentes parties de l'ouvrage sont :

→ Deux structures en forme de quadripodes, stabilisées chacune sur le fond rocheux de part et d'autre du tablier au moyen de quatre pieux métalliques.

Les efforts de traction auxquels sont soumis les pieux sous certaines combinaisons d'actions sont équilibrés au moyen de racines : barres métalliques scellées dans des forages réalisés au marteau fond de trou dans le rocher à la base des pieux ;

1- Réparation terminée.

2- Plan de situation.

1- Completed repairs.

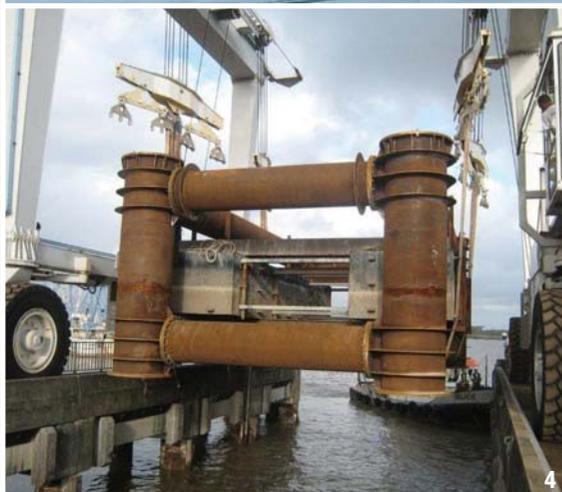
2- Location drawing.

MOYENS MIS EN ŒUVRE ET PHASAGE DU PROJET

- Au bureau d'études d'EMCC, consolidation d'un avant-projet détaillé permettant de préciser l'ensemble des méthodes de réalisation, et de terminer les plans d'exécution du premier quadripode avant le **25 décembre 2009** ;
- Démarrage, le **26 décembre 2009**, de la construction du premier quadripode dans les ateliers de l'entreprise ACCMA, à Autun (Saône-et-Loire) ;
- **Début janvier 2010** : mobilisation du matériel nautique présent en Guyane ;
- **14 et 15 janvier 2010** : à l'aéroport de fret de Paris-Vatry, chargement dans un avion cargo Antonov du premier quadripode et de l'ensemble des matériels nécessaires à la mise en œuvre de celui-ci, soit, au total, 90 t de matériel, dont les caissons nécessaires à la mise en flottaison de la structure du quadripode ;
- **16 janvier 2010** : arrivée du premier quadripode en Guyane ;
- **9 février 2010** : la mise en œuvre du premier quadripode est terminée. Arrivée par bateau du second quadripode ;
- **3 mars 2010** : la mise en œuvre du second quadripode est terminée. Arrivée par bateau des poutres et traverses, ainsi que du matériel nécessaire à la réalisation des opérations de levage et de vérinage ;
- **9 et 10 mars 2010** : levage et mise en place des poutres sur les quadripodes. Ripage des traverses sous le chevêtre ;
- **14 mars 2010** : prise en charge du tablier par vérinage. Calage définitif des poutres sur les quadripodes ;
- **15 mars 2010** : fin des travaux. Livraison de l'ouvrage au client ;
- **16 mars 2010** : remise en circulation du pont avec 19 jours d'avance sur le planning contractuel.



3



4

- 3- Chargement de l'Antonov à Vatry.
- 4- Mise à l'eau d'un quadripode.
- 5- Remorquage d'un quadripode.
- 6- Installation des pieux du premier quadripode.
- 7- Amenée d'une poutre sur un ponton.
- 8- Reprise de la charge du tablier par vérinage.

- 3- Loading the Antonov at Vatry.
- 4- Placing a quadripod structure in the water.
- 5- Towing a quadripod structure.
- 6- Installing the piles of the first quadripod structure.
- 7- Bringing in a beam on a ponton.
- 8- Deck load supported by jacking.



5



6

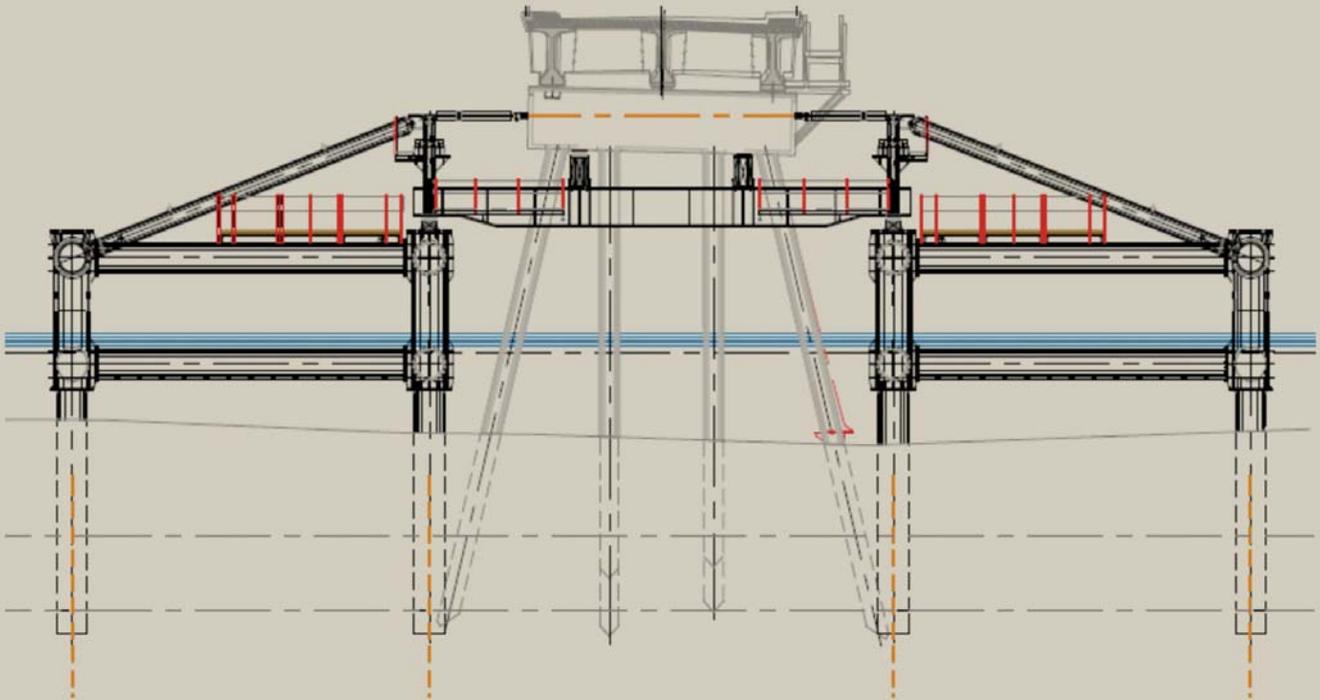


7



8

COUPE TRANSVERSALE DU PROJET



→ Un chevalet métallique sur chacun des deux quadripodes, qui permet d'étayer horizontalement le chevêtre de la pile ;

→ Deux poutres d'environ 17 m de long sont disposées transversalement sous le tablier, de part et d'autre du chevêtre ; elles prennent appui sur les quadripodes ;

→ Deux traverses, placées selon le sens longitudinal du pont, sont calées sous le chevêtre de la pile et prennent appui sur les deux poutres principales. L'ensemble poutres et traverses est amené au contact du chevêtre au

moyen de vérins hydrauliques placés entre les quadripodes et les poutres principales.

Puis une précharge, correspondant à environ la moitié de la charge permanente supportée par la pile, est appliquée avant de procéder au calage définitif des poutres sur les quadripodes.

Afin d'atteindre les objectifs, des moyens conséquents ont été mobilisés par les quatre membres du groupement : Balineau, EMCC, Sogea Guyane (tous trois filiales de Vinci construction) et ETPO (voir encadré : Moyens mis en œuvre et phasage du projet). □

LES ACTEURS DU CHANTIER

MAÎTRE D'OUVRAGE : DDE de Guyane

MAÎTRE D'ŒUVRE ET CONTRÔLE : Setra et CETE de Rouen pour le visa des documents d'exécution ; DDE de Guyane pour le contrôle des travaux

CONCEPTION, ÉTUDES, MÉTHODES, ENSEMBLIER DE L'OPÉRATION : EMCC

GROUPEMENT DE TRAVAUX : Balineau, EMCC, ETPO, Sogea Guyane

SOUS-TRAITANTS : Freyssinet (levage des poutres et vérinage du chevêtre), Berthold, assisté d'Accma (structures métalliques principales)

ABSTRACT

IN FRENCH GUIANA, EMCC QUICKLY COMES TO THE AID OF LARIVOT BRIDGE

BERNARD SIGROS - EMCC

When a pier cap collapsed on the bridge linking Cayenne and Kourou, in French Guiana, fast action was required to restore traffic in the country. EMCC, a Vinci subsidiary specialised in offshore and river works, proposed a «meccano» type consolidation solution, prepared in France, transported by boat and then assembled on site. The bridge would finally be re-opened 19 days ahead of schedule. □

EN LA GUAYANA FRANCESA, EMCC VUELA PARA PRESTAR SU AYUDA AL PUENTE DEL LARIVOT

BERNARD SIGROS - EMCC

Quando se hundió el brochal de un pilar del puente que une Cayena y Kourou, en la Guayana Francesa, hubo que actuar rápidamente para restablecer la circulación en el país. EMCC, filial de Vinci especializada en trabajos marítimos y fluviales, propuso una solución de consolidación de tipo «mecano», preparada en Francia, transportada por barco y ensamblada in situ. Finalmente el puente volvió a abrirse con 19 días de antelación respecto al planning. □

MÉTRO DE DELHI : CONSTRUCTION D'UN VIADUC PAR TRAVÉES ENTIÈRES PRÉCONTRAINTES

AUTEURS : JEAN-CHARLES VOLLERY, ABDELGHANI MHEDDEN ET SHAHID MOHAMMAD, SYSTRA INDIA, DELHI

LA DELHI METRO RAIL CORPORATION (DMRC) A ENTREPRIS MI-2007 LA CONSTRUCTION DE LA LIGNE DE MÉTRO EXPRESS DESSERVANT L'AÉROPORT, POUR ASSURER AUX VOYAGEURS UNE CONNEXION RAPIDE, FIABLE, MODERNE ET INTÉGRÉE ENTRE LA PLACE CONNAUGHT ET L'AÉROPORT INTERNATIONAL INDIRA GANDHI. ALORS QUE L'ESSENTIEL DE LA LIGNE EST SOUTERRAINE, LE LOT C2, DE LA ROUTE VANDE MATRAM JUSQU'À PALAM, EST AÉRIEN SUR UN VIADUC FERRÉ. AFIN D'ACHEVER LA CONSTRUCTION DU VIADUC EN 16 MOIS, LE CONCEPT DE CONSTRUCTION PAR TRAVÉES ENTIÈRES A ÉTÉ CHOISI DE MANIÈRE À ACCÉLÉRER LA FABRICATION ET LE MONTAGE DU TABLIER, PAR RAPPORT À LA CONSTRUCTION PAR VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS UTILISÉE SUR LES AUTRES VIADUCS DE LA DMRC. CET ARTICLE PRÉSENTE LES AVANTAGES ET LES PRINCIPES TECHNIQUES DE CETTE SOLUTION.





MÉTRO À GRANDE VITESSE

Le lot C2 s'étend sur environ 7 km. Il commence à Vande Mataram Road, franchit le périphérique et le passage supérieur de Dhaula Kuan, survole l'autoroute NH-8 et se termine à l'aéroport. Il s'agit d'un système de métro à grande vitesse atteignant 140 km/h en service, constitué de wagons de 25 m de long ayant chacun quatre essieux de 17 t. Le train roule sur de longs rails

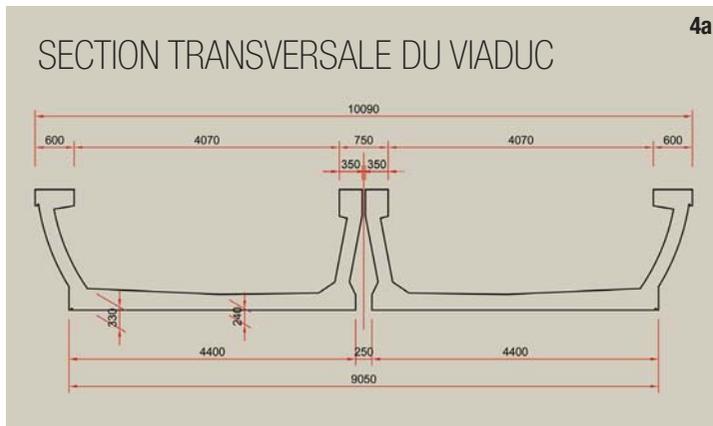
soudés, supportés par des voies non ballastées posées sur le tablier. Comme c'est une ligne express, il y a peu de stations, et une seule sur le lot C2, au passage supérieur de Dhaula Kuan. DMRC a attribué la construction de ce lot à IJM à la fin de l'année 2007, sur la base d'une offre reposant sur les quantités. Le projet de consultation et la conception détaillée du génie civil ont été réalisés par Systra.

CONSTRUCTION PAR TRAVÉE ENTIÈRE

La méthode traditionnelle des viaducs du métro de Delhi recourt à des voussoirs préfabriqués. Les travées sont constituées de voussoirs d'environ 3 m de longueur réalisés sur une aire de préfabrication. Les voussoirs sont ensuite transportés, levés, assemblés et connectés entre eux par une précontrainte provisoire (photo 2).

Même si elle convient aux sites urbains, la méthode de construction à l'avancement impose de réaliser certaines tâches sur place, notamment : l'encollage et l'assemblage des voussoirs par barres de précontrainte provisoires ; l'enfilage des torons de précontrainte à l'intérieur des gaines ; la mise en tension des câbles à l'extrémité des travées et l'injection des gaines (photos 3a et 3b).

Ces travaux, qui font partie du cycle de construction de la travée, prennent du temps et sont réalisés sur site avec un contrôle qualité réduit par rapport aux travaux réalisés sur l'aire de préfabrication. La méthode de construction par travée entière, quant à elle, consiste à préfabriquer le tablier en un tronçon sur l'aire de préfabrication. Il est alors impossible de préfabriquer et de mettre en place un tablier complet supportant les deux voies, car il serait trop large et trop lourd à transporter. Le tablier doit donc être séparé en deux éléments supportant chacun une voie.



1- Viaduc en cours de construction.

2- Viaduc standard du métro de Delhi par voussoirs préfabriqués.

3a & b- Mise en tension de la précontrainte provisoire et des câbles définitifs.

4a- Section transversale du viaduc.

4b- Poutres en U préfabriquées.

1- Viaduc undergoing construction.

2- Standard viaduct of the Delhi metro with prefabricated segments.

3a & b- Tensioning of the temporary pre-tensioning system and final cables.

4a- Cross section of the viaduct.

4b- Prefabricated U-beams.

BANCS DE PRÉFABRICATION

Le tablier du viaduc de la liaison avec l'aéroport est constitué de deux poutres préfabriquées en forme de U précontraintes par pré-tension. La section est constituée de deux membrures supérieures situées au niveau de la plateforme, de deux âmes et d'un hourdis inférieur supportant la voie. La section transversale est constante le long de la travée, sans épaissement aux extrémités. La longueur totale de la travée est de 25 m (figure 4a et photo 4b).

Les poutres en U sont préfabriquées sur un banc de grande longueur : le banc de préfabrication est constitué de cinq cellules de 25 m de long chacune, où sont préparées cinq travées entières de poutre en U coulées en une seule fois (photo 5a). Le banc est muni d'un ▷

BANC DE PRÉFABRICATION

5b



5a- Les poutres en U sont préfabriquées sur un banc de grande longueur.

5b- Banc de préfabrication.

6- Préfabrication des cages d'armatures.

7- Mise en place d'une cage d'armatures.

8- Ancre passif.

9- Ancre actif.

10- Vérins de mise en tension côté actif.

5a- U-beams are prefabricated on a large bench.

5b- Prefabrication bench.

6- Prefabrication of reinforcement cages.

7- Installation of a reinforcement cage.

8- Non-prestressed anchor.

9- Prestressed anchor.

10- Tensioning jacks on prestressed side.



5a



6



7



8



9



10

dispositif de mise en tension à une extrémité et d'une poutre de blocage du côté passif. La mise en tension des torons pour les cinq poutres est réalisée en une seule fois (figure 5b).

La section en forme de U est ouverte, ce qui facilite et accélère la fabrication de la poutre. Par rapport à un profil fermé, le profil ouvert simplifie notamment : la préfabrication des cages d'armatures, l'ajustement du ferrailage après instal-

lation dans le coffrage, la mise en place des torons, le bétonnage des poutres en U, la fabrication et la manutention des coffrages intérieurs (photos 6 et 7).

TECHNIQUE DE PRÉCONTRAÎNTE

La précontrainte repose sur des torons individuels. Tous sont rectilignes, horizontaux et situés dans le hourdis inférieur, sous les âmes de la poutre en U. Il n'y a aucune déviation des câbles

aux extrémités. Mais, pour éviter les contraintes de traction excessives aux abouts de la poutre pendant la construction, une partie des torons est gainée sur les deux premiers mètres à l'aide de gaines en PEHD. La précontrainte est réalisée en deux étapes.

D'abord, chaque toron est mis en tension du côté passif à l'aide d'un vérin monotoron à environ 10 % de la tension initiale, pour éviter tout jeu dans les

torons. Ensuite, la force restante est mise en tension du côté actif en utilisant une poutre métallique rigide, où les torons sont ancrés à l'aide de clavettes. La poutre glisse longitudinalement sur un complexe plaque en inox-téflon jusqu'à l'allongement requis des torons. Elle est tirée à l'aide de quatre barres de précontrainte mises en tension par des vérins individuels (photos 8, 9 et 10). La méthodologie de préfabrication ne



11



12



13



14



15



16

11- Installation et fermeture des coffrages intérieurs.

