

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**INTERNATIONAL. METRO DE SINGAPOUR : CINQUIEME LIGNE
AUTOROUTE EST-OUEST EN ALGERIE. NEWCASTLE (U.K.) : UN
TUNNEL A PEEGE. PONT POUSSE EN ECOSSE. SOUTENEMENTS
DE GRANDE HAUTEUR SUR UNE VOIE EXPRESS A DAKAR. NOUVEAU
QUAI DE CONSTRUCTION ET DE LANCEMENT DE PLATES-FORMES
AU MEXIQUE. LIAISON FERROVIAIRE : TANGER - PORT MEDITERRANEE**

N° 863 JUILLET / AOÛT 2009



ECHANGEUR
CRH / UBH -
TRINIDAD & TOBAGO
© THIERRY DUMIVIER/
TRILOGIC, PHOTO THÉÂTRE
VINCI ET FILIALES



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES
DE TRAVAUX PUBLICS

N° 863 JUILLET / AOÛT 2009

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée
Rédactrice en chef

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

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Datry
(Setec TPI), Philippe Jacquet
(Bouygues, Stéphane Monleau
(Solétanche Bachy), Bruno Radiguet
(Bouygues), Claude Servant (Eiffage
TP), Philippe Vion (Sétra), François
Vahl (FNTP), André Colson (FNTP),
Mona Mottot (FNTP)

Secrétaire de rédaction

Françoise Godart
Tél. : +33 (0)2 41 18 11 41
Email : francoise.godart@wanadoo.fr

Rubrique Actualité
Monique Trancart

Service Abonnement et Vente
Com et Com

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

Maquette

Idé Edition
33, rue des Jeûneurs - 75002 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 13 89 11
www.ide.fr

Publicité

Régie Publicité Industrielle
Xavier Bertrand - Anne-Sophie Cuvillier
9, bd Mendès France
77600 Bussy-Saint-Georges
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 20
Email : bertrand@rpi.fr - cuvillier@rpi.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Réalisation et impression

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

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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright bu Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

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



© LAURENT ZYLBERMAN / BOUYGUES CONSTRUCTION

A contrario, les Etats conscients des enjeux énormes en termes économiques et sociaux du secteur de la construction, ont dans une large majorité mis en place des plans de relance basés sur le logement et les infrastructures. Incitation fiscale à l'achat de logement, prêt à taux zéro, programme de logement sociaux, grands programmes d'infrastructures, etc.

Par ailleurs le maintien d'un niveau relativement élevé du prix du gaz et du pétrole génère dans les pays producteurs une offre de projets qui reste soutenue.

Notre principal challenge réside dans notre capacité à faire la soudure entre cette crise brutale et le démarrage effectif de ces grands programmes de relance.

De ce point de vue, c'est l'efficacité et la réactivité de la commande publique qui jouera un rôle déterminant dans cette période critique.

Tout laisse à croire que le programme américain de relance sera le plus rapidement mis en œuvre.

Si l'on se projette au-delà de cette crise nos raisons d'espérer sont évidemment très fortes :

- Les banques vont un jour recommencer à faire leur métier à savoir prêter de l'argent.
- Les besoins d'infrastructures au niveau mondial restent extrêmement importants.
- Enfin, et c'est sans doute une évolution majeure de notre métier, les enjeux environnementaux et climatiques nous conduiront à modifier, réhabiliter, reconstruire une grande partie de ce que nous avons déjà construit, pour les intégrer dans des perspectives de développement durable.

MICHEL COTE

DIRECTEUR GÉNÉRAL DÉLÉGUÉ DE BOUYGUES CONSTRUCTION

Comme tous les autres secteurs, le monde de la construction est touché par une crise qui est par nature mondiale. Ceci est significativement différent de ce que nous avons connu dans le passé où les crises étaient géographiquement plus limitées (crise de l'Asie du Sud-Est en 1997 par exemple ou crise européenne du début des années 1990).

La crise nous a frappés par sa simultanéité au niveau mondial. En septembre 2008 pratiquement tous les investisseurs immobiliers ont gelé leurs projets que ce soit en Pologne, en Tchéquie, à Singapour ou ailleurs dans le monde. De même nous avons constaté la chute brutale du trafic sur les autoroutes quel que soit le pays, le même mois.

Dans ce contexte les principaux moteurs privés de la construction souffrent évidemment ; les investisseurs immobiliers, les grandes chaînes hôtelières, les fonds d'investissement réexaminent leurs projets d'investissements et très souvent les diffèrent.

De même il est beaucoup plus difficile de monter des financements de projet, les marges demandées actuellement par les banquiers ainsi que les maturités étant peu attractives.

LISTE DES ANNONCEURS : WEBER, 2^e DE COUVERTURE - MATIERE, P8 - MAPEI, P.11 - PRO BTP, P.12 - COLAS, P.15 - IHC, P.16 - HUNNEBECK FRANCE, P.19 - SETEC TPI, P.20 - MENARD, P.25 - MACCAFERRI, P.27 - PERI, 3^e DE COUVERTURE - SOLETANCHE BACHY, 4^e DE COUVERTURE

**LES GRANDS PROJETS INTERNATIONAUX : ÉTAT ACTUEL ET PERSPECTIVES
DU MARCHÉ POUR LES ENTREPRISES FRANÇAISES DE CONSTRUCTION.**

« **LE MARCHÉ DES GRANDS PROJETS EST,
À MOYEN-LONG TERME, TRÈS BON, COMPTE-
TENU DU DÉVELOPPEMENT DES POPULATIONS
ET DE LA CONCENTRATION DES INDIVIDUS
DANS LES VILLES.** »

LES GRANDS PROJETS REGROUPENT LES GRANDS OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL (TUNNELS, PONTS, BARRAGES, RÉSERVOIRS DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ, INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES ET FERROVIAIRES...) ET DE BÂTIMENT (IMMEUBLES DE GRANDE HAUTEUR, CENTRES COMMERCIAUX, HÔTELS, GRANDS ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS, SITES NUCLÉAIRES...). QUEL EST L'ÉTAT DU MARCHÉ DES GRANDS PROJETS EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL ? QUELS SONT LES EFFETS DE LA CRISE SUR LES COMMANDES ? QUELS SONT LES FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS DES ENTREPRISES FRANÇAISES DE CONSTRUCTION À L'INTERNATIONAL POUR CES PROJETS D'ENVERGURE ?

ENTRETIEN AVEC PIERRE BERGER,
PRÉSIDENT DE VINCI CONSTRUCTION
GRANDS PROJETS.

PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT

© AUGUSTO DA SILVA / GRAPHIX IMAGES



Quelle est votre analyse du marché des grands projets à l'international dans le contexte de crise mondiale ?

Le marché des grands projets reste porteur à l'export.

Il s'agit principalement de projets d'infrastructures de transports : des projets de construction d'autoroutes, plutôt à l'Est de l'Europe et dans les pays du bassin méditerranéen, des projets ferroviaires de lignes à grande vitesse (LGV) à l'Ouest de l'Europe. Trois phénomènes vont impacter le marché des grands projets de façon positive.

Le premier existe depuis 2007 : la majorité de la population vit désormais en zone urbaine.

Sur les 7 milliards d'individus dans le monde, 3,5 vivent dans des villes. Cette tendance est bénéfique pour le marché des grands projets à moyen terme. En effet, en plus de connecter ces mégapoles entre elles, il sera nécessaire de créer plus de systèmes de transport urbain : métros, tramways, métros légers pour permettre les déplacements en ville. Les deux autres phénomènes sont liés à la problématique de l'énergie et de l'eau, qui vont de pair avec le développement des populations. Le pétrole sans doute de plus en plus rare devrait rester cher à moyen terme. Les autres énergies, notamment le nucléaire, seront plus compétitives et devraient se redévelopper. Compte tenu du savoir reconnu de notre pays dans le domaine de la production nucléaire, elles constituent de belles opportunités de grands projets, particulièrement pour les entreprises françaises. 35 centrales nucléaires devraient être en construction d'ici 2020, dont 8 en Grande-Bretagne. Enfin, la production, le traitement et l'assainissement de l'eau restent des sujets qui entraînent

systématiquement de gros projets de génie civil. Comme pour le nucléaire, la France a un savoir mondialement reconnu et dispose de ressources d'ingénierie pointues pour accompagner les entreprises de travaux sur toute la chaîne du traitement de l'eau dans le monde. VINCI qui dispose maintenant d'un savoir intégré a par exemple réalisé entre 2004 et 2008 un barrage en Egypte sur le Nil, une station de pompage clé en main en Libye dans le cadre du projet de la grande Rivière et plusieurs centrales de traitement d'eau en Jamaïque. En 2009, nous réalisons l'assainissement de la ville de Ouargla en Algérie et une nouvelle station de pompage d'eaux usées au Qatar pour assainir le nord de la ville de Doha.

Le marché des grands projets est donc, à moyen-long terme, très bon, compte tenu du développement des populations et de la concentration des individus dans les villes.

Autre tendance du marché, les grands projets d'aujourd'hui sont beaucoup plus complexes que ceux des dix dernières années.

Avec le développement des Partenariats Public Privé (PPP), des concessions et des projets, les donneurs d'ordres demandent à des groupes comme VINCI de s'engager sur un forfait clé en main en offrant une garantie de performance. Pour livrer un métro, un tunnel ou une ligne de chemin de fer clé en main, il est nécessaire d'intégrer une chaîne de compétences beaucoup plus large que la simple maîtrise du béton armé.

Cela n'est pas facile, cela demande du temps, cela se prépare et implique que nos entreprises disposent de grosses capacités d'ingénierie nécessaires à la conception des ouvrages.

Le marché des grands projets est donc devenu plus difficile d'accès.

On peut ajouter que les grands projets d'infrastructures sont développés par les maîtres d'ouvrage publics avec une vision de long terme intégrant les problématiques démographiques et d'aménagement du territoire.

La période qui sépare la volonté politique de développer une grande infrastructure et la fin des travaux est souvent de l'ordre de 10 ans. Les crises financières, qui impactent nos économies sur des cycles plus courts, ne stoppent pas net ces investissements nécessaires au développement des pays. Certes, avec la crise, un certain nombre de grandes opérations pourraient être décalées, mais d'autres vont tout de même démarrer. Il existe de réelles opportunités pour les entreprises qui veulent bien les saisir.

Quels sont les fondements du leadership à l'international des entreprises françaises de construction ?

La France a une longue tradition dans les métiers de la construction, qui remonte à plus d'un siècle. Ferdinand de Lesseps, Gustave Eiffel et Eugène Freyssinet sont des

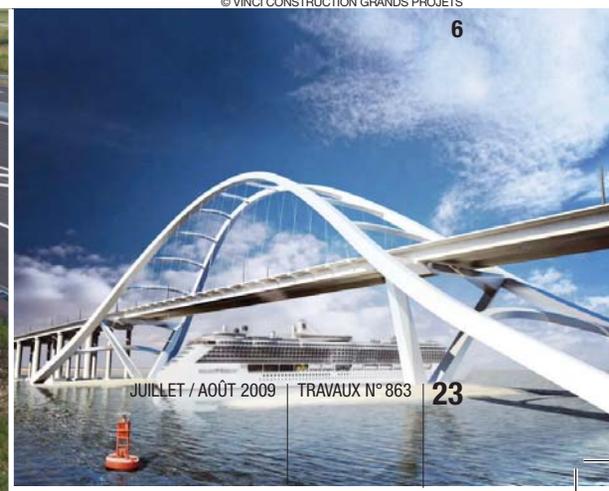
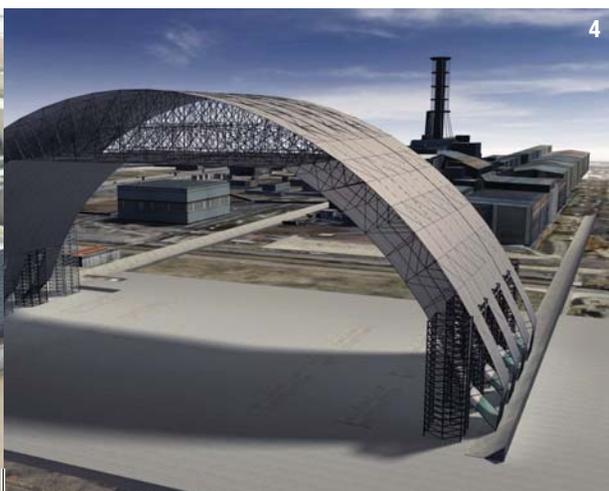
exemples d'ingénieurs français qui ont réussi à exporter un savoir-faire pointu dans le monde entier. Les entreprises françaises sont très puissantes et disposent d'un savoir-faire technique mondialement reconnu.

Le deuxième atout des entreprises françaises de construction à l'international, c'est la culture de la qualité, de la sécurité, du respect des délais et des engagements contractuels. Quel que soit le pays et quel que soit le client, elles ont un niveau d'exigence exceptionnel. Le troisième facteur de réussite, en particulier pour VINCI, est la capacité de réaliser les travaux en propre. Il existe deux modes de construction : soit l'entreprise fait du « project management » et sous-traite l'exécution à des entreprises locales, c'est le modèle anglo-saxon, soit l'entreprise gère le projet en propre, c'est-à-dire avec son encadrement, ses bureaux d'études, son matériel et surtout ses équipes d'ouvriers. C'est ainsi que nous conservons la maîtrise du projet. Enfin, les entreprises françaises de construction sont financièrement solides, bien gérées, ce qui crée, je crois, de la confiance chez le client.

Quels sont les moyens pour maintenir ce leadership, voire le renforcer ?

Pour rester en tête de course à l'étranger sur les grands projets, il faut s'attaquer aux affaires dites « clé en main », affaires que j'appelle « multi-métiers + systèmes ». On note un grand changement depuis environ cinq ans, sur les grands projets à l'international. Le béton et l'acier ne pèsent parfois pas plus de 20 % sur le chiffre d'affaires d'une opération. Le reste est constitué de ce qu'on appelle en langue anglaise

- 1- Réservoirs de gaz naturel liquéfié à Rotterdam - Pays-Bas.
- 2- Siège social de la BEI - Luxembourg.
- 3- Station de pompage d'eau à Qatar.
- 4- Enceinte de confinement de Tchernobyl en Ukraine.
- 5- Autoroute A19 dans le Loiret.
- 6- Qatar-Bahrain Causeway.



© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

« l'engineering, le procurement et le commissioning », expression qui englobe la conception, les achats, en particulier l'électromécanique et les systèmes informatiques, la coordination des travaux, le suivi qualité / sécurité / environnement et enfin les phases de réception et de mise en route.

Pour maintenir ce leadership, il nous faut :

- Renforcer l'engineering et les bureaux d'études internes ;
 - Embaucher des jeunes, les encourager à faire de l'expatriation et les former ;
 - Réaliser des partenariats avec des entreprises locales pour allier savoir-faire global et connaissance des marchés locaux ;
 - Entretenir un esprit pionnier : aller vers des zones moins accessibles et des pays en développement ;
 - Conserver la passion du métier.
- Le succès des acteurs français repose avant tout sur la motivation des équipes.

Qu'en est-il de la concurrence de certains pays émergents ? Comment l'Union Européenne y fait face ?

