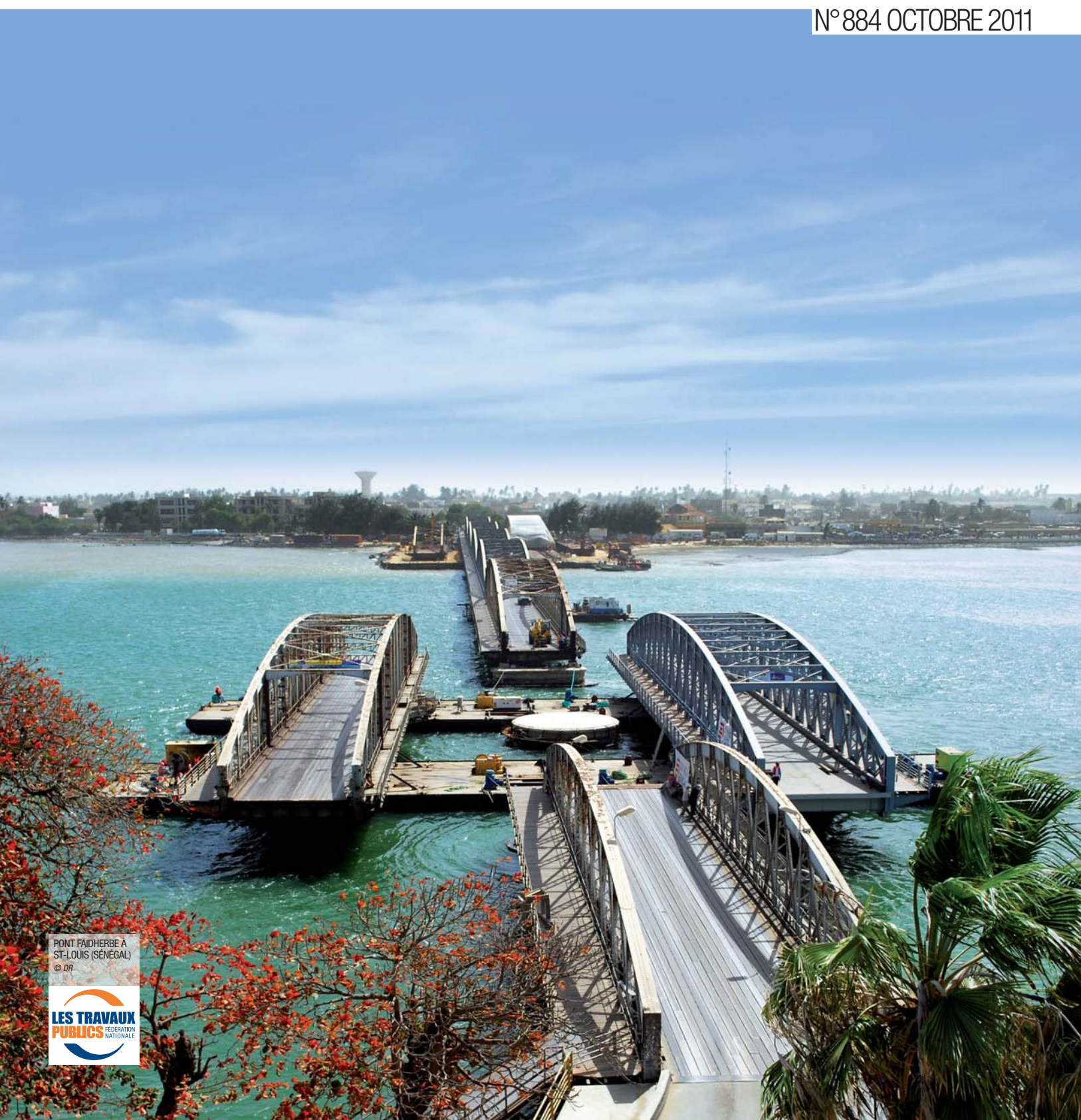


# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**INTERNATIONAL.** LA STATION DE POMPAGE DE DOHA NORD AU QATAR. LE PORT DE TANGER MEDITERRANEE 2 (TM2). RECONSTRUCTION DU PONT FAIDHERBE AU SENEGAL. CONSTRUCTION DU PORT POUR CONTENEURS CMIT AU VIETNAM. TORRE REFORMA : LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MEXIQUE. EXPERTISE ET REPARATION D'UN VIADUC APRES UN SEISME. AUTOROUTE DAKAR-DIAMNIADIO AU SENEGAL

N°884 OCTOBRE 2011



PONT FAIDHERBE À  
ST-LOUIS (SÉNÉGAL)  
© DR



**Directeur de la publication**  
Patrick Bernasconi**Directrice déléguée**  
**Rédactrice en chef**  
Mona Mottot3, 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), Stéphane Monleau  
(Solétanche Bachy), Louis Marracci  
(Bouygues), Jacques Robert (Arcadis  
ESG), Claude Servant (Eiffage TP),  
Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis  
(Egis), Michel Duviard (Egis), Florent  
Imberly (Razel), Mona Mottot (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro****Rédaction**Bernard Aldebert, 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.frFrance (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**Christophe Bouthrin  
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)2 32 32 03 52  
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 by Travaux). Ouvrage protégé ;  
photocopie interdite, même partielle  
(loi du 11 mars 1957, qui constituerait  
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0111 T 80259  
ISSN 0041-1906

## POUR UNE VILLE APAISÉE



© DR

Première ville de France pour le tramway et le vélo, Strasbourg est particulièrement attachée à un usage raisonné et apaisé de l'espace public. Aussi, dès le début de mon mandat en 2008, j'ai lancé une démarche globale de code de la rue visant à mieux articuler encore les différents modes de déplacement et à encadrer leur pratique.

L'évolution de la réglementation ouvre d'ailleurs de nouvelles possibilités comme celle de faciliter le « tourne à droite » aux feux pour les cyclistes. Nous avons également recours à la création de zones de rencontre, au sein desquelles le piéton est prioritaire. Il s'agit là d'entrer dans une logique de responsabilité, le plus rapide devant prêter attention au plus lent car ce dernier est aussi le plus fragile.

La démarche du code de la rue permet donc de promouvoir les modes doux, plus respectueux de l'environnement et moins consommateurs d'espaces publics.

L'utilisation croissante de ces modes de déplacement nous oblige à revisiter nos pratiques en matière d'aménagement d'espaces publics, notamment pour le stationnement. Ainsi, il est courant de remplacer une place de stationnement réservée jusqu'alors à l'automobile par 5 arceaux permettant de stationner 10 vélos. Notre objectif est aussi de promouvoir les modes actifs comme la marche ou le vélo, en complément des transports publics afin de favoriser des habitudes de vie bénéfiques pour la santé.

Nous venons en effet de finaliser un « plan piéton » qui définit des règles d'aménagements plus favorables aux piétons, prenant ainsi le contre-pied des anciennes pratiques qui consistaient à faciliter la circulation des voitures, parfois au détriment des piétons et cyclistes. Ce plan dresse également la liste des espaces publics qu'il conviendra de traiter dans cette perspective.

Enfin, nous venons d'achever le dépouillement des réponses données par les Strasbourgeois recensés au fichier électoral, à la consultation leur proposant de faire progressivement passer 70% du réseau communal de voiries en zone 30. Je regrette bien évidemment qu'une majorité ne se soit pas dégagée en faveur de cette proposition. Mais comme je m'y étais engagé, je respecterai le choix exprimé par les habitants, conformément à notre politique de démocratie locale.

Néanmoins, je reste convaincu que l'avenir est à la régulation de l'automobile au cœur des villes et le développement des zones 30 s'inscrit dans cette démarche. Il faut toujours un peu de temps pour adhérer aux idées nouvelles. C'est pourquoi nous poursuivons la mise en place progressive de zones 30, non pas de façon systématique comme nous l'espérons, mais à chaque fois que cela s'avèrera pertinent et à un rythme bien plus lent.

Cette politique volontariste consiste donc à promouvoir les déplacements alternatifs à la voiture individuelle, sans pour autant la proscrire de manière idéologique. Dans le même temps, nous menons en effet une politique économique ambitieuse, notamment au travers du projet Eco 2020, qui a pour objectif de doper l'activité économique de la ville.

Mon objectif est de conjuguer dynamisme et cadre de vie apaisé en cohérence avec une vision d'ensemble de la ville de demain.

**ROLAND RIES**  
SÉNATEUR MAIRE DE STRASBOURG

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@fntp.fr

#### Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction Grands Projets), Jean-Bernard Datry (Setec TPI), Stéphane Monleau (Solétanche Bachy), Louis Marracci (Bouygues), Jacques Robert (Arcadis ESG), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel), Mona Mottot (FNTF)

#### Ont collaboré à ce numéro

Rédaction  
Monique Trancart, Marc Montagnon  
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  
Christophe Bouthierin  
9, bd Mendès France  
77600 Bussy-Saint-Georges  
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27  
Email : bouthierin@rpi.fr

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

#### Réalisation et impression

Com'1 évidence  
8, rue Jean Goujon - 75008 Paris  
Tél. : +33 (0)2 32 32 03 52  
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 by Travaux). Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0111 T 80259  
ISSN 0041-1906

# CONFORTER LA PRÉSENCE D'UNE FRANCE BATISSEUSE À L'INTERNATIONAL



© DR

Les travaux publics à l'international sont de véritables vitrines de la France et du savoir-faire français dans le monde. Nos entreprises sont présentes dans de nombreux secteurs d'activité à l'étranger et possèdent une expertise largement reconnue.

**En matière de transports**, je pense notamment au métro du Caire, réalisation phare de la coopération franco-égyptienne depuis 30 ans. Plusieurs sociétés françaises, dont Bouygues, Vinci, Eurovia et NFM ont travaillé sur les différentes phases de construction des deux premières lignes, des études préparatoires au génie civil, assurant parfois aussi la livraison du matériel roulant. Elles réalisent actuellement les travaux de la troisième ligne. De nombreuses autres grandes villes du monde bénéficient également des techniques et de l'expertise française pour les études, la réalisation ou l'exploitation de lignes de métro et de tramways. Notre savoir-faire s'exprime aussi à travers les liaisons ferroviaires, telles que la réalisation de la liaison expresse régionale « Gautrain » reliant Johannesburg à Pretoria et qui associe Bouygues TP et la RATP. Nos entreprises sont également présentes dans de nombreuses réalisations ou projets dans le domaine routier. C'est le cas de Vinci en Russie avec le projet d'autoroute entre Moscou et Saint-Petersbourg.

**En matière d'ouvrages d'art**, nos entreprises se sont illustrées par des réalisations emblématiques comme le pont de Rion Antirion (Grèce), un des plus grands ponts multi-haubané au monde, qui relie le Péloponnèse au continent. Vinci a eu un rôle déterminant dans la réalisation de cet ouvrage. Les études de modélisation des piles et d'études des haubans avaient été réalisées, quant à elles, par le laboratoire central des ponts et chaussées.

Un autre exemple marquant est la réalisation du pont de Russky Island, près de Vladivostok. Suite à la réalisation remarquable du pont de Normandie en 1994, les autorités russes ont décidé d'utiliser le savoir-faire historique de Freyssinet dans la précontrainte et les câbles de structure pour l'étude, la fabrication et la pose des haubans de ce pont qui comportera la plus longue portée haubanée au monde. Freyssinet battra ainsi un nouveau record dans la réalisation de cet ouvrage dont l'inauguration, prévue en mars 2012, sera à nouveau l'occasion de saluer le savoir-faire de nos entreprises à l'export.

Enfin, **en matière de bâtiment et de génie civil**, les savoir-faire des entreprises françaises sont multiples. Je citerais Lafarge, dont la maîtrise des techniques perfectionnées en matière de plaques de plâtres ou de béton fibré ultra-hautes performances est mondialement reconnue. Elle a notamment collaboré à la réalisation du pavillon français de l'exposition universelle de Shanghai et participe actuellement à celle de la nouvelle galerie d'art Circa, conçue par l'architecte Pierre Swanepoel à Johannesburg.

Aujourd'hui, certains de nos partenaires étrangers sont des concurrents non négligeables à l'international. En outre, certains marchés demeurent encore fermés pour nos entreprises. Nous nous efforçons de lever progressivement les barrières et de mettre en place les outils pertinents afin de conserver nos formidables atouts. Je pense notamment à la Réserve Pays Emergent (RPE) permettant des financements de projets par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie mais aussi au soutien d'Ubifrance chargé, avec l'aide de des CCI, de la Coface, des conseillers du commerce extérieur et du Pacte PME, d'identifier et d'accompagner 10 000 nouvelles entreprises à l'export, notamment les PME qui interviennent très souvent à l'appui des grands groupes.

Je suis persuadé qu'avec nos entreprises et la volonté que notre pays rayonne dans la plupart des pays du monde, nous conforterons la présence d'une France bâtisseuse à l'international.

#### THIERRY MARIANI

MINISTRE AUPRÈS DE LA MINISTRE DE L'ÉCOLOGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS  
ET DU LOGEMENT, CHARGÉ DES TRANSPORTS

LISTE DES ANNONCEURS : MAPEI, 2° DE COUVERTURE - ARAMINE, P.9 - SAINT-GOBAIN WEBER FRANCE, P.11 - MENARD, P.15 - TREMBLET, P.19 - RINCENT BTP, P.25 - SMA BTP, P.51 - COLAS, 4° DE COUVERTURE

# BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS : UNE STRATÉGIE PAR LA DIFFÉRENCIATION

AVEC 4 200 COLLABORATEURS ET UN CHIFFRE D'AFFAIRES DE 1,2 MILLIARDS D'EUROS, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS EST L'UNE DES FILIALES LES PLUS SYMBOLIQUES DU GROUPE BOUYGUES. PAR SES RÉALISATIONS SOUVENT SPECTACULAIRES, ELLE CONTRIBUE LARGEMENT À VÉHICULER L'IMAGE DU GROUPE EN FRANCE MAIS AUSSI À L'INTERNATIONAL, OÙ ELLE RÉALISE 65% DE SON CHIFFRE D'AFFAIRES.



© LAURENT ZYLBERMAN

**CHRISTIAN GAZAIGNES, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS, EXPLIQUE COMMENT LE DÉVELOPPEMENT DE CETTE ENTITÉ S'EST ARTICULÉ AUTOUR D'UNE STRATÉGIE DE DIVERSIFICATION ET UN RENFORT DE SES ENTITÉS PÉRENNES QUI LUI A PERMIS DE CONSTRUIRE, DEPUIS 30 ANS, QUELQUES UNS DES GRANDS OUVRAGES EMBLÉMATIQUES DE GÉNIE CIVIL DANS LE MONDE. PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT**

## Quels sont les chiffres-clés de Bouygues TP au sein du groupe Bouygues ?

Bouygues Travaux Publics réalise un chiffre d'affaires de l'ordre de 1,1 milliard d'euros pour un chiffre d'affaires total de 9,2 milliards d'euros pour Bouygues Construction et de 31,2 milliards d'euros pour Bouygues SA. Le chiffre d'affaires de Bouygues Travaux Publics est réalisé à environ 35% en France et 65% à l'international.

## Quels sont les métiers de Bouygues Travaux Publics ?

Ce que nous appelons Travaux Publics, ce sont les infrastructures de transport routières ou ferroviaires, les tunnels, les ouvrages d'art, le « gros » génie civil, notamment

les centrales nucléaires, les travaux fluviaux, maritimes et portuaires et les opérations de maintenance et de démantèlement nucléaire.

## Quelle est votre stratégie de croissance à l'international ?

Nous ne raisonnons jamais en termes de croissance mais en termes de résultats. Nous nous adaptons en permanence à la nature et à la taille des chantiers, en fonction des marchés qui se présentent.

Il est clair qu'à la fin des années 80 et au début des années 90, nous avons saisi l'opportunité de ce que l'on appelle désormais les PPP, qui s'apparentaient plutôt à l'époque à de simples concessions par rapport au business traditionnel de l'appel d'offres classique, sur des projets

© DEREK M ALLAN

© YVES CHANOIT



dont la conception a été fixée par l'ingénierie du client.

**L'une de nos grandes options stratégiques est la différenciation : faire ce que nos concurrents ne font pas.**

Par exemple, en 1974, nous avons construit notre premier pont à voussoirs préfabriqués, à Vienne, sur l'autoroute A7, à une époque où Campenon Bernard était la seule entreprise à mettre en œuvre cette technique.

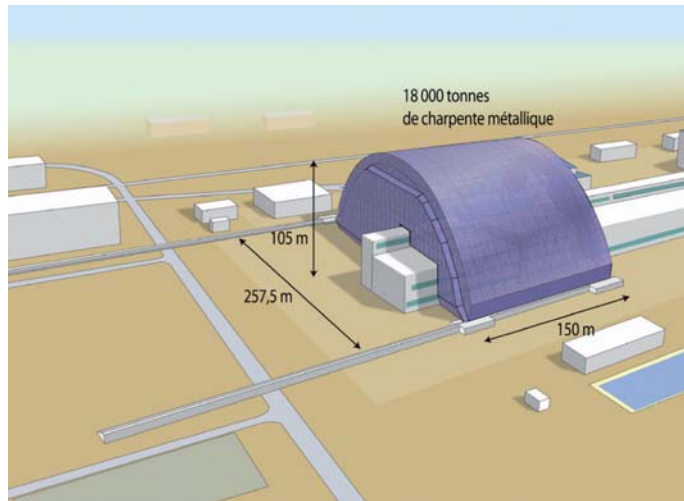
Quand j'ai intégré l'entreprise en 1980, l'activité tunnels n'existait pas. Depuis, notre activité a progressé pour atteindre 50% dans la construction de tunnels.

Au début des années 80, il s'est avéré que de plus en plus d'entreprises maîtrisaient la technique des ponts en voussoirs préfabriqués et qu'il était donc urgent de faire autre chose : nous nous sommes alors intéressés aux tunnels.

Par ailleurs, avec l'évolution des normes environnementales, enterrer les projets est devenu un « must ». Il est apparu à l'évidence que notre métier allait évoluer vers les travaux souterrains.

Le directeur général de l'époque réfléchissait déjà au Tunnel sous la Manche et se préparait à avoir une part dans le consortium qui allait le construire, en démarrant l'activité tunnels dès 1981. Aujourd'hui, Bouygues TP dispose de 7 ou 8 tunneliers qui tournent en permanence dans le monde.

Cette stratégie de différenciation s'est appuyée depuis toujours sur un bureau d'études fort, mis à contribution pour développer des concepts nouveaux, des designs différents et des structures inédites qui s'avèreraient moins chers à construire et nous permettraient de dégager un peu plus de marge tout en réalisant un projet à moindre coût pour le client.



## ENCEINTE DE CONFINEMENT DE TCHERNOBYL

**Conception et construction d'une enceinte de confinement en forme d'arche. D'une dimension exceptionnelle, celle-ci sera conçue pour assurer le démantèlement futur de l'ancien sarcophage et des ruines du réacteur accidenté le 26 avril 1986. Elle sera composée d'une ossature métallique de 18 000 tonnes assurant le confinement du sarcophage existant. Elle mesurera 105 m de haut, 150 m de long pour une portée de 257 m. Une ventilation spécifique sera mise en place afin d'empêcher la diffusion des particules radioactives dans l'environnement. L'arche sera assemblée à l'ouest du site, dans une zone spécialement aménagée à l'écart du réacteur accidenté, et sera glissée pour venir coiffer le sarcophage existant.**

**Dans la perspective que sous-entend cette remarque, pensez-vous développer vos parts de marché en PPP et en concessions ?**

Bouygues Travaux Publics a un fort savoir-faire en ingénierie juridique et financière et la capacité de proposer des offres globales de grande qualité. Ceci est devenu notre cheval de bataille dès le début des années 90. Les projets en PPP représentent aujourd'hui 50% de notre activité à l'international.

**Par exemple ?**

Je peux vous citer une traversée sous-fluviale à Newcastle, en Grande-Bretagne, des autoroutes en Croatie et en Jamaïque, un port à conteneurs en Corée du Sud, une liaison ferroviaire en Afrique du sud, un tunnel de liaison au port de Miami... parmi beaucoup d'autres répartis dans le monde, tous en PPP.

**Quelle différence faites-vous entre concession et PPP ?**

Dans la définition française, la diffé-

rence répond à la question : y-a-t-il ou non un risque au niveau du trafic, c'est-à-dire un risque de recettes ? S'il y a concession, il y a risque trafic pour l'investisseur privé. Dans un PPP, il s'agit d'un loyer d'infrastructure sur lequel le seul risque est celui d'une pénalité pour non performance de l'exploitation, de la maintenance ou de la disponibilité.

**La crise a-t-elle eu un impact sur votre activité ?**

La crise des liquidités de fin 2008 à début 2009 a eu un impact en ce sens que, brutalement, il n'était plus possible d'emprunter auprès des banques, et que les projets ont quasiment disparu parce qu'il n'y avait plus de prêteurs et encore moins d'investisseurs. Pendant 18 mois, peu de projets ont été lancés. Aujourd'hui, nous sentons une certaine confiance revenir. Il reste les banques de développement qui sont des agents possibles pour ce type d'investissement. Par exemple, nous devrions boucler dans quelques mois le projet du pont d'Abidjan financé par la Banque africaine de développement et des fonds sud-africains.

**La solvabilité de certains pays où vous êtes présents est-elle remise en cause, notamment en Europe de l'Ouest et en Asie-Pacifique ?**

Nous n'avons pas d'exemple d'États qui n'aient pas rempli leurs obligations. Ceci étant dit, nous avons des procédures de prudence extrêmement strictes : pour la gestion d'un projet, nous veillons à rester toujours en trésorerie positive, en prévision de l'éventualité extrême d'un repli immédiat de l'ensemble de nos collaborateurs, et de la possibilité d'abandon total sur place du matériel, tout en payant nos sous-traitants. ▶

© YVES CHANOIT



© TONY DENNIS



Par ailleurs, nous avons toujours dans nos contrats une clause qui nous autorise à arrêter de travailler si nous ne sommes pas payés.

### Quel a été pour vous l'impact des insurrections en Afrique du Nord ?

Notre position par rapport à ce problème est très variable d'un pays à l'autre. Nous ne travaillons plus en Tunisie depuis très longtemps. Nous n'étions pas présents en Lybie. Nous avons en Syrie des démarches commerciales que nous avons suspendues. En Égypte, les paiements sont plus difficiles, mais notre projet du métro du Caire poursuit son cours. Comme je vous le disais précédemment, le plus important pour nous, c'est l'adaptabilité. Nous avons d'ailleurs abandonné depuis longtemps la prétention de prédire les événements.

### Et en Asie - Pacifique ?

Notre présence, c'est avant tout Dragages Hong Kong où l'activité continue d'être extrêmement soutenue, tant au niveau des tunnels que des ponts et des infrastructures de génie civil. Avec la Chine, nous sommes dans une situation d'expectative. Il est possible que ce pays connaisse la même évolution que le Japon, mais celle-ci sera sans doute plus lente. Nous avons d'ailleurs déjà travaillé en Chine entre 2006 et 2009 pour la construction à Shanghai, en partenariat avec une entreprise chinoise du tunnel de ChongMing, sous le fleuve Yang Tsé, pour lequel nous avons détenu le record mondial de 15,43 m de diamètre.

### Que pensez-vous de la montée en puissance de la concurrence à l'international de la Turquie et de la Chine ?

C'est essentiellement un problème de valeur ajoutée. Au Maroc, par exemple,

nous avons déjà construit deux ports et nous réalisons le troisième.

Des entreprises chinoises et turques étaient en compétition contre nous, mais n'avaient pas les compétences techniques requises. Elles ont obtenu des marchés de routes, d'ouvrages d'art courants, d'infrastructures légères.

### Vers où va Bouygues TP aujourd'hui ?

Nous nous appuyons et renforçons nos implantations pérennes, en France, en Suisse et à Hong Kong, nous restons attentifs aux opportunités qui pourraient se présenter dans des pays que nous connaissons et qui présentent des risques mesurés.

### Quelles sont vos priorités aujourd'hui ?

La priorité n°1 est la sécurité sur nos chantiers, par exemple, nous avons arrêté tous nos chantiers, en France et à l'international, le 21 juin dernier pour sensibiliser l'ensemble des intervenants à la sécurité avec des films d'accidents déjà rencontrés et une chasse aux risques. Ce qui m'a impressionné c'est de voir l'accueil très positif de nos clients, qui ont soutenu cette démarche.

Notre slogan est clair : « Santé Sécurité Tolérance Zéro ».

De plus, je tiens particulièrement à la satisfaction de nos clients, ils sont notre raison d'être, nous avons des exemples en France, en Suisse, à Hong Kong, en Égypte, au Maroc, en Afrique du Sud, en Jamaïque, en Croatie, où des clients nous font confiance depuis plus de 10 ans.

### Quels sont vos projets de développement à l'international ?

En plus des pays dans lesquels nous sommes déjà bien présents, nous projetons d'intervenir dans ceux qui présentent une bonne stabilité, c'est-

à-dire dans le monde anglo-saxon en général, avec une préférence pour l'Australie et le Canada, peut-être les États-Unis. Nous ne voulons pas

multiplier les aventures et restons très opportunistes sur l'Afrique avec, sans doute, des opérations en Afrique du Sud et en Russie. □

## EXEMPLES DE GRANDES RÉFÉRENCES DE BOUYGUES TP À L'INTERNATIONAL

### PORT COMMERCIAL DE TANGER MED II (MAROC) :

Après avoir livré le port à conteneurs de Tanger Med I et le port à ferries, Bouygues Travaux Publics et Bymaro (filiale marocaine de Bouygues Construction) réalisent deux nouveaux terminaux à conteneurs (Tanger Med II), qui offriront une capacité annuelle supplémentaire de 5,2 millions de conteneurs. Cette opération, menée pour le compte de l'Agence Spéciale Tanger Méditerranée, est réalisée en groupement avec Saipem, Besix et Somagec. Le groupement est chargé de réaliser une digue principale de 3 800 m et une digue secondaire de 1 200 m, 2 800 m de quai et une plate-forme logistique de 150 hectares. Les digues seront principalement réalisées à l'aide de caissons quadrilobés préfabriqués et en digues en talus protégées par des accropodes™. La technique des caissons offre de nombreux avantages, notamment celui de diminuer fortement l'impact sur l'environnement grâce à une emprise au sol plus faible et à une utilisation réduite des matériaux (voir article page 32).