12- Stockage des travées.

13- Remorque articulée pour le transport des travées.

14- Transport de la travée préfabriquée.

15- Pose d'une travée.

16- Chevêtre de pile préfabriqué.

11- Installing and closing internal formwork.

12- Storage of spans.

13- Articulated trailer for transporting the spans.

14- Prefabricated span transport.

15- Placing a span.

16- Prefabricated pier cap.

CYCLE DE BÉTONNAGE POUR UNE LIGNE DE CINQ POUTRES EN U

- 1- Préparation des coffrages (nettoyage, huilage...);
- 2- Installation des cages d'armatures dans le coffrage. Les cages sont préparées séparément et installées en un tronçon dans le coffrage (25 m de long);
- 3- Enfilage des torons dans le coffrage, à travers des masques;
- 4- Installation et fermeture des coffrages intérieurs (photo 11);
- 5- Ajustement du ferrailage et mise en place des cales d'espacement;
- 6- Mise en tension des torons en deux étapes : côté passif, mise en tension des torons un par un à l'aide d'un vérin monotoron (environ 2 t par toron), puis mise en tension de la force restante à l'aide des vérins tirant la poutre;
- 7- Bétonnage;
- 8- Cure du béton. La résistance du béton nécessaire pour le transfert est de 35 MPa (résistance en compression sur cube);
- 9- Mise en précontrainte de l'élément, coupage des torons entre éléments, enlèvement du coffrage intérieur et levage de la poutre en U pour stockage (photo 12).

nécessite pas de procédures élaborées ou de coffrages compliqués, tant que la poutre reste uniforme sur toute la longueur de la structure. Ces procédures simplifiées permettent un cycle de préfabrication de cinq poutres en U en six jours par banc, soit dix poutres en six jours pour deux bancs. Il est ainsi possible de réaliser 25 travées par mois, soit 625 m de tablier pour un banc de préfabrication standard, résultat qui ne peut être atteint avec un procédé de construction par voussoirs préfabriqués.

MISE EN PLACE DES TRAVÉES

Avec la méthode de construction par travée entière, les opérations consommatrices de temps sont supprimées (assemblage, barres de précontrainte provisoires, encollage...). Seuls le

levage et la mise en place des éléments préfabriqués restent nécessaires.

Les éléments de travée sont transportés de l'aire de préfabrication jusqu'au chantier à l'aide d'une remorque constituée de deux plateaux, un à chaque extrémité de la poutre en U.

La remorque est articulée avec des charnières permettant de prendre des virages serrés (40 à 50 m de rayon) pendant le transport (photos 13 et 14). Différentes méthodes de levage peuvent être utilisées pour les travées entières : à l'aide de deux grues ou par des dispositifs de levage en appui sur les piles.

La méthode choisie pour ce chantier repose sur un levage à l'aide de deux grues et la pose sur les chevêtres de pile. Le cycle de pose est d'un jour pour une travée, au lieu de trois jours pour la construction par voussoirs (photo 15). ▷

PRÉFABRICATION DES CHEVÊTRES DE PILE

Une réduction supplémentaire du délai de construction a pu être obtenue grâce à la préfabrication des chevêtres de pile. En général, les chevêtres sont coulés en place à l'aide d'échafaudages reposant au sol.

Sur le viaduc de liaison avec l'aéroport, ils sont préfabriqués. Le cycle de préfabrication est d'environ un jour par cellule. Les chevêtres sont stockés puis transportés vers le site par camion.

Ils sont connectés aux fûts de piles par un clavage en béton armé, après réglage en géométrie. Sur le chantier, le cycle de pose est d'environ une demi-

journée par chevêtre (photos 16, 17 et 18). L'exécution des travées entières et des chevêtres de pile sur des aires de préfabrication spécifiques conduit donc à une optimisation de la durée d'exécution et des coûts. Elle contribue aussi à augmenter la fiabilité et la sécurité, car la construction est réalisée dans un environnement contrôlé.

Ces solutions innovantes restent très simples et accessibles à un grand nombre d'entreprises. Le chantier de liaison à l'aéroport de Delhi constitue ainsi une nouvelle étape vers l'industrialisation des procédés de construction des viaducs pour les infrastructures ferroviaires ou routières (photo 1). □



17- Transport d'un chevêtre.
18- Travées posées sur le chevêtre.

17- Cap transport.
18- Spans placed on the cap.



CREDIT PHOTOS : © SYSTRA INDIA SAUF PHOTOS 12 ET 18 : © CHRISTO

ABSTRACT

DELHI METRO: CONSTRUCTION OF A VIADUCT WITH COMPLETE PRESTRESSED SPANS

JEAN-CHARLES VOLLERY, ABDELGHANI MHEDDEN ET SHAHID MOHAMMAD - SYSTRA INDIA, DELHI

In mid-2007, the Delhi Metro Rail Corporation (DMRC) undertook construction of the express metro line to the airport, to provide travellers with a quick, reliable, modern and integrated connection between Connaught Square and Indira Gandhi International Airport. While most of the line is underground, work section C2, from Vande Mataram Road to Palam, is elevated on a railway viaduct. In order to complete construction of the viaduct in 16 months, the complete span construction concept was chosen so as to speed up manufacture and assembly of the deck, by comparison with the prefabricated segment construction technique used on the DMRC's other viaducts. This article outlines the advantages and the technical principles of this solution. □

METRO DE DELHI: CONSTRUCCIÓN DE UN VIADUCTO POR TRAMOS ENTEROS PRETENSADOS

JEAN-CHARLES VOLLERY, ABDELGHANI MHEDDEN ET SHAHID MOHAMMAD - SYSTRA INDIA, DELHI

A mediados de 2007, la Delhi Metro Rail Corporation (DMRC) comenzó la construcción de la línea rápida de metro para poner en comunicación el aeropuerto y asegurar a los viajeros una conexión rápida, fiable, moderna e integrada entre la plaza Connaught y el aeropuerto internacional Indira Gandhi. Mientras que la mayor parte de la línea es subterránea, el lote C2, que va desde la carretera Vande Matram hasta Palam, es aéreo sobre un viaducto ferroviario. Con objeto de finalizar la construcción del viaducto en 16 meses, se optó por el concepto de construcción por tramos enteros, para acelerar la fabricación y el montaje del tablero, respecto a la construcción con dovelas prefabricadas utilizada en los otros viaductos de la DMRC. Este artículo presenta las ventajas y los principios técnicos de esta solución. □

AUTOROUTE MALIAKOS-KLEIDI EN GRÈCE : LE TUNNEL T1 ET LA RÉNOVATION AUTOROUTIÈRE

AUTEURS : MICKAEL URIEN, TUNNEL MANAGER, ET FRÉDÉRIC SCIBLO, PROJECT MANAGER, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

TROIS TUNNELS PERMETTRONT À TERME LE PASSAGE DE L'AUTOROUTE ATHÈNES-THESSALONIQUE DANS LES GORGES DE TEMPI. LE TUNNEL T1 EST LE PREMIER À ARRIVER AU TERME DE SON EXCAVATION. CE PROJET DE CONCESSION AUTOROUTIÈRE COMPREND EN OUTRE LA RÉNOVATION DE L'AUTOROUTE EXISTANTE, ACHEVÉE DEPUIS FÉVRIER 2010. NOUS REVENONS ICI SUR CETTE ÉTAPE CHARNIÈRE QUI, AU PLUS FORT DE L'ACTIVITÉ, AURA COMPTÉ JUSQU'À 1 000 PERSONNES POUR LA TOTALITÉ DES PARTENAIRES DU PROJET.



1- Entrée du tunnel T1 sur l'autoroute Maliakos-Kleidi (Athènes-Thessalonique).

1- Entrance of tunnel T1 on the Maliakos-Kleidi motorway (Athens-Thessalonica).

PERCEMENT DE TROIS TUNNELS

Le 23 mars 2010, après deux ans de travaux sur le projet Maliakos-Kleidi, en Grèce, a eu lieu le percement du tunnel T1 (figure 2). Le passage de l'autoroute Athènes-Thessalonique dans les gorges de Tempi nécessite la réalisation

de trois tunnels. T1, alloti à VINCI Construction Grands Projets pour 60 % du génie civil et 100 % de l'équipement électromécanique, est le premier à arriver au terme de son excavation. Il s'agit d'un bitube autoroutier de 2 km recevant deux voies de 3,75 m et une bande

d'arrêt d'urgence (figure 3). D'une durée de 48 mois, ce projet comprend, outre les tunnels, la rénovation de l'autoroute existante, dont 30 km pour le lot de VINCI Construction Grands Projets. La réception de cette partie des travaux est achevée depuis février 2010. Date

qui marque aussi, dans le tunnel, la fin du montage des équipements nécessaires à la réalisation des revêtements définitifs, ainsi que les premiers coulages de la voûte. La mise en service de l'ensemble est prévue pour mars 2012, mais profitons de cette étape charnière pour ▷



revenir sur sa réalisation qui, au plus fort de l'activité, aura compté jusqu'à 200 ouvriers sur site pour le lot VINCI Construction Grands Projets, et plus de 1 000 personnes pour la totalité des partenaires. Le projet Maliakos-Kleidi est une concession autoroutière de 245 km.

L'État grec est le concédant du projet. Les entreprises partenaires de la joint-venture sont Hochtief (39,5 %), Aktor (19,3 %), J&P Avax (15,7 %), VINCI (10,5 %), Aegtek (10 %) et Athena (5 %). Les 245 km comprennent 205 km de voiries existantes à réhabiliter et 40 km de voiries nouvelles à construire pour

permettre la traversée de la vallée de Tempi, épiceutre du projet. La durée de la concession est de 30 ans, dont quatre ans de construction. Le contrat a été mis en vigueur le 5 mars 2008 pour un montant initial de 865 millions d'euros. Un avenant de 169 millions a été signé

en septembre 2009. Il correspond, suite à la demande du concédant, à l'ajout d'une bande d'arrêt d'urgence, et donc à un changement de section important dans les tunnels. Pour la construction, la joint-venture responsable des travaux a décidé d'allotir le projet aux six sociétés partenaires.

TUNNEL T1 : PRINCIPALES QUANTITÉS POUR LE LOT RÉALISÉ PAR VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

SECTION À EXCAVER : 110 à 180 m²
ENTRAXE DES TUBES : 27 m
ESPACEMENT ENTRE DEUX GALERIES DE CONNEXION : 300 m
GALERIE DE CONNEXION : 4 unités
COUVERTURE MAXIMALE : 160 m
COUVERTURE MINIMALE : 5 m
VOLUME D'EXCAVATION : 300 000 m³
BÉTON PROJETÉ FIBRÉ : 20 000 m³
ÉTANCHÉITÉ : 65 000 m²
BÉTON DE REVÊTEMENT : 55 000 m³
ACIER POUR LE SOUTÈNEMENT : 600 t
ACIER POUR LE FERRAILLAGE DU BÉTON DE REVÊTEMENT : 1 500 t
MONTANT DU MARCHÉ : 100 millions d'euros (y compris la rénovation des 30 km de voirie existante)
DÉLAI : 48 mois

2- Plan de situation.

3- Coupe type du tunnel bitube.

2- Location drawing.

3- Typical cross section of the double-tube tunnel.

Nous nous intéressons ici au lot dont VINCI Construction Grands Projets est responsable.

TRAVAUX ALLOTIS À VINCI

Les 30 km d'autoroute existante représentent 20 % du montant du marché alloti à VINCI Construction Grands Projets. La réhabilitation de ce tronçon d'autoroute correspond majoritairement à des travaux linéaires de mise à niveau des enrobés pour 120 000 m², à la signalisation, aux dispositifs de sécurité comme des GBA, aux glissières de sécurité, au marquage au sol et aux plantations (30 000 arbustes), mais aussi à l'assainissement, à l'éclairage, au réseau d'irrigation, aux joints de chaussée, etc. Ce lot englobe également quelques travaux neufs ponctuels, comme la construction de 3 600 m² tous corps d'état de bâtiments d'ex-

ploitation à proximité du péage de Leptokaria, ainsi que les barrières de péage situées sur l'échangeur voisin. Au nord, il comprend la démolition et la reconstruction sous trafic d'un pont de 1 400 m² (photo 4) et la réalisation de 30 000 m² d'aménagement paysager sur la dalle d'une tranchée couverte existante située au niveau de la ville de Katerini.

Le planning de réalisation de ces travaux était court (15 mois), avec un démarrage dès la mise en vigueur du marché, soit le 5 mars 2008. Le pic de main d'œuvre a atteint 120 personnes représentant une large palette de corps de métiers. Si le pont de Mavroneri a été réalisé en travaux propres, le reste de l'activité a été sous-traitée. Le choix d'organisation a été de mobiliser, autour d'un responsable de secteur, des ingénieurs grecs, un chef de chantier français et une quinzaine de compagnons grecs, dont quatre chefs d'équipe. Cela a permis d'avoir en permanence un bon suivi de l'avancement de la totalité de l'activité, et de maîtriser la qualité et la sécurité sur ces travaux réalisés sous circulation autoroutière. Aujourd'hui, les travaux sont réceptionnés conformément au planning.

RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DU TERRAIN

Long de 2 000 m, le tunnel T1 est constitué de deux tubes reliés par des intertubes espacés de 300 m. La section d'excavation est importante, allant de 110 m² en section ouverte dans des terrains compétents à 180 m² en section fermée dans les zones de géologie plus difficile. Il est excavé en traditionnel suivant la nouvelle méthode autrichienne. Le planning synthétique du tunnel se résume en trois phases principales : l'excavation, de septembre

2008 à mai 2010 ; le béton de revêtement, de novembre 2009 à décembre 2010 ; et enfin l'équipement électromécanique du tunnel, de novembre 2010 à mars 2012.

La reconnaissance géologique de l'appel d'offres laissait de nombreuses incertitudes dans les zones du portail de T1 et au passage de la vallée centrale.

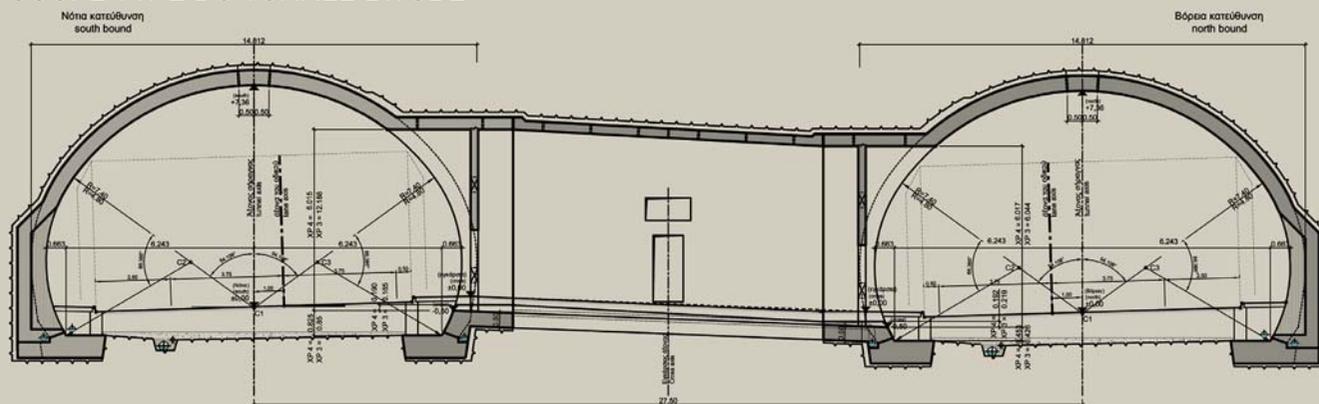
Dès le début de la phase d'études, de nombreux essais complémentaires ont été réalisés afin d'analyser et d'anticiper les difficultés de cet ouvrage.

La géologie peut se découper en quatre parties (figure 5) : la phyllithe, le schiste, le calcaire et les matériaux d'éboulis au passage de la vallée à faible couverture. La phyllithe, première roche rencontrée, est proche du schiste mais avec une littoité plus fine que ce dernier.

Elle s'est présentée sous un aspect altéré, de couleur marron avec des caractéristiques proche d'une argile, puis brune avec de rares inclusions calcaires, et enfin grise à noire avec davantage d'inclusions. Ces différentes couleurs reflètent la variabilité du comportement et des caractéristiques géotechniques du matériau.

Puis nous avons rencontré les schistes, séparés en quatre zones : dans un premier temps, un schiste gris très compact qui nous amènera au calcaire, puis un schiste brun à vert bouteille. Tous deux sont relativement peu altérés. Ensuite, un schiste très altéré gris à marron clair et, après la vallée, un micaschiste vert très glissant entre ses plaques, offrant une très faible cohésion. C'est aux jonctions des schistes et phyllithes que nous avons eu les principales arrivées d'eau. La traversée des calcaires a été très appréciée par les mineurs qui ont « couru » dans ce matériau à une cadence supérieure à 30 m par semaine et par tube pendant ▷

COUPE TYPE DU TUNNEL BITUBE



3

l'été 2009. Le mécanicien, en revanche, a souffert pour assurer l'entretien et le changement des pneumatiques. Cette période aura permis au chantier d'arriver à la vallée très redoutée avant l'hiver. La traversée du dernier type de matériaux a nourri beaucoup d'inquiétudes. Il s'agit d'éboulis de pente situés dans une zone de faible couverture, de 7 à 25 m, correspondant au lit d'une rivière sèche l'été mais qui coule dès l'automne. Les inquiétudes auront permis d'aborder ce passage avec prudence, et la bonne surprise a été l'absence d'un invité très redouté : l'eau. Mélange de gros blocs schisteux et d'argile compacte, ces éboulis ont offert un toit étanche qui nous a franchis des inconvénients liés à la période hivernale et aux pluies particulièrement fortes cette année. Les investigations complémentaires, par sismiréfraction, ont également permis d'identifier les failles présentes dans les phyllithes, schistes, et au niveau de la vallée.