Les entreprises des pays émergents peuvent répondre aux appels d'offres lancés par l'Union Européenne, cependant elles doivent respecter les lois sociales européennes en matière de main d'œuvre, notamment sur les salaires minimums, et fournir des références sérieuses, des bilans solides et un savoir-faire technique reconnu. D'une manière générale, sur les grands projets complexes, la concurrence est aujourd'hui plutôt moins forte. Il est certain que les entreprises qui basent leur compétitivité sur une main d'œuvre et un encadrement bon marché, souvent mal formés, ne peuvent pas s'attaquer à ce marché.

« LES PLANS DE RELANCE, QUI CONCERNENT ESSENTIELLEMENT LES GRANDS PROJETS, POURRAIENT AMENER, D'ICI UN OU DEUX ANS, PLUS DE GRANDS PROJETS QU'IL N'Y EN AVAIT AVANT LA CRISE ! »

Ces projets d'envergure nécessitent un savoir-faire spécifique et une réponse sur mesure adaptée à chaque site, chaque exigence de performance et à chaque client. Il est dans ce contexte beaucoup plus efficace, de travailler avec des équipes formées et fidèles à l'entreprise. C'est ce que nous faisons. La concurrence des pays émergents sur ces opérations complexes n'est donc pas trop inquiétante aujourd'hui.

Quelle est la méthodologie mise en œuvre pour approcher un nouveau marché dans un pays donné ?

Il n'existe pas de réponse type à cette problématique. Chaque démarche est taillée sur mesure et adaptée au pays ciblé.

Il existe toutefois quelques clés pour approcher un nouveau marché de grands projets dans un pays donné :

- Travailler avec un partenaire local ;
- S'intéresser aux affaires que ce partenaire ne peut maîtriser seul, soit

parce qu'elles représentent un volume important, soit parce qu'elles sont complexes techniquement, soit parce qu'elles nécessitent une capacité de financement sur le moyen-long terme (ex. PPP et concessions importantes) ;

- Adopter une approche par ligne de produit (métros, autoroutes, stations d'épuration, barrages...) et non pas une approche consistant à attaquer une part de marché globale.

Quelles sont les différentes formes de Partenariats Public Privé (PPP) dans les pays qui le pratiquent ? S'achemine-t-on vers un modèle européen de PPP ?

Il n'y a pas, à mon sens, de modèle de PPP européen qui va émerger. Il existe aujourd'hui une multitude de formes de Partenariats Public Privé. Il y a des formes de PPP complexes, où l'entreprise va prendre en charge la totalité d'un projet de réalisation d'une ligne de chemin de fer (financement, conception, exploitation). L'autre extrême étant un PPP où l'entreprise intervient uniquement pour la construction. La tendance est, sans doute, l'émergence de modèles de PPP par ligne de produits (autoroutes, hôpitaux, prisons, métros...), avec toujours plus de responsabilités confiées aux entreprises qui doivent donc être équipées pour pouvoir les assumer.

Dans le cadre de la crise mondiale actuelle, avez-vous rencontré des incertitudes sur certaines commandes : annulation de projets, retard dans les projets, allongement de délais de paiement, insolvabilité de certains clients... ?

Le seul cas de figure que l'on ait connu où le contrat n'a pas été mis en vigueur est le cas de Detroit aux Etats-Unis début 2009. Certaines affaires, qui ne sont pas

encore gagnées, ont été décalées dans le temps. Toutefois, le volume des grands projets sur les zones ciblées par VINCI reste suffisamment important pour qu'on ne soit pas impacté par la crise. D'autant plus que les plans de relance, qui concernent essentiellement les grands projets, pourraient amener, d'ici un ou deux ans, plus de grands projets qu'il n'y en avait avant la crise !

Pouvez-vous citer quelques exemples de grands projets de VINCI Construction à l'international ?

Les grands projets de VINCI Construction à l'international sont nombreux. Ils représentent 2 milliards d'euros d'activité par an. Parmi les projets en cours, on peut citer :

- Les tunnels : ceux de Detroit et de Brightwater aux Etats-Unis, le Coentunnel aux Pays-Bas, le tunnel d'Hallandsås en Suède ;
- Les infrastructures routières et ferroviaires : l'autoroute EKPT en Grèce, la liaison ferroviaire de Liefkenshoek en Belgique, le métro du Caire (ligne 3), les métros d'Athènes, de Budapest, d'Alger ;
- Les bâtiments : le complexe hôtelier d'Anse la mouche aux Seychelles, l'hôtel Yazz en République tchèque, l'immeuble VTV au Vietnam ;
- Les réservoirs de gaz naturel liquéfié : GNL Skikda en Algérie, GNL Rotterdam aux Pays-Bas ;
- Les barrages : de Dafnozouara en Grèce, d'Urza en Colombie, de Canton aux Etats-Unis... ;
- Et de nombreux projets d'envergure comme l'enceinte de confinement de Tchernobyl en Ukraine ou encore la tour de contrôle de l'aéroport de Tripoli en Libye. □

7- Métro du Caire.

8- Port Est à la Réunion.

9- PC sécurité.

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

7



24 TRAVAUX N° 863 JUILLET / AOÛT 2009

8



9



IMPORTANTES TRAVAUX SUR LA DOWNTOWN LINE DU METRO DE SINGAPOUR

AUTEURS : ALISTAIR SIM, MANAGING DIRECTOR, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE -
FREDERIC HUBERT, DEPUTY PROJECT MANAGER, SOLÉTANCHE BACHY

D'IMPORTANTES TRAVAUX SONT EN COURS POUR RÉALISER LA PHASE 1 DE LA DOWNTOWN LINE À SINGAPOUR. SOLÉTANCHE BACHY INTERVIENT EN TANT QUE SPÉCIALISTE OU EN TANT QU'ENTREPRISE GÉNÉRALE POUR PLUSIEURS LOTS DONT LE C908 (STATION CROSS STREET) ET LE C903 (STATION BUGIS). LE CHANTIER DE BUGIS NE FAIT QUE COMMENCER, MAIS LES TRAVAUX DE TRANCÉE COUVERTE DE LA STATION CROSS STREET BATTENT ACTUELLEMENT LEUR PLEIN. L'ENVIRONNEMENT URBAIN DENSE ET LE CROISEMENT AVEC UNE AUTRE LIGNE DE MÉTRO RENDENT CES TRAVAUX PARTICULIÈREMENT COMPLEXES.

Ces jours-ci, les grues sont aussi fréquentes que les parapluies dans les rues chaudes et humides du centre-ville de Singapour. Singapour a entrepris d'énormes travaux pour la construction de la Downtown Line, une nouvelle ligne de métro souterraine ambitieuse.

LA CINQUIÈME LIGNE DE MÉTRO URBAIN

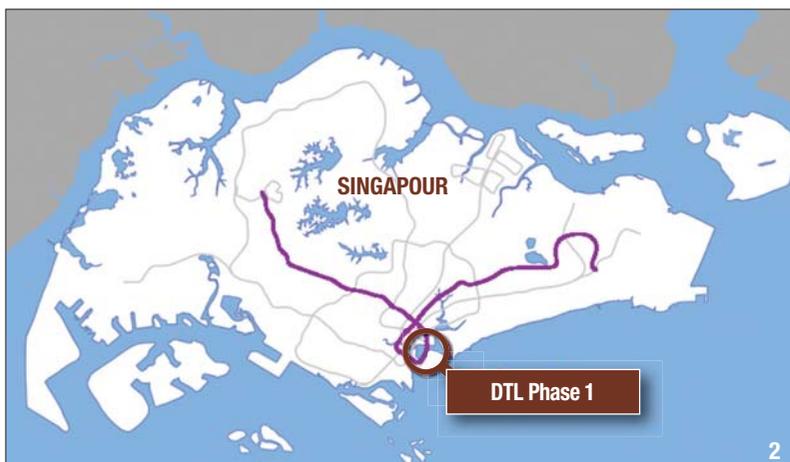
La Downtown Line renforcera la connectivité du réseau de métro urbain existant. Elle desservira le nouveau quartier d'affaires de Marina Bay ainsi que le nouveau complexe touristique Marina Bay Sand et son casino, situés sur un terrain gagné sur la mer, face à l'actuel centre des affaires. Ce nouveau quartier sera relié aux zones nord-ouest

et est de l'île. Environ un demi million de personnes devraient emprunter quotidiennement cette ligne.

Construite en trois phases, la ligne fera environ 40 km de long et comptera 33 stations. Ce système, entièrement souterrain, sera totalement automatique et sans conducteur (figure 2).

Les travaux ont débuté fin 2007 et l'achèvement des trois phases du projet est prévu pour 2016. La phase 1 du projet (DTL1) devrait se terminer en 2013. Elle englobe la zone centrale (le centre-ville) et comporte quatre stations de correspondance reliant trois différentes lignes souterraines : la North East Line à Chinatown, la East West Line à Bugis et la Circle Line à Bayfront et Promenade. Les sociétés françaises sont particulièrement présentes sur ce

« **CONSTRUITE EN TROIS PHASES, LA LIGNE AURA 40 KM DE LONGUEUR ET COMPTERA 33 STATIONS** »



2- La Downtown Line va relier le nord-ouest de l'île et l'est au nouveau quartier.

2- The Downtown Line will link the north-western part of the island and the east to the new district.

projet : Alstom a remporté le contrat des travaux de voie de la Downtown Line et CNIM fournit tous les escalators du projet. La phase DTL1 comprend 6 stations et va de Chinatown à Bugis. Solétanche Bachy est intervenu pour 3 stations du projet : Bayfront, Cross Street et Bugis. Les travaux de Bayfront ont été réalisés pour l'entreprise générale, Sembawang, (janvier 2009) et les travaux de terrassement de la station et les tunnels en tranchée couverte sont en cours. Le contrat de la station de Bugis a été récemment attribué à Solétanche Bachy en association avec la société locale Koh Brother. Les travaux sont en cours de démarrage. En revanche, les travaux des tunnels et de la station de Cross Street, au cœur du quartier des affaires, battent leur plein. Le contrat Cross Street est considéré comme étant le plus complexe de la phase 1, et Solétanche Bachy travaille en association avec la société coréenne Samsung Engineering & Construction pour concevoir et construire ce tronçon.

SOLUTION EN TRANCÉE COUVERTE DESCENDANTE

Située sous Cross Street, à l'embranchement de plusieurs carrefours, la station Cross Street desservira le cœur financier de Singapour, les boutiques et les maisons historiques de Chinatown et de nombreux bureaux et quartiers mixtes (habitations / bureaux) comme Far East Square, PWC Building et le China Square Centre.

Ces travaux seront entièrement réalisés en tranchée couverte en taupe car le projet est situé sous l'une des principales artères du centre des affaires, Cross Street, une avenue à cinq voies en sens unique traversant le centre ville. Le contrat ne permet la fermeture que de deux voies de circulation à la fois. Un viaduc provisoire a donc été construit le long du chantier pour faire passer deux voies de circulation au-dessus des travaux (photo 4).

Difficulté supplémentaire, les nouveaux tunnels passeront au-dessus des tunnels existants de la East West Line (EWL). La tranchée couverte passant tout près des tunnels existants (à peine 800 mm), Solétanche Bachy a utilisé une technique particulière pour garantir la sécurité de la construction de ce tronçon des tunnels en tranchée couverte, en réduisant au maximum les risques pour les infrastructures déjà présentes. Cette technique consiste schématiquement à mettre en place un réseau de tubes métalliques entre la ligne existante et la ligne à construire. Un système de vérins hydrauliques permet, lors du terrassement au-dessus des tunnels existants, d'éviter la décompression des terrains entourant ces tunnels.

UNE GÉOLOGIE COMPLEXE

La géologie de cette zone est très complexe et les travaux se déroulent dans un environnement urbain extrêmement dense. À cause de la présence d'argile marine recouvrant de l'argile à blocs (appelé Fort Canning Boulder Beds), l'excavation de la paroi moulée représente un défi à relever, étant donnée la proximité de bâtiments sensibles, de nombreuses installations de service public et d'une ligne de métro en service. De plus, le chantier se trouve principalement sur un terrain gagné sur la mer depuis de nombreuses années, avec des remblais divers déposés au fil des ans. À certains endroits, la chaussée fait 2 m d'épaisseur à cause des resurfaçages répétés ! À l'extrémité sud du chantier, l'alignement du tunnel traverse une ancienne digue avec de gros blocs de granit et de béton devant être retirés de l'excavation.

UNE NOUVELLE MÉTHODE : LES PAROIS TRANSVERSALES

L'argile marine tendre impose également la réalisation de massifs de jet grouting pour améliorer la butée du sol entre les parois moulées. L'utilisation de cette technique dans un centre-ville requiert des précautions particulières

3- Les réseaux enterrés présentent une très forte densité. La combinaison de tubes joints et des joints CWS a permis de les contourner.

3- The underground networks are very dense, and several innovative methods were developed to get around them.



© JOE LYNCH



4- La construction du viaduc provisoire a eu pour effet de couper le chantier en deux.

5- Le chantier bat actuellement son plein et mobilise 328 personnes 24h/24.

4- Construction of the temporary viaduct had the effect of cutting the construction site in two.

5- The project is currently in full swing, employing 328 people round-the-clock.



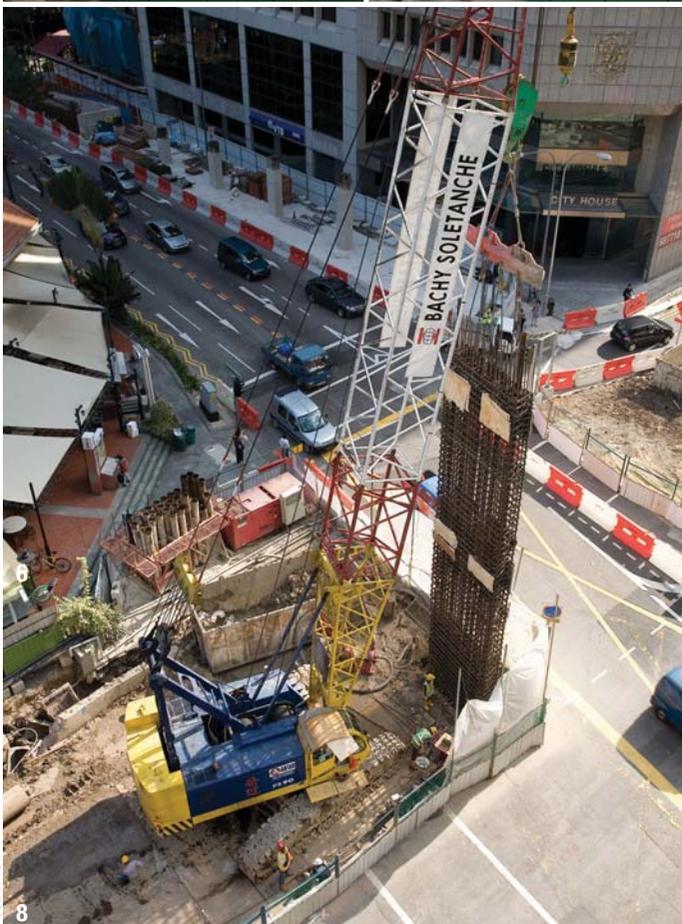


6



7a

7b



8

6- Les travaux de la station Bugis ont débuté au mois d'avril 2009.