- Début des travaux : Été 2010
- Livraison : 2014
- Montant total du projet : 825 M€ (335 M€ part Groupe)

### GRANDS CHANTIERS EN CORÉE DU SUD :

#### PORT DE PUSAN

Bouygues Travaux Publics, en groupement avec Hyundai Development Company, CMA CGM, KMTTC, Kukje Transportation Co Ltd. et KCTC, ainsi que BPA (Pusan Port Authority) et Macquarie Korea Infrastructure Fund, a signé en janvier 2008 le contrat pour la réalisation d'un des lots du nouveau port de Pusan, en Corée du Sud. L'ensemble du nouveau port de Pusan se décompose en quatre lots qui seront exploités à terme par quatre sociétés concessionnaires différentes. Il remplacera l'actuel qui se trouve en centre ville et permettra de répondre à la forte croissance du trafic de conteneurs par voie maritime. Placé sur la côte sud-est de la Corée, il sera ainsi en bonne position pour alimenter les marchés locaux et internationaux, notamment la Chine. Bouygues TP réalise, pour son lot, le design, les travaux et la fourniture des équipements (portiques de levage de conteneurs, grues de quais, navettes...). Une première phase consistera à traiter les sols et à effectuer un important remblaiement pour gagner 84 hectares de superficie sur la mer. Des caissons en béton seront ensuite installés et formeront les quatre quais qui accueilleront les porte-conteneurs. Les équipements (portiques, grues et navette) seront entièrement automatisés.

- Début des travaux : janv. 2008
- Livraison : fin 2011
- Montant total : 703 M€ (250 M€ de part Bouygues Travaux Publics)

#### PONT DE MASAN

Bouygues Travaux Publics a réalisé les travaux du pont de Masan en Corée du Sud. Signé en joint venture avec le coréen Hyundai Engineering Corp., ce contrat portait sur le financement, la conception et la construction. Situé à l'embouchure de la baie de Masan, au Sud-Est du pays, le pont évite aux automobilistes d'emprunter l'autoroute engorgée qui contourne la baie pour se rendre à Pusan, deuxième pôle industriel de Corée du Sud. D'une longueur totale de 1 700 mètres, l'ouvrage est le deuxième du pays par sa portée. Réalisé en structure mixte (acier et béton), il se compose d'un pont haubané de 740 mètres de long et de deux viaducs d'accès de 410 et 550 mètres.

- Début des travaux : avril 2004
- Livraison : mi 2008
- Montant total du projet : 250 M€

© YVES CHANOIT



# DEUX INGÉNIEURS EXPATRIÉS, DEUX EXPÉRIENCES DE VIE

PROPOS RECUEILLIS PAR MONIQUE TRANCART



## TÉMOIGNAGE 1 GUILLAUME COLIN

AGE : 27 ans

FONCTION : Ingénieur d'études

ENTREPRISE : Bouygues Travaux Publics

PAYS : Australie

« J'AI TRAVAILLÉ SUR LE GO BETWEEN  
À BRISBANE, UN PONT RÉALISÉ  
EN ALLIANCE »

Si Guillaume Colin a apprécié le caractère informel et sympathique des contacts en Australie - « tout le monde s'appelle par son prénom y compris avec les entreprises extérieures, il y a ni Monsieur ni Madame » - ce n'est pas la raison première de son séjour sur ce continent. En 2007, au terme de ses 3 premières années à Polytechnique, il opte pour un master à l'Université de New South Wales à Sydney parce que l'établissement propose une spécialité rare en génie civil : le génie côtier et environnemental. Puis, il y reste pour son stage. Bouygues Travaux Publics lui propose de participer à la construction du Go Between, pont qui relie les quartiers de West End et Milton à Brisbane (côte Est, au nord de Sydney).

Le jeune ingénieur avait tout de même un certain goût pour les voyages et les contrées qu'il ne connaît pas. Pendant son cursus à Polytechnique, il passe cinq mois en Guadeloupe, deux mois en Irlande et trois mois en Californie.

Il reste un an et demi sur le chantier du Go Between où il occupe successivement deux postes. « Les six premiers mois, j'ai secondé un conducteur de travaux, précise-t-il. À la fin de cette période, j'ai été chargé de la construction d'une rampe temporaire piétons et cyclistes en déviation de la vraie piste cyclable. La rampe mesurait 50 m de long par 3 m de large et avait un dénivelé de 4 m. J'ai tout pris en charge, depuis les études dont celles de prix jusqu'à la réalisation, j'ai assuré tous les contacts y compris avec les sous-traitants et les fournisseurs. »



### → Dimensionner coffrages et étaitements

Ensuite, Guillaume Colin devient ingénieur méthodes toujours sur ce projet, pendant un an. « J'ai contribué à définir les séquences de construction, les méthodes, les programmes, développe-t-il. J'ai aussi conçu et dimensionné des outils de travail comme les coffrages et les étaitements temporaires. » Le poste comprend d'autres missions comme les études de prix, le contrôle de la maturité du béton avant décoffrage ou mise sous tension des câbles de précontrainte, le contrôle et la diffusion des plans de ferrailage

### Chantier du pont Go Between à Brisbane (Australie) où Guillaume Colin a été stagiaire ingénieur travaux puis ingénieur méthodes.

des voussoirs avec les projeteurs, sans oublier, au jour le jour, d'aller sur le chantier régler les problèmes. Le Go Between - environ 300 m de long par 27 m de large - a été ouvert à la circulation en 2010. La portée

entre les deux piles de l'ouvrage est de 120 m, les travées de rive mesurent 80 m. Il est constitué de deux tabliers parallèles construits par encorbellements successifs par pas de 5 m. Il comporte deux fois deux voies pour les voitures, une piste cyclable et une piétonne. « C'est incroyable le nombre de personnes qui vont travailler en vélo, a noté Guillaume Colin. Sur la piste que j'ai dû dévier par la rampe temporaire, circulaient 3 000 à 5 000 cyclistes et piétons par jour. » Notons que le climat de Brisbane - chaud et humide, l'été, doux, l'hiver - se prête bien à ce mode de déplacement.

### → Partager bénéfiques ou pertes

L'opération du pont s'est déroulée sous la forme d'une alliance, contrat où le client choisit l'équipe avec qui il veut travailler et l'accompagne tout au long du chantier. Une fois fixé un prix global, bénéfiques ou pertes sont partagés entre les partenaires. Ici, la mairie de Brisbane, maître d'ouvrage, s'est entourée d'un bureau d'études anglais, Hyder, de deux entreprises de construction australiennes, Seymour Whyte et MacMahon, et de Bouygues Travaux Publics. « Nous partageons les bureaux avec des employés de la ville, » se souvient Guillaume Colin.

Une fois ce chantier terminé et toujours content de travailler en Australie, l'ingénieur méthodes continue avec Bouygues TP sur un autre projet. Il fait partie de l'équipe qui répond à l'appel d'offres du tunnel Northern Link, à Brisbane : « Nous avons défini les méthodes de construction de l'ouvrage situé en milieu urbain dense, la planification de l'opération qui est une part très importante, le management pratique notamment la gestion du trafic, les déviations, et bien sûr, les coûts qui sont au centre de l'appel d'offres. » Au terme de ce poste qu'il a occupé de janvier à octobre 2010, Guillaume Colin

rentre en France et intègre le bureau d'études de Bouygues TP. Il est prêt à repartir à l'étranger mais il estime aussi que « c'est une bonne école que

d'être au siège de l'entreprise où je peux fréquenter des collègues expérimentés voire des experts et étoffer mon bagage technique. » □



© BOUYGUES TP



© VCGP

### TÉMOIGNAGE 2 AURORE DELORY

AGE : 28 ans

FONCTION : Ingénieur méthodes

ENTREPRISE : VINCI Construction  
Grands Projets

PAYS : Qatar

« DES CHANTIERS DE CETTE TAILLE, IL Y EN A PEU EN FRANCE ET J'AI PLUS DE RESPONSABILITÉ ICI QUE J'EN AURAIS AUTREMENT »

« C'est un gros défi de coordonner tous les corps d'état qui vont travailler sur la quatrième phase de l'installation du métro-tramway de Lusail, la ville nouvelle située au nord de Doha (Qatar), » explique Aurore Delory, ingénier responsable de l'équipe méthodes sur ce chantier de VINCI Construction Grands Projets (VCGP), et qui a organisé un atelier sur cette coordination. Cette partie du contrat clés en mains concerne les systèmes pour faire fonctionner les stations du "Light Rail Transit System" (LRT) : énergie, communication, contrôle, etc. « Nous cherchons des partenaires dont c'est la spécialité et nous organisons l'appel d'offres pour choisir le matériel roulant, » ajoute-t-elle. La mise en service du tramway est prévue en 2016.

Aurore Delory participe aux deux phases béton du contrat : construction du tunnel (phase terminée) et de la structure des stations (en cours).

Le métro-tram est un tramway qui roule en souterrain. Pour l'esthétique, il fonctionne sans caténaires quand il roule à l'extérieur. Le tunnel a été largement dimensionné pour abriter tout type de rame, le fournisseur n'étant



© DR

**Aurore Delory a terminé les méthodes de la phase béton du tunnel du futur tramway de Lusail (Qatar) et commence la phase béton des stations.**

pas encore sélectionné. Il mesure 8,6 m de large sur 5,50 m de haut et 4 km de long (stations non comprises). Ses parois font 1,20 m d'épaisseur et ont été étanchéifiées. Il est entouré d'eau du fait de la proximité de la mer. Arrivée en février 2010, Aurore Delory va rester aux méthodes sur ce chantier

encore deux ans. Travailler à l'étranger est un choix professionnel et personnel : « Le Qatar offre suffisamment d'opportunités pour venir en couple. Des chantiers de cette taille, il y en a peu en France et j'ai plus de responsabilité ici que j'en aurais autrement. J'aime découvrir d'autres cultures.





© DR

*J'avais particulièrement apprécié l'Égypte où j'ai été stagiaire pendant un an après mes deux premières années à l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC). J'ai été six mois ingénieur méthodes puis six mois ingénieur travaux lors de la construction du barrage de Naga Hammadi sur le Nil par VINCI Construction Grands Projets.* »  
Après l'Égypte, elle poursuit ses études d'ingénieur pendant deux ans

au département génie civil de l'Université technique de Munich (Allemagne). Elle est alors embauchée par VINCI Construction Grands Projets et passe quatorze mois à la Direction technique de l'entreprise.  
« Sur le chantier du LRT, nous sommes nombreux au sein de l'équipe méthodes, ce qui permet une bonne préparation du chantier, apprécie-t-elle. J'ai trois Indiens, trois Philippins,

un Tunisien et trois Français dans mon équipe constituée de dessinateurs, de planificateurs et d'ingénieurs. Je constate que nous n'avons pas la même façon de travailler que les Anglais, par exemple, qui, ici, sont plus axés sur la conception et les contrats. Pour les Français, les méthodes sont très importantes car elles optimisent la réalisation. Nous recourons par exemple davantage à la préfabrication

du ferrailage, qui permet un gain de temps et un phasage par cycles. »

→ Plus de main-d'œuvre, moins de machines

Au Qatar, les choix d'exécution du chantier ne sont pas les mêmes qu'en France. Par exemple, la main-d'œuvre étant relativement moins chère et disponible, il est souvent plus intéressant d'utiliser plusieurs personnes plutôt que d'utiliser une machine. Au final, cela permet de fournir des emplois localement, tout en préservant la qualité et les délais d'exécution.

Le Qatar étant un pays où il fait très chaud, les installations de chantier doivent comprendre des lieux ombragés. « En été, le travail s'arrête pendant les heures les plus chaudes de la journée : une équipe travaille de 1 heure à 11 heures du matin et une autre de 15 heures à 1 heure, précise Aurore Delory. Le reste de l'année, le chantier tourne vingt-quatre heures sur vingt-quatre en deux équipes de douze heures. » Autre particularité locale : une salle des prières est installée dans les bureaux et une, dans un préfabriqué du chantier. □

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



Essais dynamiques sur fondations  
> MAURITANIE



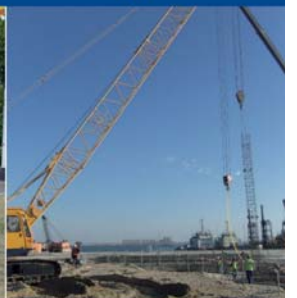
Essais HWD aéroport  
> TOGO



Travaux de sondages  
> MALI, TCHAD



Diagnostics environnementaux



Suivi de chantier  
> ARABIE SAOUDITE

> Suivi de chantiers

- > Laboratoires d'essais (béton, matériaux, route)
- > Essais sur chaussées aéroportuaires et routières
- > Essais non destructifs sur fondations
- > Essais statiques et dynamiques, Instrumentations
- > Environnement Expertise de sites et de sols pollués
- > Localisation de cibles et de réseaux enterrés
- > Perfectionnement technique et formation



20 agences en France  
8 agences à l'international

Parc Elysée - 39, rue Michel-Ange - 91026 Evry cedex  
Tél. +33 (1) 60 87 21 25



© VINCI & FILIALES

# LA STATION DE POMPAGE DE DOHA NORD, AU QATAR, ET SES CANALISATIONS

AUTEURS : CÉCILE CHARLAIX, INGÉNIEUR ÉTUDES ET COORDINATION - ACHRAF ABOURAZZAK, INGÉNIEUR MÉTHODES

DANS LE CADRE DE L'AMÉNAGEMENT DU NORD DE LA VILLE DE DOHA, CAPITALE DU QATAR, LE GROUPEMENT VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS (VCGP), LEADER, QATARI DIAR VINCI CONSTRUCTION (QDVC) ET ENTREPOSE CONTRACTING S'EST VU CONFIER LA RÉALISATION DE LA PLUS GRANDE STATION DE POMPAGE D'EAUX USÉES DES PAYS DU GOLFE. CELLE-CI EST DESTINÉE À COLLECTER, RELEVER ET TRANSPORTER LES EAUX USÉES DE DOHA NORD JUSQU'À UNE STATION DE TRAITEMENT SITUÉE À UNE VINGTAINNE DE KILOMÈTRES PLUS AU NORD DANS LE DÉSERT. LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL ET DE CANALISATION SONT EN COURS D'ACHÈVEMENT. LA POSE DES ÉQUIPEMENTS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES A DÉBUTÉ FIN 2010.

## UN AMÉNAGEMENT URBAIN POUR UNE VILLE EN PLEIN ESSOR

Le gouvernement qatari a entrepris en 2005 l'expansion de la zone géographique nord de la capitale, Doha, avec la construction de nouveaux quartiers tels que The Pearl et Lusail City (figure 3). Une augmentation de la population de plus de 500 000 habitants est prévue d'ici à 2015, et des travaux d'aménagement urbain sont

nécessaires. Le gouvernement du Qatar est à l'origine du projet général « Traitement des eaux usées de Doha nord et ses travaux associés », qui vise à fournir de l'eau traitée, mais non potable, aux zones industrielles, et à irriguer les quartiers mentionnés ci-dessus. Le projet se compose de quatre lots : le réseau de collecte des eaux usées, la station de relevage-pompes et les canalisations de transfert, la station de

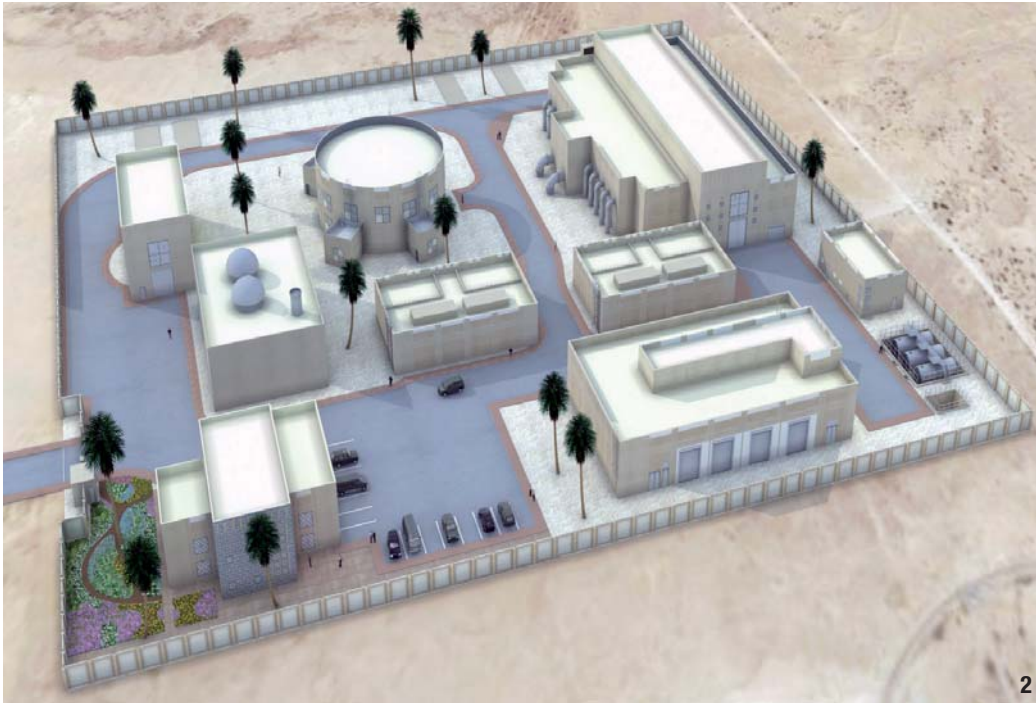
traitement, et enfin le réseau de redistribution des eaux traitées.

Le groupement d'entreprises Vinci Construction Grands Projets, Qatari Diar Vinci construction et Entrepose Contracting, formalisé par la joint venture VQE, est chargé de réaliser la station de pompage PS70 (capacité de 900 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour) et de construire les 45 km de canalisations ou *pumping mains* (PM), soit trois cana-

lisations parallèles en fonte, de 1,6 m de diamètre chacune, reliant sur 15 km la station de pompage PS70 à la station de traitement située au nord (figure 4).

## ORGANISATION ET CONTRAINTES

Le groupement doit développer les études détaillées pour le lot électromécanique (E & M) et réaliser l'ensemble des travaux couvrant les lots électriques, mécaniques, génie civil



© VINCI & FILIALES

2

et de l'environnement urbain (quartier résidentiel) de la station, permettra de traiter l'équivalent de 170 000 m<sup>3</sup> d'air par heure et de répondre à des critères exigeants de performance.

Enfin, le climat désertique qui règne au Qatar, avec des températures estivales pouvant grimper jusqu'à 55°C, implique des méthodes particulières et des aménagements des heures de travail.

### TERRASSEMENT DES PUIITS ET RABATTEMENT DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

La station PS70 se compose d'un premier puits de 40 m de profondeur et 20 m de diamètre (*screen chamber*) comprenant le dégrilleur pour filtrer les déchets solides volumineux, d'un deuxième puits de 40 m de profondeur et 40 m de diamètre (*lifting pumping station*) servant au relevage des eaux usées, d'un bâtiment principal en surface (*forwarding pumping station*) abritant une 2<sup>e</sup> série de pompes de 800 kW pour le transfert des eaux usées vers la station de traitement, et des bâtiments secondaires tels que le bâtiment administratif et les bâtiments électriques (figure 2). Avant le démarrage des travaux de terrassement des puits, une étude géophysique a été effectuée afin de déterminer la nature du terrain. Le résultat est à l'image de la géologie générale du Qatar : des couches rocheuses successives dont la dureté diminue faiblement avec la profondeur. On retrouve plus précisément :

- Une couche superficielle de sable de 1 m d'épaisseur ;
- Une première couche, épaisse de 14 m environ, de formation calcaire (*Simsima limestone*), caractérisée par une frange altérée et fracturée ;

(GC) et canalisations de transfert. Le partenaire Entrepouse Contracting s'est vu confier le lot électro-mécanique « études, achats des équipements et travaux », les autres lots étant réalisés par VCGP/QDVC. De son côté, le client Ashghal a fait appel à deux consultants, KEO en tant qu'assistant maître d'ouvrage et Stanley pour la supervision des travaux.

Le défi à relever, pour le groupement VCGP/QDVC/Entrepouse, a été de finaliser les études E & M détaillées en minimisant les modifications de génie civil, dont le design avait été établi au préalable par le client, et pour lequel les travaux ont été lancés dès le démarrage du projet. Pour ce faire, le groupement

a mobilisé une équipe dédiée à la gestion des interfaces études E & M/GC, et a réalisé une maquette, à l'échelle 1/5, modélisant les flux hydrauliques de la station pour valider la conception globale. D'autres contraintes sont associées au projet : la station de pompage, bien qu'ayant une capacité de 900 000 m<sup>3</sup>/jour, est construite sur un terrain exigu (150 x 150 m) nécessitant une bonne coordination des activités travaux et une attention particulière aux problèmes de co-activités.

Le cahier des charges du projet comprend aussi la conception et la réalisation d'une unité de désodorisation. Cette unité compacte, qui tient compte du volume important des eaux collectées

**1- Vue du dessous de la *lifting pumping station*.**

**2- Vue en 3 D de la future station PS70.**

**3- Vue satellite de Doha et de la PS70.**

**4- Plan des sites PS70 et Pumping Mains.**

**1- View of the underside of the *lifting pumping station*.**

**2- 3D view of the future PS70 station.**

**3- Satellite view of Doha and the PS70.**

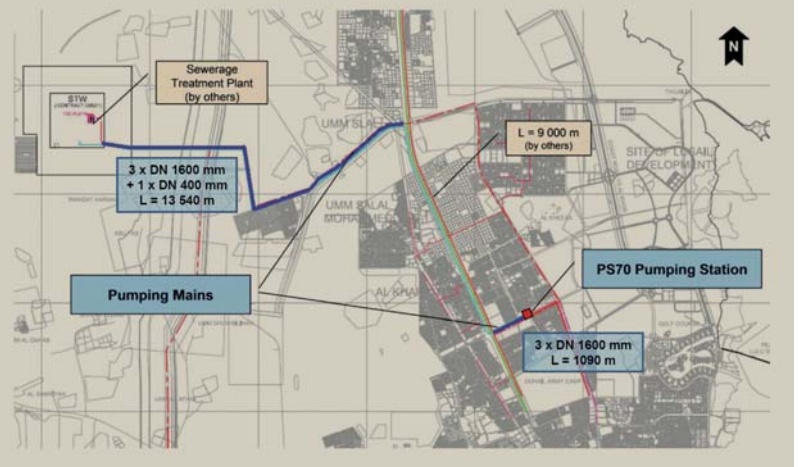
**4- Plan of the PS70 and PM sites.**



© VINCI & FILIALES

3

### PLAN DES SITES PUMPING STATION 70 ET PUMPING MAINS



4

→ Une couche marneuse et calcaire (*Rus formation, Marly limestone*), plus fragile que la précédente et épaisse de 20 m ;

→ Une seconde couche marno-calcaire (gypsum, anhydrite et argile) à 35 m au-dessous du sol.

Les terrassements ont principalement été effectués avec des excavatrices équipées de marteau brise-roche et de pelles à câble pour le marinage des matériaux. Le Qatar offrant un large choix de machines, il était facile de se procurer les engins nécessaires. Jusqu'à 27 machines ont été mobilisées simultanément sur site (photos 5, 6 et 7). L'utilisation d'explosifs a été testée mais rapidement abandonnée en raison de la présence d'autres projets environnants. La nappe phréatique étant située à environ - 8 m, il a fallu prévoir un rabattement. Du fait de la perméabilité de la roche, il fallait évacuer environ 3 000 m<sup>3</sup> d'eau de pompage par jour. Étant donnée la situation géographique (éloignée de la mer et au milieu d'un quartier résidentiel, mais sans réseau de collecte d'eaux usées), les eaux ont été réinjectées par gravité dans le sol. Cette solution a été préférée à la technique de lagunage classique au Qatar. En effet, l'injection gravitaire dans le sol, via un forage de 300 mm de diamètre et de 300 m de profondeur pouvant recevoir jusqu'à 10 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour, évitait une logistique lourde et le ballet incessant de camions à eau entre les lagunes et un lieu d'épandage souvent situé à plusieurs kilomètres.

### CONSTRUCTION DES PUIITS (SCREEN CHAMBER ET LIFTING PUMPING STATION)

Pendant le terrassement, les surfaces verticales étaient recouvertes de béton projeté sur lequel d'autres équipes



5 © VINCI & FILIALES

5, 6 & 7- Excavation des puits.

5, 6 & 7- Excavation of shafts.

assuraient la mise en œuvre de l'étanchéité périphérique. Ce n'est qu'après la mise hors d'eau des fosses que les travaux de gros-œuvre des puits ont pu démarrer. La même technique a été utilisée pour la construction des deux puits, réalisés en 11 levées successives de 3,75 m, à l'aide de coffrages grimpants (photo 8). Les voiles périphériques, de 1,5 m d'épaisseur, s'élevaient à l'aide de coffrages ordinaires simple face, alors que les parties centrales, plus complexes et parfois ferrallées à 300 kg/m<sup>3</sup>, ont nécessité l'utilisation d'outils spécifiques facilitant à la fois un coulage en un seul tenant de chaque niveau et une bonne circulation du personnel sur les plates-formes (photo 1). La plupart des cages d'armatures étaient préfabriquées afin

de limiter l'intervention humaine dans les puits.