ÉTUDES D'EXÉCUTION

L'optimisation du projet par rapport à l'étude de l'offre nous a fait travailler deux pistes : l'utilisation de soutènements primaires souples et l'utilisation de béton non armé pour la réalisation des voûtes de revêtement. Les soutènements primaires mis en œuvre s'appuient sur une densité de boulonnage important. Afin d'augmenter l'effet de voûte autour de la section excavée, des boulons de 5 m sont injectés dans les mauvais terrains, et des Swellex sont mis en œuvre dans les meilleurs. Ainsi, les sections avec cintres sont

moins nombreuses, et les épaisseurs de béton projeté sont faibles. Un suivi rigoureux des convergences complète le système. En effet, ces soutènements « souples » nécessitent en contrepartie de pouvoir réagir rapidement si l'on constate une convergence trop importante. Les quantités totales d'acier (boulons et cintre réticulé) mises en œuvre avec cette solution souple sont similaires au tonnage de cintres lourds prévu à l'offre. Par contre, les quantités de béton projeté, coûteux et long à mettre en place, ont été réduites de 40 %. L'autre point important concerne l'utilisation de béton non armé pour le revêtement définitif. Cette technique, qui bénéficie d'un retour d'expérience très positif dans les projets qui l'ont appliquée, permet de supprimer les interfaces étancheurs-ferrailleuse-coffreurs, les problèmes de corrosion des aciers en tunnel, et d'économiser les matériaux mis en œuvre. Du fait de contraintes spécifiques, notamment sismiques, rencontrées dans les zones de faible couverture du portail et de la vallée, nous avons localement conservé une conception classique de revêtement définitif en béton armé. La Grèce n'ayant pas l'habitude du béton non armé en tunnel, il aura fallu plusieurs mois de discussions avec l'indépendant engineer pour valider cette conception. Les principales discussions ont porté sur les hypothèses de fissuration, le transfert des efforts du soutènement primaire vers le revêtement définitif, et sur les méthodes constructives, notamment la résistance au décoffrage et la composition du béton.



ORGANISATION DES TRAVAUX

L'excavation est réalisée en deux temps : d'abord la demi-section supérieure de 15 m de large et 6,50 m de haut, puis un stross variant de 3 à 5,50 m de haut. Les postes étant habituellement de dix heures en Grèce, il a fallu adapter nos traditionnels trois postes de huit heures. Nous avons donc mis en place deux postes de 12 personnes sur dix heures complétés par une équipe réduite de quatre personnes, qui assure la continuité de l'excavation. Une équipe supplémentaire de jour de trois personnes est dédiée à l'installation des réseaux et à l'approvisionnement. Une dernière équipe est mobilisée ultérieurement pour la réalisation du stross, des niches, et la préparation de surface avant la pose de la membrane d'étanchéité. À ce personnel de production s'ajoutent le mécanicien et l'électricien de poste, ainsi que les sept personnes affectées aux services généraux.

4- Démolition et reconstruction du pont de Mavronei.

5- Profil géologique.

6a- Cintre réticulé.

6b- Pince spéciale pour pose de cintres.

6c- Mise en place du cintre.

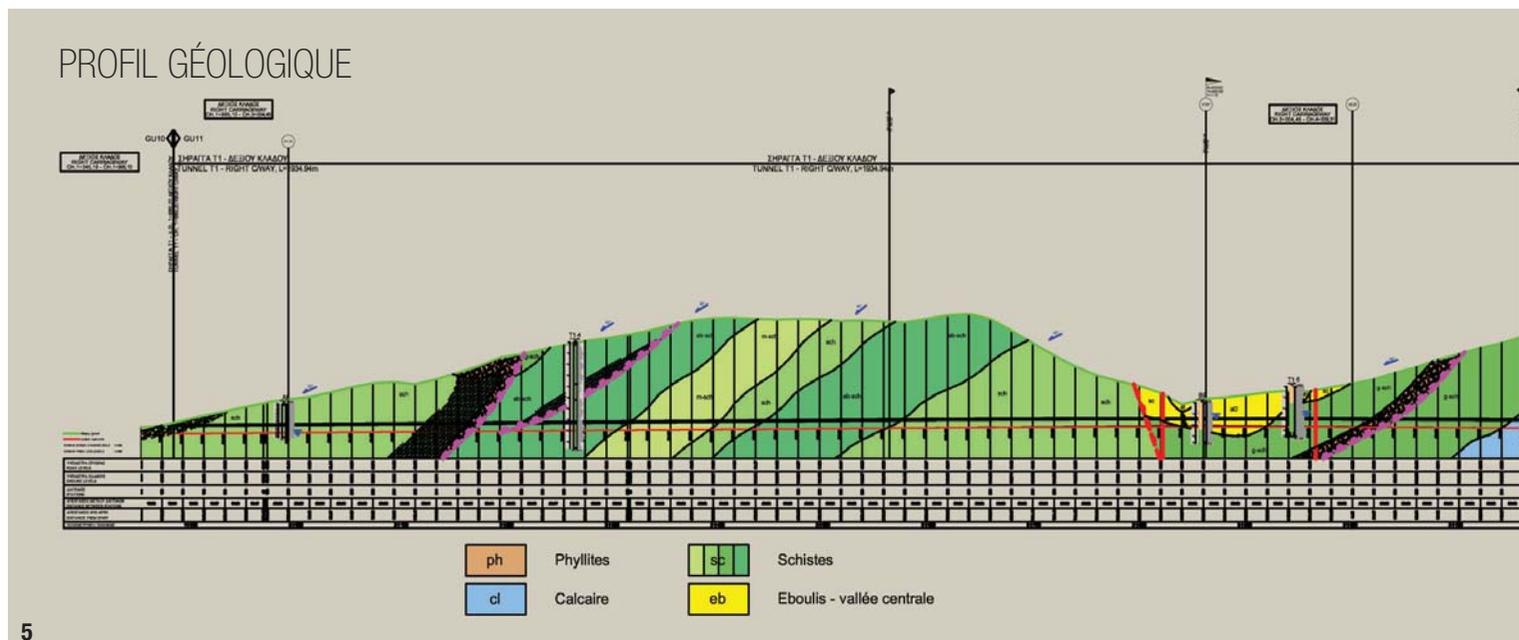
4- Demolition and reconstruction of Mavronei Bridge.

5- Geological profile.

6a- Lattice arches.

6b- Special clamp for arch placing.

6c- Arch placing.





Aucun des travaux d'excavation n'est sous-traité, l'encadrement de production est franco-grec, et la totalité de la main d'œuvre est grecque. Cette organisation permet d'assurer la qualité des travaux effectués suivant des standards de sécurité élevés.

DEUX MODES D'EXCAVATION

Pour la réalisation du bitube, nous avons utilisé deux modes d'excavation

distincts : la pelle tunnel et l'explosif. Dans les terrains de moins bonne qualité (phyllithe et vallée), l'excavation est effectuée à la pelle.

Nous excavons la place nécessaire pour la pose du cintre réticulé en conservant un « ventre » pour la stabilité de la face. Le cintre est ensuite bloqué avec le béton projeté fibré (fibre de polypropylène), puis la première moitié des boulons est réalisée de façon inclinée,

le ventre ne permettant pas d'avoir une glissière de forage verticale.

La deuxième partie des boulons est mise en œuvre lorsque l'avance du ventre le permet, soit deux à trois cintres en arrière.

Certains terrains nous obligent à réaliser des enfilages, soit par simples barres HA, soit avec des boulons autoforant injectés. Dans ces zones de géologie difficile, les avances restent relativement bonnes, allant de 1,30 à 2,90 ml par jour et par tube. On remarque que les cintres sont posés à la pelle mécanique équipée d'une pince de pose développée spécifiquement pour le chantier (photo 6). Elle assure une sécurité maximale pour ces travaux délicats.

Dans les terrains de meilleure qualité (schiste sain et calcaire), l'excavation se fait à l'explosif. Pour cela, un Jumbo trois bras entièrement robotisé (Robodrill) réalise l'ensemble de la foration.

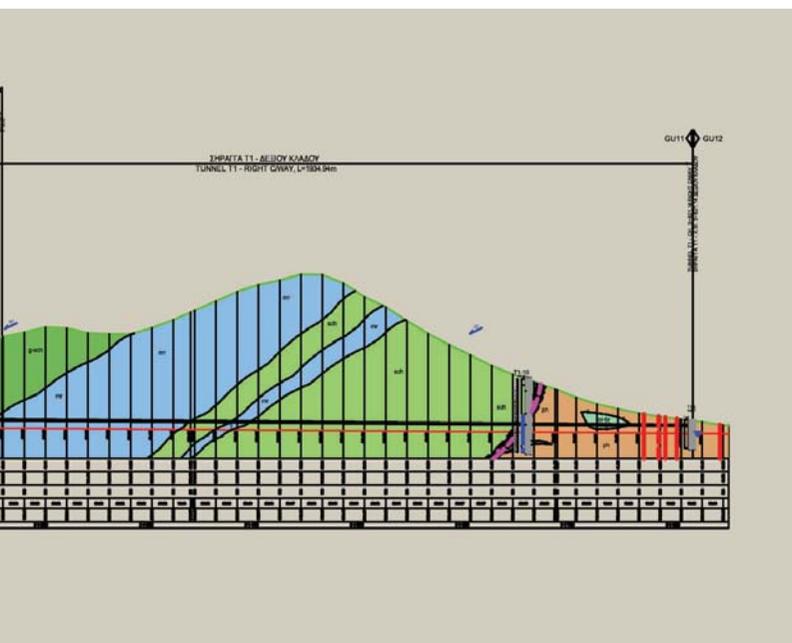
Le plan de tir est réalisé par le chef de production et adapté à chaque changement de terrain. Dans ces terrains, le boulonnage est assuré avec des ancrages type Swellex de 4 m de long. La coque de béton projeté fibré a une épaisseur variant de 5 cm, minimum légal en Grèce, à 8 cm. Les cintres réticulés ne sont nécessaires que pour la stabilité ponctuelle d'un bloc, et non pour celle de la voûte.

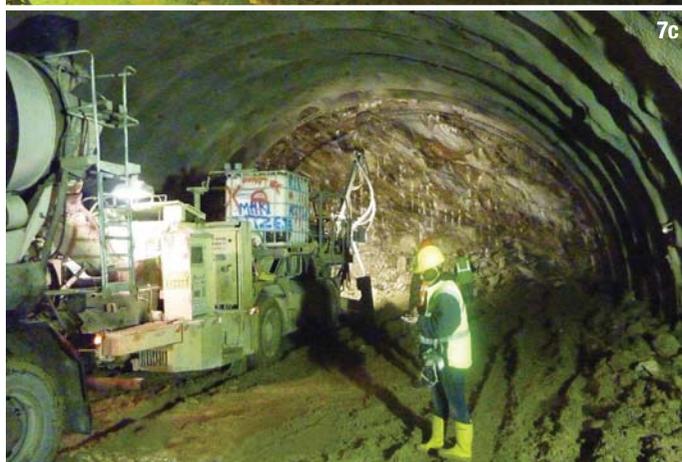
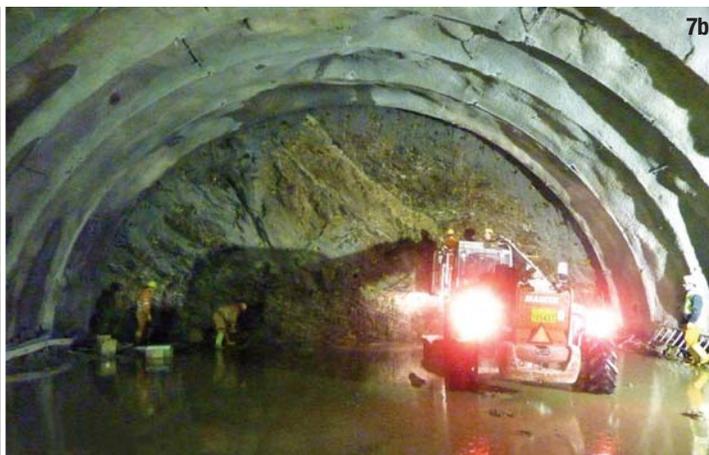
La législation grecque ne permettant pas l'emploi d'émulsion en vrac, l'explosif utilisé est en cartouche, ce qui donne des temps de chargement relativement longs, autour d'1 h 30.

L'autre contrainte liée à l'emploi d'explosifs est l'interdiction de le stocker. Il faut donc renouveler la commande de façon quotidienne et renvoyer ce qui n'a pas été consommé en fin de journée. Les avances dans ce type de terrain vont de 6 à 8 ml par jour et par tube.

En termes de productivité, la réalisation d'un bitube présente l'intérêt d'optimiser les moyens matériels et les équipes, puisque une équipe réalise toujours de l'excavation, et l'autre du soutènement. Toutefois, comme nous l'avons montré dans la description géologique, la présence de failles oblige à une forte réactivité pour faire face aux changements rapides du terrain. Ceux-ci peuvent intervenir sur un seul tube ou simultanément sur deux, occasionnant des variations de rythmes assez brutales. Il n'est pas rare de se trouver dans un rythme de volée de 3,60 m un jour et de devoir, le lendemain, excaver à la pelle mécanique.

Les études géologiques minutieuses nous auront permis d'adapter les études d'exécution au plus près de la réalité du terrain, et d'anticiper l'ensemble des difficultés rencontrées durant l'excavation (photos 7).





Le percement a été terminé avec trois mois d'avance sur le planning prévisionnel, ce qui nous a évité d'investir, comme initialement prévu, dans un second outil coffrant pour la réalisation des bétons de revêtement des deux tubes.

LE REVÊTEMENT DÉFINITIF

Il est réalisé en quatre ateliers principaux : les semelles/radier, l'étanchéité/drainage, le ferrailage de la voûte si nécessaire, le coffrage et le bétonnage de la voûte ainsi que sa cure. Les travaux d'étanchéité et de ferrailage sont sous-traités. Le reste de l'activité est réalisé par les 15 compagnons qui viennent de terminer les travaux de réhabilitation de l'autoroute existante. Ils s'organisent en deux postes. Le principal compte 10 personnes et assure la réalisation des semelles, le bétonnage d'un plot de voûte, ainsi que les interfaces avec les sous-traitants. Le second, de nuit, est assuré par cinq personnes. Il commence vers 2 h du matin, soit huit heures après le bétonnage, et assure principalement le coffrage du plot suivant.

Le coffrage (Coframeta) utilisé permet de couler quotidiennement un tronçon de 12,50 m. Sa structure est précontrainte. En effet, des vérins hydro-

liques permettent d'introduire dans la charpente métallique porteuse du coffrage des efforts contrebalançant ceux qu'elle recevra pendant le bétonnage. Il en résulte une stabilité parfaite du coffrage pendant la mise en œuvre du béton ainsi qu'une grande facilité d'utilisation. À l'avant de ce coffrage, on trouve un portique de 6,25 m pour l'atelier de pose du géotextile et de la membrane d'étanchéité, puis un portique de 12,50 m pour le ferrailage. Derrière le coffrage principal se trouve un portique de cure équipé de brumisateurs (photo 8).

La dernière difficulté concerne la mise au point de la formule béton liée au choix, durant les études d'exécution, de ne pas ferrailer les voûtes. Il aura fallu plus de 12 mois, suivant un schéma de mise au point classique, pour finaliser une formulation adéquate. Mais l'irrégularité de la qualité du ciment et des agrégats en Grèce rend le contrôle de la fabrication primordial. Aujourd'hui, la production est en place et les résultats sont très satisfaisants.

CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Le portail du tunnel T1 se trouve dans les gorges de la vallée de Tempi, zone

7a- Foration du tunnel.
7b- Chargement.
7c- Béton projeté.
7d- Creusement de la demi-section inférieure («stross»).

7a- Tunnel boring.
7b- Loading.
7c- Shotcrete.
7d- Excavation of the lower half-section («stross»).

classée Natura 2000 (protection européenne de la faune et de la flore). Cette contrainte environnementale forte s'impose durant toute la réalisation du tunnel. Tout d'abord, les installations de chantier au droit du portail sont réduites au maximum. Nous n'installons pas de centrale à béton. Celui-ci est acheté à des centrales de « prêt à l'emploi » locales, distantes d'une vingtaine de kilomètres du site. Nous serons obligés de garder deux fournisseurs pour les convaincre de mettre à niveau leurs équipements (ajout d'une centrale d'eau chaude l'hiver, d'eau froide l'été, suivi du taux d'humidité des agrégats et de leur qualité, ajout de pompe à adjuvants...). Les bureaux principaux sont également installés hors de la zone Natura 2000. Enfin, tous les déchets dus aux travaux sont triés. De fréquents contrôles de bruits, poussières, qualité de l'eau sont effectués afin de s'assurer que l'impact des travaux sur l'environnement reste minime.