7a et 7b- Pour remédier au manque d'espace dans certaines zones, la même grue est utilisée pour l'excavation et la manutention des cages.

8- Sur les deux sites, la gestion du trafic routier est une question stratégique.

6- The Bugis Station works began in April 2009.

7a et 7b- To overcome the lack of space in certain areas, the same crane is used for excavation and handling of reinforcing cages.

8- On both sites, road traffic control is a strategic issue.

afin que les mouvements du sol soient réduits au maximum pendant la réalisation du jet grouting et que les environs du chantier restent propres. À l'extrémité nord du chantier, l'argile marine laisse place à une argile plus sableuse et des parois transversales ont été ajoutées dans cette zone pour améliorer la butée des parois longitudinales sous le fond de fouille. Cette technique est de plus en plus prise en compte à Singapour car elle constitue un meilleur support pour les murs de soutènement.

UN CHANTIER COUPÉ EN DEUX

Tout comme les réseaux divers et autres obstacles souterrains, l'espace de travail disponible pour la construction de la paroi moulée constitue un autre facteur majeur. Même si la construction du viaduc offrirait davantage de zones de travail pour le gros matériel, le chantier a été coupé en deux. Ainsi, la paroi a dû être construite dans des espaces très restreints ne mesurant par endroit que 8 m (photo 4).

PROCHAINE STATION... BUGIS

Bugis accueillera la station de correspondance entre les lignes Downtown Line et EWL. En novembre dernier, Solétanche Bachy a obtenu un contrat de 303 millions d'euros pour la construction de la station et des tunnels correspondants. Les travaux de ce projet ont débuté récemment.

LE PROBLÈME DE L'ARGILE MARINE

Bien que la géologie et les conditions de Bugis soient plus simples que celles de Cross Street, la mollesse et la profondeur de l'argile marine dans cette zone posent problème.

En fait, une couche épaisse d'argile molle recouvre le substratum.

Des bennes hydrauliques seront utilisées pour l'excavation de la paroi moulée et jusqu'à 8 foreuses seront déployées 24/24h. Les murs de soutènement mesurent jusqu'à 65 m de profondeur et 1,2 / 1,5 m d'épaisseur. Près de 120 000 m² de parois moulées, de parois transversales et de barrettes seront construits sur une période d'un an.

MÉTHODE TRADITIONNELLE

Le projet, principalement construit sous forme d'une tranchée couverte (en taube), comporte trois sections réalisées en méthode traditionnelle. Ces trois sections de tunnels sont nécessaires pour passer soit sous des intersections très fréquentées, soit ▷

sous la station existante Bugis MRT (les parois moulées de cette station ont été construites par Solétanche Bachy en 1985). Ces tunnels, qui seront entièrement terrassés dans l'argile marine molle, impliqueront de nombreux confortements provisoires.

ENVIRONNEMENT DU CENTRE-VILLE

La gestion du trafic sur les deux chantiers revêt une importance primordiale. Le problème se pose davantage à Cross Street mais ne demeure pas moins important sur le chantier de Bugis. Dans la mesure où les équipements pour le jet grouting, les pieux forés et les parois moulées fonctionnent simultanément, la gestion de la plate-forme

et la logistique des chantiers occupent un rôle central afin de garantir l'achèvement du projet dans les délais.

Les grues excavatrices servent aussi de grues de manutention pour ne pas trop encombrer la plate-forme d'équipements (photos 7-8).

Sur les deux chantiers, les défis environnementaux que représente la réalisation des travaux en centre-ville tout en limitant au minimum la pollution sonore ne sont pas sans poser certaines difficultés étant donné le programme serré impliquant de travailler 24 heures sur 24. Solétanche Bachy a récemment modernisé son parc de grues en Asie afin de garantir ainsi un impact minime sur l'environnement. □

PRINCIPALES DONNÉES CHIFFRÉES

PROJET DE LA STATION DE BUGIS (C903)

PAROI MOULÉE D'ÉPAISSEUR 1,0/1,2/1,5 (PROFONDEUR 44 - 47 M) : 1 560 m

BARRETTES D'ÉPAISSEUR 0,8/1,0/1,2 (PROFONDEUR 30 - 54 M) : 204

PAROI TRANSVERSALE D'ÉPAISSEUR 1,0 (PROFONDEUR 35 M) : 662 m

JET GROUTING : 74 000 m³

PALPLANCHES : 1 375 t de palplanches

TRAVAUX MÉTHODE TRADITIONNELLE :

- 40 m de tunnel sous Beach Road
- 30 m de tunnel sous Queen Street
- 80 m de tunnel sous la station actuelle de Bugis

PROJET DE LA STATION DE CROSS STREET (C908)

PAROI MOULÉE : 214 panneaux (30 217 m²)

JET GROUTING : 49 490 m³

PIEUX FORÉS : 4 950 ml

BÉTON STATION : 28 000 m³

BÉTON TUNNEL : 11 482 m³

TERRASSEMENT : 128 900 m³

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

C 908 (CONCEPTION ET CONSTRUCTION)

CLIENT : Land Transport Authority of Singapore

ENTREPRENEURS : JV Solétanche Bachy - Samsung Engineering & Construction (mandataire)

CONCEPTEUR : Mott MacDonald

ARCHITECTE : Ong & Ong

C 903 (CONSTRUCTION UNIQUEMENT)

CLIENT : Land Transport Authority of Singapore

ENTREPRISE : Solétanche Bachy (mandataire) - Koh Brothers Building & Civil Engineering

CONCEPTEUR : Arup Singapore

ABSTRACT

MAJOR UNDERGROUND WORKS ON THE DOWNTOWN LINE OF THE SINGAPORE URBAN METRO: TUNNELS AND CROSS STREET STATION

ALISTAIR SIM, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - FREDERIC HUBERT, SOLETANCHE BACHY

Major works are in progress for execution of phase 1 of the Downtown Line in Singapore.

Solétanche Bachy is performing specialist work or acting as main contractor for several work sections, including C908 (Cross Street Station) and C903 (Bugis Station). The Bugis project is just starting, but the cut-and-cover tunnel works for Cross Street Station are currently in full swing. The dense urban environment and the intersection with another metro line make these works extremely complex. □

IMPORTANTES TRABAJOS SUBTERRÁNEOS EN LA DOWNTOWN LINE DEL METRO URBANO DE SINGAPUR: TUNELES Y ESTACIÓN DE CROSS STREET

ALISTAIR SIM, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - FREDERIC HUBERT, SOLETANCHE BACHY

Se encuentran actualmente en curso importantes trabajos para realizar la fase 1 de la Downtown Line en Singapur.

Solétanche Bachy actúa a título de especialista o bien como empresa general para varios lotes entre los cuales el C908 (estación Cross Street) y el C903 (estación Bugis). La obra de Bugis únicamente acaba de dar comienzo, pero los trabajos de falso túnel de la estación Cross Street se están ejecutando en la actualidad a un nivel máximo. El intenso entorno urbano y el cruce con otra línea de metro vienen a conferir a estos trabajos una complejidad particular. □

UN CHANTIER HORS NORMES : LE LOT CENTRE DE L'AUTOROUTE EST-OUEST EN ALGERIE

AUTEURS : KAMEL BELATRECHE, DIRECTEUR DE PROJET LOT CENTRE, DIRECTION DES PROJETS NEUFS (ANA) - ZHUO LEI, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE GROUPEMENT, ENTREPRISE CITIC-CRCC - YUAN JUN, DIRECTEUR TECHNIQUE DE GROUPEMENT, ENTREPRISE CITIC-CRCC - PAUL BROSSIER, DIRECTEUR DE PROJET, BUREAU D'ÉTUDES TERRASOL - NADIA BELMAHDI, INGÉNIEUR OUVRAGE D'ART, BUREAU D'ÉTUDES SETEC - VÉRONIQUE MAUVISSEAU, DIRECTEUR D'ÉTUDES OUVRAGES, BUREAU D'ÉTUDES SETEC TPI

PARMI LES GRANDS PROJETS D'INFRASTRUCTURE EN ALGÉRIE, L'AUTOROUTE EST-OUEST, QUI TRAVERSERA LE PAYS DE LA FRONTIÈRE TUNISIENNE À LA FRONTIÈRE MAROCAINE, EST UN PROJET D'ENVERGURE. LE DÉVELOPPEMENT DU TRAFIC AUTOMOBILE ALGÉRIEN REND DE PLUS EN PLUS URGENT LE BOUCLAGE DE CE PROJET.



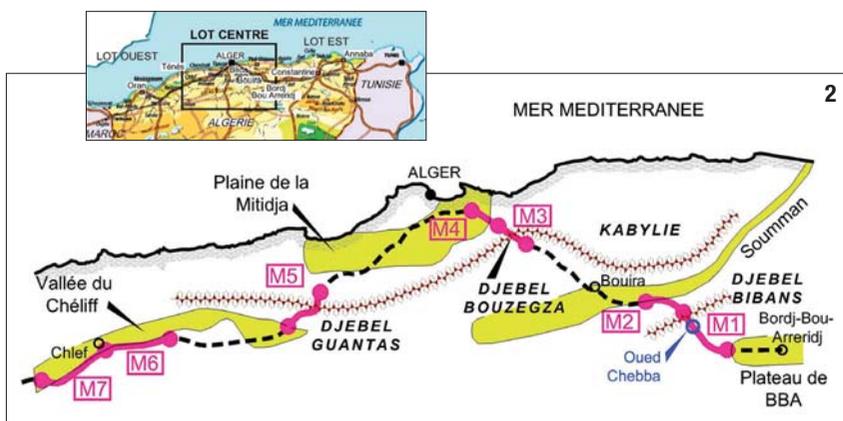
**1- Terrassements
sur la section M5.**

**1- Earthworks
on the M5 section.**

En 2006, les trois grands lots de travaux ont été attribués au groupement japonais COJAAL pour le lot Est et au groupement Chinois CITIC-CRCC pour les lots Centre et Ouest, CITIC prenant en charge le lot Ouest (figure 2).

Le lot Centre, situé entre Bordj Bou Arreridj et Chlef, est réalisé par CRCC. Il est nettement plus court que les lots Ouest et Est, avec « seulement » 169 km. En effet, il se décompose en 7 sections, non contiguës, qui assurent des raccordements entre

les tronçons autoroutiers existants. Ainsi, à terme, le lot Centre permettra de disposer de 458 km d'autoroute continue. Au total, le projet autoroutier Est-Ouest couvrira 1216 km. Le maître d'ouvrage est l'Agence nationale des Autoroutes (ANA). Une direction ▷



2- Tracé de l'autoroute Est-Ouest en Algérie.

2- Alignment of the East-West motorway in Algeria

particulière, la DPN, a été mise en place pour gérer les trois marchés d'études et de travaux, chaque lot de travaux étant géré par une direction particulière, comme la DPLC pour le lot centre. CRCC, China Railways Construction Company, est un groupe de plus de 250 000 employés, constitué de plus de vingt filiales installées dans les diverses provinces chinoises.

Son activité d'origine était la construction des chemins de fer mais concerne aujourd'hui tous les domaines de la construction.

Déjà présent en Algérie depuis plusieurs années sur des travaux ferroviaires, l'autoroute Est-Ouest a constitué une opportunité d'y renforcer son implantation.

DES MOYENS CONSEQUENTS POUR UN PROJET AUDACIEUX

Le parcours du lot Centre présente des difficultés et particularités géographiques qui en font un pari audacieux pour le maître d'ouvrage et l'entreprise, d'autant plus que le délai de réalisation est très restreint : 40 mois y compris les phases d'études.

Le lot Centre est divisé en sept sections de travaux. Trois sections sont situées en plaine ou dans des reliefs de collines :

→ (M4) Hamiz-Larbatache, 15 km : plaine de Mitidja, section prioritaire.

→ (M6) Oued Fodda-Chlef et (M7) Chlef-Boukadir, 50 km : vallée du Cheliff.

→ La section El-Adjiba-Est Bouira (M2), de 20 km de long, parcourt un relief de fortes collines.

Les trois autres sections empruntent des reliefs difficiles :

→ (M1) Est Bouira-Zennouna, 37 km, rejoint la limite Est de la Wilaya de Bouira, franchit les « Portes de fer » et accède à la région des plateaux de Bordj Bou Arreridj en remontant les oueds Bouketone et M'zita, pour passer de 400 m à 1 100 m d'altitude, sur un parcours de 25 km.

→ (M3) Larbatache-Lakhdaria, 27 km, relie l'est de la plaine de Mitidja à la plaine de l'Oued Isser via la région isolée du djebel Bouzegza, en franchissant deux cols et en parcourant des vallées abruptes à la géologie très tourmentée et mal connue.

→ Enfin, (M5) Hoceinia Khemis Miliana, 23 km, relie la vallée de l'Oued Djer (bassin ouest de la Mitidja) à la plaine du Cheliff, en franchissant le Djebel Guantas.

Cette section très délicate se déroule essentiellement dans les marnes du

Sahel d'Alger dans un relief de croupes mameuses à forts ravinements ; elle est, de plus, désignée comme prioritaire.

Les études d'exécution ont été conduites selon les standards européens. C'est la raison pour laquelle l'entreprise chinoise s'est adjoint les services d'un bureau d'études français, en qualité de contrôle externe des études de projet et d'exécution, et assurant une supervision du contrôle externe des travaux. Parmi les contraintes particulières de conception :

→ L'autoroute est à 2 x 3 voies.

→ Les études des échangeurs ont été lancées en parallèle à la construction de l'autoroute, menées par un bureau d'études distinct.

→ Le tronçon Centre est situé dans les zones caractérisées par une moyenne à très forte sismicité.

Les moyens mis en œuvre par le groupement CITIC-CRCC pour le lot Centre sont conséquents :

→ Construction de nombreuses bases-vie afin d'accueillir le personnel au plus près des zones de travaux et ce, dans toutes les régions du projet y compris les plus éloignées (1 ou 2 bases-vie majeures par section et des bases-vie secondaires).

→ Emploi de près de 6 000 personnes (8 000 en pointe d'activité) dont 4 000 de nationalité algérienne et 2 000 de nationalité chinoise incluant 600 ingénieurs et encadrants et plus de 200 interprètes.

→ Travail 6 jours sur 7 et jusqu'à 7 jours sur 7 pendant les périodes estivales et les pointes d'activité ; certaines tâches sont exécutées en travail de nuit.

TERRASSEMENTS GENERAUX ET TUNNELS : DES TRAVAUX COMPLEXES EN TERRAINS DIFFICILES

Les volumes de terrassement sont extrêmement importants comme le résume le tableau A.

Mais les difficultés techniques essentielles ont pour origine la nature des terrains. Comme souvent pour les tracés d'infrastructures de zones montagneuses, les itinéraires empruntent les dépressions topographiques qui suivent les affleurements des terrains les plus disloqués par les mouvements tectoniques et les plus altérés (photo 3).

Dans l'ensemble, les terrains rencontrés sont des roches argileuses avec les conséquences habituelles inhérentes : une réutilisation difficile voire impossible dans de grands remblais sur versants, une stabilité délicate des talus de déblais, des risques d'évolution de ces talus (photo 4).