Pour limiter les températures à cœur du béton et prévenir les risques de fissuration du béton au jeune âge, particulièrement aigus du fait des températures fréquemment très élevées au Qatar, le groupement a imposé un contrôle rigoureux de la température du béton en sortie de centrale, une mise en œuvre des bétons pendant la nuit pour la période de mai à octobre, et a utilisé de la glace pilée par fortes chaleurs. De plus, le comportement thermique des voiles épais (jusqu'à 2 m) a été étudié dans le détail par la direction technique de VCGP. Après avoir vérifié que la formule de béton utilisé minimisait bien la chaleur d'hydratation, une modélisation a été faite, tenant compte des caractéristiques précises de la formule (validées par un essai quasi adiabatique réalisé sur cube de béton bien isolé de 1 m<sup>3</sup>) et des conditions limites extérieures (températures et caractéristiques thermique de la roche, température extérieure, ensoleillement, etc.).

### ÉQUIPEMENTS MÉCANIQUES

Le puits de relevage (*lifting pumping station*) et la station de pompage (*forwarding pumping station*) seront chacun équipés de huit pompes d'une capacité unitaire de 4 700 m<sup>3</sup>/h. Pour l'installation et les futures opérations de maintenance de ces pompes, différents types de ponts roulants (14 au total) et potences (quatre) ont été mis en place (photo 9). On trouve des ponts roulants circulaires et linéaires, posés sur des corbeaux ou suspendus. Un système de ventilation forcée complète les principaux équipements mécaniques de ces deux ouvrages.

Le montage de ces équipements a été réalisé pendant l'exécution du génie civil, dont la conception a parfois été prévue en éléments préfabriqués-précontraints pour faciliter les opérations de manutention des travaux mécaniques (photos 9 & 10). La juxtaposition des ateliers mécaniques et de génie civil a impliqué la mise en place au quotidien de réunions de coordination, pour la gestion des engins de chantier



6



7 © VINCI & FILIALES



## PHASAGE DU PROJET

- **DÉBUT DU PROJET** : 22 mars 2009.
- **DÉBUT DES TRAVAUX** : 4 juin 2009.
- **PHASE 1** : études E & M. Ccooordination avec les bureaux d'études E & M en France et le bureau de GC présent sur site.
- **PHASE 2A** : terrassement des puits, phase critique pour le démarrage du GC.
- **PHASES 2B** : terrassement des tranchées et pose des canalisations. Étant donnée la nature des travaux de canalisations, la pose de tuyaux et le terrassement se font en parallèle le long du tracé.
- **PHASE 3A** : construction des puits et bâtiments.
- **PHASE 4A** : construction des réseaux enterrés du site PS70.
- **PHASE 5A** : installation des équipements mécaniques. Interfaces avec la fin des travaux de GC.
- **PHASE 6** : tests et démarrage.

entre les équipes, l'analyse des risques liées aux activités de chacun, la définition et la mise en œuvre des mesures de protection collectives.

### ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉQUIPEMENTS DE CONTRÔLE

La station comprend l'installation d'environ 120 km de câbles, de 18 armoires de contrôle des pompes (avec variateur de vitesse ou à débit fixe), de quatre groupes électrogènes de secours de 2,5 MW chacun, de divers tableaux haute et basse tension, de huit transformateurs 5 000 kVA et de trois transformateurs 1 600 kVA, de systèmes HVAC centralisés. L'ensemble représente une puissance électrique installée de 18 MW (photo 11). La gestion et le contrôle de ces organes s'effectue au moyen d'un système Scada centralisant toutes les données dans une salle de contrôle située dans le bâtiment administratif de la station PS70. Au total, ce sont plus de 3 000 connexions à réaliser.

**8- Les coffrages grimpants de la lifting pumping station.**

**9- Les ponts roulant radiaux de la lifting pumping station.**

**10- Les réseaux en fonte d'interconnexion.**

**8- Climbing formwork of the lifting pumping station.**

**9- Radial OT cranes of the lifting pumping station.**

**10- Cast iron interconnection networks.**

### INTERFACES ENTRE LES DIFFÉRENTES ACTIVITÉS

Le délai serré du projet imposait un recouvrement, sur la dernière année, des activités de génie civil, second-œuvre et électro-mécaniques. Pour respecter le planning, l'installation des équipements devait commencer avant la fin du gros-œuvre. Les équipes méthodes ont donc adapté le phasage du génie civil (réservations provisoires, toitures préfabriquées, ancrages pré-scclés...) afin de permettre un montage plus rapide des équipements.

En fin d'année 2010 et au début 2011, le chantier entrait dans un pic d'activité avec la simultanéité des lots suivants : génie civil, installation des équipements mécaniques, mise en place des réseaux MEP (air conditionné, électricité, détection incendie, plomberie, etc.), les travaux de finitions et la mise en place des réseaux enterrés, qui présentent une densité remarquable avec plus de dix réseaux différents (eau potable,

eau traitée, réseaux électriques, drainage des eaux de pluie, téléphone, CCTV, désodorisation, réseau incendie, etc.), et cela sur une surface exiguë (figure 12). Il a donc fallu organiser les tâches de telle sorte que les accès aux bâtiments en cours de finition et non encore équipés ne soient pas obstrués par les terrassements des réseaux et, pour chaque bâtiment, coordonner la réalisation parfois simultanée des travaux de génie civil, du second œuvre (peinture, revêtements...) et de la pose des équipements.

### LES CANALISATIONS ET LEURS ÉQUIPEMENTS (PM)

Afin de transférer les eaux usées depuis la PS70 jusqu'à la station de traitement, un réseau composé de trois canalisations en fonte de 1,6 m de diamètre, d'un tuyau en polyéthylène de 400 mm et de quatre fourreaux PVC de diamètre 150 mm a été construit sur une longueur de 14,5 km. ▶

De par la nature linéaire de l'ouvrage, de multiples équipes travaillaient simultanément, sur tout le long du tracé, aux terrassements, au génie civil pour la construction des chambres de vannes, vidange et ventouses, à la pose des tuyaux et équipements mécaniques dans les chambres, aux remblais et aux travaux de finitions.

Une tranchée unique de 14,5 km de long, 9 m de large et 6 m de profondeur a donc été creusée dans le désert, au nord de Doha. Dans un milieu rocheux plus ou moins dur, les 750 000 m<sup>3</sup> de terrassement ont été effectués par une trentaine de brise-roches hydrauliques, pour atteindre un rendement moyen d'excavation de 2 000 m<sup>3</sup> par jour. Les matériaux excavés ont ensuite été criblés le long de la tranchée afin d'obtenir les 450 000 m<sup>3</sup> de matériaux de remblais nécessaires. Seules les roches ont été transportées au site de concassage afin de produire les 200 000 m<sup>3</sup> de gravier pour le lit de pose et l'enrobage des tuyaux.

La présence de tranchées ouvertes profondes et la réalisation de nombreux travaux en hauteur ont nécessité une protection accrue des sites pour la sécurité du personnel (photo 13). Compte tenu de la présence de divers réseaux utilitaires, ainsi que de la pose des conduites sous les chaussées



existantes, l'équipe de construction a dû procéder à des déviations de routes et à des modifications du tracé. Pour la traversée des six tuyaux principaux de gaz du Qatar, deux tunnels ont dû être creusés afin de poser les diverses conduites par la méthode de poussage.

#### POSE DES TUYAUX

Les 5 500 canalisations en fonte de 1,6 m de diamètre ont été fournies par l'entreprise française Saint-Gobain-Pont-à-Mousson. Les tuyaux sont livrés avec un revêtement intérieur en polyuréthane spécialement conçu pour le projet, afin de les protéger contre l'acidité des eaux usées.

**11- Les moteurs de la forwarding pumping station.**

**12- Vue écorchée du site avec ses réseaux.**

**11- The motors of the forwarding pumping station.**

**12- Cutaway view of the site with its networks.**

Du fait de la forte corrosivité du sol chargé en chlorures, l'extérieur des tuyaux a également été protégé par l'application d'un revêtement de bandes adhésives bitumineuses. Cette application se faisait par machine sur le site de stockage, dès réception des tuyaux. Les jointures des tuyaux ont ensuite été protégées par application manuelle de la bande adhésive bitumineuse, directement dans la tranchée, au fur et à mesure de l'emboîtement des conduites (photo 14). Une fois terminé l'enrobage complet des tuyaux, les deux réseaux parallèles ont été posés : la conduite en polyéthylène par soudure au miroir, qui servira à la vidange des conduites principales, et les quatre conduites en PVC de 150 mm qui serviront à tirer les câbles électriques et optiques (pour la gestion du réseau à distance par télémétrie). Les remblais ont été mis en place jusqu'au niveau du terrain naturel, par couche compactée de 30 cm.

Enfin, 50 chambres souterraines de vannes, abritant les vannes de sectionnement, vidanges, ventouses, ont été construites (photo 15). Les travaux de finitions des chambres incluent la pose des échelles d'accès, l'installation de plates-formes métalliques, de couvercles en fonte, de protection des chambres, ainsi que la signalisation du réseau.

## VUE ÉCORCHÉE DU SITE AVEC SES RÉSEAUX

**HV building**  
**Motor control centers**  
**Other buildings**  
**Underground infrastructures**  
 • Béton : 11 000 m<sup>3</sup>  
 • E&M : Puissance électrique 18 MW

**Forwarding pumping station**  
 • Terrassement : 17 000 m<sup>3</sup>  
 • Béton : 10 000 m<sup>3</sup>  
 • E&M : 8 pompes de 4 737m<sup>3</sup>/h

**Lifting pumping station**  
 • Profondeur 40 m - Diamètre 40 m  
 • Terrassement 45 000 m<sup>3</sup> avec rabattement de nappe  
 • Béton : 17 000 m<sup>3</sup>  
 • E&M : 8 pompes de 4 737m<sup>3</sup>/h

**Administration Building**  
 • Centre de Contrôle de la Station

#### STATION DE POMPAGE PS70

**Génie Civil :**  
 Ouvrages techniques enterrés réalisés sous le niveau de la nappe phréatique  
 Béton : 50 000 m<sup>3</sup>

**Electro-Mécanique :**  
 Puissance installée : 18 MW  
 Capacité : 900 000 m<sup>3</sup>/jour  
 Maquette hydraulique réalisée à l'échelle 1/5

**Canalisations/réseaux :**  
 Station exiguë avec forte densité de conduites intra et inter bâtiments

**Odour Control Unit**  
 • Centre de désodorisation

**Screen Chamber**  
 • Profondeur 40 m - Diamètre 20 m  
 • Terrassement 13 000 m<sup>3</sup> avec rabattement de nappe  
 • Béton : 9 000 m<sup>3</sup>



13



14



15

**13- Terrassement linéaire des canalisations.**

**14- Pose des tuyaux en fonte de 1,6 m de diamètre.**

**15- Les vannes de 18 t et 5 m de haut des canalisations.**

**13- Linear earthworks for piping.**

**14- Laying cast iron pipes 1.6 m in diameter.**

**15- The 18-tonne, 5-metre-high pipe valves.**

#### UN CHANTIER UNIQUE

La réalisation de cet ouvrage rassemble 23 nationalités et des fournisseurs du monde entier (Europe, États-Unis, Canada, Émirats arabes unis, Afrique, Asie). Ce point implique une gestion logistique et transport complexe des usines fournisseurs au chantier à Doha. La maîtrise des délais de fabrication, le suivi rapproché des phases d'achat et de tests et la collecte de la documentation fournisseur représentaient une activité à part entière du projet et a mobilisé une dizaine de personnes. Du point de vue de la construction, le projet présente une très grande complexité. Il a nécessité l'emploi de techniques et matériaux variés, notamment pour les terrassements au marteau brise-roche, les terrassements à l'explosif, les travaux souterrains au micro-tunnelier, la construction en béton de puits de grande taille avec rabattement de nappe, l'utilisation d'éléments béton préfabriqués-précontraints, la pose de canalisations en fonte de grand

diamètre, des réseaux enterrés denses, l'installation d'équipements mécaniques exceptionnels (vannes fonte de 18 t et 5 m de haut, figure 15) et la conception et réalisation d'un process pointu de traitement des odeurs. Sur un seul et même chantier, les équipes ont côtoyé et mis en œuvre de nombreuses activités des métiers du BTP. Le groupement dispose maintenant de moins d'un an pour finaliser le projet. □

#### CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

- **358 millions d'euros.**
- **Capacité de pompage : 900 000 m<sup>3</sup>/jour.**
- **Pic de 1 300 employés.**
- **23 nationalités représentées.**
- **2 puits de 40 m de profondeur (respectivement 20 m et 40 m de diamètre).**
- **Puissance électrique de 18 MW.**
- **45 km de canalisations en fonte de grand diamètre (1,6 m), soit environ 40 000 t.**
- **1 000 000 m<sup>3</sup> de terrassement.**
- **Plus de 55 000 m<sup>3</sup> de béton.**

#### PRINCIPAUX ACTEURS

**CLIENT :** Ashghal  
**CONSULTANTS CLIENT :** KEO et Stanley  
**ENTREPRISES :** joint venture VCGP, QDVC, Entrepouse Contracting

#### ABSTRACT

### THE DOHA NORTH PUMPING STATION IN QATAR AND ITS PIPELINE

CÉCILE CHARLAIX - ACHRAF ABOURAZZAK

As part of development of the northern part of the City of Doha, capital of Qatar, the consortium formed by Vinci Construction Grands Projets (VCGP), leader, Qatari Diar Vinci Construction (QDVC) and Entrepouse Contracting was awarded a contract for construction of the largest sewage pumping station in the Gulf countries. The station is designed to collect, lift and transport sewage from Doha North to a treatment plant located about twenty kilometres further north in the desert. The civil engineering and piping works are currently being completed. Installation of mechanical and electrical equipment began at the end of 2010. □

### LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE DOHA NORTE, EN QATAR, Y SUS CANALIZACIONES

CÉCILE CHARLAIX - ACHRAF ABOURAZZAK

En el marco de la ordenación del norte de la ciudad de Doha, capital de Qatar, se ha confiado a la agrupación Vinci Construction Grands Projets (VCGP), líder, Qatari Diar Vinci Construction (QDVC) y Entrepouse Contracting la realización de la mayor estación de bombeo de aguas residuales de los países del Golfo. Está destinada a recolectar, elevar y transportar las aguas residuales desde Doha norte hasta una planta de tratamiento situada a unos veinte kilómetros más al norte, en el desierto. Actualmente se están finalizando las obras de ingeniería civil y de canalización. El montaje de los equipos mecánicos y eléctricos comenzó a finales de 2010. □



# PORT DE TANGER MÉDITERRANÉE 2 : RÉALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION À LA MER

AUTEURS : NICOLAS DESCAMPS, DIRECTEUR TECHNIQUE PROJET TM2, TMBYS, BOUYGUES TP - NICOLAS BERTHE, RESPONSABLE ÉTUDES PROJET TM2, TMBYS, BOUYGUES TP - PHILIPPE JAN, DIRECTEUR PROJET TM2, TMBYS, BOUYGUES TP

CHARGÉE DE RÉALISER LES OUVRAGES DE PROTECTION À LA MER POUR CE PROJET, LA JOINT VENTURE DIGUE TMBYS A DÛ INSTALLER ET EXPLOITER UNE CARRIÈRE POUR 30 MILLIONS DE M<sup>3</sup> DE MATÉRIAUX, CONSTRUIRE UNE PISTE DE 9 KM RELIANT LA CARRIÈRE AU SITE PORTUAIRE, AINSI QU'UNE PLATE-FORME POUR Y INSTALLER LES AIRES DE PRÉFABRICATION DES ACCROPODE™ ET CAISSONS. AFIN DE RESPECTER LES DÉLAIS SERRÉS DU PLANNING, LES INSTALLATIONS BÉNÉFICIENT D'UN SYSTÈME INNOVANT POUR LA MISE À L'EAU DE CES DERNIERS.





1- Installation du pont roulant.

1- Installation of the OT crane.

© BOUYGUES



2a

© BOUYGUES

2a- Vue générale du projet.

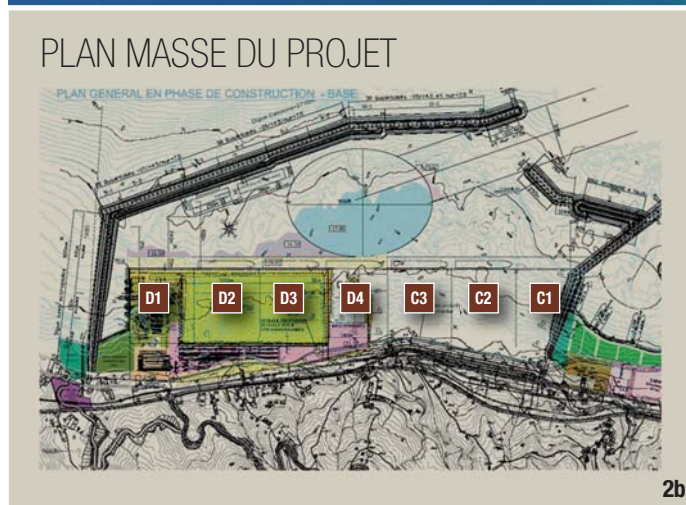
2b- Plan masse du projet.

3- Plan de situation.

2a- General view of the project.

2b- Layout plan of the project.

3- Location drawing.



2b

## PLAN MASSE DU PROJET

PLAN GENERAL EN PHASE DE CONSTRUCTION - BASE

### 4,4 KM DE DIGUES

Dans le cadre du projet du port de Tanger Méditerranée 2 (TM2), la joint venture Digue TMBYS (Bouygues TP, Saipem, Bymaro) est chargée de réaliser les ouvrages de protection à la mer, constitués de 4,4 km de digues (figure 2a et 2b). Il s'agit de :

→ Une digue principale à talus (DPT), de 1 km, avec une carapace de protection en Accropode™ ;

→ Une digue principale à caisson (DPC), de 2,7 km, avec 95 caissons en béton armé (l x L x H : 28 x 28 x 21/24) et une contre-digue ;

→ Une digue secondaire (DS), à talus (400 m) et avec 10 caissons (360 m). Ce même groupement d'entreprises a déjà réalisé les ouvrages de protection à la mer du port de Tanger Méditerranée 1 (TM1) et du port roulier, adjacents au nouveau chantier et réalisés entre 2003 et 2010 (figure 3).

La réalisation de ce projet nécessite :

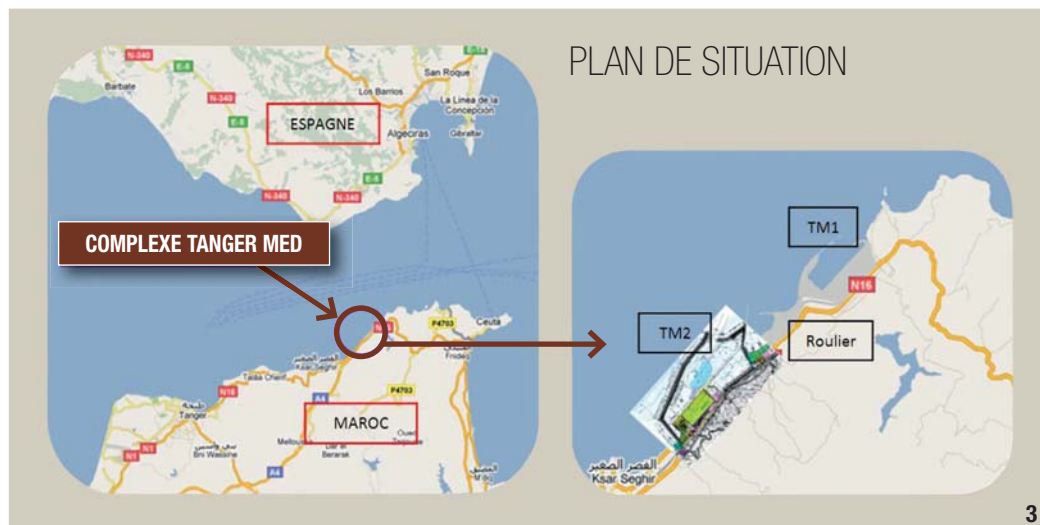
→ L'installation et l'exploitation d'une carrière pour le traitement 30 millions

de m<sup>3</sup> de matériaux (Hafet Labnat) ;

→ La construction d'une piste de 9 km reliant la carrière au site portuaire ;

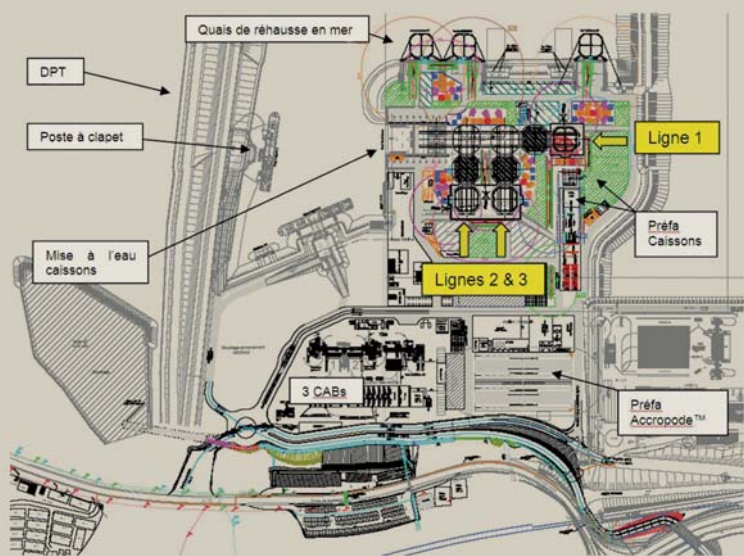
→ La construction d'une plate-forme à + 2.5 mZH (repère D1 sur la figure 2b) pour y installer les aires de préfabri-

cation des Accropode™ et caissons. Afin de permettre le démarrage de la production des caissons dès l'été 2011, les installations bénéficient d'un système innovant pour la mise à l'eau des caissons.



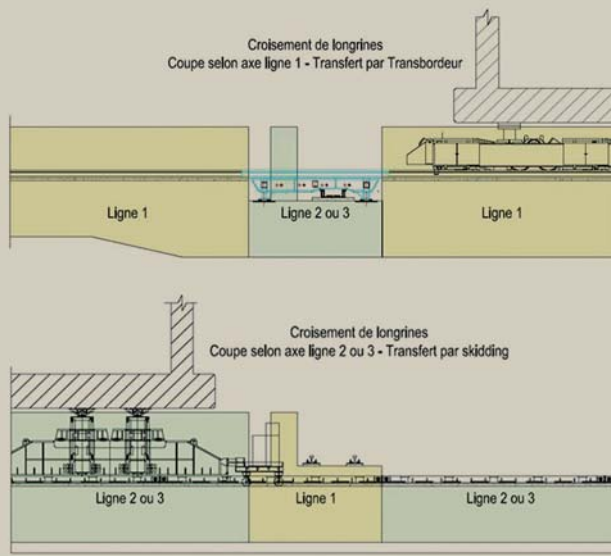
3

## PLATE-FORME



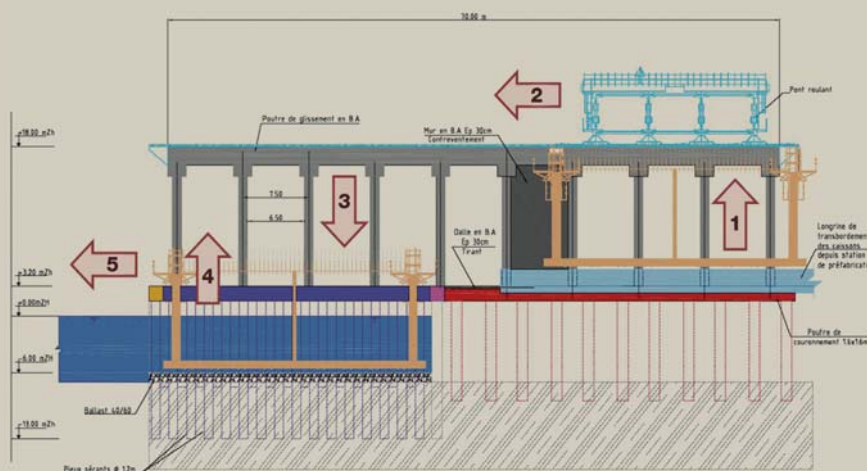
4

## TRANSFERT DU CAISSON



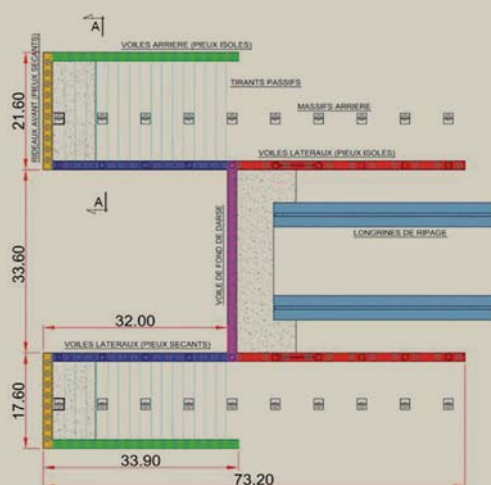
5

## CYCLE DE MISE À L'EAU



6

## SOUTÈNEMENT



7

© BOUYGUES

### PRÉFABRICATION DES ACCROPODE™

Très vite, la zone de préfabrication des Accropode™ est mise en route, car elle permet également la fabrication des blocs de quais nécessaires à la réalisation des quais de l'installation provisoire. Cet atelier préfabriquera :

- 630 blocs de 20 à 30 m<sup>3</sup> pendant les six premiers mois ;
- 1 800 Accropode™ de 4 m<sup>3</sup>, 1 000 de 6,3 m<sup>3</sup>, 6 300 de 9 m<sup>3</sup> sur une période de deux ans ;
- Divers éléments nécessaires aux installations et aux ouvrages permanents.