ÉLECTROMÉCANIQUE DU TUNNEL

Cette partie de l'activité est aujourd'hui en phase d'étude d'exécution. Elle comprend la mise en place de la ventilation ainsi que l'éclairage, les panneaux à message variable, le réseau d'eau



incendie, les caméras de surveillance et le contrôle commande centralisé de l'exploitation. Le suivi des études d'exécution ainsi que l'achat des équipements principaux sont réalisés par nos soins. La totalité de la pose sera sous-traitée, comme pour la section autoroutière, avec une forte supervision en propre afin de continuer à satisfaire nos exigences en termes de qualité, de sécurité et d'environnement.

**8a, b, c & d -
Mise en œuvre
du coffrage
béton.**

**8a, b, c & d -
Setting up
concrete
formwork.**

UNE RÉUSSITE INTERNATIONALE
La préparation de ce projet au sein d'une joint-venture regroupant des entreprises allemande, française et grecques ainsi que les deux premières années de sa réalisation se sont appuyées sur l'expérience acquise lors de grands projets similaires et sur la connaissance du pays, où certains avaient déjà travaillé. À mi-projet, alors que le percement du tunnel a eu lieu

avec trois mois d'avance et que la section autoroutière est réceptionnée, nous pouvons dire que le professionnalisme et l'entrain de chacun, à tous les niveaux de l'organisation, permettent à ce chantier franco-grec d'être une réussite. De nouvelles difficultés se profilent, mais augurons que le projet est en bonne voie, et rendez-vous en mars 2012 pour l'inauguration de ce nouveau tracé autoroutier européen. □

ABSTRACT

MALIAKOS-KLEIDI MOTORWAY IN GREECE: TUNNEL T1 AND MOTORWAY RENOVATION

MICKAEL URIEN, FRÉDÉRIC SCIBLO - VINCI

Three tunnels will eventually make it possible for the Athens-Thessalonica motorway to pass through the Tempi Gorge. Tunnel T1 is the first on which excavation has been completed. This motorway concession project also includes renovation of the existing motorway, completed since February 2010. Here we go back over this pivotal stage in which, at the peak of the work, the project partners together employed up to 1,000 people. □

AUTOPISTA MALIAKOS-KLEIDI EN GRECIA: EL TUNEL T1 Y LA RENOVACIÓN DE LA AUTOPISTA

MICKAEL URIEN, FRÉDÉRIC SCIBLO - VINCI

Cuando finalice su construcción, tres túneles permitirán el paso de la autopista Atenas-Tesalónica en las gargantas de Tempi. El túnel T1 es el primero que ha terminado su excavación. Este proyecto de concesión de autopista incluye, entre otras cosas, la renovación de la autopista existente, finalizada en febrero de 2010. Este artículo vuelve a tratar esta etapa bisagra que, en el punto más álgido de la actividad, habrá contado con 1.000 personas incluyendo a todos los participantes en el proyecto. □

BEIJING-TIANJIN, PREMIÈRE LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE EN CHINE

AUTEURS : IVAN WOUTS, SYSTRA CHINE, SHANGHAI - PHILIPPE MOINE, PE, SYSTRA, DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL ET OUVRAGES D'ART, PARIS

LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL DE LA PREMIÈRE LIGNE À GRANDE VITESSE ENTRE BEIJING ET TIANJIN ONT ÉTÉ EFFECTUÉS DE DÉCEMBRE 2005 À SEPTEMBRE 2007, EN SEULEMENT 22 MOIS. LE PREMIER TRAIN COMMERCIAL A ÉTÉ MIS EN CIRCULATION À 350 KM/H LE 1^{ER} AOÛT 2008, RÉDUISANT LA DURÉE DE VOYAGE DE 70 À 30 MINUTES. RÉALISÉ DANS DES DÉLAIS SERRÉS, CE CHANTIER A RENCONTRÉ PLUSIEURS DÉFIS TECHNIQUES, LIÉS NOTAMMENT À LA CONSTRUCTION EN PÉRIODE HIVERNALE, AU CONTRÔLE DE LA GÉOMÉTRIE ET AU CONTRÔLE DE LA DÉFORMATION DUE AU FLUAGE.

CONSTRUIRE 100 KM DE VIADUCS

L'achèvement de la ligne ferroviaire à grande vitesse Beijing-Tianjin (près de 120 km) en moins de trois ans a représenté un réel défi. L'ouverture a été planifiée pour le début des jeux Olympiques de 2008, et le premier train a été mis en service commercial, à 350 km/h, le 1^{er} août 2008. Le prix du billet est de 58 yuan en deuxième classe (environ 7 €) et de 69 yuan en première classe (environ 8 €). Il s'agit du premier projet de ce genre en Chine continentale. Il marque donc le début de l'ère de la grande vitesse dans le pays. La ligne comprend 100 km de viaducs et 16,5 km de terrassements et ouvrages en terre. La travée standard, d'une longueur de 32,7 m, est une poutre en caisson précontrainte préfabriquée.

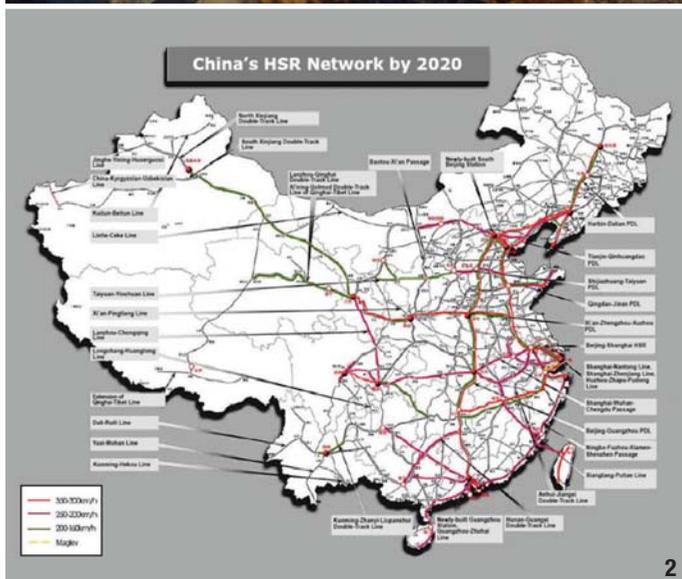
En raison du planning serré – les ouvrages et terrassements doivent être réalisés en 22 mois –, on a retenu la solution consistant à préfabriquer les travées types sur des aires dédiées. L'exécution d'environ 3 000 éléments a nécessité l'installation de sept aires de préfabrication gigantesques le long de la ligne. Les ponts continus ont été soit coulés en place, soit construits par encorbellements successifs.

Le projet a dû faire face à plusieurs défis techniques : mesures spécifiques pour permettre la construction à des températures ambiantes inférieures à -10 °C, contrôle rigoureux de la géométrie sur la surface du tablier préfa-



1- Train CRH circulant sur le viaduc.
2- Réseau LGV de la Chine en 2020.

1- CRH train running over the viaduct.
2- China's high-speed train network in 2020.



briqué afin de répondre aux exigences de la voie, contrôle des déformations de fluage pour les grandes travées.

En 2005, la Société de ligne de transport ferroviaire interurbaine de Beijing-Tianjin a attribué un contrat pour la consultation des travaux d'ingénierie au groupement CARSYS composé de Cars (Premier Institut d'études ferroviaires) et Systra. Cet article concerne le génie civil. Le cahier des charges comprend la consultation technique et la supervision générale de la construction.

ORGANISATION DES TRAVAUX

L'entreprise China Railway Construction Corporation (CRCC) est une émanation de l'administration chinoise. Elle est scindée en plusieurs entités qui se répartissent les travaux. Les différentes entreprises présentes sur le site sont les suivantes : Bureau Grands Ouvrages, 2^e, 4^e, 6^e, 17^e et 18^e bureaux.



PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE BEIJING-TIANJIN

LONGUEUR : 116 km

DURÉE DU TRAJET : 30 minutes

GARES : Beijing South, YiZhuang, WuQing, Tianjin.

Une gare supplémentaire (YongLe) est prévue

VITESSE D'EXPLOITATION : 350 km/h

VITESSE DE CONCEPTION : 350 km/h

TYPE DE TRAIN : CRH2 à 300 km/h et CRH3 à 350 km/h

ÉCARTEMENT DE VOIE : 1 435 mm

ÉLECTRIFICATION : 2 x 25 kV 50 Hz

FABRICANT SYSTÈME : Siemens

Un des défis essentiels pour la construction a été de finaliser les structures spéciales avant que les poutres de lancement n'aient atteint leur emplacement, afin de ne pas retarder l'installation des travées préfabriquées. La vitesse de pose maximale a été de 65 travées par mois pour une poutre de lancement.

DIFFÉRENTS TYPES D'OUVRAGES

Les ouvrages continus sont utilisés pour les grandes travées (portées jusqu'à 128 m). 40 ponts continus en béton sont nécessaires pour le projet, et il en existe de différents types :

→ 20 ponts construits par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place. Portée principale comprise entre 48 et 128 m ;

→ 19 ponts coulés en place sur étaie-ment. Portée principale comprise entre 48 et 100 m ;

→ Un pont en encorbellements successifs avec une travée principale de 128 m suspendue à un arc métallique (photos 5 et 6).

Le pont en arc auto-ancré de 71 m de portée situé dans la ville de Tianjin représente une autre structure majeure (photo 8).

En raison d'un calendrier de construction serré (génie civil à réaliser en 22 mois), la solution qui consiste à préfabriquer les 3 000 travées standard sur des aires de préfabrication a été retenue. Sept zones de préfabrication ont été installées le long de la ligne (photo 9). Les travées préfabriquées ont

3- Ligne ferroviaire Beijing-Tianjin.

4- Poutre-caisson précontrainte standard.

Vue du pont après achèvement de la ligne.

5 & 6- Quatrième rocade.

Pont avec arc métallique 60 + 128 + 60 m.

7- Cinquième rocade. Pont à poutre, caisson 60 + 128 + 60 m.

3- Beijing-Tianjin railway line.

4- Standard prestressed box girder. View of the bridge after completion of the line.

5 & 6- Fourth bypass. Metal arch bridge, 60 + 128 + 60 m.

7- Fifth bypass. Girder bridge, box girder 60 + 128 + 60 m.





8



9



10



11

LE FUTUR RÉSEAU LGV EN CHINE

Le ministère chinois des Chemins de fer prévoit de construire 12 000 km de lignes ferroviaires à grande vitesse (limitation de vitesse supérieure à 200 km/h) avant 2020 (figure 2) :

QUATRE LIGNES NORD-SUD

- Ligne Beijing-Harbin via Tianjin, Qinhuangdao, Shenyang. Embranchement : Shenyang-Dalian.
- Ligne Beijing-Shanghai via Tianjin, Jinan, Xuzhou, Bengbu, Nanjing. 350 km/h.
- Ligne Beijing-Hong Kong via Shijiazhuang, Zhengzhou, Wuhan, Changsha, Guangzhou, Shenzhen. Infrastructure conçue pour des mises en service à 350 km/h.
- Ligne Shanghai-Shenzhen via Hangzhou, Ningbo, Wenzhou, Fuzhou, Xiamen. La portion Shanghai-Hangzhou-Ningbo est conçue pour une mise en service à 350 km/h, le reste pour une vitesse de 200 à 250 km/h (à la fois pour le transport de passagers et de marchandises).

QUATRE LIGNES EST-OUEST

- Ligne Qingdao-Taiyuan via Jinan, Shijiazhuang, Shijiazhuang. La ligne Taiyuan est conçue pour une vitesse de 200 à 250 km/h (à la fois pour le transport de passagers et de marchandises), les autres lignes pour une vitesse de 200 à 250 km/h (passagers).
- Ligne Xuzhou-Lanzhou via Zhengzhou, Xi'an, Baoji. 350 km/h.
- Ligne Shanghai-Chengdu via Nanjing, Hefei, Wuhan, Chongqing. Shanghai-Nanjing est une section de la ligne Beijing-Shanghai, avec des voies de 350 km/h. La ligne Nanjing-Chengdu est conçue pour une vitesse de 200 à 250 km/h (transport de passagers et de marchandises). Le tronçon Chongqing-Chengdu est conçu pour 350 km/h.
- Ligne Hangzhou-Nanchang-Changsha. 350 km/h.

8- Pont simplement porté par un arc de 71 m.

9- Aire de préfabrication et de stockage.

10- Hissage de l'élément préfabriqué sur le tablier du pont.

11- Transport de l'élément préfabriqué.

8- Bridge simply supported by a 71 m arch.

9- Prefabrication and storage area.

10- Hoisting the prefabricated element onto the bridge deck.

11- Prefabricated element transport.

été transportées des aires de préfabrication à leur emplacement final par farriers circulant sur le viaduc, et mises en place avec des poutres de lancement. Les ouvrages continus sont soit coulés en place, soit construits par encorbellements successifs (photo 14). (Photos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 et 16).

REMBLAIS FONDÉS SUR PIEUX

Les stations et les croisements sont construits sur remblais. Il y a en tout cinq zones (stations de Beijing, Yi Zhuang, YongLe, Wuqing, Nancang et Tianjin), totalisant 15,2 km. En fonction des conditions géotechniques, plusieurs types de fondations ont été utilisés pour les remblais afin d'améliorer la capacité portante et de réduire au minimum les tassements des sols argileux et limoneux (photo 17) :

- Pieux préfabriqués battus avec armatures soudées en tête, et dalle en béton armé en partie supérieure ;
- Inclusions non-armées coulées en place (pieux CFG) supportant une couche de gravier et une dalle en béton armé ; ▷

LES CINQ VIADUCS PRINCIPAUX

D'une longueur de 116,5 km, la ligne est constituée de 87 % de viaducs (et 13 % de remblais) :

- VIADUC SUR LA ROCADE DE BEIJING : 15,60 km
- VIADUC LIANGSHUIHE : 21,56 km
- VIADUC YANGCUN : 35,81 km
- VIADUC YONGDINGXINHE : 21,13 km
- VIADUC XINKAIHE : 5,37 km

→ Inclusions non-armées coulées en place (pieux CFG) combinées avec des pieux ballastés supportant une membrane en géotextile.

CONSULTATION TECHNIQUE

Réalisées par deux bureaux d'études chinois, CEC et le Troisième Institut d'études ferroviaires, les études reposaient sur les nouvelles spécifications chinoises pour les lignes à grande vitesse.

Le groupement d'entreprises CARSYS était responsable de la revue du design. Pour le génie civil, les principaux thèmes étaient : l'analyse statique et

12 & 13- Poutre de lancement.

14- Pont à encorbellements successifs en construction.

12 & 13- Launching beam.

14- Successive cantilevered bridge undergoing construction.



12



13



14



15



16



17



18

PRINCIPALES ÉTAPES DU PROJET

AVRIL 2003 : Le projet est lancé. Le Troisième Institut d'études ferroviaires est en charge de la conception.

JANVIER 2004 : Le rapport de faisabilité est soumis pour approbation au comité d'État du développement.

SEPTEMBRE 2004 : Le projet est approuvé par le comité.

JANVIER 2005 : L'étude préliminaire du tronçon de Tianjin est finalisée. Le ministère des Chemins de fer (MOR) a fait l'évaluation intermédiaire.

JUILLET 2005 : Le MOR, les villes de Beijing et de Tianjin organisent une réunion pour le démarrage du projet.

JANVIER 2006 : Les plans des viaducs et des terrassements, ainsi que les plans de construction préliminaires pour les gares-stations, sont finalisés.

DÉCEMBRE 2007 : Fin de la pose des rails.

FÉVRIER 2008 : Début des essais et de la mise en service.

JUIN 2008 : Le train CRH3 atteint 394,3 km/h lors d'un essai.

1^{er} AOÛT 2008 : La ligne est officiellement mise en service commercial à 350 km/h.

15- Installation d'étais sur la rocade Beijing pour le coulage en place de l'ouvrage continu.

16- Préparation du coffrage.

17- Pieux pour la construction en remblai.

18- Étuvage sur la zone de préfabrication.

15- Installation of strutting on the Beijing bypass for in-situ casting of the continuous structure.

16- Preparation of formwork.

17- Piles for construction in backfill.

18- Curing on the prefabrication area.

dynamique du tablier ; les études d'interaction rails-structures et les études des zones de transition entre les ponts et les remblais ; la vérification structurelle des pieux et des fondations, y compris les analyses sismiques ; le tassement et la capacité portante des terrassements. Plus de 400 séries de plans ont été soumises pour révision et approbation.

Des vérifications détaillées ont été effectués par le groupement, et de nombreux échanges entre les experts chinois et étrangers ont eu lieu afin de résoudre des questions techniques, comme la conception sismique et les exigences d'interaction rails-structure.

SUPERVISION GÉNÉRALE

Les activités de Systra consistent à :
 → Contrôler le processus de qualité et rédiger mensuellement et trimestriellement des rapports au client ;
 → Observer quotidiennement la qualité générale des travaux de construction ;
 → Vérifier la conformité des travaux de construction avec les spécifications des études et de la construction, et rédiger des rapports d'audit-inspection de site ;

→ Vérifier et passer en revue le contenu technique des méthodes de construction proposées par les entreprises, et émettre des notes techniques et des rapports techniques de revue.

Systra a établi deux bureaux : un principal à Beijing, et un autre à Tianjin. Plus de 300 inspections de site ont été effectuées.

LA TRAVÉE STANDARD

D'une longueur de 32,7 m, la travée standard préfabriquée est une poutre-caisson précontrainte simplement appuyée.