En fait, les caractéristiques précises des terrains intéressant les ouvrages en terre présentent une grande diversité :

→ Marnes très dures mais altérables, difficilement excavables, très compactes.

→ Marnes ou argillites feuilletées avec un angle de frottement très faible entre les feuilletés.

→ Marnes argileuses de compacités moyennes.

→ Eboulis argileux ou colluvions, souvent sièges de nappes de versant non



3



4



5

pérennes mais se mettant en charge en saison pluvieuse...

Les deux tunnels du projet sur la section Larbatache Lakhdaria (M3), de longueur 700 et 1 700 mètres à 2 x 3 voies traversent des contextes géologiques qui ne s'écartent pas des autres secteurs du tracé ; ils sont excavés dans des marnes schisteuses en feuillets souvent broyées et dans des séries plus gréseuses.

PLUS DE 130 OUVRAGES D'ART

Les ouvrages d'art sont répartis en :

→ 7 viaducs non courants dont six (06) sont à poutres précontraintes de 50 m de portée, franchissant des brèches variant de 15 à 50 m de haut et un viaduc en encorbellements successifs (65 + 2 x 107 + 65 = 344 ml) dont la hauteur maximale des piles ne dépasse pas les 18 m. La surface de tabliers à construire est de 59 910 m².

→ 30 viaducs courants (portée des poutres < 40 m), la surface de tabliers à réaliser est de 159 354 m².

→ 59 ponts courants : sont ainsi définis les passages inférieurs et supérieurs à poutres multiples préfabriquées et précontraintes par post tension ou caissons à deux ou trois âmes coulés sur cintres dont la surface < 1 200 m², la surface de tabliers à construire est de 46 837 m².

→ 36 passages inférieurs en cadre fermé (PICF) d'ouverture comprise entre 4 x 3 et 7,10 x 5,25 m.

Une particularité du lot Centre réside dans la conception des viaducs. Compte tenu du délai très court d'exécution, CRCC a proposé de réaliser les viaducs en ponts à poutres préfabriquées en « I » (photo 5). 3 portées ont été retenues : 27,50 m, 36 m et 50 m. Les viaducs sont une combinaison de ces portées. Les poutres sont solidarisées par des entretoises d'about et

LE PONT DE L'OUED CHEBBA EST L'UN DES OUVRAGES LES PLUS REMARQUABLES DU PROJET

3- Section M5 - Région du Djebel Guantas et terrassements.

4- Terrassements sur la section M1.

5- Usine de préfabrication de poutres.

6- Pose de poutre à Djebel Bouzegza.

7 et 8- Pont de l'Oued Chebba : 412 ml de longueur totale.

3- M5 section - Djebel Guantas region and earthworks.

4- Earthworks on the M1 section.

5- Beam prefabrication plant.

6- Placing a beam at Djebel Bouzegza.

7 et 8- Oued Chebba bridge: total length 412 linear metres.

TABLEAU A : DES VOLUMES DE TERRASSEMENTS CONSÉQUENTS

Sections		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Total
linéaire (km)		37	16	27	15	23	24,5	24	166,5
remblais	10 ³ m ³	8810	2080	8520	397	6720	2610	1380	30517
déblais	10 ⁶ m ³	7345	2290	4270	248	4320	1770	1890	22133
ratio terrassements	m ³ /ml	437	273	615	43	480	179	136	
couche de forme	10 ⁶ m ³	452	207	380	256	280	353	400	2328
EME	10 ³ t	344	148	270	177	241	271	200	1650
BBME	10 ³ t	140	57	94	74	88	73	63	589
BBMA	10 ³ t	94	40	66	45	71	51	55	422

un hourdis coulés en place ; la poutre de 50 m est munie de 4 entretoises intermédiaires (photo 6).

11 usines ont été construites pour la fabrication de ces poutres. Le nombre total de poutres à réaliser est estimé à 3 530 unités.

CRCC a ainsi produit 1 000 poutres en six mois sur la section M5, ce qui a provoqué des problèmes de stockage. En effet, sur cette section prioritaire, la préfabrication a débuté pendant que les fondations et les piles des viaducs étaient en cours.

Les poutres de la section M3, de 27 m, 36 m et 50 m ne sont pas stockées en usine mais sont posées au fur et à mesure de la production (aires de stockage limitées). CRCC a tout d'abord fabriqué les poutres courtes et n'a commencé à réaliser les poutres de 50 m que 6 mois plus tard.

La réalisation de poutres de 50 m est un record. Les difficultés résident dans le transport et la pose, car elles sont prévues pour les viaducs de la section M3 à relief très abrupt. Les hauteurs des piles atteignent alors 47 m.

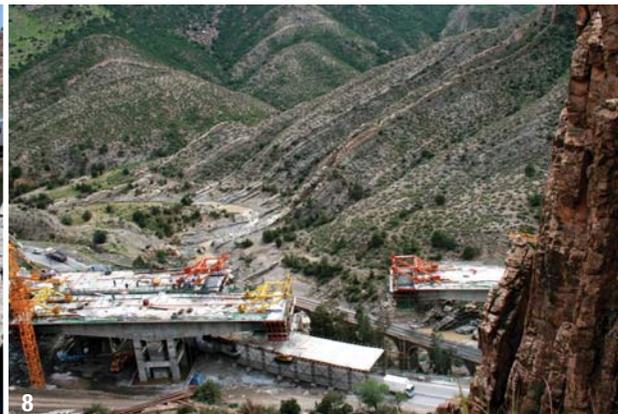
Une difficulté de CRCC a consisté à obtenir l'agrément de produits fabriqués, et très largement référencés en Chine, mais ne disposant pas d'agréments européens.

PONT DE L'OUED CHEBBA : POUTRES-CAISSONS DE GRANDE PORTEE

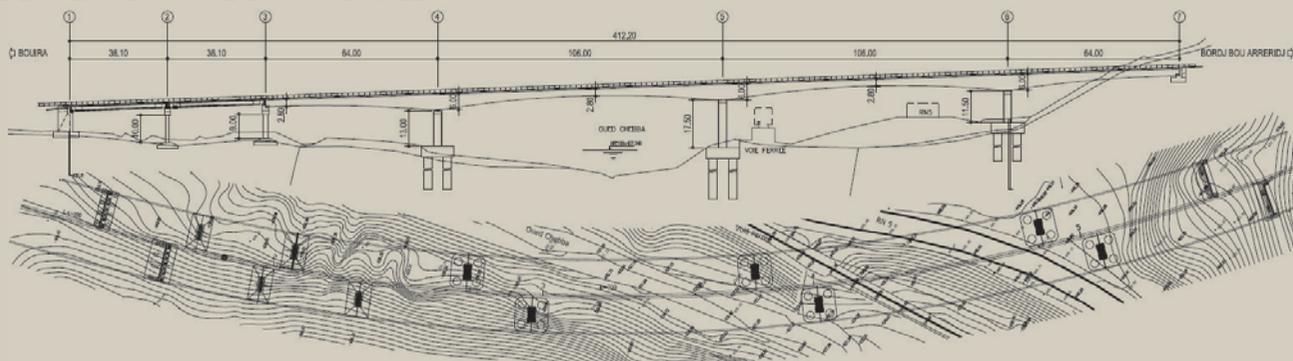
Le pont de l'Oued Chebba, implanté dans le défilé des Portes de Fer, dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, tronçon M1, franchit la route nationale n°5, la voie ferrée et l'oued Chebba avec une courbure de 700 m à l'axe, sans dévers. Le site, très resserré entre les versants rocheux présentait de sérieuses difficultés lors de la conception (photos 7 et 8).

En variante au projet de base constitué par un pont à poutres sous chaussées, CRCC a proposé un pont en poutres-caissons de plus grande portée.

Le tablier du pont a été étudié par Setec TPI, en collaboration avec la filiale d'études CRCC2. Les piles sont en béton armé de section pleine de 7,10 x 3,20 m², la hauteur maximale des piles ne dépassant pas les 18 m. Des butées de sécurité sont prévues sur appuis. Elles entrent en action à la fin de la course des appareils d'appui et sont calculées pour reprendre 40% des efforts sismiques de calcul. La fondation des piles est constituée d'une semelle de 4 m de haut reposant sur quatre puits de 15 m de profondeur et 3 m de diamètre creusés manuellement.



VUE EN PLAN ET COUPE LONGITUDINALE

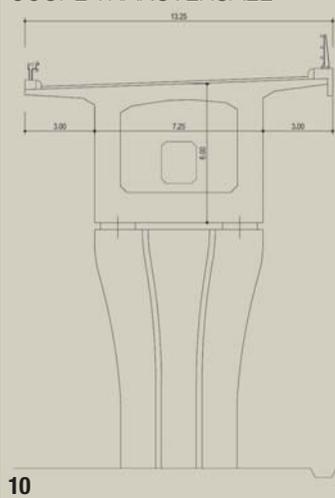


9

9 et 10- Pont de l'Oued Chebba : vue en plan et coupe longitudinale - coupe transversale.
11- Le tablier du pont de l'Oued Chebba est constitué de 2 poutres-caissons.

9 et 10- Oued Chebba bridge: plan view and longitudinal section - cross section.
11- The Oued Chebba bridge deck is formed of two box girders.

COUPE TRANSVERSALE



L'ouvrage, de 412 ml de longueur totale, se décompose en 2 parties (figures 9 et 10) :

→ 72,20 m réalisés en poutres préfabriquées précontraintes, constituées de 2 travées de 36,10 m.

→ 340 m réalisés en poutres-caissons à deux âmes coulées sur place, constituées de 4 travées 64 + 2 x 106 + 64 m.

Le tablier est constitué de 2 caissons à âmes droites de hauteur variable de 2,80 m à 6 m et d'épaisseur variable. Le hourdis mesure 13,25 m de largeur.

Il porte 3 voies de 3,5 m (sans BAU). La longueur des encorbellements est de 3 m, aussi, le hourdis supérieur n'est pas précontraint transversalement.

Le tablier est encastré sur la pile 5 et repose sur des appareils d'appui en résine élastique sur les piles 3, 4, 6 et 7. Le système de précontrainte utilisé est le système OVM, conforme à la norme française XP A35-045. Il a été adopté des câbles à très basse relaxation (TBR) $\rho 1000 \leq 3.5\%$ occasionnant des pertes très importantes. Les unités

de précontrainte employées sont des 13 T15S - 17 T15S - 19 T15S.

La particularité de la précontrainte réside dans le fait qu'elle est totalement intérieure au béton. En effet, la pratique chinoise utilise la précontrainte extérieure uniquement pour la réparation et le renforcement des tabliers (photo 11).

Comme pour l'ensemble de l'opération, les plannings de réalisation sont très courts. La réalisation des 6 fléaux a été entreprise simultanément (soit 12 équi-

pages mobiles) : pile P5 encastrée et piles P3 et P6 de chaque demi-tablier. Le cycle de réalisation des fléaux est le suivant :

→ 3 jours : déplacement de l'équipage mobile.

→ 2 jours : ferrailage de voussoir et bétonnage.

→ 7 jours : durcissement du béton.

→ 2 jours : mise en tension.

Soit 14 jours au total ; le temps des cycles a pu être réduit jusqu'à 10 jours par les équipes de CRCC. □

ABSTRACT

AN EXTRAORDINARY PROJECT: THE CENTRE WORK SECTION OF THE EAST-WEST MOTORWAY IN ALGERIA

K. BELATRECHE - ZHUO LEI, ENTREPRISE CITIC-CRCC - YUAN JUN, CITIC-CRCC - P. BROSSIER, TERRASOL - N. BELMAHDI, SETEC - V. MAUVISSEAU, SETEC TPI

Among the large infrastructure projects in Algeria, the East-West motorway, which will cross the country from the Tunisian border to the Moroccan border, is a major project. The motorway project will eventually cover 1216 km. At the end of 2006, the three major work sections were awarded to the Japanese consortium COJAAL for the East work section and the Chinese consortium CITIC-CRCC for the Centre and West work sections, with CITIC taking charge of the West section. This article is devoted to the Centre work section, located between Bordj Bou Arreridj and Chlef, and performed by CRCC. It is far shorter than the West and East work sections, with «only» 169 km. It breaks down into seven sub-sections, not adjacent, which provide links between the existing motorway sections. Eventually, the Centre work section will result in 458 km of continuous motorway. □

UNA OBRA EXTRAORDINARIA: EL LOTE CENTRO DE LA AUTOPISTA ESTE-OESTE EN ARGELIA

K. BELATRECHE - ZHUO LEI, ENTREPRISE CITIC-CRCC - YUAN JUN, CITIC-CRCC - P. BROSSIER, TERRASOL - N. BELMAHDI, SETEC - V. MAUVISSEAU, SETEC TPI

Entre los grandes proyectos de infraestructura en Argelia, la autopista Este-Oeste, que atravesará el país desde la frontera tunecina hasta la frontera marroquíes, constituye un proyecto de envergadura. Al final de este proyecto la autopista tendrá una longitud de 1.216 kilómetros. A finales de 2006, los tres grandes lotes de trabajos fueron atribuidos a la agrupación japonesa COJAAL para el lote Este y a la agrupación china CITIC-CRCC para los lotes Centro y Oeste, siendo a cargo de CITIC el lote Oeste. El presente artículo va consagrado al lote Centro, ubicado entre Bordj Bou Arreridj y Chlef, y ejecutado por CRCC. Este lote es mucho más corto que los lotes Oeste y Este, con «únicamente» 169 km, y se desglosa en 7 tramos, no adyacentes, que permiten las conexiones entre los tramos ya existentes de la autopista. Una vez finalizado, el lote Centro permitirá disponer de 458 kilómetros de autopista continua. □

NEWCASTLE (U.K.) : UN TUNNEL A PEAGE SOUS LA TYNE

AUTEURS : NICOLAS CAILLE, DIRECTEUR DU PROJET, BOUYGUES TP - LOUIS BALLESTEROS, DIRECTEUR TECHNIQUE DU PROJET, BOUYGUES TP

CET ARTICLE DÉCRIT LE PROJET EN CONCESSION DE NEW TYNE CROSSING À NEWCASTLE (ROYAUME-UNI) RÉALISÉ PAR BOUYGUES TP. D'UNE DURÉE DE 48 MOIS, LE PROJET A POUR OBJECTIF DE DOUBLER LA CAPACITÉ DU TUNNEL EXISTANT, AUJOURD'HUI COMPLÈTEMENT SATURÉ. IL COMPORTE LA CONSTRUCTION D'UN TUNNEL IMMERGÉ ET DE SES RAMPES D'ACCÈS, SUR UNE LONGUEUR TOTALE D'ENVIRON 2 500 M, LA RÉNOVATION DU TUNNEL EXISTANT ET L'EXPLOITATION DE L'ENSEMBLE SUR UNE DURÉE DE 30 ANS.



1- Les caissons du tunnel en construction.

1- The box girders of the tunnel undergoing construction.

CONTEXTE : DOUBLER LA CAPACITÉ DU TUNNEL EXISTANT

Newcastle, capitale du nord-est de l'Angleterre, est une ville de 190 000 habitants en bordure de la Tyne, rivière réputée auprès des pêcheurs de saumons. Elle a jusqu'à récemment été un grand centre industriel, et connu son heure de gloire grâce aux mines de charbon et aux chantiers navals. L'un d'entre eux, Swann Hunter, a mis à l'eau notamment deux des plus grands porte-avions de la Navy et l'innombrable quantité de dock plantés comme des épis le long de la rivière témoigne encore de ce passé prestigieux.