### PRODUCTION DES CAISSONS

Les 106 caissons qui constituent la DPC et la DSC sont préfabriqués à terre puis en mer avant d'être échoués en position finale, puis remblayés, fer-

més, et enfin équipés d'un voile anti-franchissement. Trois stations de préfabrication à terre comportent chacune un fond de moule pour la réalisation

- 4- Plate-forme.
- 5- Transfert du caisson.
- 6- Cycle de mise à l'eau.
- 7- Soutènement.

- 4- Platform.
- 5- Caisson transfer.
- 6- Launching cycle.
- 7- Retaining structures.

des radiers de 80 cm d'épaisseur puis des voiles verticales sur 9,20 m de haut, à l'aide de coffrages glissants. Les caissons sont ensuite soulevés par vérins et ripés vers des stations de maturation nécessaires à une cure du béton. Ils sont mis à l'eau avec leurs coffrages glissants, en flottaison, et remorqués

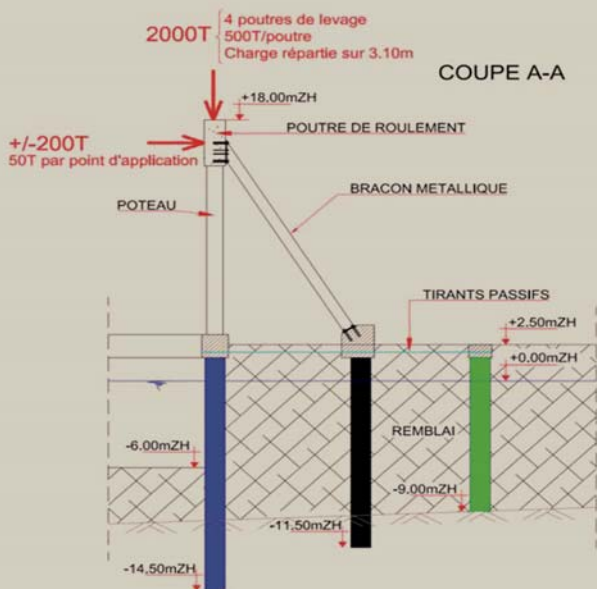
vers des quais provisoires, dits de réhausse en mer, où les voiles sont coulés jusqu'à la cote finale (+ 21/+ 24 m par rapport au fond du radier). Les caissons sont constitués de 2 770 m<sup>3</sup> de béton pour 600 t d'acier en moyenne. Lors de la mise à l'eau, équipés de leurs coffrages, ils pèsent 3 600 t.

### SOUTÈNEMENT (FIGURE 7)

Les voiles latérales, le voile de fond de darse et les deux rideaux avant sont constitués de pieux sécants ( $f_{c28} = 25$  MPa) de diamètre 1,20 m espacés tous les mètres. Des tirants passifs de diamètre 63,5 mm ancrent les voiles latérales sur les voiles arrière constitués de pieux de diamètre 1,20 m espacés tous les deux mètres. Les rideaux avant sont ancrés via des dalles tirants.

Ces travaux sont sous-traités à l'entreprise de fondations Bauer.

## STRUCTURE EN BÉTON ARMÉ



8

## STRUCTURE EN BÉTON ARMÉ : UN CÔTÉ (FIGURE 8)

La structure en béton armé ( $f_{c28} = 35 \text{ MPa}$ ) supportant le pont roulant est constituée des éléments suivants :

- Longrine de répartition (section carrée,  $a = 1,60 \text{ m}$ ), fondée au niveau  $+ 1.60 \text{ mZH}$  sur les pieux de diamètre  $1,20 \text{ m}$  ;
- 10 poteaux carrés ( $a = 1 \text{ m}$ ,  $h = 12,80 \text{ m}$ ) ;
- Poutre de roulement rectangulaire ( $l = 1,30 \text{ m}$ ,  $h = 2 \text{ m}$ ) ; l'arase supérieure de cette poutre de roulement se situe au niveau  $+ 18.00 \text{ mZH}$  ;
- 10 bras inclinés de  $30^\circ$  par rapport à la verticale, connectés à la poutre de roulement au droit de chaque poteau ; ces bras sont des tubes métalliques (diamètre  $711 \text{ mm}$ , épaisseur  $12 \text{ mm}$ ) ancrés à l'arrière à l'aide de pieux isolés, et servent de contreventement transversal ;
- Un voile béton armé d'épaisseur  $30 \text{ cm}$  réalisé entre deux poteaux de la structure ; ce voile sert de contreventement longitudinal.

Il n'existe aucun joint de dilatation entre la zone de darse et la zone arrière. Cette structure est réalisée en propre. Les poteaux et poutres sont préfabriqués puis clavés pour optimiser le planning.

Avec trois lignes de production, la chaîne de préfabrication est compacte, et donc innovante par rapport aux deux chantiers précédents (figure 4) :

→ Trois postes permettent la préfabrication de cinq caissons par mois en moyenne, sur une durée de 22 mois, et jusqu'à sept caissons les mois d'été, quand la pose en mer doit être optimale ;

→ Les trois lignes sont indépendantes ; il n'y a ni interférence ni blocage d'une ligne à l'autre ;

→ L'existence de six zones de maturation permet de travailler 28 jours sans pose en mer en cas de mauvaises conditions météorologiques ;

→ Dans le sens de la ligne de préfabri-

8- Structure en béton armé.  
9- Principales quantités.

8- Reinforced concrete structure.  
9- Main quantities.

cation n° 1, la plus longue, les caissons sont transférés à l'aide d'un transbordeur, système éprouvé sur les chantiers précédents, un double fardier équipé

de 2 x 7 vérins en ligne qui soulève les caissons (le contrôle des vérins étant automatisé pour une répartition uniforme de la charge) ;

→ Dans le sens transversal (celui des lignes de préfabrication n° 2 et 3), le transfert des caissons se fait à l'aide d'un système de ripage élaboré avec VSL Espagne (groupe Bouygues construction) : encore 2 x 7 vérins en ligne, mais sur des supports glissant sur des patins en Téflon. Là encore, le système est automatisé ;

→ Le décalage des rails de transfert entre la ligne 1 et les lignes 2 et 3 conduit à élaborer un système de croisement amovible selon le transfert en cours (figure 5).

## MODIFICATIONS DU PLANNING

Le planning du chantier a conduit à l'élaboration d'un système de mise à l'eau différent de celui utilisé lors des chantiers précédents (Tanger Méditerranée 1 et port roulier).

Avec un démarrage en janvier 2010, la première mise à l'eau était prévue au mois M18, soit en juin 2011. Cela permettait, pendant les quelques mois de météo plus clémente, de constituer une part de la DPC nécessaire à la protection de la plate-forme des installations avant l'hiver 2011-2012, c'est-à-dire avant que la plate-forme soit exposée aux tempêtes de l'hiver. Les risques de ralentissement de la production étaient ainsi limités.

Le début du chantier ayant été reporté de six mois, un démarrage au mois M18 impliquait les mêmes premières opérations en plein hiver, avec des installations non protégées, et donc un risque de dérapage du planning général d'au moins quatre mois. TMBYS a donc choisi d'accélérer la réalisation des installations de préfabrication pour permettre une première mise à l'eau au mois M16, en septembre 2011.

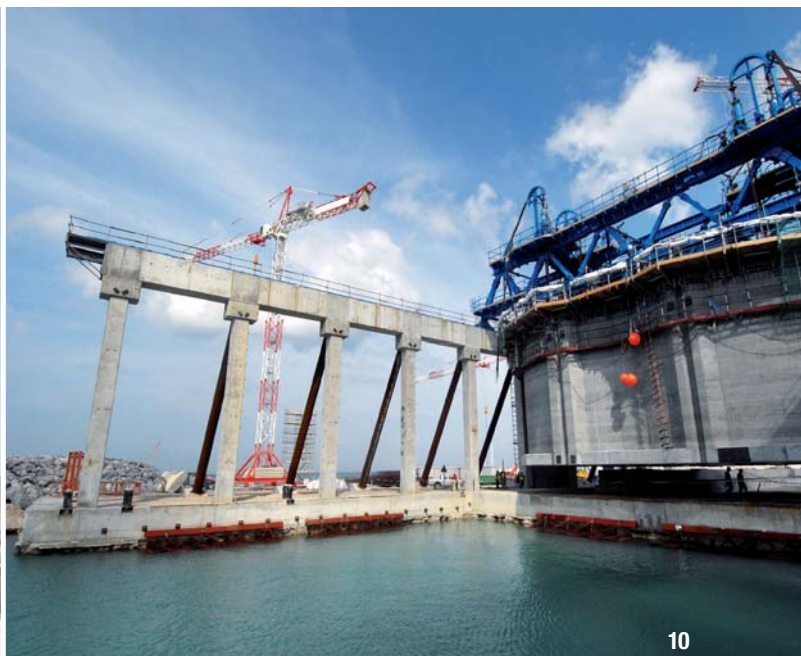
Ainsi, une dizaine de caissons pourront être mis en place avant l'hiver 2011-2012 pour assurer l'autoprotection minimale des installations. Cela est rendu possible par la réduction de la surface des plates-formes d'installation de 30 % : l'enclosure face mer est parallèlement moins volumineuse. Mais, l'espace étant réduit, il est impératif de comprimer les installations de préfabrication et de mise à l'eau.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

9

Plateformes d'installation			
	Volume	Ration	
Tout-Venant 0-500 kg/1-500 kg	283 700 m <sup>3</sup>		
Enrochements de 0,5 à 7 t	133 900 m <sup>3</sup>		
Remblais	694 300 m <sup>3</sup>		
Digue à Talus			
	DP	DS	
Tout-Venant 0-500 kg/1-500 kg	664 200 m <sup>3</sup>	1 018 500 m <sup>3</sup>	
Enrochements de 0,5 à 4,8 t	145 900 m <sup>3</sup>	184 100 m <sup>3</sup>	
Ballast / Stéril	10 000 m <sup>3</sup>	5 400 m <sup>3</sup>	
Béton pour mur de couronnement	21 600 m <sup>3</sup>	9 600 m <sup>3</sup>	
Accropode® 4 m <sup>3</sup> - 1800 U	7 200 m <sup>3</sup>		
Accropode® 6,3 m <sup>3</sup> - 1000 U	6 300 m <sup>3</sup>		
Accropode® 9 m <sup>3</sup> - 6300 U	26 900 m <sup>3</sup>	29 800 m <sup>3</sup>	
Digue à Caissons			
	DP	DS	
Tout-Venant 1-500 kg/100-500 kg	1 754 700 m <sup>3</sup>	96 300 m <sup>3</sup>	
Enrochements de 0,5 à 6 t	403 600 m <sup>3</sup>	10 700 m <sup>3</sup>	
Ballast / Stéril	1 410 600 m <sup>3</sup>	21 300 m <sup>3</sup>	
Béton pour caissons (y.c clés)	206 800 m <sup>3</sup>	21 800 m <sup>3</sup>	
Aciers pour caissons	44 000 t	4 700 t	214 kg/m <sup>3</sup>
Béton talus arrière (dalles)	46 200 m <sup>3</sup>		
Béton pour superstructure	59 900 m <sup>3</sup>	5 200 m <sup>3</sup>	
Aciers pour superstructure	15 000 t	1 300 t	250 kg/m <sup>3</sup>

Totaux Matériaux de carrière		
	Volume	Ration
Tout-Venant	3 817 400 m <sup>3</sup>	
Enrochements	878 200 m <sup>3</sup>	
Ballast / Stéril	1 447 300 m <sup>3</sup>	
Remblais	694 300 m <sup>3</sup>	
Graviers	198 700 m <sup>3</sup>	
Sables	118 500 m <sup>3</sup>	
Totaux Bétons		
	441 300 m <sup>3</sup>	65 000 t
Béton murs de couronnement	31 200 m <sup>3</sup>	
Béton Accropode®	70 200 m <sup>3</sup>	
Béton caissons (y.c clés)	228 600 m <sup>3</sup>	
Aciers caissons	48 700 t	214 kg/m <sup>3</sup>
Béton talus arrière (dalles)	46 200 m <sup>3</sup>	
Bétons superstructures	65 100 m <sup>3</sup>	
Aciers superstructure	16 300 t	250 kg/m <sup>3</sup>



## UN SYSTÈME DE MISE À L'EAU INNOVANT

Le système de mise à l'eau des caissons est constitué d'une darse et d'un pont roulant se déplaçant sur une structure en béton armé. Les parois de la darse sont réalisées en pieux sécants par le sous-traitant Bauer, pendant que TMBYS préfabrique la structure en béton armé. Poteaux et poutres sont ensuite clavés sur les fondations.

En parallèle, le pont roulant est conçu puis fabriqué par le sous-traitant VSL Espagne.

Début juin 2011, l'installation du pont est rendue possible après quatre mois de travaux. Le déplacement du pont roulant permet la séquence de mise à l'eau suivante :

→ Le pont roulant, positionné au-dessus du caisson en extrémité des longrines transbordeur, est connecté au radier du caisson ;

## 10- Installation du pont roulant.

### 10- Installation of the OT crane.

→ Le caisson est soulevé (figure 6, étape 1). Le pont roulant translate sur la structure en béton armé pour se positionner au-dessus de la darse (figure 6, étape 2) ;

→ Le caisson est descendu jusqu'à son échouage sur l'assise de la darse ou bien directement en flottaison (figure 6, étape 3). Un ballastage est nécessaire à cette opération. Il est déconnecté du pont roulant. S'il est échoué, il est ensuite dé-ballasté pour être mis en flottaison (figure 6, étape 4) ;

→ Le caisson est remorqué jusqu'au quai de rehausse pour la deuxième levée de voile (figure 6, étape 5).

La darse est équipée de bollards et de défenses, et la durée du cycle de mise à l'eau est d'environ 8 h. Les bureaux d'études de Bouygues TP et Saipem sont fortement impliqués dans les études d'exécution, les méthodes de réalisation, la validation des spécifications et le choix des sous-traitants et fournisseurs. □

## DATES CLÉS

**DÉMARRAGE DU CONTRAT :**  
juin 2010

**DÉMARRAGE DE LA PRODUCTION DES CAISSONS POUR 106 UNITÉS :** août 2011

**LIVRAISON CONTRACTUELLE :**  
été 2014

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** TM2SA (Tanger Med 2 Special Agency)

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** TME (Tanged Med Engineering)

**ENTREPRISES :** consortium TMBYS-BSTM, soit la joint venture Digue TMBYS (Bouygues TP, Saipem, Bymaro) et la joint venture Quai BSTM (Besix, Somagec)

## ABSTRACT

### PORT OF TANGIER MEDITERRANEAN 2: CONSTRUCTION OF PROTECTION STRUCTURES AT SEA

BOUYGUES TP : NICOLAS DESCAMPS - NICOLAS BERTHE - PHILIPPE JAN

*The TMBYS Dyke joint venture, in charge of constructing protection structures at sea for this project, had to set up and operate a quarry for 30 million m<sup>3</sup> of materials, and build a 9 km track linking the quarry to the port site and a platform to install the prefabrication areas for the Accropodes™ and caissons. In order to meet the tight deadlines of the work schedule, an innovative system was used to launch the caissons for the installations. □*

### PUERTO DE TANGER MÉDITERRANÉE 2: REALIZACIÓN DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN EN EL MAR

BOUYGUES TP : NICOLAS DESCAMPS - NICOLAS BERTHE - PHILIPPE JAN

*The joint venture Digue TMBYS, encargada de la realización de las obras de protección en el mar para este proyecto, tuvo que instalar y explotar una cantera para 30 millones de m<sup>3</sup> de materiales, construir una pista de 9 km que enlazara la cantera con el espacio portuario y una plataforma para instalar las áreas de prefabricación de los Accropode™ y bloques. Con objeto de respetar los plazos muy ajustados del planning, las instalaciones se benefician de un innovador sistema para la puesta en agua. □*

# RECONSTRUCTION DU PONT FAIDHERBE À SAINT-LOUIS, AU SÉNÉGAL

AUTEURS : IBRAHIMA NDIAYE, AGÉROUTE - VICTOR POUYE, AGÉROUTE - MOR GAYE, AGÉROUTE - JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI - GILBERT CABANNE, SGI - CÉCILIA CORNILLET & SÉBASTIEN DOURDOU, EIFFAGE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE - BENOÎT THIEROT, SETEC TPI - GEMMA AUBEELUCK, SETEC TPI - SAMUEL DEMOLLIENS & OUMAR SECK, EIFFAGE SÉNÉGAL

SITUÉ EN SITE CLASSÉ AU PATRIMOINE DE L'UNESCO ET FORTEMENT ATTEINT PAR LA CORROSION, LE PONT FAIDHERBE À SAINT-LOUIS AU SÉNÉGAL DEVAIT ÊTRE RÉPARÉ À L'IDENTIQUE. AVEC L'AIDE DE L'AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT, LE GOUVERNEMENT SÉNÉGALAIS ET L'AGÉROUTE ONT DONC CONÇU UN PROJET DE REMPLACEMENT DES TRAVÉES ET DE CONFORTEMENT DES PILES. À L'ISSUE D'UN APPEL D'OFFRES INTERNATIONAL, L'ÉTAT SÉNÉGALAIS A RETENU LE GROUPEMENT SGI (GENÈVE), MANDATAIRE, ET SETEC TPI (PARIS) POUR ASSURER LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DE LA RÉPARATION. LES TRAVAUX DE RECONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DES APPUIS ET DU TABLIER ONT ÉTÉ CONFISÉS AU GROUPEMENT EIFFAGE SÉNÉGAL, EIFFAGE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE (MANDATAIRE) ET BERTHOLD. FIN MAI 2011, LES SIX TRAVÉES NEUVES ONT ÉTÉ MISES EN PLACE ; LE RIPAGE DE LA DERNIÈRE TRAVÉE À ÉTÉ EFFECTUÉ EN JUILLET DERNIER. LA FIN DES TRAVAUX EST PRÉVUE À L'AUTOMNE 2011.



1 - Ripage sur barges.

1 - Sliding on barges.

© DR



### UN OUVRAGE HISTORIQUE

Construite sur une île, la ville de Saint-Louis, au Sénégal, fut reliée en 1858 par un bac. Mais ce système se révéla très vite obsolète pour répondre aux besoins croissants du commerce et des populations, malgré l'installation rapide d'un second bac. Ces bacs s'avéraient en effet vulnérables en période hivernale, lors des crues du fleuve Sénégal. Le premier pont, construit en 1865, était un ouvrage flottant. Édifié sous la direction du gouverneur par intérim, le capitaine de frégate Robin, il mesurait 680 m de long, 4 m de large, et reposait sur 40 pontons en tôle. Par décret impérial, il prit le nom de pont Faidherbe, et resta en service pendant trente-deux ans. Il réclamait un entretien considérable pour vérifier

**2 & 3- Le pont avant réparation en 2009.**

**4- Exemple de cavités relevées dans la jupe de la pile pivot (document TTSM).**

**2 & 3- The bridge before repairs in 2009.**

**4- Example of cavities noted in the skirt of the pivot pier (TTSM document).**

les chaînes, vider l'eau infiltrée dans les pontons, et ouvrir, au moins une fois par jour, le passage de la passe navigable constituée de trois pontons. Il devint donc rapidement nécessaire de construire un pont fixe. Dès 1891, le gouverneur Lamothe proposa de contracter un emprunt auprès de la Caisse des dépôts et consignations, qui consentit un taux d'intérêt faible (seulement 4 %). À l'issue de l'appel d'offres, cinq entreprises remirent une proposition. Deux projets furent retenus : celui de Nouguier, Kessler et Cie (ancienne maison Joly à Argenteuil) et celui de la Société de construction de Levallois-Perret (anciens établissements Eiffel). Après des débats entre la commission technique siégeant en métropole et le service des travaux publics de la

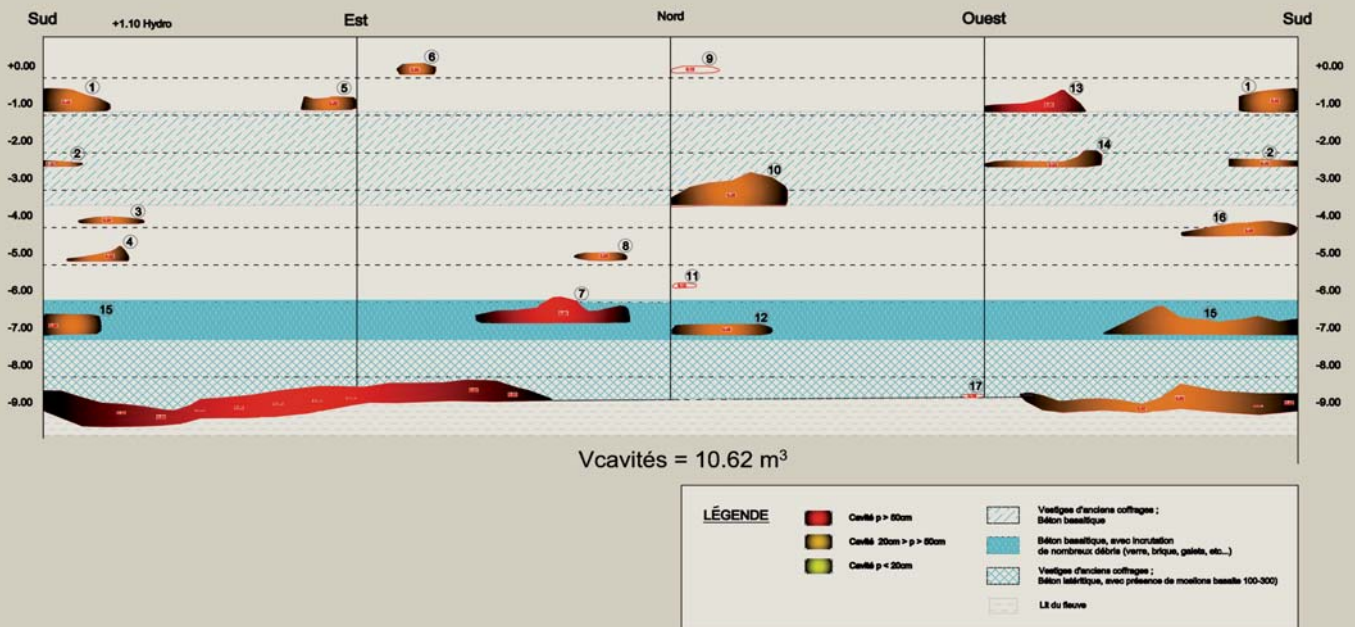
colonie, le projet de Nouguier, Kessler et Cie, jugé plus esthétique, fut retenu. L'ouvrage fut financé, grâce à un emprunt, par la colonie, qui ne suivit pas les recommandations des ingénieurs de la commission technique de Paris, favorables à l'autre projet.

Le pont fut inauguré le 14 juillet 1897 par le gouverneur général Chaudié, puis, en octobre de la même année, par André Lebon, alors ministre des Colonies.

Ce premier pont, très atteint par la corrosion, fut reconstruit une première fois entre 1929 et 1931.

D'autres réparations suivirent en 1987 et en 1999, mais sans garantir la pérennité de l'ouvrage. La travée tournante fut même endommagée par des chocs de navire. ▶

### EXEMPLE DE CAVITÉS RELEVÉES DANS LA JUPE DE LA PILE PIVOT (DOCUMENT TTSM)



## REPLACER LES TRAVÉES ET CONFORTER LES PILES

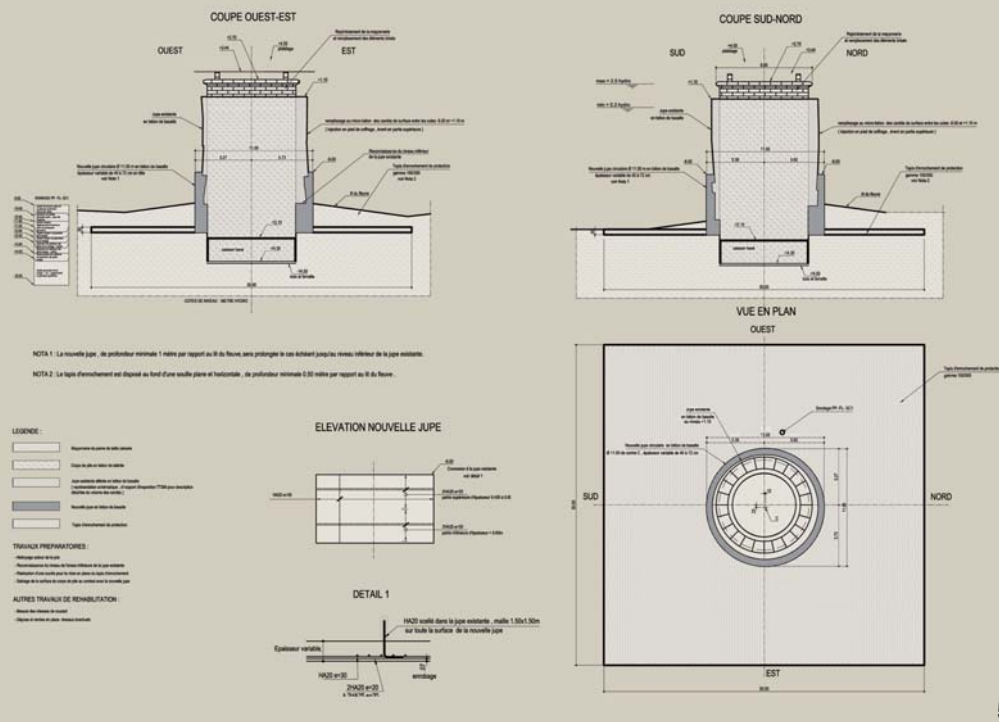
Avec l'aide de l'Agence française de développement, le gouvernement sénégalais et l'Agéroute ont donc conçu un projet de remplacement des travées et de confortement des piles. Le site de Saint-Louis étant classé au Patrimoine mondial de l'Unesco, il fallait reconstruire l'ouvrage à l'identique. En effet, celui-ci marque fortement la silhouette de la ville avec ses cinq travées de 77 m, sa travée de 43 m et sa travée tournante de 72 m, le tout pour un poids d'acier de 2 500 t (photos 2 et 3). À l'issue d'un appel d'offres international, l'État sénégalais a retenu le groupement SGI (Genève), mandataire, et Setec TPI (Paris) pour assurer la maîtrise d'œuvre de la réparation. L'assistance à maîtrise d'ouvrage était assurée par le groupement ISM (France)/DIATEC (Tunisie). L'étude a porté à la fois sur le renforcement des piles, construites en béton de latérite et usées par l'érosion due aux lits mobiles du fleuve, et sur le tablier, que l'on a décidé de remplacer et de reconstruire à l'identique. Les travaux de reconstruction et de réparation des appuis et du tablier ont été confiés, le 14 novembre 2008, au groupement Eiffage Sénégal, Eiffage Construction Métallique (mandataire) et Berthold.