Caractéristiques :

- **LONGUEUR** : 32,7 m (31,5 m entre les appuis)
- **LARGEUR** : 13,4 m
- **HAUTEUR** : 3,05 m
- **POIDS** : 850 t
- **VITESSE DE CONCEPTION** : 350 km/h
- **CHARGE PERMANENTE DE VOIE** : de 113 kN/m à 158 kN/m
- **CHARGE DE TRAFIC** : ZK (comparable à l'UIC71, avec une charge uniforme réduite de 64 kN/m)
- **DISTANCE ENTRE LES AXES DE VOIES** : 5 m
- **RAYON DE VOIE MINIMUM** : 5 500 m à 350 km/h
- **BÉTON** : 342,34 m³
- **PRÉCONTRAİNTE** : 28,5 kg/m³ en moyenne
- **ARMATURES HRB335** : 170,5 kg /m³ en moyenne

DÉFIS TECHNIQUES

Le premier défi a été la construction en hiver. En effet, la température aux alentours de Beijing peut descendre bien en-dessous de 0° C à cette époque de l'année. Néanmoins, en raison du calendrier de construction extrêmement serré, les travaux ont dû se poursuivre par des températures de - 10° C.

Des mesures spéciales ont alors été mises en œuvre, telles que : la modification de la formulation des bétons ; des conditions supplémentaires pour le transport, la mise en œuvre et la cure ; la protection du coffrage et du béton au jeune âge avec bâches et étuvage ; le contrôle rigoureux des variations de température dans le temps et de la température au cœur du béton (photos 18, 19, 20 et 21).

Un autre défi résidait dans le contrôle de la géométrie afin de répondre aux conditions requises pour les voies.

En effet, le projet de Beijing-Tianjin a été le premier à exécuter, à grande échelle, le système de voie BOGL sur des ponts. Celui-ci exige un contrôle de géométrie rigoureux du génie civil :

→ Alignement en absolu du tablier : ± 7 mm ;

→ Alignement en relatif du tablier adjacent : ± 3 mm (puis portée à ± 10 mm) ;

→ Planéité du tablier : 3 mm à la règle de 4 m.

Les surfaces se trouvant hors tolérance ont été réparées par polissage de la surface du pont ou par ajout d'une couche supplémentaire de mortier (photos 22 et 23).

19- Pieu coulé à l'abri d'une enceinte chauffée.

20 & 21- Coulage de voussoirs du pont en encorbellements sous enceinte chauffée.

22- Réparation de la surface pour obtenir la hauteur relative requise entre les tabliers adjacents.

19- Pile casting protected by a heated enclosure.

20 & 21- Casting of cantilever bridge segments under heated enclosure.

22- Surface repair to obtain the required relative height between adjacent decks.



19



20



21



22

CYCLE DE CONSTRUCTION DANS LA ZONE DE PRÉFABRICATION

Tâche \ Jour	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Préparation du coffrage	■														
2 Installation des armatures du U inférieur	■	■													
3 Installation des coffrages intérieur et d'extrémité		■	■												
4 Installation des armatures du hourdis supérieur			■	■											
5 Bétonnage				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6 Cure					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7 Première mise en tension							■								
8 Deuxième mise en tension								■							
9 Enlèvement des coffrages									■	■	■	■	■	■	■
10 Stockage										■	■	■	■	■	■
Troisième et dernière mise en tension (10 jours après bétonnage)														■	■
11 Déplacement de la poutre															■
12															■

Le cycle de construction de la poutre est soumis aux règlements et codes locaux. Il est de dix jours entre la tension finale et le bétonnage.

Le dernier défi résidait dans le contrôle de la déformation due au fluage.

Parce que l'ajustement ultérieur de l'alignement vertical de la dalle de voie est difficile et coûteux, les déformations verticales des travées dues au fluage ont été limitées à 10 mm après l'installation de la voie. Pour les grandes travées, comme celle de 60 + 128 + 60 m sur la quatrième rocade, il a alors été nécessaire de contrôler la déformation verticale du tablier pendant la construction et avant l'installation de la voie.

Les travaux de la voie ont commencé seulement lorsque les déformations dues au fluage ont été maîtrisées.

Le développement de la ligne prévoit une extension de 40 km de Tianjin à Tanggu, ainsi qu'une ligne secondaire pour transporter les passagers en provenance ou en partance de l'aéroport international de Beijing.

En partenariat avec Cars, Systra a effectué la consultation technique et la supervision générale du génie civil. □

23- Polissage du hourdis supérieur dans la zone de précontrainte pour obtenir la planéité requise.

23- Polishing of the upper deck section in the prestressing area to obtain the required levelness.



23

ABSTRACT

BEIJING-TIANJIN, THE FIRST HIGH-SPEED RAILWAY LINE IN CHINA

IVAN WOUTS, PHILIPPE MOINE - SYSTRA

Civil engineering work on the first high-speed line between Beijing and Tianjin was carried out from December 2005 to September 2007, in only 22 months. The first commercial train came into operation at 350 km/h on 1st August 2008, reducing the travel time from 70 to 30 minutes. Performed to tight deadlines, this project faced several technical challenges, related in particular to construction in winter time, geometric control and control of creep deformation. □

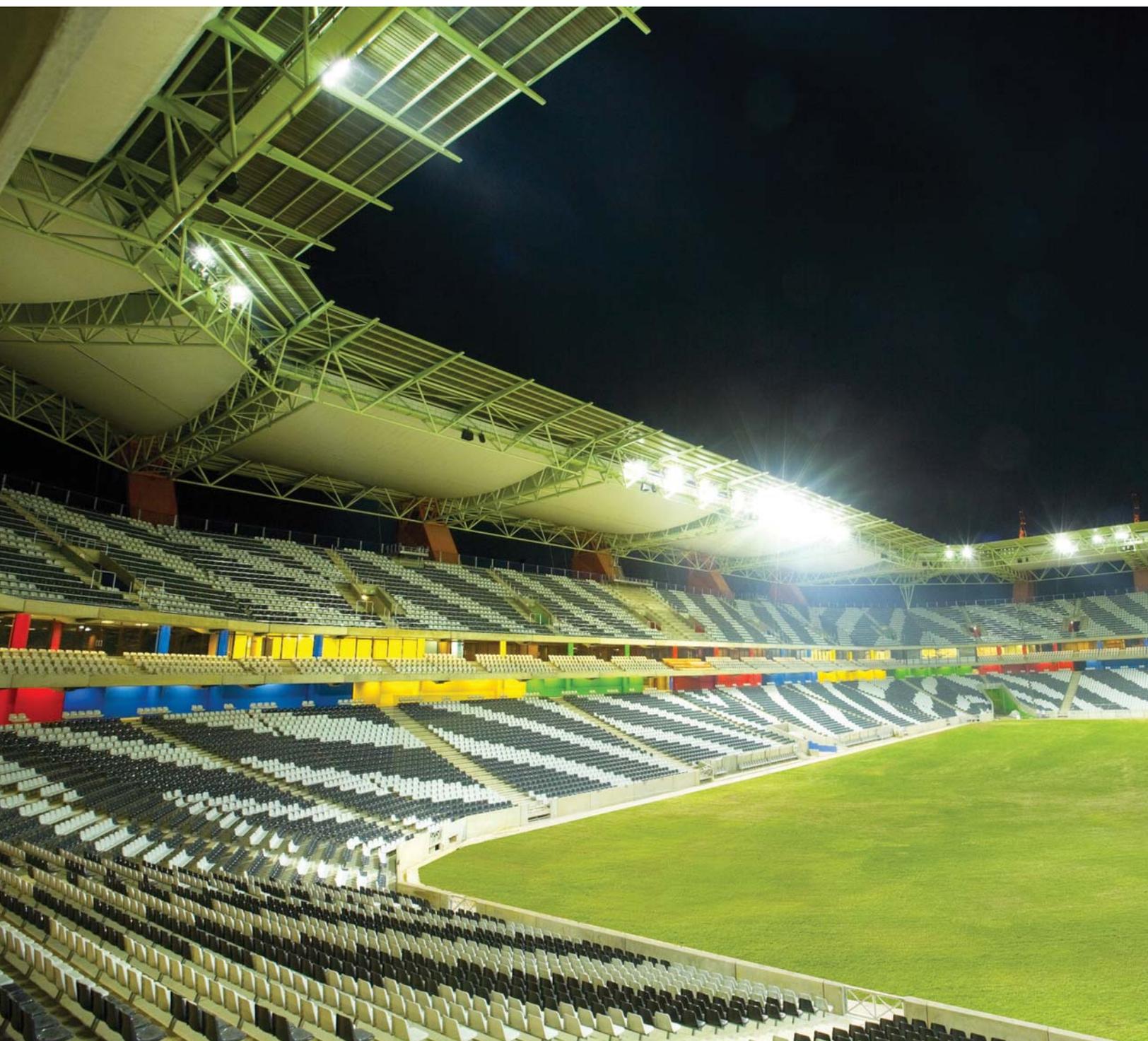
BEIJING-TIANJIN, PRIMERA LÍNEA FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD EN CHINA

IVAN WOUTS, PHILIPPE MOINE - SYSTRA

Los trabajos de ingeniería civil de la primera línea de alta velocidad entre Beijing y Tianjin se llevaron a cabo de diciembre de 2005 a septiembre de 2007, en sólo 22 meses. El primer tren comercial se puso en circulación a 350 km/h el 1 de agosto de 2008, reduciendo la duración del viaje de 70 a 30 minutos. Realizada en plazos muy ajustados, esta obra se enfrentó a varios retos técnicos, debidos en particular a la construcción en período invernal y al control de la geometría y de la deformación por fluencia. □

STADE MBOMBELA : UN NOUVEL ÉQUIPEMENT POUR LA COUPE DU MONDE

AUTEURS : JOËL AUBIN, DIRECTEUR ADJOINT MÉTHODES ET PRIX, BOUYGUES TP - VINCENT RENARD, CHEF DE SERVICE ADJOINT MÉTHODES ET PRIX, BOUYGUES TP - THOMAS MOHEN, INGÉNIEUR MÉTHODES ET PRIX, BOUYGUES TP - PAUL VIELLARD, INGÉNIEUR MÉTHODES ET PRIX, BOUYGUES TP - VANESSA DU PREEZ, PROJETEUR, BASIL READ



CONSTRUIT À L'OCCASION DE LA COUPE DU MONDE DE FOOTBALL 2010 À NELSPRUIT, EN AFRIQUE DU SUD, LE STADE MBOMBELA COMPTE 46 000 PLACES. SON DESIGN ORIGINAL S'INSPIRE DU CÉLÈBRE PARC KRUGER VOISIN ET DE SON ENVIRONNEMENT ANIMALIER. LES SUPPORTS DE LA TOITURE RAPPELLENT LA SILHOUETTE DE GIRAFES, QUI SEMBLANT AINSI VEILLER SUR LE STADE COMME AUTANT DE SENTINELLES. LA CONSTRUCTION A DURÉ ENVIRON 30 MOIS, ELLE A MOBILISÉ JUSQU'À 1 400 OUVRIERS ET 50 PERSONNES EN ENCADREMENT.

18 août 2006

Disponibilité du dossier de consultation

16 octobre 2006

Soumission du prix

novembre 2006

Contrat

février 2007

Début des travaux

octobre 2009

Livraison

16 mai 2010

Premier match d'inauguration : Afrique du Sud-Thaïlande



1- Vue intérieure du stade.

2- Vue extérieure du stade.

3- Coupe transversale type.

1- Interior view of the stadium.

2- Exterior view of the stadium.

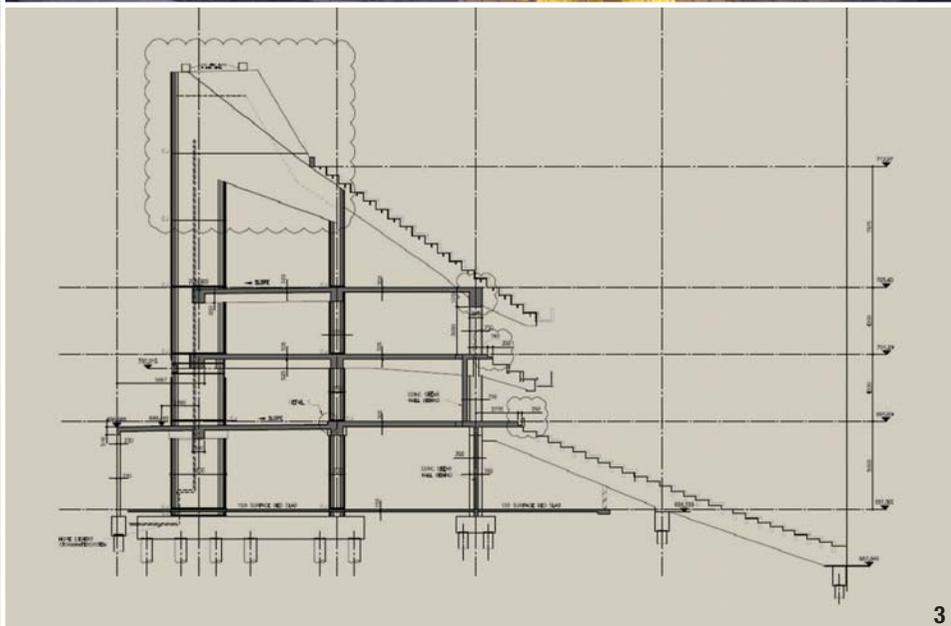
3- Typical cross section.

UN STADE DE CLASSE MONDIALE

Le stade Mbombela est l'un des cinq nouveaux stades de classe mondiale construits à l'occasion de la Coupe du monde de la Fifa 2010. Sa capacité est de 46 000 places. En siswati (l'une des 11 langues officielles de l'Afrique du Sud), mbombela signifie d'ailleurs « beaucoup de gens dans un petit espace ». Le stade se trouve dans la ville de Nelspruit, qui compte environ 100 000 habitants, à 330 km à l'est de Johannesburg, dans la région du

Lowveld. Nelspruit est la capitale de la province de Mpumalanga, aux portes du Mozambique, du Swaziland et du célèbre parc national Kruger.

Le design du stade s'inspire de ce voisinage sauvage, et l'équipement est surnommé the giraffe stadium. En effet, les piliers supportant la toiture ressemblent à des girafes, et la coloration des sièges rappelle le pelage des zèbres. Les structures intérieures sont quant à elles peintes aux couleurs principales du drapeau sud-africain.



MARCHÉ DES ENTREPRISES GÉNÉRALES

Il comprend :

- La réalisation du gros œuvre du stade et de la toiture métallique ;
- Les corps d'état secondaires (plomberie, peintures, sols, ventilation) ;
- Les installations des équipements (vestiaires, cuisine) ;
- Les réseaux (communication, télévision) ;
- La pelouse et son système d'arrosage ;
- Certains aménagements extérieurs (dallage, routes).

Le stade est conçu pour accueillir des rencontres de football, de rugby, mais également des spectacles de variétés. Il s'intègre dans un nouveau complexe sportif (le Mbombela multipurpose stadium), où des compétitions d'athlétisme, des rencontres de cricket et d'autres disciplines sportives pourront avoir lieu. Avant la construction de ce stade, la province ne comptait aucun complexe sportif capable d'accueillir des compétitions internationales.

Comme chacune des neuf provinces, celle du Mpumalanga se devait d'accueillir la Coupe du monde, qui laissera donc un bel héritage à toute la région. Nul doute que ce complexe favorisera l'épanouissement de futurs talents du sport sud-africain (photos 1 et 2).

STRUCTURE GÉNÉRALE

Le stade est de forme générale rectangulaire, et sa pelouse est de 100 x 70 m. En raison de la déclivité du terrain naturel, le stade comprend un dallage, plus deux ou trois niveaux de planchers pour une surface totale de 30 000 m² (figure 3). La structure est fondée sur pieux (diamètres de 0,60 ou 0,75 m). Elle est constituée de poteaux circulaires ou ovales suivant un maillage de 10 x 10 m environ. Les planchers sont constitués de poutres en béton armé et de dalles en béton précontraint par mono-torons gainés-graissés tendus par post-tension. Les supports de la toiture sont espacés de 30 m environ (un support toutes les trois trames).

Les gradins sont constitués de poutres en crémaillère écartées de 10 m sur lesquelles reposent les 3 200 gradins préfabriqués et précontraints par fils adhérents. Ces éléments préfabriqués sont en forme de T pour les éléments courants, et en U retourné pour les gradins du premier rang des niveaux haut et intermédiaire (photo 4). Ils sont répartis sur trois niveaux (photo 5).

Le niveau bas, au plus près du terrain, comprend 66 poutres en crémaillères, reposant chacune sur trois appuis. Il représente 22 000 places réparties

4- Poutres crémaillères inférieures.

5- Ensemble des gradins et supports de toiture.

6- Vue en plan, niveau supérieur.

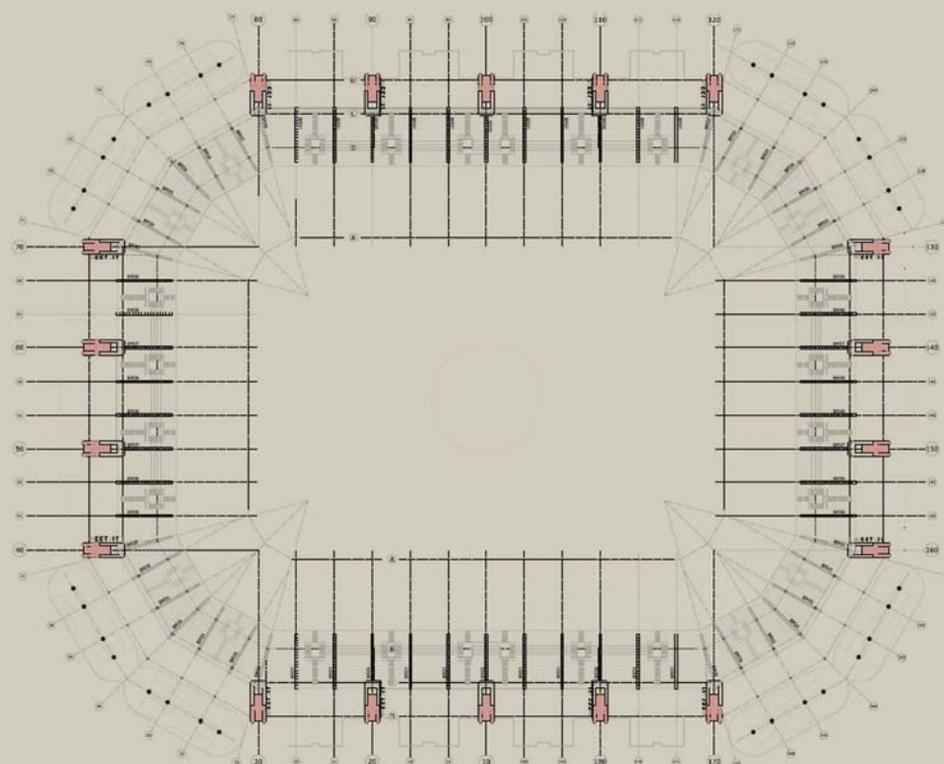
4- Lower rack beams.