De nos jours, ce sont les équipes de football et de rugby qui tentent, dans un autre registre et difficilement, de redorer ce blason.

Située sur un axe important de communication nord-sud, Newcastle relie le sud de l'Angleterre à l'Ecosse, via Edimbourg, par la côte est.

Le contournement de la ville se fait soit par l'A1 à l'ouest soit plus directement par l'A19 à l'est (figure 2).

Le tunnel existant, bidirectionnel à une voie, est situé sur l'A19, à deux voies. Inauguré par la reine Elisabeth II en 1967, il écoulait alors un trafic de 5 000 véhicules par jour (v/j) mais était prévu pour 25 000 v/j. Près de

40 000 v/j le fréquentent aujourd'hui ; inutile donc de préciser que la fin du projet est très attendue par les usagers réguliers du tunnel qui patientent dans les bouchons aux heures de pointe. Dès la fin des années 80 son doublement futur est devenu une évidence, mais il aura fallu presque trente ans pour que le projet se concrétise.

DES TRAVAUX JUSQU'EN 2011

Lancé en février 2006 sous la forme d'un DBFO (Design, Build, Finance, Operate), l'appel d'offres avait pour objet :

- La rénovation du tunnel existant.
- La conception et la construction d'un

nouveau tunnel au tracé sensiblement parallèle à au tunnel existant.

→ Le financement et l'exploitation pendant trente ans, des deux tunnels mais aussi des tunnels pour piétons et cyclistes creusés à proximité du tunnel existant dix ans auparavant.

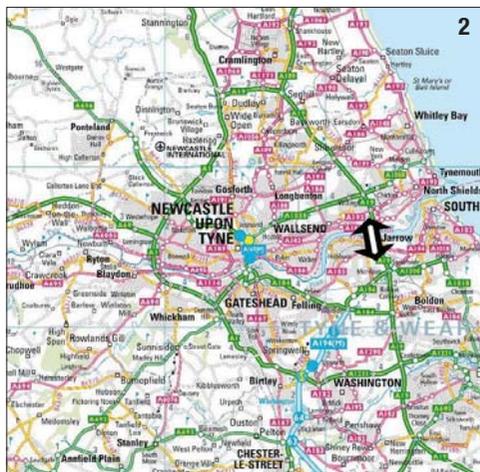
Bouygues Travaux Publics a été retenu « preferred bidder » en avril 2007 et le contrat de concession a été signé le 23 novembre 2007.

Entre ces deux dates s'est déroulée une période dite de pré-développement : un certain nombre d'activités, en accord avec le client, ont été entreprises et auraient été rémunérées si le contrat n'avait pas été signé. Ces activités ont porté essentiellement sur des reconnaissances : en particulier, une campagne géotechnique complémentaire, une reconnaissance des réseaux d'eaux usées affectés par le tracé, ainsi qu'un examen de la dalle de roulement du tunnel existant afin de confirmer que son remplacement n'était pas nécessaire. Egalement des réunions concernant la sécurité du tunnel ont été amorcées.

Le contrat de construction, d'un montant de 255 M€, est d'une durée de 48 mois.

Dans un premier temps, jusqu'en décembre 2010 soit une période de trois ans, se déroule la construction du nouveau tunnel. Une fois celui-ci mis en service, le trafic du tunnel existant est basculé sur le nouveau tunnel, exploité alors en bidirectionnel.

Dans un deuxième temps est effectuée la réhabilitation du tunnel existant jusqu'en décembre 2011. A cette date il peut à son tour être mis en service. Une fois le projet terminé, le nouveau tunnel supportera la circulation nord-sud. ▷



2- Plan de situation.

2- Location drawing.

Du fait de sa situation sur l'A19, le tunnel est ouvert au transport de matières dangereuses, les convois étant placés sous escorte lors de leur traversée.

DESCRIPTION DU PROJET

Le projet peut se décomposer en cinq parties distinctes géographiquement (figure 4) :

→ La zone nord comprenant la plate-forme de péage, le portail nord, et une tranchée couverte se terminant par une structure de transition permettant la connexion avec le tunnel immergé.

→ La zone en rivière avec le tunnel immergé.

→ La zone sud démarrant par une structure de transition, prolongée par une tranchée couverte.

→ L'échangeur sud permettant la connexion avec l'A19 et les voiries locales.

→ Enfin le tunnel existant avec sa plate-forme de péage au nord.

Du nord au sud, le projet s'étire sur une longueur d'environ 2 500 m.

Le tracé décrit en plan une courbe en S avec un alignement droit lors de la traversée de la rivière.

En élévation, le tunnel plonge assez rapidement depuis le nord avec une pente à 6% pour passer sous la Tyne, avec un point bas à 22,6 m sous le niveau moyen de la rivière, pour remonter avec une pente à 5% et venir se raccorder au sud avec le tunnel existant. Ces pentes sont la conséquence d'un profil en long imposé par les contraintes que sont le raccordement aux voies existantes aux deux extrémités, le passage sous la rivière et les « cross-over » (voir paragraphe zone nord). Bien que le projet ne fasse pas partie du Réseau Routier Transeuropéen, la Directive Européenne 2004/54/CE est contractuellement applicable. En conséquence,

les pentes étant supérieures à 3%, une analyse de risque a dû être effectuée pour démontrer que les dispositions visant à assurer la sécurité dans le tunnel étaient au minimum supérieures à celles préconisées par la Directive ou les normes applicables (espacement des hydrants et des « Emergency Distribution Panel » -EDP-, vitesse limite, largeur des accotements, etc.).

Le profil en travers comprend une chaussée de 7,90 m encadrée par deux trottoirs de 1 m de large. De l'autre côté d'un voile séparatif, se trouve une galerie d'évacuation de 1,5 m de large et en partie haute une galerie technique. Du fait en particulier d'un cas de charge « explosion » de 100 kN/m², le voile séparatif est encastré dans le radier, appuyé sur la dalle séparant la galerie technique de la galerie d'évacuation et liaisonné à la dalle supérieure au moyen d'une « pin-connection », armature verticale encastrée dans le voile et coulissant dans la dalle.

Dans le voile central sont ménagées des portes de communication vers la galerie d'évacuation tous les 100 m. Des niches sont également prévues pour les EDP tous les 50 m.

Une géologie complexe et hétérogène

Les reconnaissances géotechniques successives ont révélé le long du projet une géologie relativement complexe et hétérogène. Le site a été le siège d'une vallée glaciaire qui a définitivement laissé son empreinte dans le sous sol, et a connu plus récemment un certain nombre de transformations, en particulier liées à l'activité industrielle le long de la rivière qui ont affecté les caractéristiques des sols proches de la surface.

On peut en décrire brièvement les

grandes lignes mais il convient de distinguer le nord et le sud du projet.

Au nord, après une couche de remblais de plusieurs mètres contenant par endroit des traces de pollution, se trouvent des dépôts glaciaires puis le rocher, de nature carbonifère, plus ou moins altéré en partie supérieure, à une profondeur de 20 à 30 m sous le niveau de la rivière. Sous la dénomination de dépôts glaciaires se cache néanmoins une assez grande variété de sols, puisqu'il s'agit d'une succession de « glacial till » et « laminated clays ». Ces laminated clays, comme leur nom le suggère sont elles mêmes composées d'une alternance de couches d'argiles et de sables plus ou moins silteux dont l'épaisseur peut être pluri-décimétrique.

En outre, à proximité de la rivière les reconnaissances ont mis en évidence un ancien chenal où les dépôts glaciaires sont en partie remplacés par une couche d'alluvions.

Au sud du projet, on retrouve bien sûr la couche de remblais, mais d'épaisseur beaucoup plus faible, hormis à proximité immédiate de la rivière, puis les dépôts glaciaires et le rocher à une

profondeur comprise entre 15 m et 5 m environ sous le niveau de la rivière. Les dépôts glaciaires offrent une stratigraphie bien plus marquée qu'au nord avec une alternance plus franche, bien qu'irrégulière, entre les « glacial till » et les « laminated clays ».

Au droit de la rivière, on trouve essentiellement une couche d'alluvions et le rocher avec, côté nord, la présence de glacial till.

La nappe phréatique quant à elle, remonte légèrement de chaque côté de la rivière.

La zone nord

La zone nord est constituée successivement (photo 6) :

→ De la plate-forme de péage, conçue pour 10 voies de passage plus une voie destinée aux convois sous escorte.

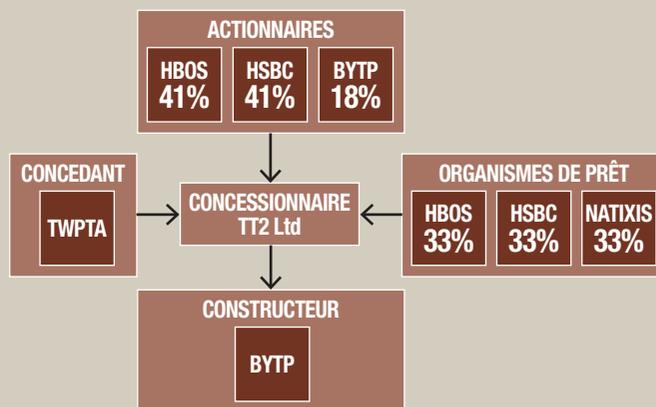
→ D'une tranchée ouverte constituée de murs de soutènement et parois moulées sur environ 40 m.

→ D'une tranchée couverte (parois moulées, radier et dalle supérieure) :

La particularité de la zone nord est de passer à deux reprises au-dessus du tunnel existant, lors d'intersections appelées « cross-over » : une première fois dans la partie en déblais au sud

LES PRINCIPAUX ACTEURS

LE MONTAGE DE L'OPÉRATION



LE CONCÉDANT, TWPTA : Tyne and Wear Integrated Transport Authority (initialement TWPTA), organisme chargé de la supervision du réseau de transport public des cinq districts de Tyne and Wear : North Tyneside Council, South Tyneside Council, Gateshead Council, Sunderland City Council et Newcastle City Council.

LE CONCESSIONNAIRE TT2, agissant en qualité de maître d'ouvrage et composé de Bouygues Travaux Publics, HBOS et HSBC. Une des particularités de cette opération est que l'exploitation et l'entretien du tunnel existant (et des tunnels piéton et cycliste) ont été transférés au Concessionnaire, ainsi que l'ensemble des cent personnes les exploitant, deux mois après la signature du contrat de concession.

LE CONSTRUCTEUR enfin est Bouygues Travaux Publics, pour qui cette opération constitue une première référence sur le sol britannique, et l'occasion de renouveler l'expérience en matière de tunnel immergé, après le projet de Rostock terminé en 2004.

de la zone de péage, et une deuxième fois dans la zone en tranchée couverte. Du fait de l'impact potentiel sur le tunnel existant, un monitoring est installé dans le tunnel existant et des simulations numériques ont été réalisées afin d'estimer les déplacements éventuels et définir des valeurs d'alerte pour le monitoring. Pour le premier « cross over » cette analyse a conduit à une réduction des pentes de talus afin d'atténuer l'effet d'encastrement du tunnel existant aux extrémités. Dans la zone paroi moulée, étant donné que les parois ne peuvent descendre profondément, la butée en pied est assurée par des voiles transversaux au coulis bentonite-ciment, réalisés au préalable des parois moulées, et la construction est effectuée en taupe.

→ D'une structure de transition : Cette structure de transition est destinée à permettre la connexion du tunnel immergé à la tranchée couverte. Il s'agit d'un cadre en béton armé de la forme d'un caisson, construit à l'intérieur d'un puits de section rectangulaire en paroi moulée situé à l'extrémité de la tranchée couverte. Le cadre est adossé à la paroi nord du puits.

Une fois l'excavation du puits terminée, puis la dalle buton située au fond réalisée, une partie des butons provisoires peuvent être démontés pour permettre la réalisation du cadre de transition. Le puits est ensuite rempli d'eau afin de permettre la démolition de la paroi moulée sud et le raccordement ultérieur avec le caisson immergé. Après connexion avec les caissons, c'est au tour de la paroi nord du puits d'être percée, à l'intérieur du cadre de transition, pour assurer le passage vers la tranchée couverte.

Une sous-station électrique est également installée dans la zone nord. Elle est appuyée sur les parois de la tranchée couverte.

En marge de ces travaux concernant les structures définitives, le tracé intercepte une voirie locale (Tyne View Terrace) nécessitant une déviation puis le rétablissement temporaire au moyen d'un pont métallique provisoire s'appuyant sur les parois déjà construites, ainsi que de nombreux réseaux. Les plus significatifs sont :

→ Un émissaire d'eaux pluviales qui a dû être dévié et un ouvrage spécifiquement construit plus en aval, au dessus de la dalle supérieure de la tranchée couverte pour lui permettre de traverser le projet avec une pente acceptable.

→ Un « overflow » dévié pour rester à l'ouest du tracé (et éviter un ouvrage de

traversée) mais nécessitant une nouvelle canalisation sur plus de 250 m.

→ Les réseaux situés sur Tyne View Terrace (eau, électricité).

→ Un câble électrique 30 KV.

→ Une conduite de gaz.

Le tunnel immergé

Le tunnel immergé d'une longueur de 360 m est composé de 4 caissons de 89,6 m de longueur et d'un poids d'environ 10 000 tonnes, chaque caisson étant lui-même composé de 4 segments (A, B, C, D) de 22,4 m (photo 1).

Les segments sont disjoints mais des clés de cisaillement sont ménagées entre chaque segment (y compris entre deux caissons) dans les voiles ouest et central ainsi que dans les dalles hautes et basses. L'étanchéité entre deux segments est assurée par des joints water stop.

Du fait du profil en long du projet, le point bas se trouve au droit du segment 2B. Le radier de cet élément est donc atypique puisqu'il incorpore dans son épaisseur le puits de drainage du tunnel.

Les caissons sont fabriqués dans une darse située à environ 3 km en amont du projet (photo 5). Une couche de forme a été installée afin d'ajuster le fond de la darse au profil en long des caissons. L'ensemble des quatre caissons en construction loge dans la darse. Après la réalisation des radiers, les voiles (extérieurs et intérieur) ainsi que le toit sont réalisés simultanément à l'aide d'un coffrage tunnel, segment par segment.

Afin de limiter les effets négatifs liés à l'exothermie du béton, en particulier d'un point de vue de la fissuration, les voiles sont munis d'un réseau de canalisations permettant de refroidir le béton pendant sa prise.

Les cloisons étanches à chaque extrémité, les réservoirs pour le ballastage et autres équipements temporaires sont installés au fur et à mesure de la construction. Les caissons sont mis en précontrainte et les câbles injectés avant mise en eau de la darse en vue des phases de remorquage et d'immersion. A cet effet chaque caisson est muni de 10 câbles 12T15, 4 dans le radier et 6 dans le hourdis. Les câbles sont par la suite coupés à chaque jonction de segment.

Après mise en eau de la darse, les caissons 1 et 2 sont remorqués vers le lieu de l'immersion, tandis que les caissons 3 et 4 restent à l'intérieur et ballastés afin de conserver leur position initiale. Les caissons sont numérotés

de 1 à 4 en allant du sud au nord, et la pose planifiée dans l'ordre 1, 2, 4 et 3.