## TRAVAUX SUBAQUATIQUES

Des reconnaissances préalables ont été effectuées par des plongeurs pour évaluer l'état de dégradation des jupes en béton réalisées lors des précédents travaux de confortement. Devant l'importance des cavités, dans lesquelles les fers étaient apparents et corrodés, il a été décidé de réaliser de nouvelles jupes en béton (figure 4). Celles-ci sont descendues jusqu'au niveau du lit mobile, évalué à partir d'une étude complète du régime du fleuve réalisée par la société Hydratec, filiale du groupe Setec pour le compte de la maîtrise d'œuvre. Des gabions en enrochements sont disposés à la base des piles pour limiter le risque d'affouillement.

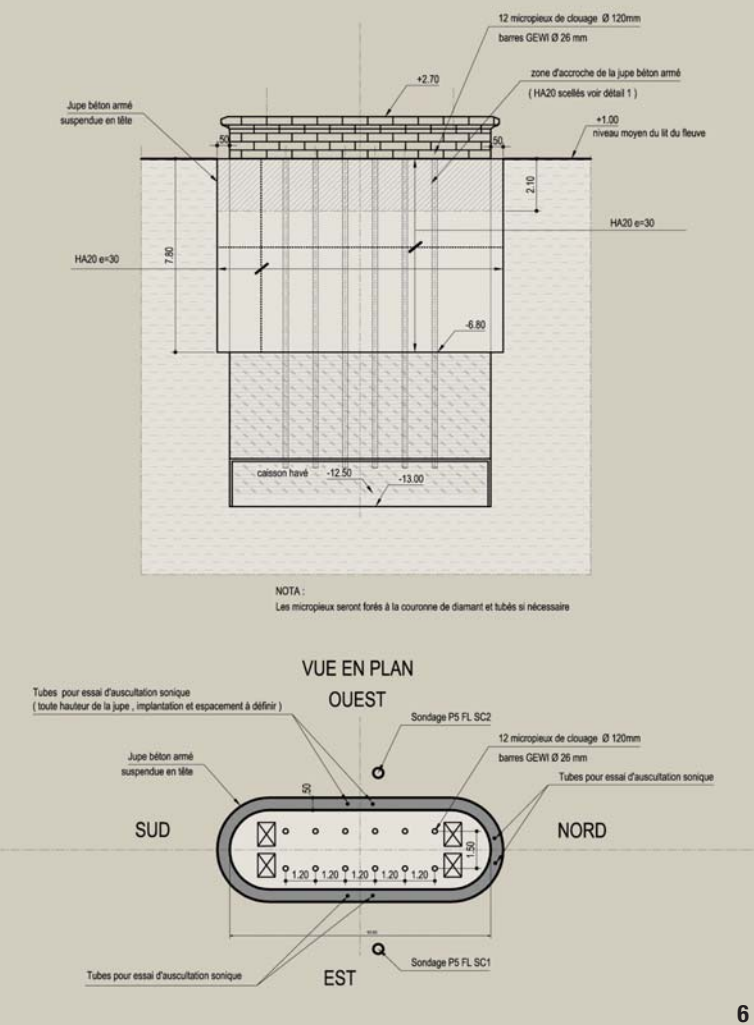
Les sondages préalables ont été suivis par Terrasol, afin de déterminer la capacité des fondations existantes et de valider leur utilisation, malgré l'alourdissement des fûts de pile renforcés par les jupes. Lorsque les cavités sont profondes, comme c'est le cas sur la cinquième pile, des micropieux ont été forés à travers la maçonnerie pour renforcer le pouvoir portant de la pile (figure 5). Les travaux de réhabilitation des piles et culées ont été confiés aux équipes d'Eiffage Sénégal.

## PRINCIPE DE RÉPARATION DE LA PILE PIVOT



5

## PRINCIPE DE RÉPARATION DE LA PILE 5



5- Principe de réparation de la pile pivot.

6- Principe de réparation de la pile 5.

5- Schematic of repair of the pivot pier.  
6- Schematic of repair of pier 5.

6

7- Scaphandrier.

8- Principe d'armature des jupes.

7- Underwater worker.

8- Schematic of skirt reinforcement.

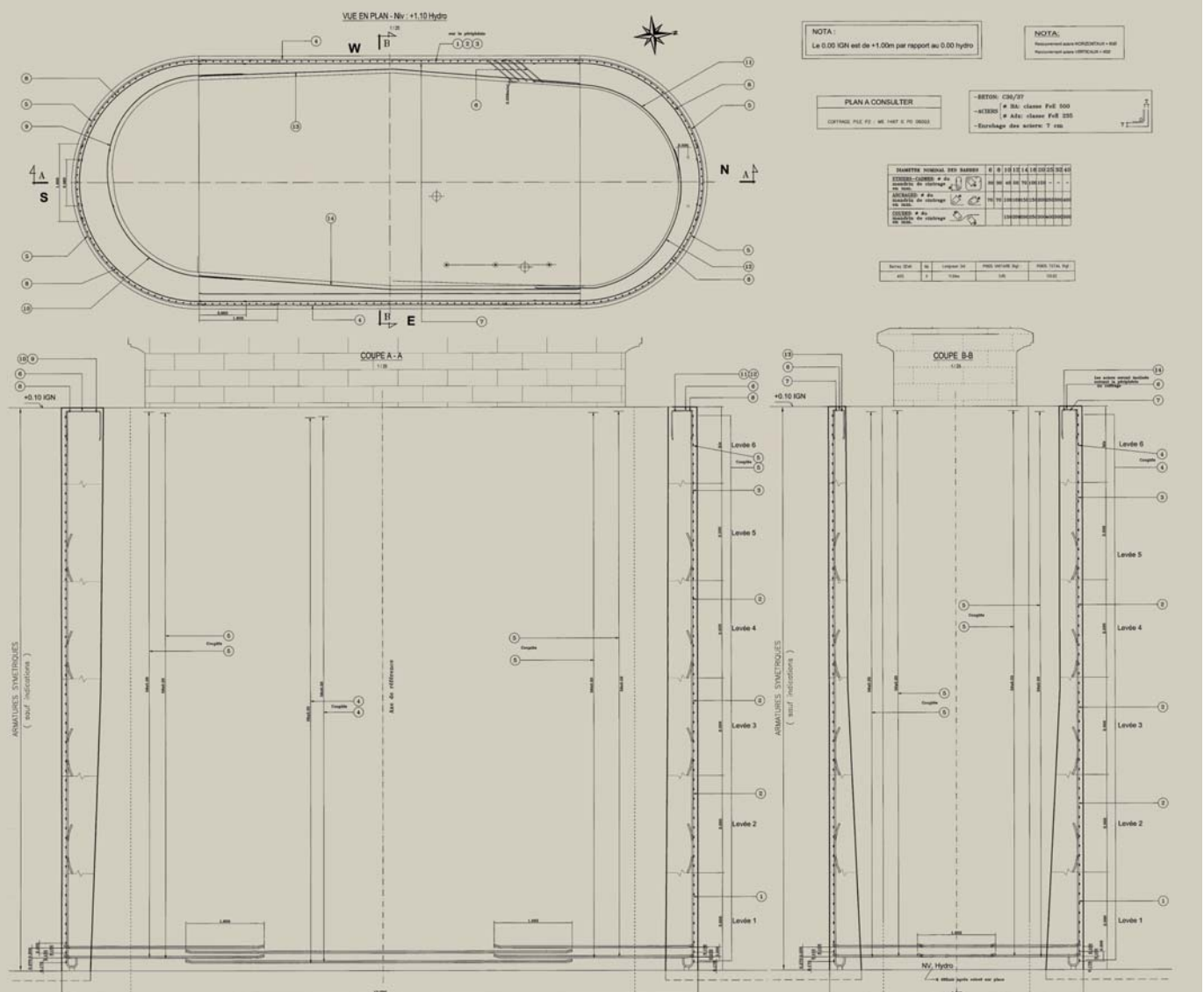


Les travaux de génie civil comprennent également la réfection des chevêtres des culées rive gauche, en vue d'accueillir la petite travée d'accès, le renforcement de la culée rive droite et de la pile P5 par micropieux de clouage, le chemisage en béton armé et la protection contre les risques d'affouillement (pose de gabions) des piles situées en pleine eau (figure 6). Il a ainsi fallu faire intervenir des équipes spécialisées en travaux subaquatiques, qui devaient composer avec des conditions d'intervention difficiles : le fleuve Sénégal, qui prend sa source en Guinée et traverse le Mali, le Sénégal et la Mauritanie, se charge de limons à chaque hivernage. Ses eaux deviennent troubles, rendant l'intervention des plongeurs impossible d'août à novembre. Le reste du temps,

les conditions de visibilité restent faibles (inférieures à 50 cm), avec de forts courants (6 nœuds) et les effets du marnage dus à l'embouchure voisine (à 7 km).

Les scaphandriers et plongeurs autonomes (photo 7) ont réalisé l'installation des portiques de manutention, le nettoyage du lit du fleuve, le réglage de l'assise des nouvelles jupes en béton armé et du lit de pose des gabions, la mise en place des cages d'armatures et du coffrage, le suivi du bétonnage et de la pose des gabions. Les nouvelles jupes en béton armé (épaisseur moyenne 0,60 m) ont été réalisées par viroles successives de 2 m de hauteur chacune (figure 8). Les coffrages grimpants, en acier avec profilés cintrés sur mesure, pesaient jusqu'à 25 t. ▶

## PRINCIPE D'ARMATURE DES JUPES







Munis de vérins de guidage et de centrage, ils ont été manutentionnés par palans depuis le portique positionné en tête de pile.

Ce dernier a également été fabriqué sur mesure, en tenant compte de la géométrie réelle des piles et du faible tirant d'air du pont, inférieur à 3 m (photo 13). Le béton, composé de ciment prise mer et de plastifiants, a été pompé depuis le tablier jusqu'au fond du coffrage à l'aide d'un tube plongeur.

#### INNOVATIONS TECHNIQUES

La structure devant être remplacée à l'identique, la conception du tablier conserve la silhouette de l'ancien ouvrage. Des techniques plus modernes ont cependant été utilisées :

- Les rivets ont été remplacés par de la soudure ou des boulons, selon le découpage nécessaire au montage ;
- Le nouveau platelage est constitué d'une dalle orthotrope participant à la flexion longitudinale, en remplacement

**9- Montage à blanc des travées en usine.**

**10a & 10b- Assemblage des nouvelles travées.**

**9- Trial erection of the spans in factory.**

**10a & 10b- Assembly of the new spans.**

de l'ancien platelage de type Arnodin ;

→ Les montants et diagonales ajourés, constitués à l'origine de petits fers rivetés, ont été remplacés par des tôles découpées ;

→ Enfin, pour améliorer les conditions de circulation des piétons, les trottoirs latéraux ont été élargis.

Les travées neuves ont été fabriquées en France dans les usines d'Eiffage construction métallique et de Berthold. Elles ont été transportées au Sénégal





© DR 11

**11- L'une des quatre barges ballastables fabriquées par Eiffage construction métallique.**  
**12- Remplacement de la travée tournante.**

**11- One of the four ballastable barges manufactured by Eiffage Construction Métallique.**  
**12- Replacement of the rotating span.**

par voie maritime, en pièces détachées conteneurisables, à l'exception des éléments de platelage qui, en raison de leur taille, ont dû être acheminés en convois exceptionnels. Avant expédition, un montage à blanc des travées a été réalisé en usine (photo 9) afin de garantir le parfait assemblage sur le chantier. Sur site, les premiers travaux ont consisté à créer une aire de travail par remblaiement d'une partie du fleuve Sénégal sur une longueur équivalente

à deux travées de 77 m : en amont du fleuve pour l'aire d'assemblage des anciennes travées, en aval pour l'assemblage des nouvelles travées (photos 10a et 10b).

**DES OPÉRATIONS DE RIPAGE DÉLICATES**

Une fois les nouvelles travées assemblées pré-peintes, une bâche de protection a été étendue pour les protéger

du vent et permettre l'application sur site des dernières couches de peinture, mais aussi du revêtement de chaussée. Les passerelles piétonnes amont et aval sont achevées par mise en place des platelages en azobé. Les nouvelles travées sont ensuite installées à la place des anciennes, par ripage sur voie de roulement pour les deux premières, situées au niveau de l'aire d'assemblage, et par ripage sur barges pour celles situées au-dessus de l'eau (photo 1).

Cette technique avait déjà été employée lors de la construction de l'ancien pont. À cet effet, Eiffage construction métallique, chargé de tous les travaux de charpente métallique au Sénégal, a fabriqué quatre barges ballastables de capacité portante 350 t/u (photo 11). Chaque opération de ripage est préparée minutieusement, en collaboration avec les autorités locales et les responsables des différents services administratifs (armée, services de secours...). ▷



© DR 12



13



14



15

Des campagnes d'information ont également été menées pour sensibiliser les populations aux fermetures provisoires du pont.

À l'exception de la travée tournante, les remplacements de travées ont été effectués dans le délai imparti de 24 h, à la grande satisfaction des habitants de Saint-Louis et de la région, venus en masse pour assister à ces événements. Le remplacement de la travée tournante

était plus complexe (photo 12), car il fallait effectuer les scellements de la nouvelle mécanique sur la pile.

Les durées de scellement ont donc été intégrées dans le planning d'exécution pour assurer le respect de la coupure de 48 h autorisée par le marché.

Le démantèlement des travées déposées représente un chantier à part. Les anciennes travées ont dû être découpées en éléments transportables

par camion traditionnel. Le choix s'est porté sur une pelle à chenille équipée d'une cisaille hydraulique.

#### TRAVAUX DE MÉCANIQUE ET D'ÉQUIPEMENT DIVERS

La structure de la travée tournante repose sur une couronne circulaire composée de 24 galets coniques bombés (photos 13, 14 et 15). Le mouvement de rotation de la travée tournante

**13- Coulage des jupes.**

**14- Couronne de galets avant montage.**

**15- Travée sur ses galets après mise en œuvre.**

**16- Travée tournante ouverte.**



16

**13- Pouring the skirts.**

**14- Roller ring before assembly.**

**15- Span on its rollers after installation.**

**16- Rotating span open.**

17- Pignon, crémaillère et réducteur.

18- Machine d'entraînement.

19- Extrémité de volée.

20- Verrou central.

21- Éclairage architectural des travées.

17- Pinion gear, rack and reduction gear.

18- Drive system.

19- End of boom.

20- Central lock.

21- Architectural lighting of the spans.



(photo 16) est obtenu à l'aide d'un pignon qui engraine sur une crémaillère à fuseaux (photo 17). Ce pignon est entraîné, via un réducteur, soit par une manivelle manuelle, soit par une machine électrique de type aléuseuse (photo 18). Les temps d'ouverture ou de fermeture sont de 20 min. en mode électrique et de 1 h 10 en mode manuel.

La travée est équipée en ses quatre coins de vérins hydrauliques pour permettre de dégager les cales métalliques de rotation. En fin de mouvement, des verrous manuels (photos 19 et 20)

permettent de maintenir la travée en position.

L'ancien pont était par ailleurs le support d'une conduite d'eau et d'un câble électrique d'alimentation de l'île de Saint-Louis. Une nouvelle conduite et un nouveau câble ont été mis en place en traversée sous-fluviale pour permettre l'ouverture du pont sans être obligé de procéder à des coupures d'électricité et d'eau. Quant à l'éclairage public du nouvel ouvrage, rehaussé d'un éclairage architectural des travées (photo 21), il a été conçu et installé par les électriciens d'Eiffage Sénégal. □

## ABSTRACT

### RECONSTRUCTION OF THE FAIDHERBE BRIDGE IN SAINT-LOUIS, SENEGAL

I. NDIAYE, V. POUYE, M. GAYE : AGÉROUTE - J.-B. DATRY, SETEC TPI - G. CABANNE, SGI - C. CORNILLET & S. DOURDOU, EIFFAGE - B. THIEROT, G. AUBEELUCK : SETEC TPI - S. DEMOLLIENS & O. SECK, EIFFAGE

**The Faidherbe bridge in Saint-Louis, Senegal**, located in a classified UNESCO heritage site and severely affected by corrosion, had to be repaired and restored identically. With the help of the Agence française de développement, the Senegalese government and Agéroute therefore designed a plan for replacing the spans and consolidating the piers. Following an international invitation to tender, the Senegalese government selected SGI (Geneva), as leader, and Setec TPI (Paris) to perform project management for the repairs. The work of rebuilding and repairing the supports and deck was awarded to the consortium formed by Eiffage Sénégal, Eiffage Construction Métallique and Berthold. At the end of May 2011, the six new spans had been placed in position; the last span was slid into position last July. The scheduled delivery date is in autumn 2011. □

### RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE FAIDHERBE EN SAN LUIS, SENEGAL

I. NDIAYE, V. POUYE, M. GAYE : AGÉROUTE - J.-B. DATRY, SETEC TPI - G. CABANNE, SGI - C. CORNILLET & S. DOURDOU, EIFFAGE - B. THIEROT, G. AUBEELUCK : SETEC TPI - S. DEMOLLIENS & O. SECK, EIFFAGE

**Situado en un sitio clasificado en el patrimonio de la Unesco** y muy afectado por la corrosión, el puente Faidherbe en San Luis, Senegal, debía repararse para volver a su estado original. El gobierno senegalés y Agéroute, con la ayuda de la Agencia francesa de desarrollo, diseñaron un proyecto de sustitución de los tramos y de consolidación de los pilares. Al término de una licitación internacional, el Estado senegalés seleccionó a SGI (Ginebra), mandatarios, y a Setec TPI (París) para que se encargaran de la dirección de obra y de la restauración. Las obras de reconstrucción y restauración de los apoyos y del tablero se confiaron a la agrupación de empresas Eiffage Sénégal, Eiffage Construction Metallique y Berthold. A finales de mayo de 2011, se instalaron los seis tramos nuevos; el ripado del último tramo se efectuó el pasado mes de julio. La fecha de entrega está prevista en otoño de 2011. □

# CONSTRUCTION DU PORT POUR CONTENEURS CMIT AU VIETNAM

AUTEURS : HERVÉ ABT, INTERNATIONAL BUSINESS DEVELOPMENT MANAGER, MENARD - ARNAUD MELTZ, RESPONSABLE AGENCE MENARD AU VIETNAM



LES TRAVAUX DU PORT POUR CONTENEURS CAI MEP INTERNATIONAL TERMINAL (CMIT) ONT CONSISTÉ À STABILISER UNE BANDE DE 60 M DE LARGE D'ARGILE MOLLE LE LONG DE LA RIVIÈRE. L'UTILISATION DU PROCÉDÉ MENARD VACUUM A PERMIS D'ASSURER LA STABILITÉ AU GLISSEMENT PENDANT UNE MONTÉE RAPIDE DU REMBLAI FINAL, TOUT EN PERMETTANT, CÔTÉ RIVIÈRE, LA RÉALISATION D'UN QUAI DANOIS ET, CÔTÉ TERRE, L'UTILISATION D'UNE TECHNIQUE PLUS TRADITIONNELLE DE DRAIN ET SURCHARGE.



1- Vue générale du chantier.

1- General view of the site.

© MENARD

## DÉVELOPPEMENT DES PORTS VIETNAMIENS

Le Vietnam présente une croissance très élevée et un taux d'exportation important de ses produits manufacturés. Dans le sud du pays, cette industrialisation se concentre sur une bande allant de Ho Chi Minh Ville, capitale économique, à Vung Tau, sur la côte. Les ports de Ho Chi Minh Ville, sur la rivière Saïgon, ne peuvent accueillir des navires de plus de 15 000 t. Les autorités ont donc décidé de développer les ports à Vung Tau, notamment sur la rivière Cai Mep et son affluent Thi Vai qui, avec un peu moins de 10 millions de m<sup>3</sup> de dragage (sur financement japonais) permettent le passage des bateaux de 80 000 t. Une douzaine de ports sont à divers stades d'achèvement, alors qu'il en existait un seul il y a cinq ans.

Les bassins des rivières Cai Mep et Thi Vai se caractérisent par un dépôt argileux très mou, d'une quinzaine de mètres en amont de Thi Vai à près de 50 m à l'embouchure de Cai Mep, sur la mer de Chine. Ces terrains sont essentiellement de la mangrove, donc régulièrement submergés, et nécessitent un remblaiement de l'ordre de 2 à 5 m pour être mis à l'abri des crues centennales.

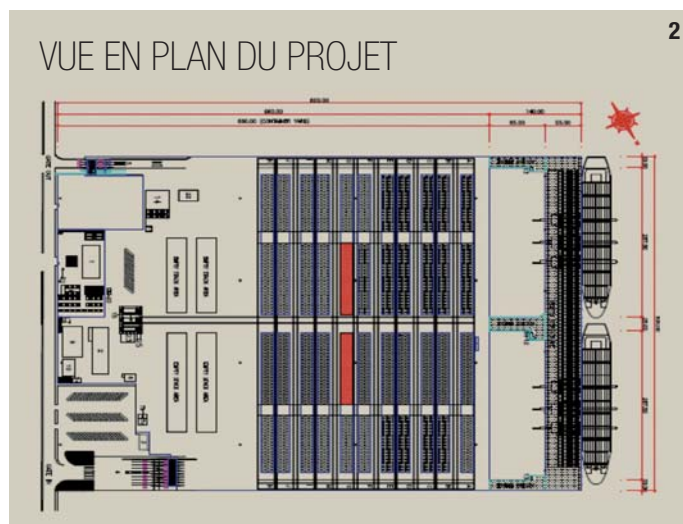
Dans ce contexte, Menard a été contacté par la joint venture Posco E & C et Samwhan E & C, attributaire pour la construction en conception-réalisation du port de CMIT, et qui devait fournir une solution de stabilisation de la rive afin de réaliser un yard container d'un côté, un quai danois de l'autre, dans le délai imparti au contrat.

## ACCUEILLIR DES NAVIRES DE 50 000 t

Le projet consiste à réaliser un quai danois de 55 m de large, 600 m de long, ainsi qu'un yard de 40 ha où les conteneurs seront empilés jusqu'à une hauteur de 7 boîtes vides et 3 boîtes pleines. Cela correspond, en pratique, à une charge de service répartie équivalente à 4 t/m<sup>2</sup>. Pour permettre l'accostage des navires de 50 000 t, un tirant d'eau de 15 m (plus 1,5 m pour le pied de pilote et une réserve pour l'envasement) est nécessaire. Le quai est relié à la rive par trois ponts d'accès de 85 m de long (figure 2).

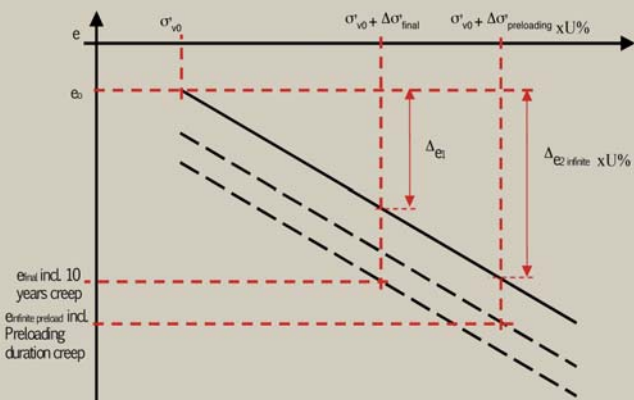
2- Vue en plan du projet.

2- Plan view of the project.