5- Terraces and roof supports.

6- Plan view, upper level.



VUE EN PLAN, NIVEAU SUPÉRIEUR



7



PRINCIPAUX ACTEURS ET PARTENAIRES

FINANCEMENT : Gouvernement central, province, municipalité (un tiers pour chacune des parties)

CLIENT : Municipalité de Mbombela

CONSULTANT : Platinum Sport Consulting

ARCHITECTE : R&L Architects

CONSULTANT DESIGN : Lefika Emerging Equity

BUREAU D'ÉTUDES : Goba

ENTREPRISES PRINCIPALES : Bouygues TP, mandataire (60 %), et Basil Read (40 %)

MONTANT DU CONTRAT : 920 000 ZAR, soit environ 80 millions d'euros

7 & 8- Rampes d'accès.

9- Haubannage de la toiture.

7 & 8- Access ramps.

9- Roof stay cables.

en 26 rangées de sièges, ainsi que des places accessibles aux handicapés en partie supérieure. Au niveau intermédiaire, les 66 poutres crémaillères sont réalisées en porte-à faux. Ce niveau représente 4 000 places réparties en quatre rangées, ainsi que des places accessibles aux handicapés en partie supérieure. Il est réservé aux occupants des suites. Le niveau haut est également constitué de 66 poutres crémaillères sur deux appuis, il représente 20 000 places réparties sur 19 rangées. Les niveaux intermédiaire et supérieur sont inclinés à 57 % afin de garantir une parfaite visibilité.

QUATRE DOUBLES RAMPES

Les accès aux niveaux supérieurs se font par quatre doubles rampes ovales et hélicoïdales situées aux quatre angles extérieurs du rectangle (photo 6).

Ces rampes sont constituées de dalles reposant sur des poutres en console de 5,75 m de longueur ancrées sur des poteaux ovales (2 x 1 m). Leur forme courbe ajoute encore à la complexité du coffrage (photos 7 et 8). Les accès aux tribunes d'honneur (situées au deuxième et troisième niveaux) se font par un souterrain à l'ouest, et par des ascenseurs et des cages d'escaliers masqués par des tours de briques. Ces accès débouchent sur des plateformes métalliques surplombant le niveau bas.

SILHOUETTES DE GIRAFES

La toiture en auvent couvre 75 % des sièges. Elle est supportée par 18 pylônes en béton peint prolongés par des structures métalliques, l'ensemble rappelant la silhouette de girafes. Ces pylônes sont constitués de poteaux de 1 m de diamètre (les pattes arrière), de poteaux ovales 3,60 x 1 m (les pattes avant) et d'un chevêtre de 110 m³ de béton (11,30 x 4 x 10 m, le corps de l'animal). ▷

8



9



Cette structure béton est surplombée par une structure métallique culminant à 35 m (le cou et la tête des girafes). Outre l'aspect architectural, la structure métallique sert à reprendre le poids de la toiture en porte-à-faux par un système de haubans venant s'ancrer dans les poteaux béton ovales (photos 9 et 10).

PRIVILÉGIER LA MAIN D'ŒUVRE LOCALE

Le phasage général de construction s'est fait suivant une progression circulaire, en décalage sur les différents niveaux. Les méthodologies de construction ont dû être adaptées aux contraintes locales. La priorité a été d'utiliser au maximum la main d'œuvre locale, bien que peu qualifiée, issue des townships environnants.

Ce recrutement local est obligatoire selon les lois favorisant les entreprises gérées par la communauté africaine (black empowerment). Un effort de formation important a été nécessaire pour atteindre les critères de qualité, de sécurité et de productivité exigés par un tel projet, et il a été récompensé car aucun accident grave n'a été à déplorer. Le nombre maximum d'ouvriers a été



10

10- Haubanage de la toiture.
11- Construction.

10- Roof stay cables.
11- Construction.

de 1 400 en période de pointe, pour une cinquantaine de personnes d'encadrement de dix nationalités différentes (photos 11 et 12).

MOYENS DE CONSTRUCTION

Une centrale à béton a été installée sur site par un fournisseur de béton local.

La manutention était assurée par six grues à tour sur rails couvrant l'ensemble du stade (deux positionnées à l'intérieur et quatre à l'extérieur), plus une grue à tour sur l'aire de préfabrication des gradins. La toiture a été montée par une grue automotrice (capacité de 400 t environ). Les pieux ont été



11



12

construits suivant la méthodologie de la tarière creuse. Cinq ateliers ont été mobilisés en période de pointe.

GRADINS, PLANCHERS ET PYLÔNES

Les poutres crémaillères, supports des gradins, sont des poutres en béton

armé coulées en place sur étaielement, à l'exception de la partie basse des crémaillères inférieures qui a été coulée directement sur le sol.

Les coffrages ont été réalisés en Afrique du Sud, par trois fabricants, suivant les plans de fabrication établis par le bureau des méthodes Bouygues TP.

12- Construction.
13- Pylônes et détails de la toiture.

12- Construction.
13- Pylons and details of the roof.

Les gradins préfabriqués sont des poutres précontraintes à fils adhérents (environ 3 200 unités pour un linéaire cumulé de 25 000 m environ).

La préfabrication a été réalisée sur une aire installée sur le chantier par un sous-traitant local, puis en production propre.

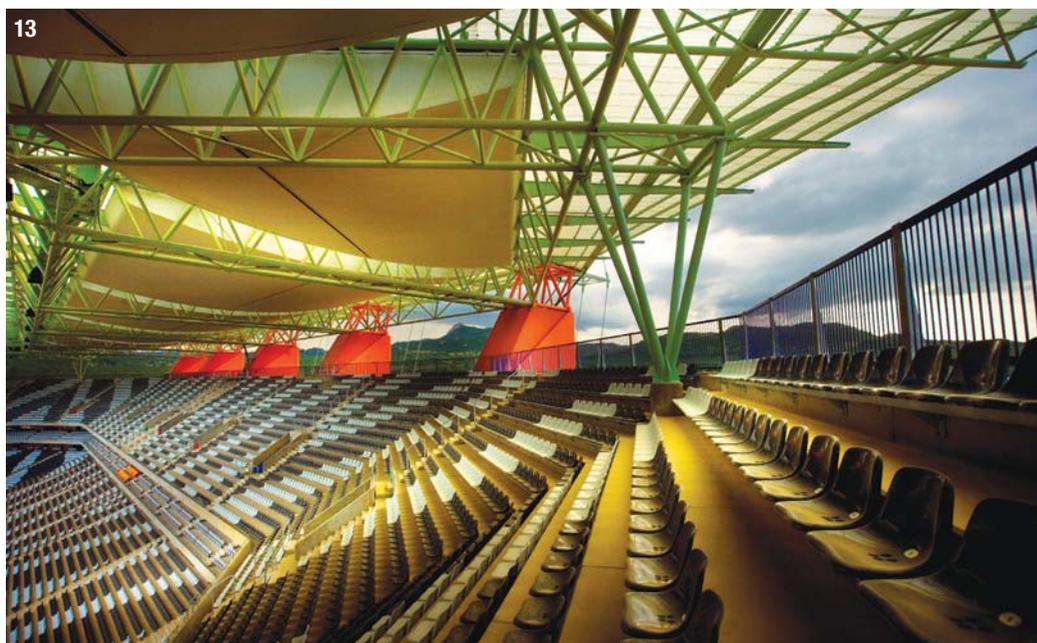
Cette installation était constituée de sept bancs de préfabrication de 94 m de longueur, et desservie par une grue à tour et un portique pour la manutention des pièces les plus lourdes. Le poids moyen des poutres était de 5 t, et de 8 t pour les poutres en U situées en rive des niveaux intermédiaires et supérieurs.

Les planchers ont été réalisés à l'aide de coffrages traditionnels (étaielement en aluminium Multiprop de Peri, poutrelles bois et parois en contre-plaqué).

Trois zones de 600 m² environ étaient équipées simultanément (un équipement pour chacun des niveaux).

Le dimensionnement des structures porteuses a imposé de conserver un étaielement résiduel des dalles inférieures pendant le coulage des dalles supérieures.

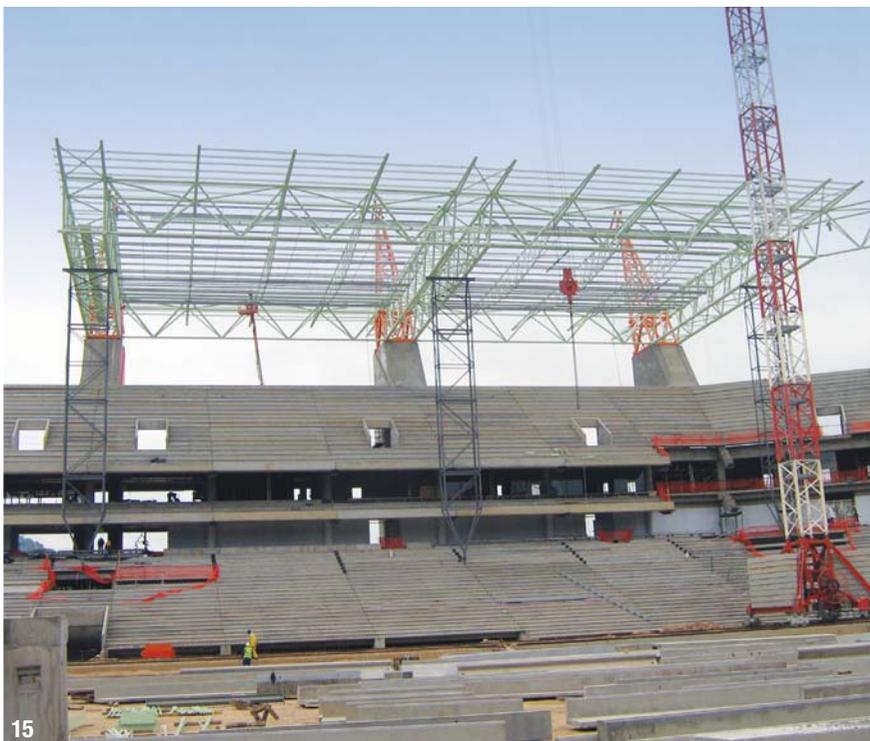
Pour les pylônes supports de la toiture, le coffrage a été réalisé en Afrique du Sud (plans et fabrication).



13



14 15



Le coulage de la partie supérieure des pylônes était réalisé sur étaieage en trois phases (photo 13).

Le montage de la toiture a débuté par les poutres radiales fixées par barres ancrées en tête des pylônes (photo 14).

Ces poutres étaient soutenues temporairement par des palées d'étaieage. La deuxième phase a consisté à monter les éléments de jonction (pannes).

Après mise en place de haubans de retenue, les palées ont été démontées (photo 15).

Les panneaux de bardage ont ensuite été montés.

ESSOR ÉCONOMIQUE RÉGIONAL

Le contexte économique du pays à l'époque de la construction a impacté les travaux et le programme de construction, car le chantier a dû faire face à de nombreuses coupures de courant altérant sa productivité, mais également celle des ateliers des fournisseurs. Quelques grèves de personnel ont aussi eu des conséquences sur le programme des travaux. Malgré ces quelques difficultés, la qualité de l'ouvrage est bonne, et nous avons la satisfaction d'avoir participé à l'essor économique régional, ainsi que d'avoir transféré nos connaissances et formé le personnel local. □

14- Barres de fixation de la toiture.
15- Montage de la toiture.

14- Roof fastening bars.

15- Roof erection.

PRINCIPALES QUANTITÉS

EXCAVATIONS : 16 000 m³

REMBLAI : 12 000 m³

PIEUX : 1 170 unités (diamètre, 600 ou 750 mm ; profondeur maximale, 10 à 15 m)

BÉTON DE STRUCTURE : 60 000 m³ de béton et 9 300 t d'armatures (155 kg/m³)

GRADINS PRÉFABRIQUÉS : 3 200 unités pour environ 2 000 m³

TOITURE : 22 500 m² et 1 850 t de charpente métallique

ABSTRACT

MBOMBELA STADIUM: A NEW FACILITY FOR THE WORLD CUP

JOËL AUBIN, VINCENT RENARD, THOMAS MOHEN, PAUL VIELLARD : BOUYGUES TP - VANESSA DU PREEZ, BASIL READ

Mbombela Stadium was built for the 2010 Soccer World Cup in Nelspruit, a city with a population of 100,000 situated in Mpumalanga province, in the eastern part of South Africa. The very original design was inspired by the famous Kruger National Park located nearby, with its distinctive wildlife. The roof supports are reminiscent of the silhouettes of giraffes, watching over the stadium like guards. The stadium can seat 46,000 spectators. It was built by a joint venture formed by Bouygues TP (60%, representative) and a South African company, Basil Read (40%). Construction lasted about 30 months, from groundbreaking and the start of earthworks to handover. A total of 1,400 labourers and 50 supervisory staff worked on this project. The effort spent training labour was definitely a factor enabling the stadium to be completed in line with the required safety and quality criteria. □

ESTADIO MBOMBELA: UN NUEVO EQUIPAMIENTO PARA EL MUNDIAL DE FÚTBOL

JOËL AUBIN, VINCENT RENARD, THOMAS MOHEN, PAUL VIELLARD : BOUYGUES TP - VANESSA DU PREEZ, BASIL READ

El estadio Mbombela se construyó con motivo de la Copa Mundial de Fútbol en Nelspruit, una ciudad de 100.000 habitantes situada en el este de Sudáfrica. El diseño, muy original, está inspirado en el conocido parque cercano Kruger y en su entorno animalista. Los soportes del tejado recuerdan la silueta de jirafas, que parecen velar sobre el estadio como centinelas. Se trata de un estadio de 46.000 plazas, construido por las empresas Bouygues TP (mandatario, 60%) y Basil Read (empresa sudafricana, 40%). Su construcción duró cerca de 30 meses, desde el comienzo de la excavación hasta la entrega, con el césped practicable. Movilizó hasta a 1.400 operarios (incluyendo subcontratistas) y a 50 personas en la dirección. El esfuerzo de capacitación de la mano de obra fue una ventaja indiscutible para la finalización del estadio, según los criterios de calidad y seguridad requeridos. □

VOILE D'INJECTION DU BARRAGE HOWARD HANSON WASHINGTON, ÉTATS-UNIS

AUTEUR : BRIAN O'GARA, NICHOLSON CONSTRUCTION

CONSTRUIT SUR LA GREEN RIVER À L'OUEST DE L'ÉTAT DE WASHINGTON, LE BARRAGE HOWARD A. HANSON A PRÉSENTÉ, PEU APRÈS SA MISE EN EXPLOITATION, DES FUITES AU NIVEAU DE LA CULÉE RIVE DROITE. CES DÉSORDRES SE SONT AGGRAVÉS AVEC LE TEMPS EN DÉPIT DES TRAVAUX SUCCESSIFS DE RÉPARATION. SUITE AUX PLUIES TORRENTIELLES DE JANVIER 2009, LE BARRAGE HANSON JUGÉ ALORS « DANGEREUX » A NÉCESSITÉ DES TRAVAUX URGENTS DE REMISE EN SÉCURITÉ, CONFIÉS À LA SOCIÉTÉ NICHOLSON CONSTRUCTION, FILIALE NORD-AMÉRICAINNE DE SOLETANCHE BACHY.



UNE ACTION

« URGENTE ET IMPÉRATIVE »

Le barrage Howard A. Hanson a été construit en 1962 sur la Green River, dans la région ouest de l'État de Washington. Ce barrage en terre, mesure 72 m de hauteur et 206 m de longueur. L'appui rive gauche est fondé sur un substratum rocheux vol-

canique. Les fondations de l'appui rive droite sont constituées d'une part par un substratum rocheux et d'autre part par des alluvions meubles et remaniées par un glissement. La culée rive droite a été affectée par des fuites peu après le début de l'exploitation du barrage.

Ces fuites ont fait l'objet d'une surveillance particulière, de débats, et

de plusieurs tentatives d'amélioration. Le dernier épisode, consécutif au remplissage exceptionnel du bassin par les pluies torrentielles du mois de janvier 2009, a poussé le U.S. Army Corps of Engineers (USACE) à reclasser le barrage Hanson comme « dangereux », nécessitant, une action « urgente et impérative » de remise en sécurité.