A l'issue de sa phase d'immersion, chaque caisson repose, par l'intermédiaire de vérins, sur des blocs en béton préalablement positionnés en fond de fouille. Le contact entre deux caissons (ou avec la structure de transition) est réalisé par pompage de l'eau se trouvant entre deux cloisons étanches consécutives. Une fois installé à sa position définitive, un sable de fondation est injecté sous le caisson puis les vérins rétractés.

L'étanchéité entre les caissons est assurée en phase provisoire par des joints Gina et en phase permanente par des joints Ω , tous deux de marque Trelleborg.

Les joints Gina sont placés sur des cadres métallique IPE 500 traités par une double couche de revêtement époxy.

Le joint de clavage est placé entre les caissons 3 et 4. D'une longueur d'environ 1,5 m, il est réalisé à l'aide d'un coffrage posé sous l'eau et de béton coulé en place.

Les opérations sont complétées par le remblaiement de la fouille puis la pose d'enrochements prévus pour résister à la chute ou au traînage d'une ancre, et à l'érosion due au passage des navires.

Du fait de l'utilisation d'un béton répondant à des spécifications très sévères vis-à-vis de la durabilité, l'usage de protection cathodique n'a pas été retenu sur cet ouvrage, le risque d'initiation de la corrosion pendant la durée de vie de l'ouvrage étant considéré comme négligeable. En revanche une continuité électrique des armatures est mise en place afin de pouvoir permettre ultérieurement l'installation d'une protection cathodique.

En outre, comme prévu dans le contrat, un système de monitoring de la corrosion, basé sur la présence d'une demi-douzaine d'électrodes réparties sur le pourtour de la section est installé sur deux segments.

La zone sud

Au sud de la Tyne, le projet se développe sur le territoire plus urbanisé de la commune de Jarrow Cette partie du projet se caractérise par une typologie de structures assez variée (photo 7).

A partir de la frontière avec le tunnel immergé constituée par une structure de transition pratiquement symétrique de celle du nord, bien qu'ancrée plus profondément dans le rocher et nécessitant l'utilisation d'une hydrofraise pour

le creusement de la paroi moulée, le projet se prolonge par une tranchée couverte sur environ 500 m.

En deux endroits néanmoins, la tranchée couverte est interrompue pour laisser place à un tunnel foré afin d'éviter la déviation de réseaux sensibles (conduite de gaz et émissaires d'eaux usées). Ces deux tunnels ont respectivement 36 et 45 m de long et seront creusés de manière traditionnelle à l'abri de voûtes parapluies. Le premier repose sur le substratum rocher et loge en partie dans les « laminated clay » alors que le second, plus haut est fondé dans cette dernière couche. La présence des « laminated clay », qui comme on l'a vu contiennent des intercalations de lentilles silteuses, présente un risque important de venues d'eau et d'instabilité du front. Un drainage est prévu afin de limiter ce risque.

Compte tenu de sa profondeur, la tranchée couverte est munie sur plus de la moitié de sa longueur d'un troisième niveau de dalle agissant à terme comme un buton définitif.

Plus au sud, la zone en paroi moulée se prolonge sur environ 180 m par une structure composée de pieux contigus en phase provisoire à l'abri desquels est construit un cadre en béton armé. Enfin à l'approche de la sortie sud, le tunnel se transforme en une structure en cadre réalisé à ciel ouvert après terrassement. Dans cette partie du projet le nouveau tunnel vient rejoindre le tunnel existant qui sera recouvert de poutres-dalles fondées côté ouest sur des appuis nouvellement créés et, côté est, sur la structure en cadre déjà réalisée.

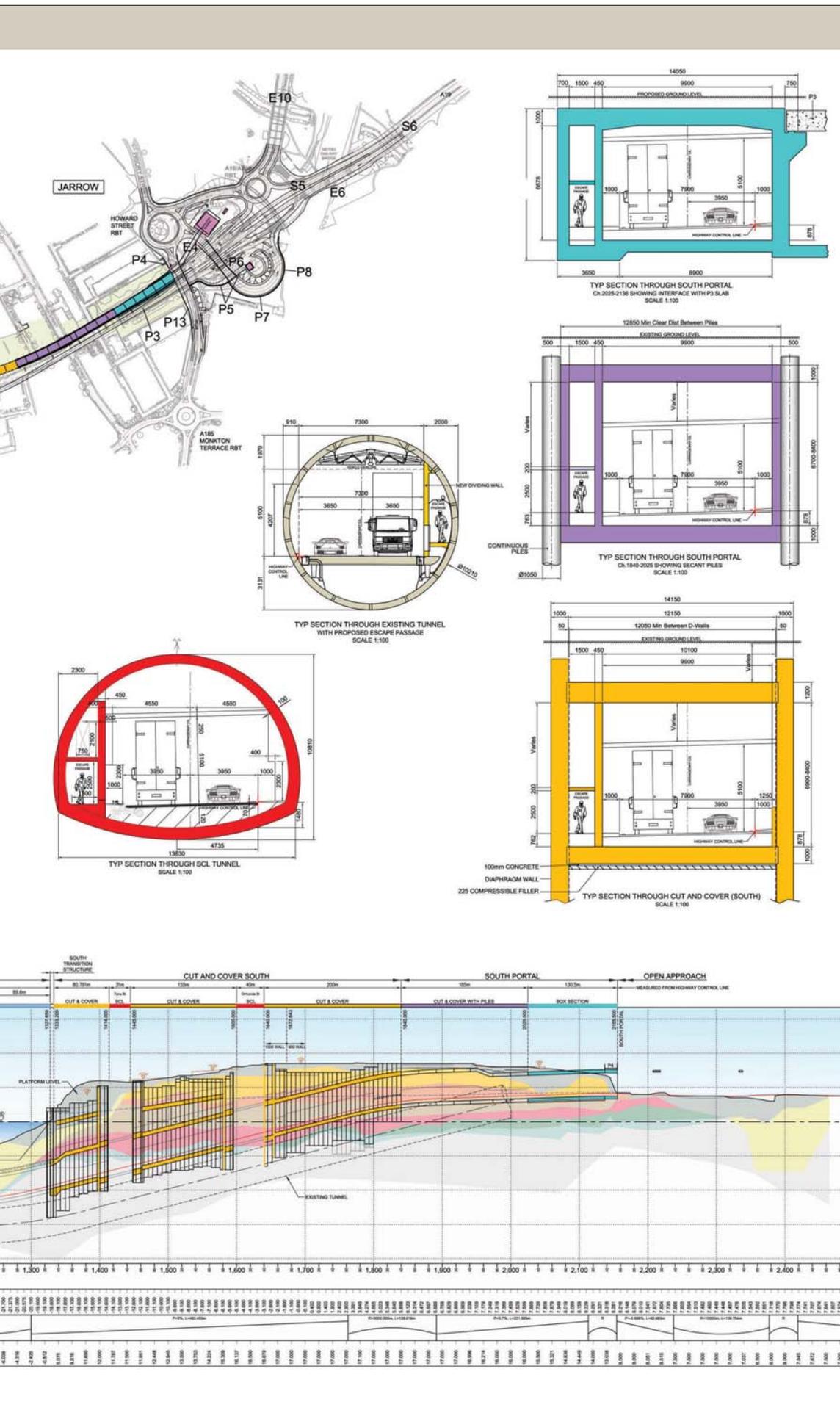
Le tunnel existant, à son extrémité sud, est ponctué d'un pont cadre (P4) permettant le passage en partie supérieure d'une voirie locale. Ce pont n'offrant pas le passage suffisant aux deux sens de circulation en phase d'exploitation, il est remplacé par un ouvrage à deux travées qui lui est presque mitoyen coté nord.

Cet ouvrage constitue in fine le portail sud commun au deux tunnels, nouveau et existant.

A l'image de la zone nord, deux ponts provisoires sont prévus au droit de voiries locales à dévier pendant la durée des travaux.

L'échangeur de Jarrow

Cette section du projet constitue une partie sensible dans la mesure où un nouvel échangeur doit être construit en lieu et place de l'ancien sans pour autant interrompre le trafic. De plus la nouvelle configuration de l'échangeur ▷



impose un remodelage des rampes d'accès dont certaines se rapprochent des zones pavillonnaires qui se trouvent à l'ouest et au nord de l'échangeur. En plus des difficultés techniques inhérentes à la construction d'ouvrages sous circulation, la période des travaux induit d'inévitables modifications du trafic à l'entrée du tunnel et de nombreuses consultations avec les autorités, le concessionnaire et les riverains.

D'un point de vue technique, outre le pont P4 à reconstruire, la nouvelle rampe d'accès au tunnel nécessite la construction d'un ouvrage (dit P6) à trois travées (à poutres préfabriquées précontraintes, comme P4), prolongé de murs en terre renforcée, d'un nouveau rond-point ainsi que de nouvelles bretelles d'accès et de sortie. Un bâtiment est également installé sur ce site. Il abrite des locaux techniques un réservoir de 200 m³ destiné aux hydrants et au système de brumisation, ainsi qu'une usine d'extraction.

Les équipements électromécaniques

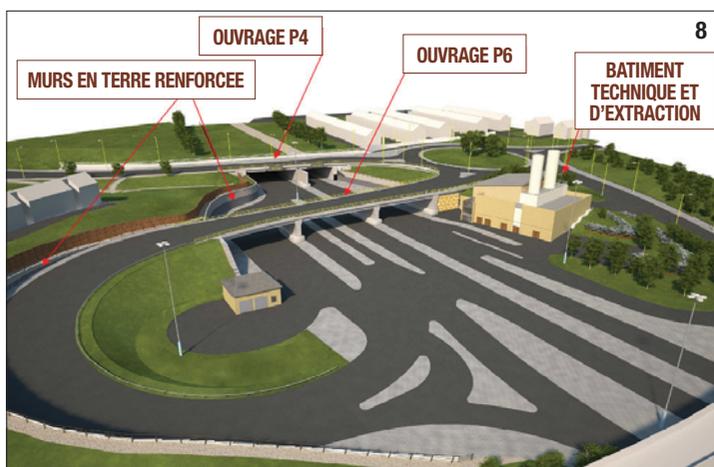
Sans pouvoir entrer ici dans une description complète des systèmes électromécaniques installés dans le cadre de ce projet, il est néanmoins intéressant de s'attarder sur l'un d'eux, le système de brumisation.

Bien que le tunnel soit conçu pour résister à un feu de 100MW et une courbe HCM (ventilation et protection passive dimensionnées en conséquence), dès la période de pré-développement et sous la pression des pompiers, s'est posée la question de l'intérêt d'un système de protection active.

Dans ce but, une « cost-benefit analysis » a été lancée afin d'estimer si l'investissement dans un système de protection active pouvait ou non être bénéfique pour la collectivité (réduction du nombre de victimes ou blessés, des encombrements consécutifs à la fermeture ou aux réparations dans le tunnel...). Compte tenu de la diversité et variabilité des paramètres à prendre en compte, des simulations de type Monte-Carlo ont été nécessaires.

Le résultat de cette étude a montré que le système de brumisation avait un impact positif, et il a donc été intégré dans les spécifications du projet avant la signature du contrat.

Il convient de noter que ce système est venu en complément de la protection passive qui reste une obligation contractuelle. Le tunnel de Tyne va devenir ainsi le premier tunnel de



- 5- Vue d'ensemble.
- 6- La zone nord au voisinage de la Tyne.
- 7- L'extrémité sud et l'échangeur de Jarrow.
- 8- Vue de l'échangeur terminé.

- 5- General view.
- 6- Northern area in the vicinity of the Tyne.
- 7- Southern end and Jarrow interchange.
- 8- View of the completed interchange.

Grande Bretagne à être équipé d'un système de brumisation. Ce système sera également installé dans le tunnel existant.

Le tunnel existant

La rénovation du tunnel existant fait partie intégrante du projet même si sa réalisation est décalée dans le temps du fait que les travaux y sont quasiment impossibles avant l'ouverture du nouveau tunnel.

Les travaux de rénovation comportent deux volets. L'un consiste en la création d'une galerie d'évacuation (qui a été d'ailleurs un argument dans le choix de l'offre proposée par Bouygues TP) et l'autre en la remise en état et aux normes de certains équipements tels que l'éclairage, la signalisation, le drainage, la ventilation, etc.

→ Les travaux de génie civil
La construction d'une galerie d'évacuation coté voie lente, implique le réaligement des voies de circulation et de fait la démolition des passages surélevés qui faisaient office jusque là de chemin d'évacuation et abritaient les buses d'amenée d'air frais. La structure même du tunnel (constitué de voussoirs en fonte boulonnés) ainsi que la dalle de roulement en béton ne sont pas concernés par les travaux de rénovation

→ Les équipements
La rénovation des équipements englobe notamment :

- La ventilation : il s'agit de remplacer la ventilation transversale existante alimentée par deux usines de ventilation situées au nord et au milieu du tracé par une ventilation longitudinale et des ventilateurs situés en voûte.
- L'installation d'une protection passive.
- L'installation d'un système de brumisation.
- La rénovation du drainage, de l'éclairage, de la signalisation...
- La rénovation de la plateforme de péage puisque celle existante bidirectionnelle n'est plus adaptée à la nouvelle configuration.
- La rénovation du bâtiment d'exploitation (commun aux deux tunnels) et la gestion technique centralisée.

LES ASPECTS TRANSVERSAUX

Les permis

Désignés par le terme d'« Approval & Consents », ils prennent leur origine dans le « River Tyne (Tunnel) Order » par lequel le Secrétaire d'Etat aux Transports transfère à TWITA les pouvoirs pour la réalisation du projet de Tyne Crossing. Cet « Order » s'accompagne d'un certain nombre de condi-

tions devant être levées pendant la phase de construction. Ces conditions sont principalement liées à des questions environnementales mais l'une des obligations est aussi de proposer une « phasing strategy ».

La « phasing strategy » consiste à découper le projet en phases chronologiques (6 phases, allant des travaux préparatoires à l'aménagement paysager) et géographiques, et à soumettre aux autorités (« councils ») les demandes de permis phase par phase.

Chaque phase nécessite une description assez précise des travaux à réaliser sans oublier l'impact possible sur les riverains (bruit, poussière...).

L'écueil est que ces informations ne sont pas toujours bien connues au stade où les demandes de permis se doivent d'être formulées, du fait par exemple d'une adaptation possible des structures, des méthodes... ce qui peut être de nature à retarder leur soumission et en conséquence le démarrage de certaines activités.

En fait il est apparu que ces exigences liées aux permis, traditionnelles en Angleterre dans le cadre d'un contrat classique, sont d'application délicate dans le cas d'un DBFO.

Les déviations de réseaux et de voirie

La présence de voiries et réseaux n'est pas sans impact sur l'enchaînement et le programme des travaux. La planification des déviations a été rendue plus complexe par le fait que les concessionnaires n'ont qu'une connaissance imparfaite de leurs réseaux (nature et position) et malgré les reconnaissances préalablement effectuées, un certain nombre d'incon-

nues et d'erreurs ont subsisté. De plus les discussions avec les concessionnaires ont dans l'ensemble été délicates ces derniers ayant finalement peu de considération pour le programme du chantier et voyant surtout dans l'opération l'opportunité de renouveler une partie de leur réseau.