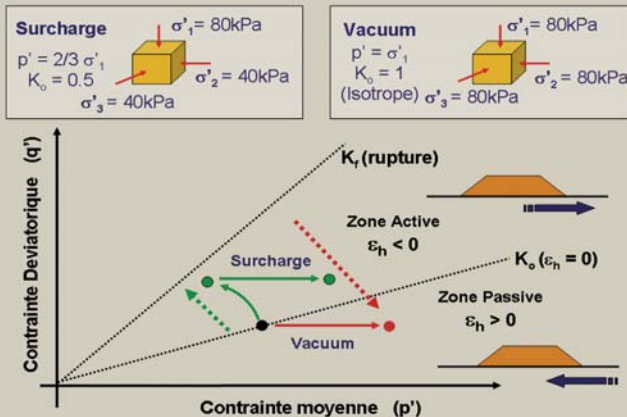
### MÉTHODE DE BUISMANN

3



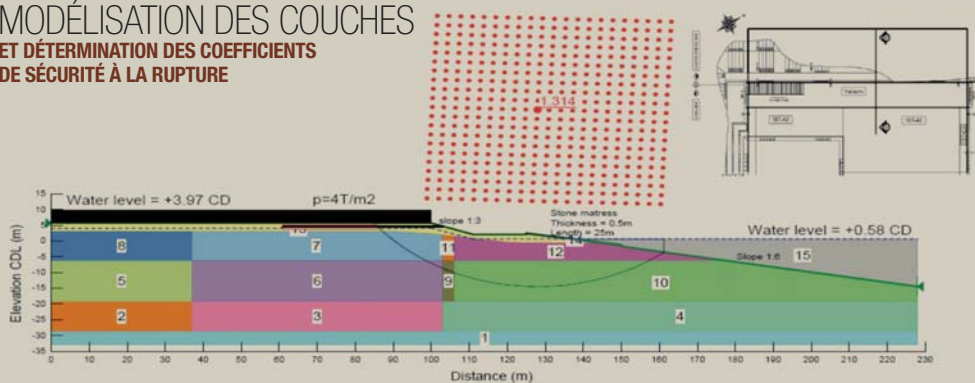
### ÉVOLUTION DE LA CONTRAINTE : SURCHARGE PONDÉRALE ET PAR DÉPRESSION

4



### MODÉLISATION DES COUCHES ET DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ À LA RUPTURE

5



3- Méthode de Buismann.  
4- Évolution de la contrainte : surcharge pondérale et par dépression.  
5- Modélisation des couches et détermination des coefficients de sécurité à la rupture.

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES DE LA COUCHE 1

	Caractéristiques des couches	Symbole	Unité	1a	1b	1c	1d
1	Puissance moyenne		m	5 ~ 8	12,5	10	4,5
2	Indice de compression	$C_c/(1+e_0)$	-	0,23	0,23	0,23	0,23
3	Vitesse de consolidation verticale	$C_v$	$m^2/an$	1,0 $m^2/an$	1,0 $m^2/an$	1,0 $m^2/an$	1,0 $m^2/an$
4	Vitesse de consolidation radiale	$C_h$	$m^2/an$	3,0 $m^2/an$	3,0 $m^2/an$	3,0 $m^2/an$	3,0 $m^2/an$
5	Indice des vides	$e_0$	-	2,4	1,85	1,85	1,80
6	Indice du tassement secondaire	$C_{\alpha e}$	-	0,03	0,03	0,03	0,03
7	Cohésion non drainée	$S_u$	kPa	9	10,0 + 1,0 z	22,5 + 2,2 z	44,5 + 2,2 z
8	Densité		$kN/m^3$	14,5	15,8	15,8	16

3- Buismann method.  
4- Stress pattern: overload and by vacuum.  
5- Layer modelling and determination of failure safety factors.

Par ailleurs, afin de se placer au-delà du niveau de crue centennale, le terrain naturel, situé à une cote variant de - 0,50 à + 0,50 le long de la bande côtière, doit être remonté et stabilisé à une hauteur de + 5,7 m.

#### DONNÉES DE SOL ET CRITÈRES DE CONCEPTION

Le terrain se compose typiquement d'une couche d'argile de 35 m avec quatre sous-couches (allant de la 1a, argile très molle, à la 1d, argile modérément ferme), puis d'une couche d'argile

ferme à très ferme que l'on rencontre à une profondeur de 35 à 44 m, suivie d'une couche de sable fin à moyen, dense, de 40 à 52 m, d'une argile raide (*stiff to hard*) à une profondeur de 44 à 54 m, et enfin d'une couche de sable silteux dense à très dense. Les sondages s'arrêtent à une profondeur de 60 m.

Les caractéristiques du terrain ont été déterminées exclusivement par des prélèvements et des essais mécaniques en laboratoire (odomètres...), réalisés par des entreprises vietnamiennes

compétentes. Ils sont résumés dans le tableau 1 pour la couche compressible. Les caractéristiques des couches restent homogènes sauf pour la puissance, nécessitant de définir et de suivre l'évolution selon quatre sections.

Vung Tau n'est pas considéré comme sismique ( $M_S = 4,0$  ; accélération de 0,08 g). On ne peut rencontrer tous les défis sur un même chantier !

Deux critères de conception étaient à respecter sur ce projet : le premier, dimensionnant, était le coefficient de sécurité en stabilité, supérieur à 1.1

en phase de construction et à 1.3 en phase d'opération. Le second était le critère de tassement, proposé par le maître d'œuvre à moins de 50 cm sur deux ans et moins de 1,25 m sur cinquante ans sur la zone de stockage des conteneurs (pour une charge d'exploitation répartie de 4 t/m<sup>2</sup>).

#### OPTIONS ENVISAGÉES

Deux solutions étaient initialement envisagées par l'entrepreneur :  
→ Réaliser un bloc de sol *mixing* (solution retenue sur deux autres projets de

## LA SOLUTION MENARD

Les lois typiques de la consolidation (1) et (2) s'appliquent :

(1) Consolidation primaire :

$$\frac{\Delta H_{primary}}{H} = \frac{C_{c-ave}}{1 + e_{o-ave}} \log \left( \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma_{final}}{\sigma'_o} \right)$$

(2) Consolidation secondaire :

$$\Delta e_{s-1year} = C_{ac} \log \left( \frac{T_{final}}{T_{initial}} \right) = 0.03 * \log \left( \frac{1 * 365}{1} \right) = 0.07$$

avec  $\Delta\sigma'_0$  = contrainte initiale et  $\Delta\sigma'$  = augmentation de la contrainte effective.

Dans un premier temps, nous calculons donc l'indice des vides correspondant à la consommation de la consolidation primaire et du tassement secondaire sur la période souhaitée, en tenant compte de la charge du remblai final (de l'ordre de 5 m d'un sable fin avec une densité de 18 kN/m<sup>3</sup>) et de la charge d'exploitation (40 kPa). Puis, sur la base des mêmes lois mais d'une charge temporaire (la surcharge), plus élevée que la charge d'exploitation et bien sûr la charge du remblai, inchangée, nous calculons l'indice des vides à l'infini. On en déduit le taux de consolidation à obtenir pour arriver à l'indice des vides souhaité. Afin de limiter la longueur de drainage et de bénéficier d'un coefficient de consolidation radial supérieur au coefficient de consolidation vertical, des drains verticaux sont installés. La consolidation suit alors les lois (3), (4) et (5) :

$$(3) U_v \cong \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{2T_v^3}} \right)^{1/6} \text{ avec } T_v = \frac{C_v t}{H^2}$$

$$(4) U_r = 1 - \exp \left( \frac{-8C_r t}{D^2 \mu} \right) \text{ avec } \mu = \ln \left( \frac{n}{s} \right) - \frac{3}{4} + \frac{k_h}{K'_h} \ln(s)$$

$n = D/d$  et  $D = 1.13 L$  pour une maille carrée

$s$  = ratio pour tenir compte du dérangement local occasionné par la mise en place du drain (*smear effect*), comme proposé par le professeur Hansbo  $K_h/K'_h = 2.5$  ratio entre la perméabilité radiale et l'état naturel pour tenir compte du *smear effect*.

Finalement, Carillo donne :

$$(5) (1 - U) = (1 - U_r)(1 - U_v)$$

Dans la méthode classique, la montée des remblais permanents et de la surcharge est limitée par la cohésion non drainée. Cette cohésion augmente au fur et à mesure de la diminution de la pression interstitielle soit, pour un sol saturé, comme c'est le cas ici, en proportion directe avec le taux de consolidation obtenue (6) :

$$(6) \Delta C_u = U\% \times \lambda_{Cu} \times \Delta\sigma'$$

avec  $U\%$  = taux de consolidation,  $\lambda_{Cu}$  = coefficient d'augmentation de la cohésion non drainée et  $\Delta\sigma'$  = augmentation de la contrainte effective.  $\lambda_{Cu}$  varie de 0.2 à 0.35 et nous avons pris la valeur inférieure.

© MENARD

port en amont, où le dépôt argileux était de l'ordre de 15 m, avec quelques désordres à constater) ;

→ Des inclusions rigides sur une bande de 20 m.

La première solution a vite été abandonnée pour des raisons budgétaires, et la seconde n'emportait pas l'adhésion du maître d'œuvre (Inros Lakner, en collaboration avec Port Coast, société vietnamienne).

Après évaluation des critères de conception, des caractéristiques de sols,

des matériaux disponibles et surtout du temps limité pour l'exécution, nous avons proposé d'augmenter la cohésion sur une bande de 60 m par consolidation accélérée en utilisant le procédé Menard Vacuum.

6- Tassements observés.

6- Observed subsidence.

## LA SOLUTION MENARD

Menard Vacuum consiste à installer des drains et une surcharge pour accélérer la consolidation selon le principe bien connu de Buismann. Une augmentation de la consolidation se traduit aussi par une augmentation de la cohésion non drainée, le but recherché (figure 3) - voir encadré : la solution Menard. Cette solution se démarque par la nature de la surcharge. Classiquement, la surcharge est pondérale (remblai temporaire).

Dans la solution Menard Vacuum, nous isolons l'argile à consolider de la pression atmosphérique. Une dépression de 70 à 90 kPa est maintenue pendant toute la durée du traitement.

Cette dépression représente un remblai fictif de l'ordre de 4,5 m de sable appliqué de façon instantanée (gain de matériaux), et il n'y a pas de diminution de la surcharge avec la profondeur, dans la limite de la longueur des drains verticaux (gain d'efficacité de la surcharge).

La consolidation est isotropique et augmente d'autant plus la stabilité de l'ensemble (figure 4).

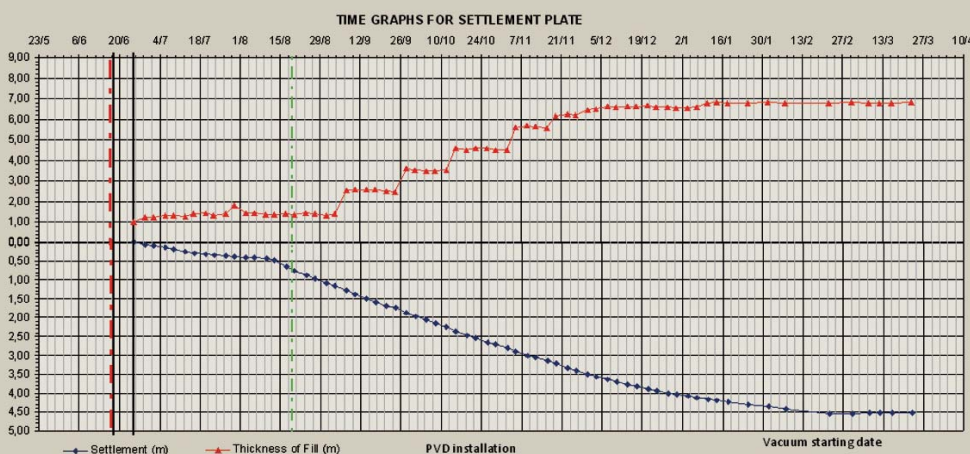
Nous avons ainsi pu définir un phasage de montée des remblais sur la bande côtière et sur la zone de stockage des conteneurs.

Avec des drains à une maille carrée de 90 cm, une mise en place des drains et du système de Vacuum sur deux mois, le temps de pompage était prévu sur une période de six mois seulement (plus d'un an avec une surcharge classique).

Cette solution a aussi permis à l'entrepreneur de monter les remblais sur la zone intérieure en un an, et de mettre en place ses pieux en rivière sans craindre la poussée latérale que l'on observe avec un surcharge classique (tableaux 2 & 3 et figure 5).

## TASSEMENTS OBSERVÉS

6



© MENARD



## 7- Mise en place du système Menard Vacuum.

### 7- Setting up the Menard Vacuum system.

#### EXÉCUTION DES TRAVAUX

Après l'installation d'une plate-forme de sable afin de se situer au moins 50 cm au-dessus du niveau de la rivière et de garantir une assise suffisante pour les engins, les drains plats (10 cm x 3 mm) ont été insérés à travers la couche 1. Puis nous avons installé un réseau de drains horizontaux, une partie de l'instrumentation et la membrane, soudée pour assurer l'étanchéité à l'air. La tranchée périphérique de la zone aval présentait une difficulté supplémentaire, car l'épaisseur de la plate-forme de travail atteignait localement jusqu'à 4 m.

Les tuyaux horizontaux, qui ne sont pas connectés aux drains verticaux, sont raccordés aux pompes à vide, alimentées par des générateurs indépendants (figure 7). Pendant l'exécution des travaux, il n'existait aucune liaison routière : les personnels étaient acheminés par bateaux, les matériaux et les équipements par barge.

La mise en place des drains verticaux et des remblais était assurée par des entreprises locales.

Au final, les résultats de consolidation et de gain en cohésion se sont révélés conformes à nos prévisions (figure 6). Nous avons enchaîné par la suite avec la même prestation sur un deuxième port en aval, avec les mêmes contraintes sauf pour la puissance de la couche d'argile molle (45 m cette fois-ci). La fin des travaux est prévue pour décembre 2011. □

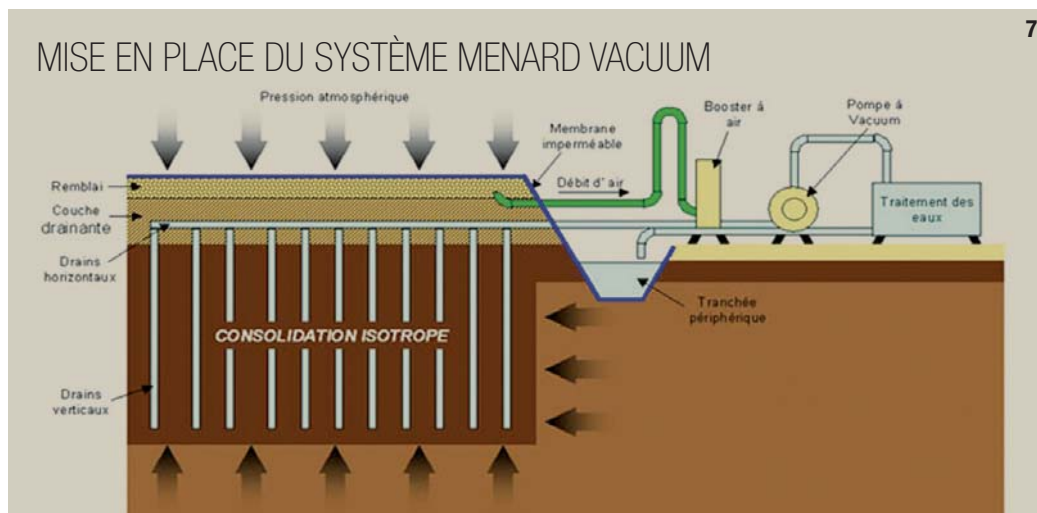


TABLEAU 2 : MONTÉE DES REMBLAIS SUR LA BANDE CÔTIÈRE

Step	Temps (jours)	Action	Ep. du remblai	Cote terrain	$\Delta$ Cu
			m	m (CD)	KPa
i)		Montée de la plate-forme à la cote + 4.5	1.5	+ 4.5	0
ii)	To	Installation des drains verticaux	1.5	+ 4.5	0
iii)	To + 60	Démarrage du pompage	1.5	+ 4.1	3.0
iv)	To + 90	Pompage + installation de 2 m de remblai	3.5	+ 5.5	8.0
v)	To + 120	Pompage + installation de 1,6 m de remblai	5.1	+ 6.6	13.6
vi)	To + 150	Pompage	5.1	+ 6.1	19.3
vii)	To + 195	Pompage + installation de 1,6 m de remblai	6.7	+ 7.2	24.8
viii)	To + 240	Arrêt du pompage	6.7	+ 6.7	30.4
ix)	To + 360	Réglage de la plate-forme	6.7	+ 5.7	30.4

TABLEAU 3 : MONTÉE DES REMBLAIS SUR LE YARD CONTAINEUR

Step	Temps (jours)	Action	Ep. du remblai	Cote terrain	$\Delta$ Cu
			m	m (CD)	KPa
i)	To	Montée de la plate-forme à la cote + 5.5	1,5	+ 5.5	0
ii)	To	Installation des drains verticaux	1,5	+ 5.5	0
iv)	To + 90	Installation de 3,5 m de remblai	5,0	+ 8.5	3,5
v)	To + 120	Installation de 1,5 m de remblai	6,5	+ 9.7	6,4
vi)	To + 150	Installation de 1,5 m de remblai	8,0	+ 10.9	9,8
vii)	To + 195		8,0	+ 10.4	15,1
vii)	To + 240		8,0	+ 10.0	19
ix)	To + 360	Réglage de la plate-forme	8,0	+ 9.4	25,5

#### ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF THE CMIT CONTAINER PORT IN VIETNAM

MENARD : HERVÉ ABT - ARNAUD MELTZ

The works on the Cai Mep International Terminal (CMIT), a container port, involved stabilising a 60-metre-wide strip of soft clay along the river. Use of the Menard Vacuum process ensured stability against sliding during rapid build-up of the final embankment, while making it possible, on the river side, to construct a Danish quay and, on the land side, to use a more conventional drain and overburden technique. □

### CONSTRUCCIÓN DEL PUERTO DE CONTENEDORES CMIT EN VIETNAM

MENARD : HERVÉ ABT - ARNAUD MELTZ

Las obras del puerto de contenedores Cai Mep International Terminal (CMIT) consistieron en estabilizar una banda de 60 m de ancho de arcilla blanda a lo largo del río. La utilización del procedimiento Menard Vacuum permitió asegurar la estabilidad al deslizamiento durante un rápido terraplenado final, así como realizar, por el lado río, un muelle de tablestacas metálicas y, por el lado tierra, utilizar una técnica más tradicional de drenaje y sobrecarga. □



1- L'atelier de paroi moulée de Cimesa sur le chantier de la Torre Reforma.

1- Cimesa diaphragm wall diaphragm on the Torre Reforma construction site.

© CIMESA

# TORRE REFORMA : LA TOUR LA PLUS HAUTE ET LA PLUS EMBLÉMATIQUE DU MEXIQUE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

L'ENTREPRISE CIMESA, FILIALE DE SOLETANCHE BACHY RÉALISE L'ENSEMBLE DES FONDATIONS SPÉCIALES ET DU PARKING SOUTERRAIN DE LA FUTURE TORRE REFORMA, À MEXICO, QUI SERA, À SON ACHÈVEMENT EN 2014, LA PLUS HAUTE TOUR DU MEXIQUE ET LA PLUS REMARQUABLE D'AMÉRIQUE LATINE TANT EN CE QUI CONCERNE LE DESIGN ARCHITECTURAL QUE LES FONCTIONNALITÉS RELATIVES AUX ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET AU CONFORT D'UTILISATION : SA CONCEPTION DOIT LUI PERMETTRE D'OBTENIR LE LABEL LEED® PLATINUM. ELLE SERA LA PREMIÈRE DE CE TYPE EN AMÉRIQUE LATINE.

Par son design, par sa vision futuriste de l'exploitation d'un immeuble de bureaux, par les contraintes et les dimensions du chantier qu'elle représente, la Torre Reforma est appelée à devenir l'un des buildings emblématiques de Mexico et s'inscrit déjà dans le nouvel ordre urbain de cette métropole de plus de 8 millions d'habitants, plus de 19 millions si l'on inclut la mégapole, surnommée la « Manhattan de l'Amérique Latine ».

La Torre Reforma est un immeuble de bureaux d'une hauteur de 244 m implantée sur un terrain de près de 2 880 m<sup>2</sup> situé à l'extrémité de l'avenue principale de Mexico – Paseo de la Reforma – à proximité du Bois de Chapultepec, l'équivalent du Bois de Boulogne à Paris, et dans un environnement intégrant déjà deux tours de grande hauteur – Torre Mayor de 225 m et la Torre Ejecutiva Bancomer de 224 m qui est actuellement en construction – non loin du Musée d'Art moderne de la capitale mexicaine. Le Paseo de la Reforma est bordé sur toute sa longueur d'immeubles de bureaux de grande hauteur, des ambassades, d'hôtels de luxe, de demeures coloniales imposantes ainsi que de nombreux monuments.

## UN ENVIRONNEMENT TRÈS CONTRAIGNANT

Les difficultés relatives à la réalisation de cet ouvrage et donc, les contraintes dont



© CIMESA

2 & 3- Images de synthèse du projet architectural du cabinet LBR&A.

2 & 3- Synthesis images of the architectural plan by the firm LBR&A.

a dû s'affranchir l'entreprise Cimesa, sont de natures diverses :

→ L'exiguïté du terrain situé, par ailleurs, dans un environnement urbain dense ;

→ La présence d'une maison du début des années 30, de style néogothique, classée par l'Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) à l'intersection de l'avenue Paseo de la Reforma et de la rue Rio Elba, c'est-à-dire dans l'un des angles du terrain assigné à ce projet : cette maison occupe 600 m<sup>2</sup> des 2 880 m<sup>2</sup> alloués au projet Torre Reforma ;

→ L'obligation de créer 10 niveaux de sous-sol dans un contexte géologique peu favorable.

En effet, Il faut savoir à ce sujet qu'au Mexique, pour chaque 30 m<sup>2</sup> de bureaux construits, il est obligatoire de réaliser également 1,2 place de stationnement : pour la Torre Reforma, les 10 niveaux de sous-sols ainsi qu'un stationnement robotisé abriteront notamment plus de 1 000 places de parking. ▷



4

© CIMESA

4- Le projet intègre au rez-de-chaussée la maison classée transférée à deux reprises pendant les travaux.

5- Implantation du projet en bordure de l'avenue Paseo de la Reforma à Mexico entre la Torre Mayor et la Torre Ejecutiva Pemex.

6- L'opération de transfert de la maison classée d'un poids de 2 600 tonnes sur une distance de 18 m.

7- Coulage de la dalle épaisse après transfert de la maison classée.

4- The project includes on the ground floor the house listed as an historical monument, transferred on two occasions during the works.

5- Project location on the edge of Paseo de la Reforma avenue in Mexico City between the Torre Mayor and the Torre Ejecutiva Pemex.

6- The operation for transfer of the historic house weighing 2600 tonnes over a distance of 18 m.

7- Pouring the thick slab after transfer of the historic house.



5



6



7

© CIMESA

Par ailleurs, la situation de la maison classée sur le site même de l'opération et l'impossibilité de la démolir ont amené les responsables du projet, le cabinet d'architectes LBR&A, à l'intégrer au rez-de-chaussée de la Torre Reforma. Se posait parallèlement à l'entreprise l'obligation de disposer de la totalité de la superficie de 2 880 m<sup>2</sup> pour réaliser les parois de fondations de la future tour. En effet, pour construire des sous-sols de cette profondeur dans ce quartier de Mexico, la seule solution consiste à réaliser des parois moulées de forte épaisseur – 1,20 m – et de

grande profondeur – 54 m et 60 m selon les zones – qui servent également d'appui à la tour.

Il était impossible de réaliser une paroi moulée de ce type sous la maison sans la déplacer.

### DÉPLACER 2 600 TONNES « CLASSÉES »

L'opération s'est déroulée en plusieurs phases. Dans un premier temps, Cimesa a réalisé les parois moulées qui pouvaient servir de support à la maison pendant la phase de déplacement. Puis, sous la maison, en quatre étapes successives, une dalle épaisse en béton a été coulée pour faire office de plateau support de la maison, dont le poids se situe autour de 2 600 tonnes. Un transfert de charge a ensuite été effectué, de la maison sur les poutres de couronnement de la paroi moulée

## CIMESA EN BREF

Cimesa est une filiale à 100 % de Solétanche Bachy installée au Mexique depuis 1967. Dirigée par Pierre Guiot Du Doignon, elle réalise la plupart des fondations et des structures souterraines des grands immeubles de la ville de Mexico.

8 & 9- La maison de style néogothique sur ses appuis de transfert.

10 & 11- L'atelier Baya de Cimesa pendant la réalisation de la paroi moulée de 1,20 m d'épaisseur.

8 & 9- The neogothic-style house on its transfer supports.  
10 & 11- Cimesa's Baya plant during construction of the 1.20 m thick diaphragm wall.



par l'intermédiaire de corbeaux métalliques s'appuyant sur des glissières en acier recouvertes de téflon.

La dernière phase a consisté à déplacer la maison de 18 m à l'aide de vérins hydrauliques de 500 tonnes par séquences successives de 30 cm, de façon à libérer une zone d'une superficie suffisante pour poursuivre la construction des parois moulées de fondations de la tour, à l'emplacement précédemment occupé par la maison classée.

À l'achèvement de cette phase, la maison a été de nouveau ripée à sa place

initiale et une poutre de couronnement a été coulée pour assurer le clavage entre la paroi moulée et la dalle en béton armé ayant servi au transfert de la maison.

Ensuite, la paroi moulée a été poursuivie sur le périmètre restant disponible du terrain.

Les travaux de transfert de la maison se sont déroulés en février 2010 pour la première phase, puis en avril 2010 pour la seconde, tandis que les travaux de fondations proprement dits de la tour se sont achevés en décembre 2010 à l'issue de 18 mois de travaux.

### UNE PAROI MOULÉE DE 1,20 m D'ÉPAISSEUR

La paroi moulée représente 19 500 m<sup>3</sup> ce qui correspond à un linéaire de l'ordre de 361 m. Les raisons de sa grande profondeur sont la conséquence de la géologie du sous-sol de Mexico. Dans cette zone de la capitale mexicaine, il est constitué en partie haute d'argiles meubles, de mauvaise qualité, sur une épaisseur de 35 m, puis de substratum granulaire à partir de cette profondeur.