OBJECTIF :

RÉALISER UN VOILE D'INJECTION

Compte tenu de la dangerosité du barrage et du peu de temps disponible avant le début des fortes pluies qui frappent cette région en novembre, l'USACE a choisi dans un premier temps de réduire les circulations d'eau au moyen d'un voile d'injection, en

LA CHAÎNE INFORMATIQUE D'INJECTION

Le contrôle de la qualité en cours d'exécution est un facteur clé de la réussite des chantiers d'injection. Pour cette raison, Soletanche Bachy a développé depuis les années 80 une chaîne informatique, dénommée GROUT I.T., qui est rapidement devenue incontournable pour gérer efficacement les milliers de données des chantiers d'injection, à tous les niveaux de la production : l'établissement du projet (implantation des forages, calcul des quantités à injecter) ; le contrôle de la centrale d'injection (surveillance des pompes, acquisition des mesures de débit et pression) ; enfin, le suivi technique de la qualité et de la production.

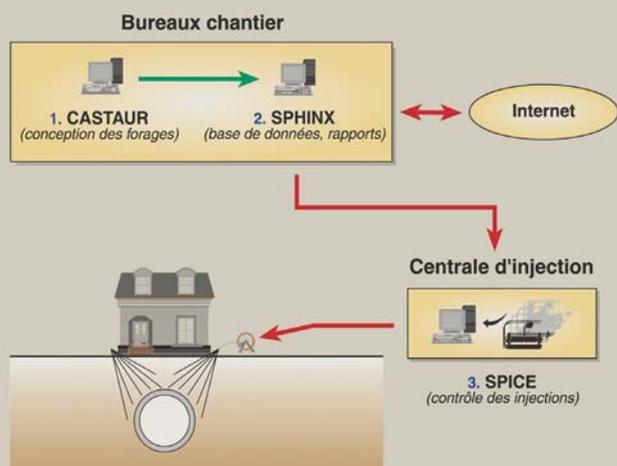
La chaîne informatique de traitement développée par Soletanche Bachy comprend essentiellement (figure 3) :

- Le programme CASTAUR : pour effectuer la synthèse des éléments de reconnaissance, et établir le plan de tir des forages,
- Le système de supervision SPICE placé dans la centrale d'injection et pilotant les pompes en fonction d'instructions pré-établies : pour contrôler le processus d'injection,
- Le programme SPHINX, et ses outils de visualisation graphique : pour la gestion des données de l'injection.

L'apport de ces outils informatiques est considérable, car ils apportent tout à la fois :

- Sécurité, grâce à une rigueur et à une précision accrue dans la prise des données et le contrôle des opérations sur le terrain ;
- Qualité : grâce à la puissance des outils de synthèse et d'analyse : rapports, vues graphiques ;
- Performance : des rendements de production accrus, et un contrôle efficace et compatible avec le rythme de plus en plus rapide des chantiers.

SCHÉMA D'INJECTION



1 & 2- Foreuses sur la plateforme de travail et centrales d'injection.
3- Schéma d'injection.

1 & 2- Drilling machine on work platform and jet grouting plants.
3- Grouting diagram.

d'injection au moyen de vérins hydrauliques de dé tubage conçus à cet effet. L'USACE impose des limitations très strictes sur les méthodes de forage utilisées dans les barrages de terre. Parmi le nombre limité d'options, Nicholson a sélectionné le forage sonique, à la fois pour son faible impact environnemental et pour le rendement élevé attendu dans les terrains de couverture comme dans le substratum rocheux.

Des difficultés sérieuses ont été rencontrées avec cette méthode car le tubage de 4" avait tendance à se bloquer ou à se rompre lors du relevage. Nicholson, l'USACE et ses conseillers ont identifié plusieurs causes susceptibles d'expliquer ces difficultés.

Pour la plupart, ces incidents étaient probablement dus à la remontée du coulis au dessus de l'obturateur, soit dans le terrain, soit dans l'espace annulaire. Malheureusement, le planing serré n'a pas permis de mettre au point ou d'identifier systématiquement la meilleure mesure corrective ; par conséquent, plusieurs mesures ont été proposées (toutes n'ont pas été mises en œuvre) :

- L'utilisation d'obturateurs plus longs,
- L'utilisation d'un tubage de 4" plus lourd,
- L'utilisation d'un tubage muni de chaussettes géotextiles (méthode MPSP),
- La rotation du tubage pendant l'injection,
- Et l'utilisation du tubage sonique de 6" pour l'injection.

glaciaires ou lacustres et d'ébouils rocheux d'andésite atteignant parfois plus de 6 m.

La profondeur du voile d'injection varie entre 27 et 52 m ; il s'ancre de 5 m dans le substratum rocheux sur les 50 premiers mètres, puis dans un horizon limoneux sur toute sa longueur restante.

Le voile injecté est réalisé à l'aide d'un coulis fluide et stable.

MÉTHODE INITIALE

Les spécifications du contrat pré voyaient de réaliser l'injection à l'aide d'un tubage ouvert et au moyen d'un obturateur gonflable placé au sommet de chaque tranche à injecter.

La première méthode mise en œuvre pour le forage a consisté à installer un tubage de 4" à l'intérieur du tubage de forage de 6", une fois la profondeur atteinte. Le tubage de 4" devait être remonté à hauteur de chaque tranche

attendant la conception, le financement et la mise en place d'une solution plus durable. Le marché concernant la réalisation du voile d'injection a été attribué à la société Nicholson Construction le 9 juillet 2009, à la suite d'un processus accéléré d'appel d'offres.

Afin de créer un environnement de travail sûr pour le personnel, Nicholson

a dû mener des terrassements très importants pour construire une plateforme en béton sur toute la longueur du voile.

Les travaux réalisés par Nicholson ont consisté à réaliser un voile de 137 m de longueur comprenant deux lignes d'injections dans la culée rive droite du barrage, au travers de dépôts fluviaux,



4

NOUVELLE MÉTHODE

Au cours des différents essais, la première solution fructueuse a consisté à réaliser l'injection via le tubage de 6" et à employer la foreuse pour extraire le tubage jusqu'au sommet de la tranche suivante.

L'utilisation de la tête de forage était indispensable pour libérer le tubage des tranches où il s'était bloqué pendant

l'injection sous pression. Face à l'obligation de respecter le calendrier des travaux, l'USACE a autorisé Nicholson à poursuivre cette méthode plutôt que de commencer à expérimenter la méthode MPSP. Ceci a néanmoins réduit le rendement du forage d'au moins 50 %, puisque les opérations de forage et d'injection ne représentaient plus des activités indépendantes. Afin de com-

4- Vue de la retenue du barrage.

5- Vue d'une centrale d'injection surplombant les foreuses.

6- Vue générale du barrage.

4- View of retention dam.

5- View of a grouting plant overlooking the drilling machines.

6- General view of the dam.

penser cet impact sur le planning et de respecter le programme, deux foreuses ont dû être rajoutées au projet.

LES CENTRALES D'INJECTION

Chaque centrale d'injection était équipée de deux pompes Moineau à cavité progressive, de malaxeurs et de deux cuves d'agitation/stockage de 500 litres, le tout stocké dans un conteneur. Le chantier utilisait deux centrales en permanence plus une troisième centrale de secours. Les silos à ciment, le malaxeur de pré hydratation de la boue bentonitique et les réservoirs de super plastifiant étaient placés à l'extérieur de la centrale d'injection ; l'approvisionnement en matériaux était contrôlé par des dispositifs de pesée. Les têtes de forage étaient connectées à distance au système GROUT I.T. chargé de mesurer, d'enregistrer et d'indiquer en temps réel les paramètres d'injection pertinents. Elles étaient équipées de débitmètres, d'un manomètre normalisé et d'un capteur de pression placés sur un protège-manomètre. Chaque tête de forage était équipée d'une conduite d'alimentation et d'une conduite de retour du coulis vers la centrale, et de vannes permet-



5



tant de régler manuellement le débit de coulis injecté dans le forage. Les têtes de forage étaient regroupées par groupes de quatre unités à l'arrière d'un véhicule utilitaire tout-terrain.

LE PLANNING

Le contrat a été achevé dans les délais prévus au marché soit, le 1^{er} novembre 2009, en atteignant les critères en

refus pour la majorité des tranches (6 Unités Lugeon dans le terrain de couverture et 3 Unités Lugeon dans le substratum rocheux). Ceci a permis à l'USACE d'accorder un nouvel avenant au contrat destiné à prolonger le voile d'injection dans une zone rocheuse située entre le barrage et la culée rive droite. Selon les études réalisées, le voile d'injection a réduit le risque

d'inondation de 1 sur 3 à 1 sur 25, ce qui, pour une mesure provisoire, dépassait les espérances de l'USACE. Le Chef du District de Seattle, le Colonel Anthony O. Wright, a tenu à remercier la société Nicholson en ces termes :

« I want to thank the Nicholson Team for the completion of emergency repairs to the Howard Hanson Dam. With literally billions of dollars of damage and potential loss of lives at stake, the repairs to this dam became my number one priority after the flooding in January 2009. Your team, with its depth of experience and talented field staff, took on the construction of a grout curtain barrier that was unique in the industry, complex, and had a very challenging timeline. You met the tight construction schedule with a high quality installation and provided substantial relief to the citizens and businesses downstream. Please pass on my thanks to all of the Nicholson employees who helped make this project a success ». □

PRINCIPALES QUANTITÉS

FORAGE : 480

FORAGE DES TERRAINS DE COUVERTURE : 16 km

FORAGE DU SUBSTRATUM ROCHEUX : 2 km

HEURES DE POMPAGE : 2 642 heures

**VOLUME INJECTÉ : 2 200 m³
(1 835 tonnes de ciment portland)**

PRINCIPAUX PARTICIPANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : U.S. Army Corps of Engineers - District de Seattle

ENTREPRISE : Nicholson Construction (filiale de Soletanche Bachy)

TERRASSEMENT : C.A. Carey

ABSTRACT

GROUTED SHEAR WALL OF THE HOWARD HANSON DAM WASHINGTON, UNITED STATES

BRIAN O'GARA, NICHOLSON CONSTRUCTION

The Howard A. Hanson Dam was built in 1962 on the Green River, in the western region of Washington State. This earth dam measures 72 m high and 206 m long. The left-bank support foundations are a volcanic rock substratum. The right-bank support foundations consist of a rocky substratum and also loose alluvia reshaped by a landslide. The right-bank abutment was affected by leaks shortly after the dam came into operation. These leaks underwent special monitoring and were the subject of discussions and several attempts at improvement. The latest episode, following exceptional filling of the reservoir by the torrential rains of January 2009, led the U.S. Army Corps of Engineers (USACE) to reclassify the Hanson Dam as «dangerous», requiring «urgent and imperative» action to make it safe again. □

PANTALLA DE INYECCIONES DE LA PRESA HOWARD HANSON WASHINGTON, ESTADOS UNIDOS

BRIAN O'GARA, NICHOLSON CONSTRUCTION

La presa Howard A. Hanson se construyó en 1962 sobre el Green River, en la región oeste del Estado de Washington. Esta presa de tierra mide 72 m de altura y 206 m de longitud. El apoyo en la orilla izquierda está cimentado sobre un sustrato rocoso volcánico. Las cimentaciones del apoyo de la orilla derecha están constituidas, por una parte, por un sustrato rocoso y, por otra, por aluviones sueltos y alterados por un deslizamiento. El estribo de la orilla derecha se vio afectado por fugas poco después del comienzo de la explotación de la presa. Estas fugas han sido objeto de una vigilancia particular, de debates y de varios intentos de mejora. El último episodio, consecutivo al excepcional llenado del vaso por las lluvias torrenciales de enero 2009, hizo que el U.S. Army Corps of Engineers (USACE) reclasificara la presa Hanson como «peligrosa», que requiere una acción «urgente e imperativa» de puesta en seguridad. □



MUSCAT INTERNATIONAL AIRPORT GROUND IMPROVEMENT

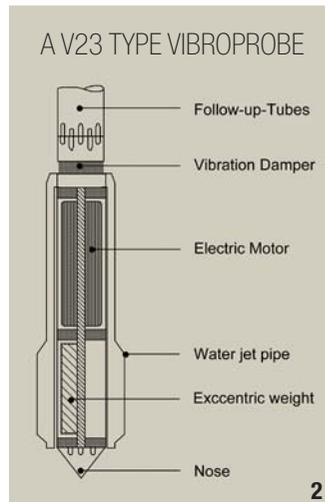
AUTHOR : DAVID JOHNSON, GEOTECHNICAL MANAGER, SOLETANCHE BACHY

THIS PAPER PROVIDES DETAILS OF AN INTERESTING LARGE GROUND IMPROVEMENT PROJECT WHERE VIBRATED STONE COLUMNS ARE BEING CONSTRUCTED THROUGH SOFT SILTS, CLAY, AND ORGANIC SOILS AND LOOSE SAND (SABKHA), TO SUPPORT AN EMBANKMENT FOR AN AIRPORT RUNWAY AND TAXIWAYS. THE OBJECTIVES OF THE GROUND IMPROVEMENT ARE TO IMPROVE THE STABILITY OF THE EMBANKMENT, REDUCE LONG TERM SETTLEMENT, TO INCREASE THE RATE OF CONSOLIDATION OF FINE GRAINED SOILS, AND TO MITIGATE THE RISK OF SEISMIC INDUCED LIQUEFACTION. THE PAPER SUMMARIZES TESTS UNDERTAKEN TO DEMONSTRATE THAT PERFORMANCE REQUIREMENTS HAVE BEEN ACHIEVED, AND PRESENTS DETAILS OF THE PERFORMANCE OF A LONG TERM LOADING TRIAL.



**1- Excavator mounted V23 vibroprobes at Muscat International Airport.
2- A V23 type vibroprobe.**

**1- Sondes vibratoires V23 montées sur excavatrice à l'aéroport international de Muscat.
2- Sonde vibratoire type V23.**



Machine name	V23
Length (m)	3.57
Diameter (mm)	350
Weight (kg)	2200
Motor (kW)	130
Speed (revs/min)	1800
Amplitude. (mm)	23
Dynamic Force (kN)	300

INTRODUCTION

Soletanche Bachy are currently undertaking the enabling works ground improvement contract at Seeb International Airport which involves the installation of stone columns in order to treat soft and loose soils beneath the Eastern section of a new runway and taxiways, together with preparatory earthworks, building of embankments, and placing of surcharge. The specified method of ground improvement is the dry bottom feed technique of stone columns, in conjunction with surcharging and replacement of organic soils in the most critical areas. The client is the ministry of Transport and Communications – civil aviation affairs (DGSAS), the consulting engineer is Cowi-Larsen Joint Venture, and the project manager is Aeroport de Paris International (ADPI).

SCOPE OF WORKS

The Eastern part of the new runway and taxiways is located in an area with high

groundwater table and sabkha soils, which consist of silt, soft clay, organic soils and loose sand that are compressible and prone to liquefaction and settlement. The depth of these loose and compressible soils is approximately 5 m. The organic soils extend over about 25 % of the plan area of the total area to be treated by stone columns including part of the new runway. The runway and taxiways have strict requirements for settlement and particularly long term differential settlement. The works therefore include the removal of about 260,000 cubic metres of organic soils and their replacement with granular fill. The replaced soil, the loose soils beneath the replacement and other areas of soft soils are being treated by a combination of stone columns typically 4 to 5 metres deep and surcharging in order to reduce long term settlements to very low values.

In addition the contract includes geotechnical investigations, the construction

of the rock fill working platform for the stone column works, the construction of the rock fill runway embankment and the placement of the surcharge. The contract also includes excavation and backfilling with rock fill for culvert foundations in the area of the ground treatment works.

The geotechnical investigations consist mainly of continuous piezocone penetration tests (CPTUs), but also include pre ground improvement boreholes. Pre treatment CPTUs were undertaken at a frequency on one per 900 square metres, and it is anticipated that there will be approximately 50 post CPTUs. The contract requires approximately 105,400 stone columns over a treatment area of approximately 365,000 square metres.

PERFORMANCE REQUIREMENTS AND DESIGN

The engineer is the designer and is required to provide the design in the

form of drawings giving the stone column replacement ratio, stone column layout and treatment depths. The specification requires that stone columns shall have an average diameter of 0.85 m, and the engineer has determined that stone columns shall be installed on a 2 m triangular pattern. The treatment is intended to treat the full depth of the soft or loose soil layers with the stone columns penetrating competent soils either by a minimum of 1 m, or to earlier refusal of the vibroprobe. The specified objectives of the stone columns are to improve the stability of the embankments, reduce long term settlements, to increase the rate of consolidation of fine grained soil layers and to mitigate the risk of seismic induced liquefaction. The specification requires that "The compaction effect of sand and silt layers shall be determined by CPTU tests, to be carried out at the mid point between stone columns". The following penetration test results shall be achieved:

→ For soil layers with a friction ratio of less than 1 %, the cone penetration resistance after treatment shall be at least 6.5 MPa.

→ For soil layers with a friction ratio of less than 2 % (at 6 m depth), the cone penetration resistance after treatment shall be at least 3.5 MPa and at least 4 MPa shall be achieved for soil layers with a friction ratio of 1.5 %.

METHOD OF GROUND IMPROVEMENT

The specification requires that the ground improvement shall be undertaken utilizing "the dry bottom feed method". At Seeb V23 type vibroprobes are being used (figure 2), as manufactured by Soletanche Bachy. In view of the comparatively shallow treatment depths typically in the range 4 m to 6.5 m, the vibroprobes are mounted on excavator base machines (photos 1 and 3). Stone column aggregate is introduced using a calibrated bucket of known volume, and the volume of aggregate introduced into each stone column is recorded manually and electronically, so that the diameter of each stone column over depth may be assessed.

MONITORING AND TESTING OF THE WORKS

There had been extensive pre-contract Site Investigations, which included boreholes and CPTUs. As part of the enabling works contract and prior to commencement of ground improvement works further boreholes (40 No.) ▷



and further CPTUs (one per 900 square metres) were undertaken. The principal method of post treatment testing is by CPTU, which are being undertaken at the centroid of triangles formed by the stone columns.