L'environnement

Dès l'appel d'offre, l'environnement a été une préoccupation majeure sur ce projet du fait de son imbrication dans le tissu urbain et de la présence de la Tyne.

Deux catégories peuvent être distinguées suivant que l'impact concerne les riverains ou le milieu naturel (végétation, pollution des sols, de l'eau).

Dans le premier cas, des études et mesures ont été réalisées dès le démarrage du projet afin de déterminer un point de référence et envisager les différents moyens permettant de limiter l'impact sur le voisinage :

→ Pendant la phase travaux, il s'agit en particulier de mesures de bruit afin de vérifier que l'impact du chantier ne dépasse pas 10db ou encore de mesures de poussières, à comparer à des valeurs préalablement acceptées par les Autorités.

→ Pour la phase d'exploitation, c'est par exemple l'installation d'écrans anti bruit. Au sud, une usine d'extraction, sera construite (figure 8) dans le but de diminuer le taux de NO2 au voisinage des habitations.

L'impact sur le milieu naturel se traduit par des dispositions telles que :

→ L'inspection par un spécialiste des arbres avant leur abattage afin de vérifier l'absence de nids d'oiseaux.

→ La définition de critères très stricts

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

TRAVAUX :

PAROIS MOULÉES, PIEUX CONTIGUS : Bachy Solétanche UK

CAISSON IMMERGÉ : Volker Stevin Marine/Volker Stevin UK

DRAGAGES : Jan de Nul

TERRASSEMENTS : Holystone / Sirius

PONTS PROVISOIRES : Maybey

CHAUSSÉES : Colas

ETUDES :

CAISSONS, TRANCHÉE COUVERTE NORD ET SUD (PARTIELLEMENT), ROUTES, OUVRAGES DE JARROW, PONTS PROVISOIRES, PERMIS : HPR (lead designer d'un groupement HPR/Parsons Brinckerhoff /Faber Maunsell)

TRANCHÉE COUVERTE SUD (CH 1350-1670) : BYTP

TUNNELS : BYTP

OUVRAGES PROVISOIRES : Fairhurst

EQUIPEMENTS ÉLECTROMÉCANIQUES : Halcrow

CAT III CHECKER : Hyder

sur la réutilisation des terrains pollués issus des déblais.

→ La surveillance de la turbidité et de la teneur en oxygène dissous dans la Tyne lors des opérations de dragage, les travaux pouvant être interrompus si les critères ne sont pas respectés.

CONCLUSION

Véritable challenge dans un pays nouveau pour Bouygues TP ce projet se révèle aussi très dense du fait de la grande variété des sujets à aborder.

Un peu plus d'un an après le démarrage, le paysage au voisinage du chantier a déjà considérablement changé, mais il reste encore heureusement de nombreux défis à relever. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

EXCAVATIONS : 400 000 m³

REMBLAIS : 100 000 m³

DRAGAGE : 370 000 m³

BÉTON : 120 000 m³

ARMATURES ACIER : 20 500 t

PAROIS MOULÉES (Y COMPRIS PIEUX) : 45 000 m²

PALPLANCHES ET COMBI WALLS : 3 800 t

ABSTRACT

NEWCASTLE (UK): A TOLL TUNNEL UNDER THE TYNE

NICOLAS CAILLE, BOUYGUES TP - LOUIS BALLESTEROS, BOUYGUES TP

This article describes the New Tyne Crossing concession project in Newcastle (United Kingdom), carried out by Bouygues TP.

The project, lasting 48 months, is designed to double the capacity of the existing tunnel, which is now completely saturated. It involves the construction of a submerged tunnel and its access ramps, over a total length of about 2,500 m, renovation of the existing tunnel and operation of the whole complex over a 30-year period. □

NEWCASTLE (U.K.): UN TUNEL DE PEAJE BAJO EL RÍO TYNE

NICOLAS CAILLE, BOUYGUES TP - LOUIS BALLESTEROS, BOUYGUES TP

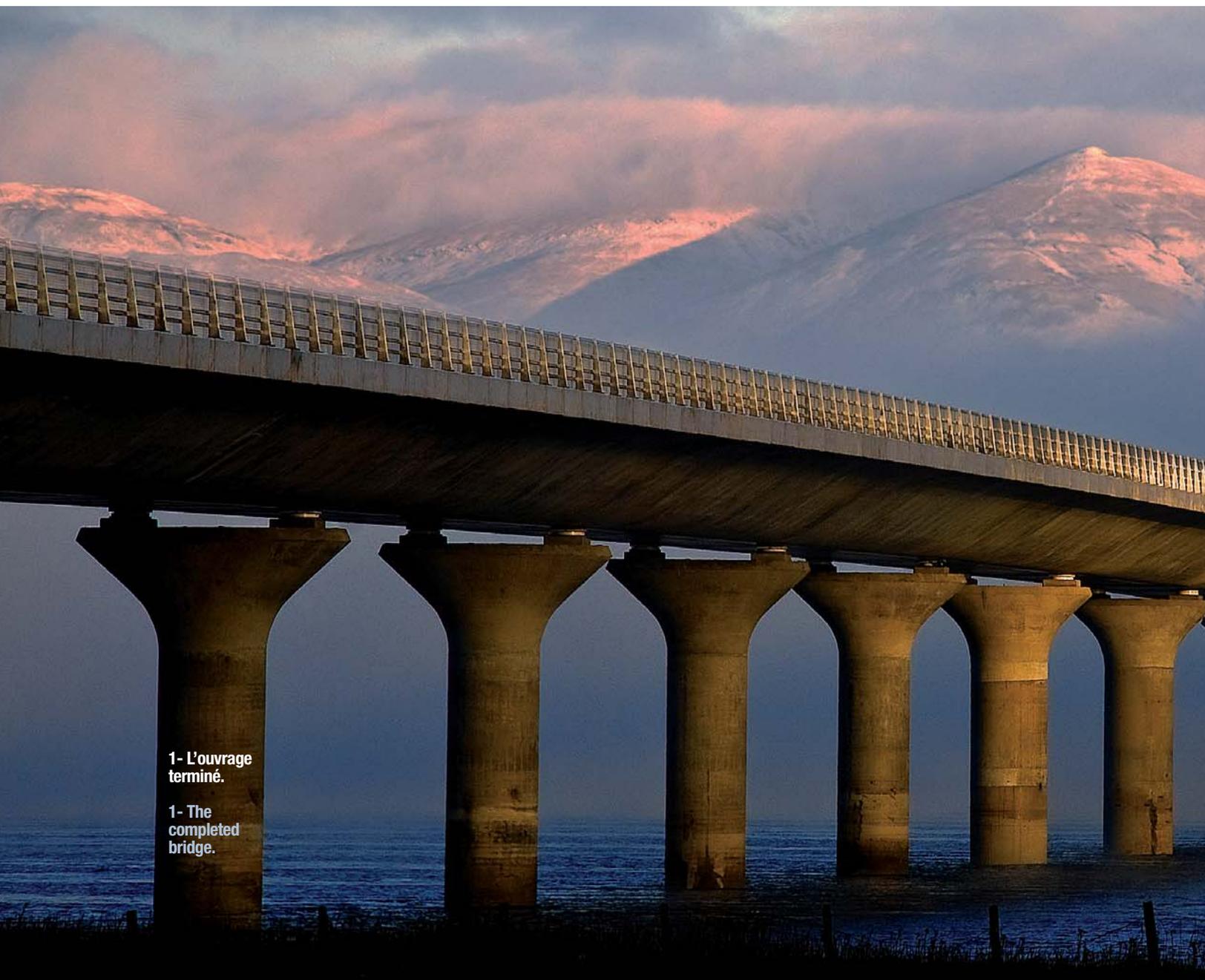
En el presente artículo se describe el proyecto en concesión de New Tyne Crossing en Newcastle (Reino Unido) ejecutado por Bouygues TP.

Con un plazo de 48 meses, el proyecto tiene como objetivo duplicar la capacidad del túnel existente, completamente saturado en la actualidad. Este proyecto incluye la construcción de un túnel sumergido y de sus rampas de acceso, sobre una longitud total de unos 2.500 metros, la renovación del túnel existente y la explotación del conjunto para una duración de 30 años. □

PONT POUSSÉ À KINCARDINE - ÉCOSSE

AUTEURS : PIERRE VILLARD, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - FRANCIS GUINCHARD, DIRECTEUR DE LA TECHNIQUE ET DE LA CONSTRUCTION DU VIADUC, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - EMMANUEL LAUNAY, DIRECTEUR DES TRAVAUX DE FONDATIONS ET DES APPUIS, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - CÉDRIC NEULAT, INGÉNIEUR TRAVAUX EN CHARGE DU TABLIER, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

UN PREMIER OUVRAGE DE TRAVERSÉE DE L'ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE FORTH, À HAUTEUR DU BOURG DE KINCARDINE (À QUELQUE 45 KM EN AMONT D'EDIMBOURG), A ÉTÉ OUVERT À LA CIRCULATION EN 1936. LE GOUVERNEMENT ÉCOSSAIS A DÉCIDÉ LA CRÉATION D'UNE NOUVELLE TRAVERSÉE DITE « UPPER FORTH CROSSING AT KINCARDINE » EN AMONT DU PONT EXISTANT. CETTE NOUVELLE TRAVERSÉE, UTILISÉE SEULE DANS UN PREMIER TEMPS AFIN DE PERMETTRE LA RÉFECTION DE LA TRAVERSÉE EXISTANTE, PROMET, LORSQUE LES DEUX TRAVERSÉES SERONT EN SERVICE, UN MEILLEUR ÉCOULEMENT DU TRAFIC EN SÉPARANT LES FLUX DE CIRCULATION ENTRE SUD ET NORD-OUEST DE L'ÉCOSSE D'UNE PART, ENTRE SUD ET NORD-EST D'AUTRE PART.



1- L'ouvrage
terminé.

1- The
completed
bridge.

En février 2006, le groupement constitué de VINCI Construction Grands Projets associé à l'entreprise britannique Morgan Est, a été déclaré adjudicataire de la conception-construction de cette nouvelle traversée. Pour la mise au point de l'offre et le développement des études de détail, le groupement Morgan VINCI a sélectionné et mobilisé quatre bureaux d'études britanniques, dont Benaim et Gifford respectivement chargés des études de l'ouvrage principal et du contrôle indépendant de ces études. L'administration écossaise a confié la maîtrise d'œuvre à la société d'ingénierie Jacobs. Le nouveau tracé, d'une longueur totale

de 6,4 km, doit considérablement soulager l'axe existant. Le tracé franchit l'estuaire avec un biais prononcé de 40°. Ce tracé biais a été retenu car il apporte la meilleure réponse aux fortes contraintes environnementales : au Sud, il limite l'impact sur les présalés et zones inondables, au Nord il utilise au mieux une partie de l'emprise libérée par la démolition d'une centrale thermique désaffectée.

LES ATTENTES DU CLIENT

Pour l'ouvrage principal de franchissement de l'estuaire, le dossier d'appel d'offres requiert un ouvrage de haute qualité architecturale d'une longueur totale de 1 188 m répartis en 26 tra-

versées : 2 travées d'extrémité de 36 m, 21 travées courantes de 45 m et 2 travées de 53 m encadrant une travée de 65 m franchissant la passe navigable. Le tirant d'air minimum de la passe navigable est de 9,20 m à toutes marées. Deux piles de part et d'autre de cette passe, soit quatre piles, doivent reprendre le choc éventuel d'un bateau de 750 tonnes.

Le tablier supporte trois voies de circulation encadrées par un trottoir piétons de 1 m de large et une piste cyclable de 2,50 m de large. La largeur totale du tablier est de 17,5 m y compris les corniches et dispositifs de retenue.

Le dossier d'appel d'offres présente un tablier de 2 m d'épaisseur, en ali-

gnement droit avec un rayon de courbure dans le plan vertical d'environ 29 000 m et une sous-face à double courbure reposant sur une seule ligne de piles de section circulaire, toute solution faisant reposer le tablier sur deux files parallèles étant exclue car une telle disposition combinée au biais de 40° se traduirait du point de vue visuel par un effet « forêt » de piles.

LE PROJET PROPOSÉ

Le projet proposé est le résultat d'une réflexion conjointe entre les équipes techniques de VINCI Construction Grands Projets, Morgan Est et le designer retenu Benaim. Après l'examen des différentes variantes évaluées, il est ressorti que la solution répondant le mieux aux attentes du client est celle d'un caisson béton réalisé par poussage depuis la seule rive Nord à mesure de la préfabrication du tablier. Un pont poussé avec un caisson à trois cellules d'une hauteur de 2,80 m a donc été proposé. Cette solution panachait précontrainte centrée intérieure au béton mise en œuvre avant poussage et précontrainte extérieure déviée mise en œuvre après poussage.

Les piles circulaires, d'un diamètre de 3,75 m comme spécifié par le dossier d'appel d'offres, reposaient sur des mono-pieux forés d'un diamètre de 3 m. Plutôt que des groupes de pieux de plus petit diamètre, cette option permettait de supprimer les semelles de transition entre pieux et piles et donc les batardeaux nécessaires à la construction des semelles en rivière. En revanche, à ce stade de l'étude compte tenu du choc de bateau, les 2 piles de part et d'autre de la passe de navigation reposaient sur des groupes de trois pieux de 3 m et nécessitaient donc des semelles de transition pieux-piles réalisées à l'abri de batardeaux provisoires.

LE PROJET RETENU ET SON DÉVELOPPEMENT

Dès le contrat signé, un important programme d'optimisation des fondamentaux du projet proposé a été lancé par les équipes de Morgan VINCI et Benaim dans lequel les représentants du client et de son maître d'œuvre se sont fortement impliqués.

Parmi les options proposées qui ont été revues et améliorées citons notamment (figure 2) :

→ La partie plane en sous-face du tablier, élargie pour simplifier les dispositions de poussage et d'implantation des appuis définitifs.



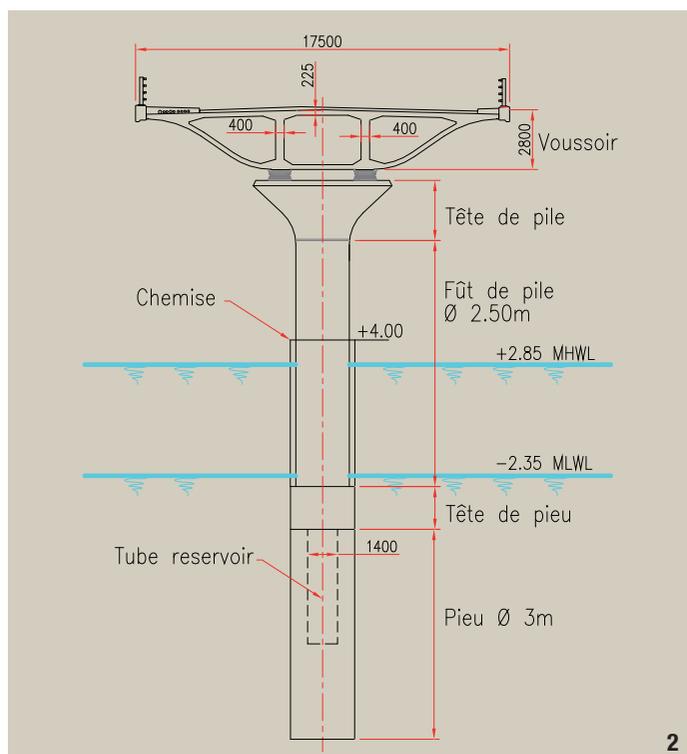
→ La précontrainte centrée mise en œuvre avant poussage, rendue extérieure au béton avec pour effet l'adoption d'un critère de fissuration sous phases de construction moins contraignant.