Pour répondre aux problèmes posés par cette configuration, les forages de

la paroi moulée sont ainsi descendus à une profondeur de 54 m ou 60 m selon les zones de façon à réaliser un ancrage résistant dans les dépôts granulaires permettant à la paroi de travailler en traction et en compression. Une autre raison de la profondeur de la paroi tient à l'architecture de la Torre Reforma. Cette dernière est dessinée comme un « livre ouvert » constitué de deux murs perpendiculaires en béton armé de 244 m de hauteur sur lesquels sont suspendus les planchers à ossature métallique et prédalles béton.



12



13

© CIMESA

D'où l'importance du rôle de la paroi moulée qui constitue l'unique fondation de la tour.

Dans la partie où les charges de compression sont les plus importantes, c'est-à-dire à la verticale des deux murs en « livre ouvert » de 244 m de hauteur, la paroi moulée reprend l'ensemble des charges du bâtiment : elle est de ce fait dimensionnée en conséquence pour assurer cette fonction. Elle est constituée de panneaux de 6 m de longueur, de 1,20 m d'épaisseur et d'une profondeur de 54 m et 60 m, représentant un volume unitaire de 350 m<sup>3</sup> à 500 m<sup>3</sup>.

Ils ont été réalisés avec un atelier unique constitué d'une benne hydraulique Baya de 3<sup>e</sup> génération fabriquée par TEC (identique au modèle KS 2 utilisé en Europe par Soletanche Bachy). Le volume de panneaux d'une telle dimension à réaliser en plein centre de Mexico a conduit l'entreprise Cimesa à prendre des dispositions particulières afin de limiter au maximum les nuisances sonores et de s'affranchir au mieux des difficultés de circulation. L'acheminement du béton, ainsi que celui des cages d'armatures préfabriquées partiellement à l'extérieur du chantier et le coulage du béton étaient effectués de nuit.

**12- Coulage de la dalle de transfert définitive avant la construction du parking selon la méthode « Top & Down ».**

**13- Les silos de la centrale de fabrication de boue, au pied de la Torre Mayor.**

**12- Pouring the final transfer slab before construction of the car park by the top-down method.**

**13- The silos of the slurry production plant, at the base of Torre Mayor.**

Compte tenu de l'exiguïté du site, les seules installations fixes sur le chantier étaient une centrale de fabrication de boue d'une capacité de 900 m<sup>3</sup> ainsi que l'atelier d'assemblage final des cages d'armatures. Constituées de 2 x 3 éléments, pour atteindre la largeur de 6 m, elles présentaient un poids de l'ordre de 75 tonnes.

Chaque panneau de 450 m<sup>3</sup> à 500 m<sup>3</sup> était coulé en une seule nuit de 8 heures au rythme de 60 à 65 m<sup>3</sup>/h. La formulation du béton était classique pour ce type de paroi mais elle incluait un retardateur de prise de 8 heures pour prendre en compte le temps de mise en œuvre. En effet, cette dernière était assurée par une noria de 60 toupies de 8 m<sup>3</sup>, circulant exclusivement de nuit. Le chantier de fondations a démarré en avril 2009 et s'est achevé en décembre

2010. À partir de cette date, Cimesa qui est également adjudicataire du marché du parking souterrain, a entrepris la construction des 10 niveaux selon la technique du « Top & Down ». Les travaux du parking seront terminés en avril 2012. □

## TORRE REFORMA : CHIFFRES CLÉS

**SUPERFICIE DU SITE : 2 880 m<sup>2</sup>**  
**HAUTEUR TOTALE : 244 m**  
**NOMBRE D'ÉTAGES : 57**  
**NIVEAUX DE PARKING : 10**  
**SURFACE DE BUREAUX : 47 500 m<sup>2</sup>**  
**DÉBUT DES TRAVAUX : 2008**  
**MISE EN SERVICE : 2014**

## TORRE REFORMA : LES INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Fondo Hexa  
**ARCHITECTE :** LBR&A arquitectos  
**BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES :** Arup New York  
**FONDATEURS SPÉCIALES :** Cimesa  
**GÉNIE CIVIL DE LA PARTIE SOUTERRAINE :** Cimesa

### ABSTRACT

## TORRE REFORMA: THE HIGHEST AND MOST EMBLEMATIC TOWER IN MEXICO

MARC MONTAGNON

*Soletanche Bachy's subsidiary Cimesa is executing all the special foundations and the underground car park for the future Torre Reforma, in Mexico City, which, when completed in 2014, will be the highest building in Mexico and the most remarkable in Latin America from the standpoints of both architectural design and energy savings and user comfort functionalities: its design should enable it to obtain the LEED® Platinum label. It will be the first of this type in Latin America. □*

## TORRE REFORMA: LA TORRE MÁS ALTA Y EMBLEMÁTICA DE MÉXICO

MARC MONTAGNON

*La empresa Cimesa, filial de Soletanche Bachy realiza el conjunto de los cimientos especiales y del aparcamiento subterráneo de la futura Torre Reforma, en México, que cuando se finalice, en 2014, será la torre más alta de México y la más destacable de América Latina, tanto en lo relativo al diseño arquitectónico como a las funcionalidades relativas a los ahorros de energía y a la comodidad de utilización: su diseño debe permitirle obtener la certificación LEED® Platinum. Será la primera de este tipo en América Latina. □*

# EXPERTISE ET RÉPARATION D'UN VIADUC À SANTIAGO DU CHILI APRÈS UN SÉISME

AUTEURS : PHILIPPE VION, SYSTRA/GCOA - FRANCISCO MELO, GONZALO HERREROS, MÉTRO DE SANTIAGO, JOSE HERRERA, LUIS SANTIS, AMEC-CADE

ENDOMMAGÉ PAR LE SÉISME DE FÉVRIER 2010, LE VIADUC DE LA LIGNE 4 DU MÉTRO DE SANTIAGO DU CHILI A CEPENDANT BIEN SUPPORTÉ LES VIOLENTES SECOUSSES ENREGISTRÉES DANS LA CAPITALE : L'EXPLOITATION DE LA LIGNE N'A PAS ÉTÉ INTERROMPUE, ET IL N'Y A PAS EU DE DÉALIGNEMENT DES RAILS. L'EXPERTISE A ÉTÉ RÉALISÉE PAR DES BUREAUX D'ÉTUDES CHILIEN ET FRANÇAIS, AVEC UNE FORTE IMPLICATION DE L'INGÉNIERIE DE GÉNIE CIVIL DU MÉTRO DE SANTIAGO. ELLE A PERMIS D'ÉTABLIR UN PROJET DE RÉPARATION EN FONCTION DE LA CLASSIFICATION DES DÉSORDRES, ET LES TRAVAUX SE SONT ACHEVÉS AVEC SUCCÈS EN CINQ MOIS.



© SYSTRA

## RECONSTRUIRE APRÈS UN SÉISME

Le viaduc de la ligne 4 du métro constitue un axe de liaison nord-sud situé à l'Est de la municipalité de Santiago du Chili, entre Tobalaba et Plaza de Puente Alto. D'une longueur de 24 km,

dont 7,7 km de viaduc, cette ligne a été inaugurée en novembre 2005, et l'extension de 8 km en août 2006. Il s'agit d'une ligne avec voie en pose directe sur longrines en béton, alimentée en 750 volts par un troisième rail. Systra/GCOA a conçu un viaduc en U

1- Vue en élévation du viaduc.

1- Elevation view of the viaduct.

construit par travées entières à l'aide de voussoirs préfabriqués posés à la poutre de lancement et assemblés par précontrainte. La structure en béton précontraint est composée de travées indépendantes d'une longueur courante de 35 m hors station (photo 1). ▷

Systra/GCOA était en charge des études préliminaires, des études détaillées du tablier, et a participé à la supervision des travaux.

Le tremblement de terre de Concepción, au Chili, s'est produit le 27 février 2010 à 6h34 heure locale. D'une magnitude de 8,8 selon l'échelle du moment Mw, le séisme a été ressenti jusqu'à Santiago du Chili, à 325 km, et a fait près de 500 victimes. C'est le sixième tremblement de terre le plus violent jamais enregistré au monde, le plus puissant ayant été celui de Valdivia, au Chili également, le 22 mai 1960, avec une magnitude de 9,5.

L'ensemble de la ligne 4 a supporté le séisme de 2010 de façon satisfaisante : aucun dégât majeur n'a compromis son exploitation, et seuls quelques désordres mineurs ont été constatés sur les appareils d'appui. Systra a été sollicité par le maître d'ouvrage (Métro de Santiago) pour réaliser une expertise et établir un projet de réparation.

### DES STRUCTURES FORTEMENT ENDOMMAGÉES

Le tremblement de terre qui a frappé Concepción est l'un des plus puissants survenus dans le monde ces dix dernières années, après le séisme d'Andama, à Sumatra, en 2004, d'une magnitude de 9,3, et celui de Sendai, sur la côte du Tokohu, le 11 mars 2011, avec une magnitude de 9,0. Ce dernier a engendré un tsunami qui a ravagé près de 600 km de côtes et parcouru jusqu'à 10 km à l'intérieur des terres. L'épicentre du tremblement de terre qui a frappé le Chili était situé dans l'Océan Pacifique, à 6,4 km des côtes, à 325 km au sud-ouest de Santiago et à une profondeur de 35 km (figure 2). Une alerte au tsunami a été déclenchée sur le Pacifique. Les répliques du séisme de février ont été ressenties jusqu'en juillet 2010, puis de janvier à mai 2011, avec de nombreuses secousses pouvant atteindre de fortes magnitudes (6 à 7 selon l'échelle du



moment Mw). Le contexte géodynamique du Chili est résumé dans la figure 3 : le pays se situe le long de la fosse océanique, où la vitesse de déplacement de la plaque Nazca, sous la plaque sud-américaine (subduction), est d'environ 7 cm/an.

De nombreuses maisons ont été touchées. Dans les régions les plus affectées, des bâtiments et des ponts se sont effondrés (photos 4, 5 et 6), et l'électricité et le téléphone ont été coupés. À Santiago du Chili, pourtant situé à plus de 300 km de l'épicentre, des ouvrages d'art ont été détruits, et certains tabliers de ponts autoroutiers ont subi des échappements d'appuis (photos 7a et 7b). Les accélérations enregistrées à Santiago et sa banlieue

au niveau du sol ont atteint des valeurs maximales de 0,24 g et 0,27 g en composante horizontale, respectivement à Metro Mirador de Santiago et Hospital Sotero del Rio de Puente Alto. Ces valeurs sont équivalentes à une accélération nominale sans correction, c'est-à-dire sans prendre en compte un coefficient de comportement.

Les spectres de réponse donnent des accélérations respectives de 0,65 g et 0,92 g pour une période d'environ 0,5 seconde. Le rapport entre pic d'accélération sur le spectre et accélération nominale est compris entre 2,7 et 3,4, valeurs couramment obtenues dans les différents codes sismiques.

### ACCÉLÉRATION NOMINALE DE CALCUL

Il est intéressant de comparer l'accélération maximale mesurée à Santiago au niveau du sol à l'accélération nominale prise en compte dans les calculs.

Les valeurs de l'accélération de calcul sont respectivement de 0,29 g à l'ELU (État Limite Ultime) et 0,145 g à l'ELS (État Limite de Service), cette dernière représentant la moitié de l'accélération à l'ELU. En conséquence, comme l'accélération maximale enregistrée dans la banlieue de Santiago (0,27 g) est supérieure à l'accélération nominale de service, et très proche de l'accélération nominale ultime de 0,29 g prise en compte dans les calculs, il est normal que le viaduc ait subi quelques dommages. D'ailleurs, et compte tenu de la puissance du séisme, des ponts sur l'autoroute de Santiago sont tombés par échappements d'appuis.

### CONCEPTION DU VIADUC

Le viaduc comporte deux culées et 213 piles dont 42 en station. Les 214 travées indépendantes ont une portée comprise entre 31 m et 35 m hors station et entre 28 m et 31 m en station. La section courante est une poutre en U (figure 8) de 1,85 m de hauteur et 9,40 m de largeur.

2- Position de l'épicentre du séisme de Concepción (février 2010).

3- Position de la fosse océanique le long du Chili et du Pérou.

4- Effondrement d'un pont en maçonnerie.

5- Effondrement d'un bâtiment à Concepción.

6- Effondrement d'un pont à Concepción.

2- Location of the epicentre of the Concepción earthquake (February 2010).

3- Location of the oceanic trench running along Chile and Peru.

4- Collapse of a masonry bridge.

5- Collapse of a building in Concepción.

6- Collapse of a bridge in Concepción.





7a & 7b- Effondrement d'un pont autoroutier à Santiago du Chili.

8- Section transversale courante.

9- Vue en 3D de l'entretoise sous tablier au droit de la pile.

10- Réalisation du tablier.

11- Fixation de la voie sur longrines en béton.

7a & 7b- Collapse of a motorway bridge in Santiago de Chile.

8- Standard cross section.

9- 3D view of the cross tie under the deck at the pier level.

10- Work performed on the deck.

11- Fastening the track to concrete tie beams.



La section sur pile est renforcée par une entretoise transversale (figure 9). Le tablier a été construit travée par travée à l'aide de voussoirs préfabriqués mis en place à la poutre de lancement (photo 10). La voie est réalisée en pose directe. Les rails sont fixés sur des longrines en béton au moyen d'attaches (photo 11).

Des dispositions spécifiques permettent de traiter le séisme sur trois plans : horizontal longitudinal, horizontal transversal et vertical. Tout d'abord, le tablier s'appuie sur les piles par l'intermédiaire d'appareils d'appui en néoprène fretté. Ceux-ci permettent de dissiper de l'énergie principalement vis-à-vis du séisme longitudinal. D'autre part, les travées sont attelées aux piles à l'aide

de barres métalliques (deux par file appui, figure 12) pour éviter les soulèvements du tablier sous la combinaison du séisme vertical et transversal.

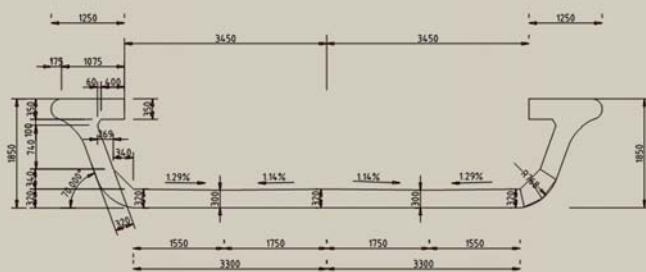
Ces barres sont passives, bloquées par de simples écrous. Enfin, le chevêtre en tête de pile est équipé de butées transversales (photo 13) afin d'éviter les déplacements excessifs du tablier vis-à-vis du séisme transversal.

#### UNE INSPECTION PRÉCISE DES DOMMAGES

Suite au séisme de 2010, aucun désordre majeur n'a entraîné l'arrêt de l'exploitation de la ligne 4, et il n'y a eu aucun désalignement des rails pouvant gêner la circulation des trains. L'ingénierie de génie civil du Métro de

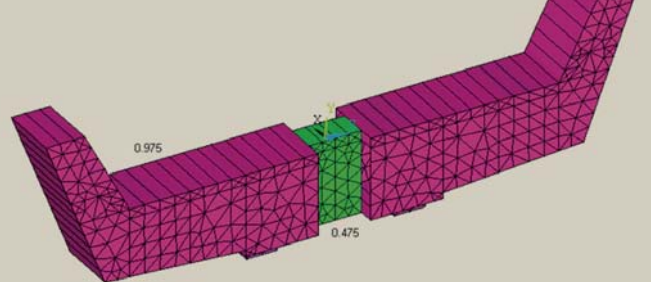
Santiago a réalisé une inspection de l'ensemble des appareils d'appui du viaduc, et les résultats ont été transmis dans un rapport avec un levé complet de la ligne. Cette étude détaillée a révélé des dommages mineurs concernant les mortiers des appareils d'appui, les néoprènes et les butées sismiques. Les dommages sont plus importants dans la partie sud du viaduc, mais il est difficile de corréler leur importance avec les caractéristiques du sol de fondation. On note que les piles sont légèrement plus hautes dans la partie sud, ce qui peut conduire à des déplacements plus importants au niveau des têtes de pile, et donc à des dommages plus importants dans les mortiers, les butées sismiques et les néoprènes. ▷

#### SECTION TRANSVERSALE COURANTE



8

#### VUE EN 3D DE L'ENTRETOISE SOUS TABLIER AU DROIT DE LA PILE



9



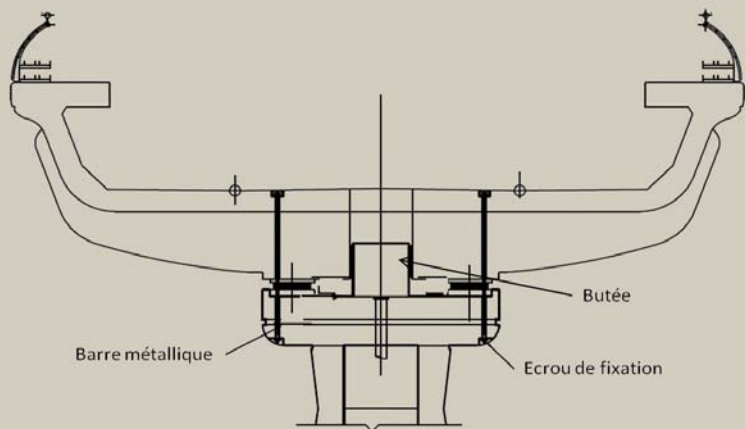
© SYSTRA

10



11

COUPE SUR PILE  
BARRES D'ATTELAGE ET BUTÉE TRANSVERSALE



12



13

© SYSTRA

Le nombre de piles endommagées au niveau des mortiers et néoprènes est de 131 hors station et de 15 en station. Sept butées sismiques ont été endommagées et nécessitent une réparation. Les appareils d'appui d'une trentaine de piles sont intacts (photo 14).

Les principaux désordres relevés lors de l'inspection sont les suivants : mortier supérieur endommagé (photo 15), mortier inférieur endommagé (photo 16), mortiers supérieur et inférieur endommagés (photos 17a et 17b), néoprène distordu (photo 18), néoprène déplacé (photo 19), néo-

prène endommagé (photo 20) et butée sismique endommagée (photo 21). À partir du levé des défauts effectué par le Métro de Santiago et des visites sur site des spécialistes de Systra et Amec-Cade, on a pu établir un tableau résumant les désordres observés (figure 22) sur l'ensemble des piles du viaduc, au droit de chaque appareil d'appui (Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest). Les travaux concernent la remise en état des néoprènes, la reconstruction des mortiers endommagés, les injections de contact entre mortiers et néoprènes et la réparation des butées transversales épauffrées.

MÉTHODOLOGIE DE RÉPARATION

Avant de procéder aux opérations de vérinage du tablier, la première étape consiste à libérer les écrous des barres antisismiques, après avoir éliminé le point de soudure qui fixe l'écrou sur la barre. Suite à cette intervention, on peut lever les tabliers à l'aide des vérins. La procédure de levage pour la reconstitution des appareils d'appui nécessite de lever simultanément les deux tabliers adjacents au droit des quatre appareils d'appui d'une pile et de caler provisoirement les tabliers pendant que les travaux de réparation sont réalisés. Les tabliers doivent être levés en prenant

12- Coupe sur pile. Barres d'attelage et butée transversale.

13- Vue longitudinale d'une pile avec les entretoises et les barres d'attelage.

14- Appareil d'appui intact.

15- Mortier supérieur endommagé.

16- Mortier inférieur endommagé.

17a & 17b- Mortiers supérieur et inférieur endommagés.

18- Néoprène distordu.

19- Néoprène déplacé.

20- Néoprène endommagé.

21- Butée transversale épauffrée.

12- Cross section on pier. Coupling bars and transverse anchor.

13- Longitudinal view of a pier with the cross ties and coupling bars.

14- Intact support device.

15- Damaged top mortar.

16- Damaged bottom mortar.

17a & 17b- Damaged mortars, top and bottom.

18- Distorted neoprene cement.

19- Displaced neoprene cement.

20- Damaged neoprene cement.

21- Spalled transverse anchor.



© SYSTRA

22- Extrait du tableau présentant les désordres observés sur les appareils d'appui du viaduc.

23- Principe de levage des travées adjacentes hors station au droit d'une pile.

24- Vue en plan de la tête de pile des travées hors station.

25- Principe de blocage longitudinal des travées au droit d'une pile.

22- Excerpt from the table showing the damage detected on the viaduct support devices.

23- Schematic of the lifting of adjacent spans outside the station at the level of a pier.

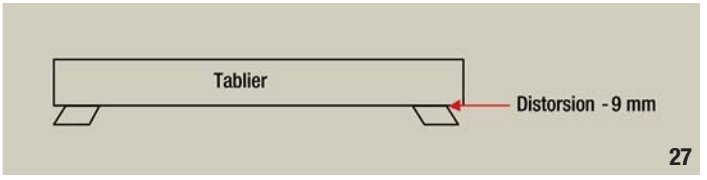
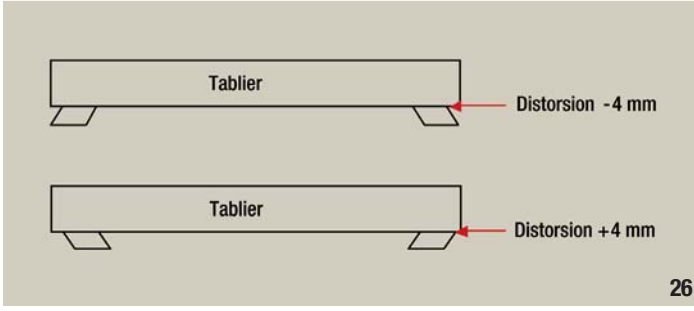
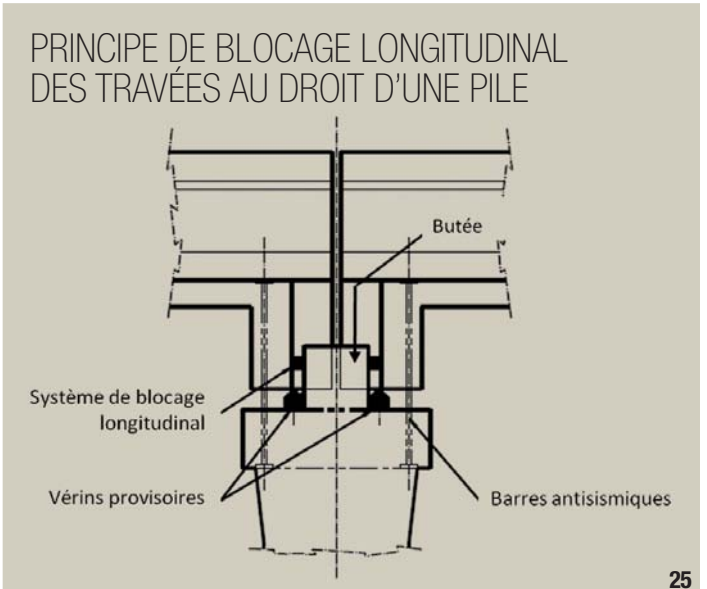
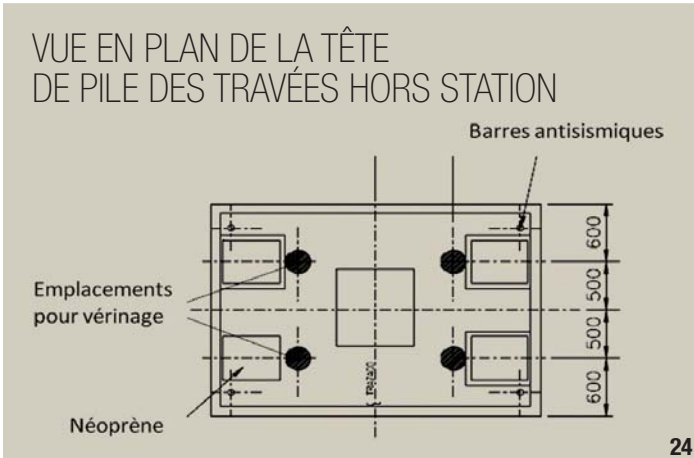
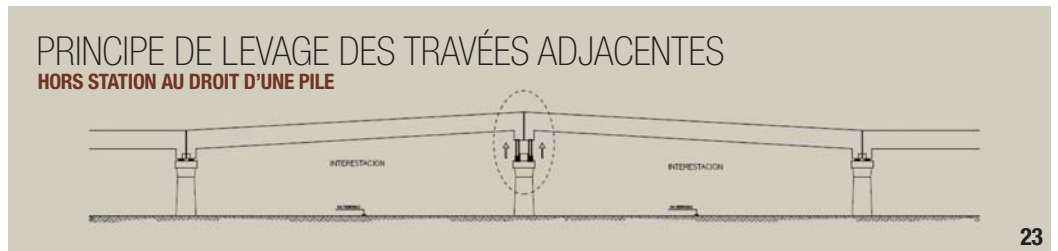
24- Plan view of the pier cap of spans outside the station.

25- Schematic of longitudinal locking of spans at the level of a pier.

Columna	Gato	Placa Elastomérica				Mortero Superior				Mortero Inferior				Lav. de Corte	Elast. Vert. Cant.	Tipo Reparación
		N Or	N Po	S Or	S Po	N Or	N Po	S Or	S Po	N Or	N Po	S Or	S Po			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	1	0	0	1	2+1	0	0	0	0	0	0	0	0			1
3	2	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0			1:2
4	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			1:2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1			1:3
14	2	1	2	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0			1:3
15	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1			1:3
16	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0			1:2;3
17	2	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1			1:2;3
18	2	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0			1:2
19	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2			1:2;3;5
20	2	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0			1:2
21	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0			1:2
22	2	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0			1:3
23	2	3+2	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	Hormigon	1	2:3
24	2	1	3	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0			1:2;5
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
27	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			1:2
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
29	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1
30	1	0	1	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0			1:5
31	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0			1:2
32	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0			1
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
34	2	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0			1:2
35	2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1			1:2;4
36	2	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0			1:2
37	2	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0			1:2
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
50	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0			1:2
51	1	0	3+1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			1
52	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1		1:3
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
54	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1
55	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			1

en considération les déplacements verticaux maximaux admissibles dans les rails afin de ne pas perturber les conditions d'exploitation de la ligne. Pour des travées comprises entre 35 m et 28 m, les déplacements verticaux maximaux autorisés sont respectivement de 53 mm et 40 mm. La hauteur retenue pour la réparation des mortiers a été fixée à 30 mm, alors qu'elle est de 10 mm pour le repositionnement des néoprènes. Le principe de levage des travées au droit d'une pile est schématisé sur la figure 23.