The specification allows for correction of CPTU tip resistance values for overburden effects, using the following formulae: $q_{corr.} = q_c \times C$

Where:

- C = Stress correction factor = $(p_a/\sigma_v')^{0.5}$
- p_a = Reference stress = 100kPa.
- σ_v' = Vertical effective stress.

q_c = Measured CPTU tip resistance.
 $q_{corr.}$ = Stress adjusted CPTU tip resistance.

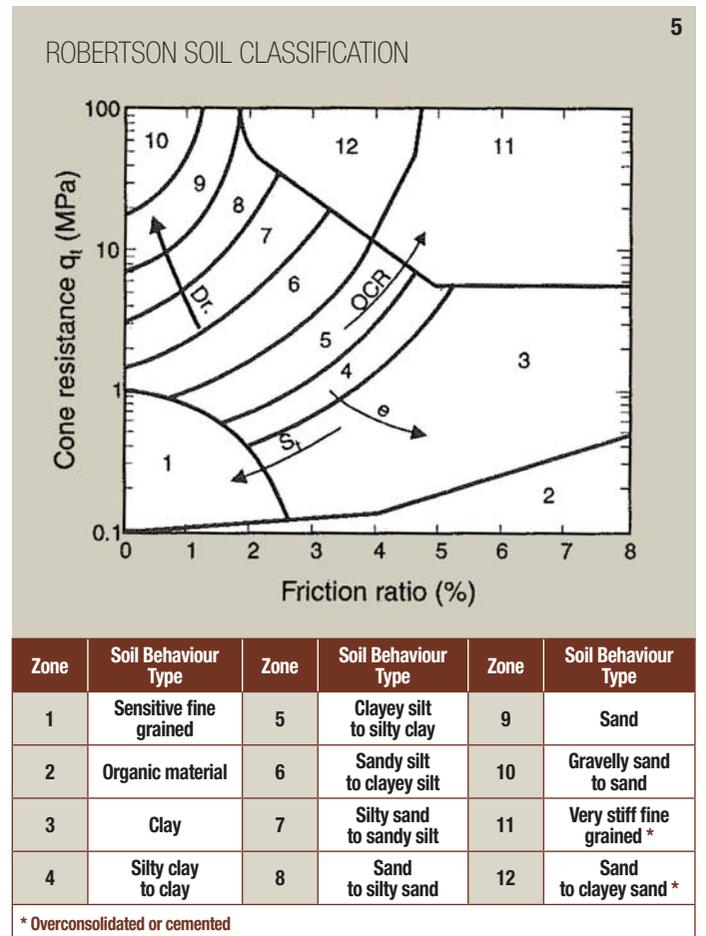
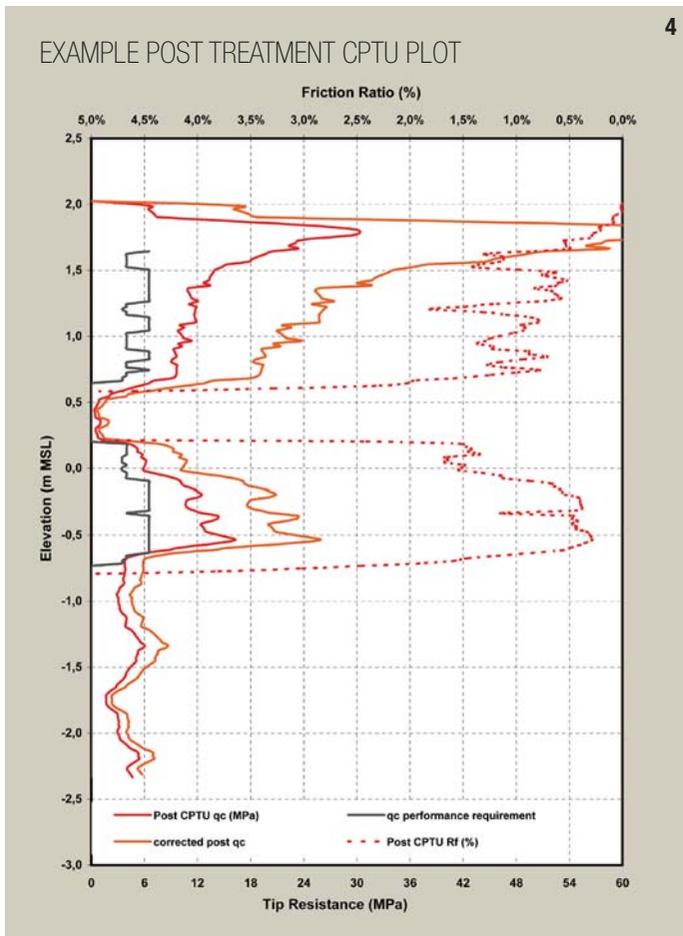
An example post treatment CPTU plot which shows the following information is presented below (figure 4):

- Post treatment uncorrected tip resistance and friction ratio.
 - Post treatment stress corrected tip resistance.
 - Specified performance requirement, which varies dependent of CPTU friction ratio.
- It is possible to make an assessment

of soil type as a function of CPTU tip resistance and CPTU friction ratio, and a widely used soil classification proposed by Robertson et al. (1), is presented below (figure 5). Use of this chart enables an assessment to be made of soil types, and hence compactability by vibration generated during stone column installation.

Regarding the CPTU performance requirements, where CPTU friction ratio is less than 1 % soils would generally fall within Roberston Soil Types 8 and 9, which are well compactable in situ by

the vibratory action of the vibroprobe. As CPTU friction ratio increases beyond 1 % this is indicative of increasing fines content and decreasing effectiveness of in situ densification by vibration. As CPTU friction ratio increases from 1 % towards 2 % this would indicate Roberston soil type 8 moving towards Roberston soil type 7. These changes in compactability and soil type are reflected in the reduced CPTU tip resistance requirement as CPTU friction ratio increases beyond 1 %. In situ densification by vibration would not be





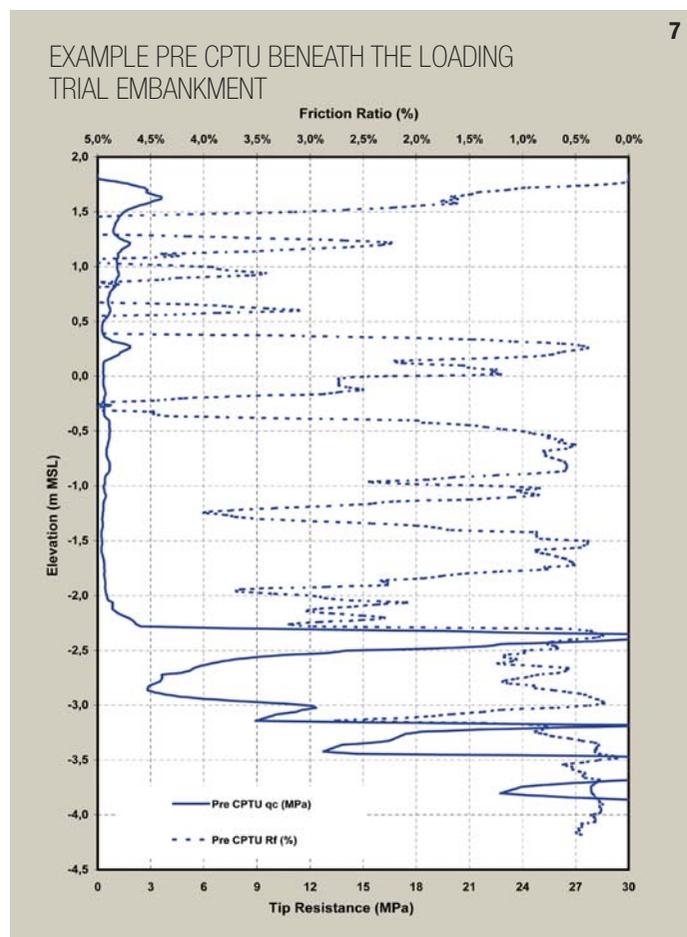
6

expected for soils with CPTU friction ratio in excess of 2 %, for which there is no specified CPTU tip resistance performance requirement. This is indicative of Robertson soil types 4, 5, 6 and 7. Stone column verification tests were undertaken to verify the column installation parameters for the main works, which included undertaking excavation tests to confirm the actual diameter of installed stone columns. In addition there is a long term loading test in progress. For the loading trial, which is situated outside the area of the main

works, a 6 m high embankment has been built over an area of approximately 30 x 60 m beneath which stone columns have been constructed (photo 6). Pore pressure in the treated soft soils beneath the embankment is being monitored using vibrating wire piezometers, and settlement of the treated soil is being monitored by means of steel plates installed on the stone column working platform, before the embankment was built. An example pre CPTU undertaken beneath the loading trial embankment is presented as figure 7.

This CPTU plot shows very low tip resistance values to a depth of approximately 4.2 m and highly variable friction ratios, indicative of an inter-bedding of very loose sands, and soft to stiff silts and clay (sabkha), over alluvial sand. It was recognized that soil conditions in the area of the loading trial are particularly soft and not typical for the area of the main works. Therefore, it would be expected that settlement of the trial embankment would be expected to be higher than for embankments of the same height in the area of the main

works. Because of the particularly soft and loose soils within the treated depth in the area of the loading trial, the average stone column diameter, based on an analysis of the stone used, was found to be 0.95 m, compared to the specified requirement of 0.85 m. The average treatment depth for the loading trial was 5.83 m. Plots of load and settlement versus time are presented (figure 8). Average settlement at full embankment height of 6 m is currently 117 mm which is within the expected range. Monitoring of the performance of the loading trial will continue for a further four months. The locations of the settlement plates (SP) and locations of settlement pegs (S and N) outside the toe of the trial embankment are as shown in figure 8 (positive values are settlement, and negative values are heave). Five vibrating wire piezometers were installed beneath the trial embankment to monitor the variation of pore pressure over time during building of the embankment. The piezometers were installed within boreholes, with the aim of placing the sensors centrally within layers or lenses of cohesive soils. The sensors were placed within a sand response zone with bentonite seals beneath and above the response zone. Bentonite seals were formed by dropping bentonite pellets down a cased borehole.



7

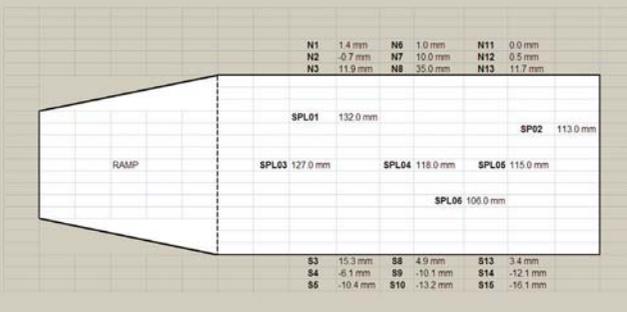
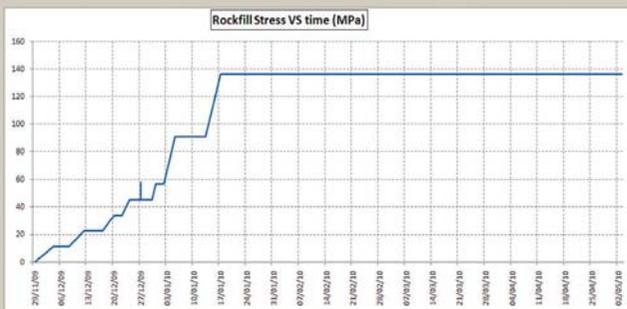
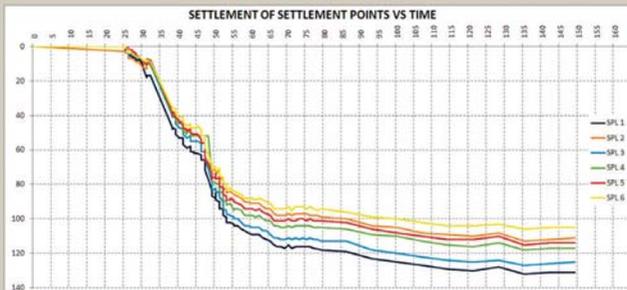
- 3- Excavator mounted V23 vibroprobes at Muscat International Airport.
- 4- Example post treatment CPTU plot.
- 5- Robertson Soil Classification.
- 6- Loading trial.
- 7- Example pre CPTU beneath the loading trial embankment.

- 3- Sondes vibratoires V23 montées sur excavatrice à l'aéroport international de Muscat.
- 4- Exemple de parcelle CPTU après traitement.
- 5- Classement des sols Robertson.
- 6- Essai de chargement.
- 7- Exemple avant CPTU sous le remblai de l'essai de chargement.

As shown in the example pre treatment CPTU plot presented as figure 7, there is inter-bedding of very loose sands, and soft to stiff silts and clay (sabkha) which means that layers or lenses of cohesive soil are often thin. This means that some of the piezometers response zones may not be entirely within cohesive soil. A plot of pore pressure measured by the piezometers over time is presented as figure 9. Piezometer numbers 1, 3, 4, and 6 show significant increases in

LOADING TRIAL – SUMMARY OF SETTLEMENT

8

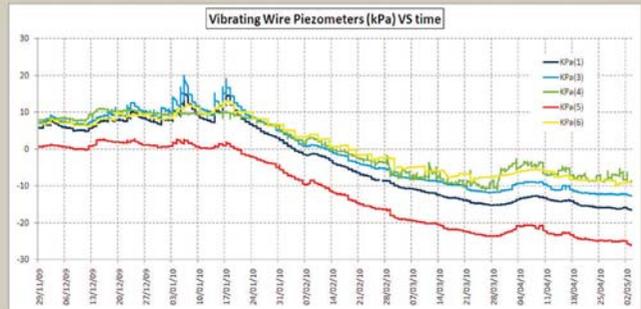
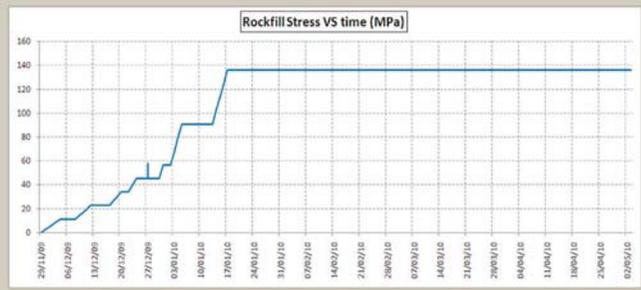


pore pressure as significant additional load is applied during embankment construction. Piezometer No. 5, shows a more subdued response to application of additional embankment load, which may be due to the fact that the sand response zone for this piezometer is not entirely within cohesive soil.

The reduction in piezometer readings after approximately 20th January 2010, and subsequent fluctuations, is due to nearby dewatering activities associated with excavations to enable partial replacement of organic soils. The contract period is 12 months commencing in June 2009.

PIEZOMETER PLOTS

9



8- Loading Trial – Summary of settlement.

9- Piezometer plots.

8- Essai de chargement – Récapitulatif des tassements.

9- Parcelles d'essais piézométriques.

stone column element of the works is being undertaken by Soletanche Bachy utilizing an international workforce, and equipment is kept running by a team of on site mechanics. The total number of Soletanche Bachy employees on site is approximately 160. Earthworks and most of the geotechnical investigations is being undertaken by Sub-Contractors, who have approximately 140 employees on site. □

In view of the comparatively shallow treatment depth vibroprobes are mounted on excavator base machines (stitchers) (photos 1 and 3).

There are up to eight stitchers using type V23 vibroprobes working six days per week 24 hours per day. The overall management of the project and the

⁽¹⁾ Robertson, P.K., Campenella, R.G., Gillespie, D., and Grieg, J. (1986) "Use of piezometer cone data". Proceedings of the ASCE Specialty Conference In Situ, 86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, 1263-80, American Society of Engineers (ASCE).

ABSTRACT

AMÉLIORATION DE SOL À L'AÉROPORT INTERNATIONAL DE MUSCAT

DAVID JOHNSON, SOLETANCHE BACHY

Cet article décrit dans le détail un projet important et intéressant d'amélioration de sol, dans lequel des colonnes en pierre vibrées sont réalisées à travers des limons friables, de l'argile ainsi que des sols organiques et sables meubles (sabkha), afin de supporter le remblai d'une piste d'aéroport ainsi que des voies de circulation. Cette amélioration de sol vise à accroître la stabilité du remblai, réduire le tassement à long terme, augmenter le taux de consolidation de sols à grains fins, et diminuer le risque de liquéfaction induite par des séismes. L'article résume des essais réalisés afin de démontrer que les exigences comportementales ont été atteintes, et présente des détails concernant la réalisation d'un essai de chargements à long terme. □

MEJORA DEL SUELO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MUSCAT

DAVID JOHNSON, SOLETANCHE BACHY

El presente documento ofrece detalles de un interesante y amplio proyecto de mejora del suelo, basado en la construcción de columnas de piedra vibrada utilizando barros blandos, arcilla, suelos orgánicos y arena suelta (sabkha) para soportar un terraplén donde se construirán las pistas de salida de vehículos y taxis de un aeropuerto. Los objetivos de la mejora del suelo son aumentar la estabilidad del terraplén, reducir el riesgo de hundimientos a largo plazo, incrementar el ritmo de consolidación de los suelos de grano fino y mitigar el riesgo de licuado inducido por fenómenos sísmicos. El documento resume las pruebas realizadas para demostrar que se han alcanzado los requisitos de rendimiento, al tiempo que detalla la realización de una prueba de carga a largo plazo. □