Un système de vérins hydrauliques synchronisés permet le levage des travées simultanément au droit des quatre emplacements pour vérinage. La mise en place sous les vérins d'une plaque métallique permet de mieux répartir l'effort. Il n'y a pas de tolérance sur la position de levage avec les vérins : le déplacement vertical doit être identique sur l'ensemble des quatre points de façon à ne pas créer de décalage, notamment dans le sens transversal, ce qui pourrait entraîner une torsion du tablier.





28



29



30



31



32



33a



33b

28- Installation des équipements pour le monitoring.

29- Installation d'un vérin avec ses plaques métalliques de répartition.

30- Démolition et enlèvement d'un mortier supérieur.

31- Mortier supérieur nettoyé.

32- Mise en place des armatures en treillis.

33a & 33b- Mise en place du moule d'injection ; moule d'injection.

28- Installation of monitoring equipment.

29- Installation of a jack with its steel load distribution plates.

30- Demolition and removal of top mortar.

31- Cleaned top mortar.

32- Placing reinforcing wire mesh.

33a & 33b- Setting up the grout injection mould; injection mould.

L'espace entre le chevêtre et la sous-face de l'entretoise étant limité à 250 mm pour les appuis hors station, il est nécessaire d'utiliser des vérins compacts, ayant une capacité suffisante de levage et une course réduite. La série de vérins CLP d'Enerpac permet d'atteindre ces objectifs.

Concernant la procédure de levage des travées sur une pile, il a été décidé de lever et descendre les travées hors exploitation pour éviter tout risque de renversement des vérins, en particulier sous l'effet du freinage lors de la circulation des trains. Une fois les vérins installés aux emplacements prévus (figure 24), le levage est réalisé en prenant soin de noter avec précision

la cote de la sous-face de l'entretoise avant et après levage, par monitoring ou comparateur.

Les travaux de réparation étant réalisés en exploitation, il est prévu, après levage, de mettre les vérins sur écrous de sécurité afin d'éviter toute descente brutale de ceux-ci, et de bloquer le système dans le sens longitudinal de manière à éviter tout déplacement intempestif. Le blocage longitudinal sera réalisé à l'aide d'une fourrure bois ou métallique disposée entre la butée antisismique et les entretoises sur pile (figure 25).

Les mortiers d'appui sont réparés sur le même principe que la conception initiale, en géométrie et propriété.

Le mortier à retrait limité sera de type SikaGrout 212 ou Five Star FSP de Baudetek. La résistance de ce type de mortier à 28 jours est largement compatible avec la charge appliquée, qui conduit à une contrainte sur les dés d'appui de 11 MPa pour les travées droites et 13 MPa pour les travées courbes. En revanche, il faut vérifier la résistance requise à la date du transfert de charge en accord avec le programme des travaux de réparation.

Il est prévu ensuite de remplacer les mortiers endommagés, supérieur, inférieur ou les deux (en fonction de la classification).

Tout d'abord, il faut retirer le mortier de façon manuelle ou mécanique, sans

endommager les néoprènes ou la tête de pile. Pour le remplacement du mortier inférieur, il est préférable d'ôter le néoprène.

Puis on nettoie les surfaces de contact et on place les armatures en treillis du dé d'appui, avant de mettre en place les moules d'injection du mortier et de redescendre le tablier, à l'aide des vérins, dans sa position finale.

Le mortier est injecté avec une pression minimale de 2 bars. On retire ensuite les moules et on attend la montée en résistance du mortier. Puis, quand la résistance requise est atteinte, on retire les vérins pour assurer le transfert de charge. On remet enfin les barres d'attelage en place.



34



35



36

Les élastomères déplacés doivent aussi être remis en place, et les élastomères distordus doivent être repositionnés en prenant en compte les effets thermiques et les phénomènes différés du béton. Sachant que les travaux de réparation ont lieu en période chaude, les tabliers ont tendance à s'allonger sous les effets thermiques. Pour une température moyenne de 15°C, l'effet thermique d'une variation de  $\pm 25^\circ\text{C}$  sur la travée donne une variation longitudinale de  $\Delta l = 1 \cdot 10^{-5} \times \pm 25 \times 35 = 0,008 \text{ m} = \pm 8 \text{ mm}$ , soit un effet thermique au niveau des appuis de  $\Delta l = \pm 8/2 = \pm 4 \text{ mm}$  (figure 26). Pour les effets à long terme (retrait, fluage), le raccourcissement total du tablier en béton pour cinquante ans est de -26 mm, soit, au niveau des appuis, de -13 mm. La déformation depuis le moment de la construction (2004-2005) et la date prévue pour les travaux peut être estimée aux deux tiers de la déformation totale sur cinquante ans, ce qui donne un raccourcissement au droit des appuis d'environ  $2/3 \times -13 = -9 \text{ mm}$  (figure 27). Après ces étapes, avec un levage limité à 10 mm, il est prévu de repositionner les néoprènes distordus ou déplacés. Si, après levage, le rétablissement à la verticale du néoprène n'est pas auto-

matique, il faut le repositionner manuellement. De même, si le néoprène est déplacé, il faut le bouger manuellement pour le repositionner au droit du mortier inférieur et du mortier supérieur. Comme les travaux sont réalisés en saison chaude, il est préférable de vérifier les tabliers la nuit.

#### UNE MÉTHODOLOGIE COURONNÉE DE SUCCÈS

Pour chaque pile, les travaux se décomposent selon les étapes suivantes :

- Mise en place de l'enceinte de protection (de nuit) ;
- Mise en œuvre des échafaudages d'accès à la tête de pile (de jour) ;
- Installation des équipements pour réaliser le monitoring ;
- Réception des quatre vérins (capacité de 400 t chacun) ;
- Vérinage des tabliers et vérification de l'état des mortiers (de nuit) ;
- Démolition et enlèvement des mortiers endommagés (de jour) ;
- Reconstitution des mortiers ;
- Quand la résistance du mortier est atteinte, transfert de charge par relâchement des vérins.

Le projet détaillé a donc su prendre en compte les exigences du site, ainsi que les matériels et matériaux disponibles au Chili.

**34- Préparation du coulis d'injection.**  
**35- Mise en œuvre du coulis d'injection.**  
**36- Mortier supérieur après durcissement du coulis et enlèvement des vérins.**

**34- Preparing the injection grout.**  
**35- Applying the injection grout.**  
**36- Top mortar after grout hardening and removal of the jacks.**

Les travaux se sont déroulés de façon très satisfaisante, sans aucune influence sur l'exploitation de la ligne, et se sont achevés en mai 2011, au bout de cinq mois. Cette réussite témoigne d'une parfaite coopération entre l'ingénierie du Métro de Santiago, les ingénieurs consultants chiliens, les ingénieurs français de Systra et les entreprises chiliennes. □

#### ÉQUIPES DE VÉRINAGE

**20 UNITÉS** Eberspacher modèle Zerk 673

**16 UNITÉS** Enerpac modèle CLP-4002

**2 UNITÉS** de synchronisation Syncrolift Plus 8

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Métro de Santiago

**CONCEPTEUR :** Systra, Amec-Cade

**SUPERVISION :** Amec-Cade

**ENTREPRISE PRINCIPALE :** Empresa Constructora Desco Precon Salfia Ltda

**ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE POUR LE VÉRINAGE :** Sandiman SA

#### ABSTRACT

### EXPERT APPRAISAL AND REPAIR OF A VIADUCT IN SANTIAGO DE CHILE FOLLOWING AN EARTHQUAKE

P. VION, SYSTRA/GCOA - F.MELO - G. HERREROS - J. HERRERA - L. SANTIS

Although damaged by the February 2010 earthquake, the viaduct of metro line 4 in Santiago de Chile nevertheless withstood well the violent tremors recorded in the capital: operation of the line was not interrupted, and there was no misalignment of the rails. The expert appraisal was carried out by Chilean and French engineering offices, with significant involvement of the Santiago Metro civil engineering office. This enabled a repair plan to be established based on the severity of the damage, and the work was completed successfully in five months. □

### PERITACIÓN Y RESTAURACIÓN DE UN VIADUCTO EN SANTIAGO DE CHILE DESPUÉS DE UN SEÍSMO

P. VION, SYSTRA/GCOA - F.MELO - G. HERREROS - J. HERRERA - L. SANTIS

Pese a resultar dañado por el sismo de febrero de 2010, el viaducto de la línea 4 del metro de Santiago de Chile resistió las violentas sacudidas registradas en la capital: no se interrumpió el servicio de la línea, y no se desalinearon los carriles. La peritación la realizaron oficinas de proyectos chilenas y francesas, con una gran implicación del departamento de ingeniería civil del Metro de Santiago. Permitió establecer un proyecto de restauración en función de la clasificación de los desperfectos, y las obras se finalizaron con éxito en cinco meses. □

# RÉALISATION DE L'AUTOROUTE À PÉAGE DAKAR- DIAMNIADIO, AU SÉNÉGAL

AUTEURS : EMMANUEL ROSSIGNOL & YVES HALLER, EIFFAGE SÉNÉGAL

REMPORTÉ PAR LE GROUPE EIFFAGE EN DÉCEMBRE 2009, CE PROJET EN CONCESSION CONSISTE À CONSTRUIRE ET EXPLOITER UNE VINGTAINES DE KILOMÈTRES D'AUTOROUTE PERMETTANT DE DÉSENCLAVER LA CAPITALE DU SÉNÉGAL. UNE PARFAITE SYNERGIE AVEC LES ÉQUIPES LOCALES, UN CHOIX JUDICIEUX DES MATÉRIAUX ET UNE OPTIMISATION DES SOLUTIONS RETENUES EN FONCTION DU CONTEXTE ONT PERMIS DE MENER À BIEN CE PROJET DANS DES DÉLAIS TRÈS COURTS.

## UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE AU DÉVELOPPEMENT DE LA VILLE

L'autoroute à péage Dakar-Diamniadio est un projet en concession remporté par le groupe Eiffage. Il consiste à concevoir et construire 20 km d'autoroute, et à les exploiter pendant trente ans, ainsi que 4 km précédemment construits. Cette « Autoroute de l'avenir » permettra de désenclaver Dakar, ville portuaire située à l'extrémité d'une presqu'île, en créant un sillon à travers la banlieue qui s'est élevée progressivement à côté d'elle en l'étouffant. Le projet est donc essentiel au développement de la ville et à l'ensemble de la sous-région. Il s'agit en outre de la première autoroute à péage en Afrique de l'Ouest.

## CONSTRUIRE EN ZONE INONDABLE

La particularité principale de ce projet est liée à la topologie des lieux traversés. D'altimétrie très basse, la zone est inondable lors de la période d'hivernage (saison des pluies de juillet à octobre). Pour la partie la plus à l'Ouest (côté Dakar), il convenait de mettre l'autoroute hors d'eau. Quant à la partie est du tracé, elle est affectée par la présence en son sol d'argiles gonflantes susceptibles de créer des dommages spectaculaires sur les chaussées, sauf à être recouvertes d'une épaisse couche de matériaux. Le profil en long de l'autoroute a donc été rehaussé, et celle-ci se trouve en remblai d'un bout à l'autre. Les remblais d'apport nécessaires (2 millions de m<sup>3</sup>) proviennent de

carrières de latérite situées à 30 km, et le chantier a bientôt pris l'aspect d'une vaste opération de transport de matériaux.

Les caractéristiques du chantier, plus classiques, comprennent :

- Trois barrières de péage pleine voie (dont une provisoire), quatre gares de péage sur bretelles, des locaux d'exploitation et un centre de gestion centralisée ;
- Huit passages supérieurs routiers et quatre passerelles piétonnes supérieures ;
- Quatre passages inférieurs (dont deux pour franchissement de voie ferrée).

Soulignons également la complexité du système général d'assainissement, liée à la concentration annuelle des

périodes de pluie, à l'altimétrie proche du niveau de la mer, qui rend l'évacuation difficile, et à la nécessité d'étanchéifier les zones d'argiles gonflantes. Une quarantaine de dalots assurent ainsi la transparence hydraulique de l'ouvrage en évitant l'effet de digue.

## COORDINATION DE MÉTIERS

Le projet a dû être réalisé dans un délai très court. Le contrat prenant effet au 1<sup>er</sup> décembre 2009 (ce qui a permis le démarrage de la conception), les travaux ont débuté en avril 2010 en vue de la mise en service, fin 2011, d'un premier tronçon contournant la ville de Rufisque. La mise en service de l'ensemble du tronçon est prévue pour la mi-2013, car le tronçon ouest, très urbain, reste tributaire de la libé-





1

© EIFFAGE SÉNÉGAL

**1- Atelier de mise en œuvre des enrobés.**

**2- Plan de la presqu'île de Dakar avec tracé de l'autoroute.**

**1- Asphalt mix processing plant.**

**2- Drawing of Dakar Peninsula with the motorway route.**



et du bureau d'études STOA. Mais la réussite du projet repose avant tout sur la synergie efficace avec la filiale Eiffage Sénégal (présente dans le pays depuis 1926 et bénéficiant localement d'une image forte).

L'expérience de cette dernière a permis d'éviter les pertes de temps ou blocages liés au contexte local (formalités administratives, choix et gestion du personnel, des sous-traitants et fournisseurs, principe d'organisation, appui logistique).

Malgré le délai très court, la phase de conception a été mise à profit pour optimiser et standardiser les éléments du projet et apporter des variantes adaptées au site et à son éloignement, tout en conservant une pleine maîtrise de la qualité de l'ouvrage final.

ration de terrains prévue pour la fin de l'année 2011.

Il a donc fallu maîtriser et coordonner de nombreux métiers (conception, travaux de terrassement, génie civil,

chaussées, bâtiments, installations et équipements d'exploitation), et ce dans un contexte d'éloignement et d'expatriation. L'organisation se fonde sur l'addition des compétences du groupe,

comme ce fut le cas pour d'autres concessions réalisées en France (Perpignan-Figueras, A65...). On citera notamment la présence d'Eiffage TP, Fougerolle-Ballot, Appia, AER, Clemessy



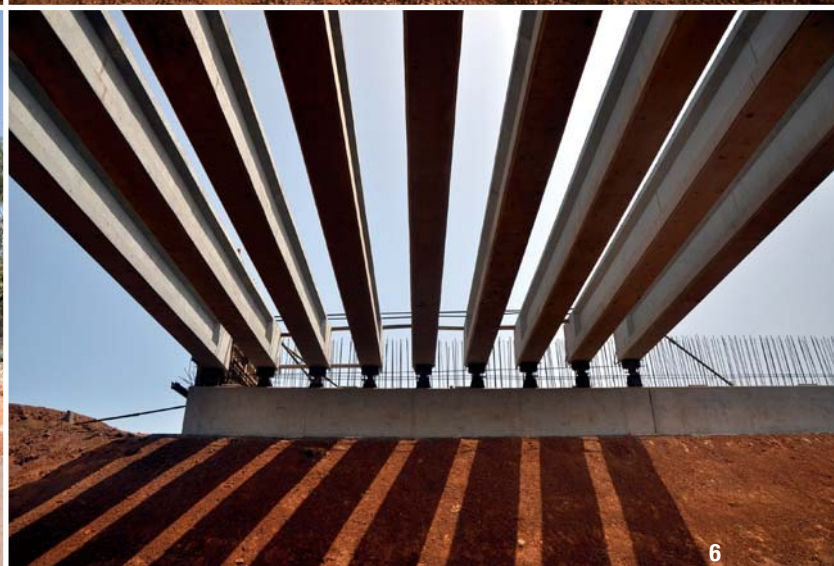
3



4



5



6

© EIFFAGE SÉNÉGAL

## MATÉRIAUX DE TERRASSEMENT

Le profil en long de l'autoroute étant quasi exclusivement en remblai, une prospection des différentes carrières latéritiques (matériau retenu dès le départ) dans la région de Dakar a eu lieu en amont. L'identification des matériaux latéritiques et leurs conditions de réutilisation ont été établies en suivant les recommandations du *Guide des terrassements en pays tropicaux*. Pour ce type de matériaux, le guide privilégie la mesure et le contrôle de la teneur en argile et du CBR (résistance à l'immersion à l'eau). La campagne de prospection a permis de retenir deux carrières en fonction de la qualité de la latérite requise. Afin de maîtriser cette dernière tout au long des travaux, une gestion de l'ensemble de la chaîne a été mise en place, avec contrôle par le laboratoire de chantier à chaque étape :

- Extraction en carrière réalisée en travaux propres (sept boteurs type D7 ou D8), avec mouillage adéquat ;

→ Mobilisation de nombreux sous-traitants pour le transport (tâche souvent critique) ;

→ Mise en œuvre sur chantier. Pour les autres matériaux utilisés (sable, sable argileux), les normes françaises (GTR) ont été employées, avec, là aussi, un suivi par le laboratoire de chantier.

## PRODUCTION ET CONTRÔLE DES ENROBÉS

Concernant les enrobés, la démarche s'est effectuée très en amont, par sélection des agrégats basaltiques disponibles dans la région puis envoi au Laboratoire central d'Eiffage à Corbas (69) pour mise au point des formules (notamment d'une formule type GB4, une première pour un chantier au Sénégal). Une collaboration étroite avec le carrier a permis de produire des coupures granulaires aux caractéristiques affinées (fuseau, teneur en fines). Cette coopération s'est notamment traduite par la mise en place de contrôles

**3- Mise en place du remblai en latérite.**

**4- Compactage des enrobés (avec centrale à enrobés en fond).**

**5- Dalot hydraulique.**

**6- Poutres du premier tablier PS 16.2 en place.**

**3- Placing the laterite backfill.**

**4- Compaction of the asphalt mix (with asphalt mixing plant in the background).**

**5- Hydraulic box culvert.**

**6- Beams of the first overpass 16.2 deck in position.**

quotidiens au moment du réglage des installations de concassage, au niveau du contrôle de la production avant transport vers le chantier et au niveau du stock de la centrale d'enrobés. Cela a permis de recaler les formules avec les granulats effectivement livrés sur site, préalable à une bonne maîtrise de la qualité des enrobés, et donc à une mise en œuvre aisée.

## PRIVILÉGER L'AUTONOMIE

S'il requiert un savoir-faire particulier, un projet en conception permet cependant de modifier sensiblement les options initiales et d'adopter les solutions les plus pertinentes par rapport à un contexte donné. En l'occurrence, la réflexion menée en amont (et poursuivie pendant la construction) s'est articulée classiquement autour des axes suivants :

- Optimisation des quantités ;
- Standardisation des ouvrages ;
- Optimisation des besoins en cof-





7



8



9

© EIFFAGE SÉNÉGAL



10

frage, facilitée par la standardisation et fondée sur des quantités minimales avec nombreux réemplois (ce qui requiert une maîtrise du planning) ;

→ Recours privilégié à des éléments préfabriqués permettant l'anticipation des tâches et la réduction des délais critiques ;

→ Volonté de rendre indépendante, au niveau du planning, la construction des ouvrages par rapport aux autres activités du chantier.

En outre, la localisation du chantier en Afrique, qui allonge sensiblement les délais d'approvisionnement lorsque les éléments ne sont pas disponibles sur place, a conduit à privilégier la notion d'autonomie. Les installations principales disposent ainsi d'une centrale à béton dédiée (avec suivi par le laboratoire de chantier), d'un atelier de ferrailage et d'une vaste zone de préfabrication avec les moyens de manutention correspondants (y compris des fardiers conçus et construits

localement pour la manutention des poutres préfabriquées de tabliers). Le recours à la sous-traitance a été limité et n'a concerné que des sociétés locales (pieux, étanchéité, charpente métallique, manutentions importantes). Les approvisionnements non locaux ont été anticipés (appuis en néoprène, joints de chaussée, aciers, armatures et accessoires pour sol renforcé, fournitures particulières mineures). Enfin, les besoins en coffrage ont conduit à la fabrication d'outils spécifiques par des charpentiers métalliques locaux.

#### DES SOLUTIONS OPTIMISÉES

Ainsi, concernant les PS (huit ponts supérieurs dont trois avec double tablier), les portées ont été optimisées (réduction de 5% environ), le nombre de poutres a été réduit (moyennant un passage en poutres en I, peu contraignant au niveau de l'outil coffrant une fois ramené aux 240 poutres du projet), ce qui diminue les besoins en

**7- Mise en place de la latérite.**

**8- Traitement à la chaux.**

**9- Mise en œuvre des enrobés.**

**10- Bétonnage du premier tablier PS 16.2.**

**7- Placing laterite.**

**8- Lime treatment.**

**9- Asphalt processing.**

**10- Concreting the first overpass 16.2 deck.**

étaient, et la précontrainte a été supprimée pour éviter de recourir à un sous-traitant non local.

Pour les PI (ponts inférieurs - quatre ouvrages), les culées en béton ont été remplacées par des culées en sol renforcé, solution rendue possible par les qualités excellentes de la latérite). Cette variante a permis une importante diminution des matériaux (aciers, béton), la suppression du principal besoin en coffrage (avec peu de réemplois) et des manutentions correspondantes, un gain de rapidité sur site et une possibilité d'anticipation (préfabrication des écailles). Elle a aussi permis de résoudre les problèmes de portance du sol en place. ▷



11



12



13



14

© EIFFAGE SÉNÉGAL

Par ailleurs, les tabliers ont été optimisés comme ceux des PS, hormis celui de grande portée (biais, surplombant trois voies ferrées), où la solution initiale avec précontrainte a été remplacée par une solution de tablier mixte multipoutre avec profilés du commerce (nuance S460 pour réduire la hauteur des poutres). Cette modification du tablier a permis d'abaisser de 50 cm le profil autoroutier au niveau d'un point haut du tracé, ce qui a entraîné des économies de remblais conséquentes.

#### 4 PASSERELLES PIÉTONNES ET 3 SUPPLÉMENTAIRES PROBABLES

Les passerelles à deux travées (avec pile centrale) en poutres béton ont été remplacées par une structure métallique légère enjambant l'autoroute en une seule travée. La légèreté de cette solution a permis de supprimer les fondations profondes. L'absence de pile centrale (et notamment de ses fondations) rend ces travaux totalement indépendants des travaux linéaires de la

**11- Bétonnage du premier tablier PS 16.2.**

**12- Fardier pour la manutention des poutres préfabriquées.**

**13- PS 16.2 : étaie-ment en place pour la pose des poutres du deuxième tablier.**

**14- Pose des poutres du deuxième tablier PS 16.2.**

**11- Concreting the first overpass 16.2 deck.**

**12- Low-bed semi-trailer for handling prefabricated beams.**

**13- Overpass 16.2: Propping in position for placing the beams of the second deck.**

**14- Placing the beams of the second overpass 16.2 deck.**

trace autoroutière, et permet même de réaliser une éventuelle passerelle supplémentaire sur un tronçon en exploitation, moyennant une gêne minime. L'abaissement du plancher de circulation (situé en fond du U métallique au lieu d'être au-dessus de poutres béton) réduit significativement la longueur des deux rampes d'accès à la passerelle et rend le franchissement plus simple pour l'utilisateur.

En conclusion, la réussite d'un tel projet résulte bien du choix initial de combiner :  
 → Les forces vives de la filiale Eiffage locale, qui représente une part très significative de l'encadrement ;  
 → Un nombre restreint d'expatriés possédant l'expérience de grands projets en concession et intervenant en amont pour effectuer l'indispensable préparation (optimisation, mise au point en fonction des disponibilités locales en



15

© EIFFAGE SÉNÉGAL



16



17

© EIFFAGE SÉNÉGAL

15 & 16- Pose des poutres du deuxième tablier PS 16.2.  
17- Passerelle piétonne.

15 & 16- Placing the beams of the second overpass 16.2 deck.  
17- Pedestrian foot bridge.

matériaux et en savoir-faire, mise en place d'un laboratoire efficient) ;  
→ Une direction de projet qui veille en permanence à ce que ces différentes énergies s'additionnent.  
Au-delà des problèmes techniques, cette démarche prouve qu'un chantier reste avant tout une aventure humaine. □

## ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF THE DAKAR-DIAMNIADIO TOLL MOTORWAY IN SENEGAL

EMMANUEL ROSSIGNOL & YVES HALLER, EIFFAGE SÉNÉGAL

**This concession project**, won by Eiffage group in December 2009, involves building and operating about twenty kilometres of motorway to improve access to the capital of Senegal. Perfect cooperation with the local teams, a highly appropriate choice of materials, and optimisation of the solutions adopted according to the context enabled this project to be carried out to very tight deadlines. □

### CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA DE PEAJE DAKAR-DIAMNIADIO, EN SENEGAL

EMMANUEL ROSSIGNOL & YVES HALLER, EIFFAGE SÉNÉGAL

**Este proyecto en concesión**, obtenido por el grupo Eiffage en diciembre de 2009, consiste en construir y operar unos veinte kilómetros de autopista que permite desarrollar las vías de comunicación de la capital de Senegal. Una sinergia perfecta con los equipos locales, una elección acertada de los materiales y una optimización de las soluciones adoptadas en función del contexto han permitido llevar término este proyecto en plazos muy breves. □