→ Le traitement architectural des piles et chevêtres a été développé par le cabinet Yee Associates mobilisé par Morgan VINCI. Par itérations successives les exigences esthétiques du cahier des charges et les contraintes structurales ont ainsi été satisfaites.

→ L'intensité du choc de bateau pris

en compte qui a pu être réduite. Cette réduction, alliée à la répartition des efforts par un fonctionnement en portique piles / tablier, a permis d'étendre aux piles spéciales le principe du mono-pieu ; d'abord fixé à 4,50 m par le designer, ce diamètre a été réduit à 3,85 m pour rester dans les limites du matériel mobilisé pour les pieux des piles courantes.

→ Le cahier des charges n'autorisait qu'un seul diamètre pour les fûts de pile. Le client a accepté de déroger à cette règle. Deux diamètres ont été



LA PRINCIPALE INNOVATION DE CE PROJET EST LE RECOURS À DES MONO-PIEUX DE 3 M ET 3,85 M DE DIAMÈTRE RESPECTIF POUR LES PILES COURANTES ET SPÉCIALES

2- Coupe type.

3- La barge Excalibur.

4- Le coffrage des piles et chevêtres.

5- Les accès provisoires.

2- Typical cross section.

3- Excalibur barge.

4- Formwork for piers and caps.

5- Temporary approaches.

finalement retenus : 2,50 m pour les piles courantes et 3 m pour les 4 piles impactées par le choc de bateau. Ces diamètres associés à des diamètres de pieux de respectivement 3 m et 3,85 m ont permis de construire la partie basse des fûts de pile dans la hauteur de marée à l'intérieur des chemises des mono-pieux.

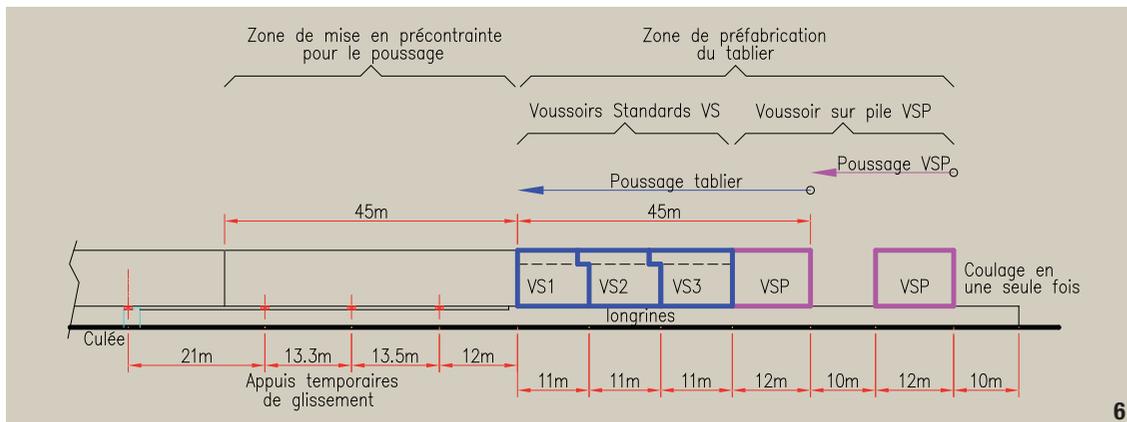
LE DESIGN DES FONDATIONS

Le sous-sol de l'estuaire est formé de dépôts alluvionnaires et glaciaires surmontant le socle rocheux carbonifère. Ces couches alternées de marnes et grès sont faillées. En surface le sous-sol est constitué de sables et graviers plus ou moins denses reposant sur des argiles. La première campagne de reconnaissance offshore réalisée en 2004 pour mise au point de l'avant-projet a été complétée par une seconde campagne menée à l'été 2006 par Morgan VINCI pour disposer au minimum d'un sondage au droit de chaque pile. Sur le tracé de l'ouvrage, les profondeurs d'eau varient de 0 à 9 m aux plus fortes marées.

Trois types de pieux ont été retenus. Les ouvrages à terre en rive Nord (culée Nord, pile P1 et banc de préfabrication et poussage) sont fondés sur pieux CFA de diamètre 750 mm. Les ouvrages à terre en rive Sud (piles P22 à P25 et culée Sud) sont fondés sur 21 pieux forés de 1,50 m de diamètre.

La principale innovation de ce projet est le recours à des mono-pieux de 3 m et 3,85 m de diamètre respectif pour les piles courantes et spéciales. Ce choix, rendu possible par l'évolution constante des techniques et matériels de forage,





6- Coupe longitudinale sur banc.

6- Longitudinal section on bench.

élimine les semelles de liaison entre pieux et piles et supprime donc les batardeaux provisoires en rivière pour construction de ces semelles.

Le dimensionnement des mono-pieux dont la base est encastrée dans le rocher, combine effort de pointe et frottement latéral. Le choix des paramètres retenus a été mûrement réfléchi car les diamètres en jeu, l'environnement marin et la variabilité des conditions de sol ne permettaient pas de mener des essais de validation par chargement d'un pieu en vraie grandeur. Grâce à la somme d'informations disponibles, chaque pieu a fait l'objet d'un design « sur-mesure » pour déterminer le niveau en pied, le ferrailage et la longueur de la chemise pour la traversée des couches superficielles.

Chaque pieu a été modélisé en 2D avec des ressorts horizontaux correspondant à chaque couche traversée et vérification des pressions d'appui et déplacements du sol. Les moments de flexion

maximaux sont de l'ordre de 35 MNm, ce qui en termes de ferrailage passif ne nécessite qu'une nappe de barres de 40 mm au pas de 200 mm.

Au choc de bateau près, les 4 pieux des piles spéciales ont été dimensionnés en appliquant la même démarche que pour les pieux courants de 3 m. Le diamètre de ces 4 pieux a été volontairement limité à 3,85 m pour des motifs pratiques et économiques relatifs au matériel de forage et aux accessoires environnants. Le ferrailage est beaucoup plus conséquent que pour les pieux courants avec finalement trois nappes constituées chacune de barres de 40 mm au pas de 200 mm.

LE DESIGN DU TABLIER

En rendant tous les câbles extérieurs au béton, il est possible de partager les efforts entre précontrainte de poussage et ferrailage longitudinal du tablier. Cette approche a mis en lumière des inconsistances entre codes et stan-

dards utilisés (BS5400 et BD24) quant à la fissuration autorisée en phases de construction. Pour limiter le ferrailage longitudinal, une demande de dérogation autorisant une ouverture de fissures de 0,25 mm en construction a été déposée auprès de l'administration britannique. L'interprétation proposée et acceptée repose sur l'exploitation du caractère extérieur de la précontrainte montrant que l'application en phases provisoires d'un critère de fissuration applicable à une structure béton armé non précontrainte n'affecte pas les câbles extérieurs.

Le câblage de première phase, soit 8 câbles 19T15 (4 câbles dans la cellule centrale, 2 câbles dans chacune des 2 cellules latérales) exerce une contrainte de compression moyenne centrée de l'ordre de 2,5 MN/m² soit sensiblement la moitié de ce qu'il aurait fallu mettre en œuvre si la pleine section en compression avait dû être maintenue, faute de cette dérogation. Dans les travées courantes, 6 câbles

19T15, tous localisés dans la cellule centrale, sont tendus après poussage. Dans la travée de navigation et les travées adjacentes, ces 6 câbles 19T15 sont remplacés par 8 câbles 37T15. Au final, les densités en armatures passives et actives dans le tablier sont de l'ordre de 245 kg/m³ et 35 kg/m³.

LA CONSTRUCTION DES PIEUX

Les défis proposés par l'exécution des mono-pieux dans l'estuaire ne manquaient pas : marnage et forts courants, géologie complexe, très fortes contraintes environnementales, etc. A contexte exceptionnel, moyens exceptionnels. Ces mono-pieux ont été réalisés en sous-traitance par l'entreprise Seacore qui a mobilisé la barge auto-élévatrice Excalibur (photo 3). Cette barge de dimensions en plan 60 m x 30 m est elle-même équipée d'une grue Demag PC 1200. Cet ensemble, aux dimensions impressionnantes et plus utilisé pour les travaux au large des côtes qu'en estuaire, a dû être partiellement démonté pour pouvoir passer sous le pont existant et atteindre le site.

Les chemises métalliques – une chemise par mono-pieu – ont été roulées, soudées, assemblées en usine et livrées sur site par la route ; leur diamètre extérieur est de 3 030 mm pour les pieux de 3 m et de 3 940 mm pour les pieux de 3,85 m, la plus longue mesure 32 m, la plus lourde pèse 88 t. Déchargées par roulage depuis les remorques, des flotteurs gonflables introduits à l'intérieur, elles ont été mises à l'eau et remorquées par flottaison jusqu'à Excalibur.

Pour chaque mono-pieu, les opérations successives étaient les suivantes :

- Déplacement d'Excalibur en flottaison, positionnement par GPS et auto-vérinage sur les 8 jambes pour sortir la barge au-dessus des plus hautes eaux,
- Reprise à la grue de la chemise amenée en flottaison et vibro-fonçage ▷



7- Les poussoirs.

7- The pushers.

8- CYCLE OBJECTIF

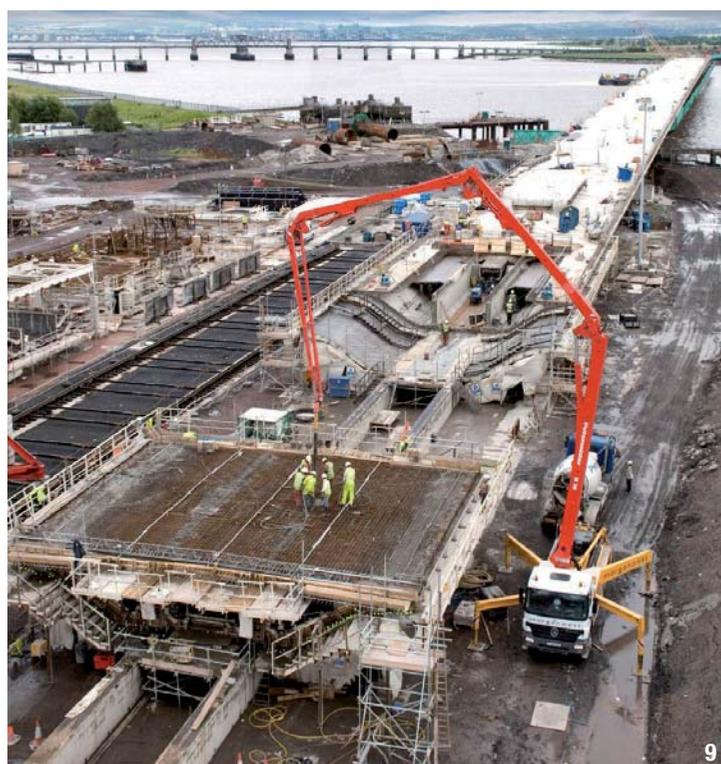
	Cycle / Préfabrication Voussoir sur Pile	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7	Jour 8
Phasage / Voussoir sur Pile	Préfabrication Voussoir sur Pile - réalisé en 1 phase						Bétonnage		
	Mise en place par poussage du Voussoir sur Pile pour réalisé Voussoir Standard n° 3 de clavage								Poussage
	Cycle / Préfabrication d'une travée	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7	Jour 8
Phasage / Travée	Préfabrication Voussoir Standard n° 1 - Phase 1		Bétonnage						
	Préfabrication Voussoir Standard n° 1 - Phase 2				Bétonnage				
	Préfabrication Voussoir Standard n° 2 - Phase 1				Bétonnage				
	Préfabrication Voussoir Standard n° 2 - Phase 2						Bétonnage		
	Mise en place par poussage du Voussoir sur Pile				Poussage				
	Préfabrication Voussoir Standard n° 3 - Phase 1						Bétonnage		
	Préfabrication Voussoir Standard n° 3 - Phase 2							Bétonnage	
	Poussage Travée sur l'aire de mise en précontrainte								Poussage

au travers du gabarit de guidage solidaire d'Excalibur,
→ Installation du matériel de forage en tête de chemise,
→ Forage en continu avec remontée et marinage des matériaux excavés à l'air-lift pour évacuation par un chaland à clapet,
→ Mise en place de la cage d'armatures préfabriquée à terre en un ou deux éléments suivant son poids,
→ Bétonnage en continu avec deux tubes plongeurs.

Le recépage des pieux est une opération pénible et longue. Dans le cas présent et en raison des diamètres et conditions particulières (arrêt de béton à - 8 m du haut de la chemise métallique), un recépage classique à l'intérieur des chemises eût été une véritable épreuve. Une solution innovante et particulièrement astucieuse a été trouvée. Le designer ayant confirmé que dans sa partie supérieure, le pieu pouvait être justifié en négligeant son cœur, il a été introduit en partie haute des cages d'armatures un tube de 5 m de hauteur, de 1,50 m de diamètre et doté d'un fond dans lequel le béton pollué, remontant en surface à mesure du bétonnage du pieu, se surverse lorsque le niveau haut du béton atteint celui du tube-réservoir. Le béton pollué est ainsi emprisonné dans ce réservoir, le béton structural en surface de l'anneau autour du réservoir est sain et n'a donc pas besoin d'être recépié. Un simple bouchardage de surface suffit pour la reprise de bétonnage avec le fût de pile.

LA CONSTRUCTION DES PILES

Les diamètres relatifs des mono-pieux et fûts de piles ont permis la construction de ces derniers à l'intérieur des chemises des mono-pieux. Se pose toutefois le problème du faible espace disponible pour insérer le coffrage du



8- Cycle objectif.
9- Le bétonnage d'un voussoir sur pile.
10- Phases de bétonnage du tablier.

8- Target cycle.
9- Concreting a segment on pier.
10- Deck concreting stages.

fût de pile à l'intérieur de la chemise et l'impossibilité d'accéder autour de ce coffrage pour le fermer, le régler et le rouvrir après bétonnage du fût de pile. L'espace annulaire théorique disponible entre fût de pile et intérieur de la chemise n'est que de 250 mm dont il faut retrancher l'incidence des tolérances de position et verticalité de la chemise qui doivent être corrigées lors de l'implantation précise de la pile. Un coffrage circulaire métallique de très faible encombrement a donc été imaginé. Celui-ci pouvait être fermé et serré avant introduction dans la chemise et les verrous de serrage sur sa hauteur complète pouvaient être ouverts après prise du béton depuis la seule plateforme de bétonnage en partie haute du coffrage. Le mécanisme

de fermeture / ouverture dit en « sapin de Noël » en raison de l'ingénieuse géométrie des serrures et commandé par un vérin hydraulique en tête a parfaitement fonctionné.

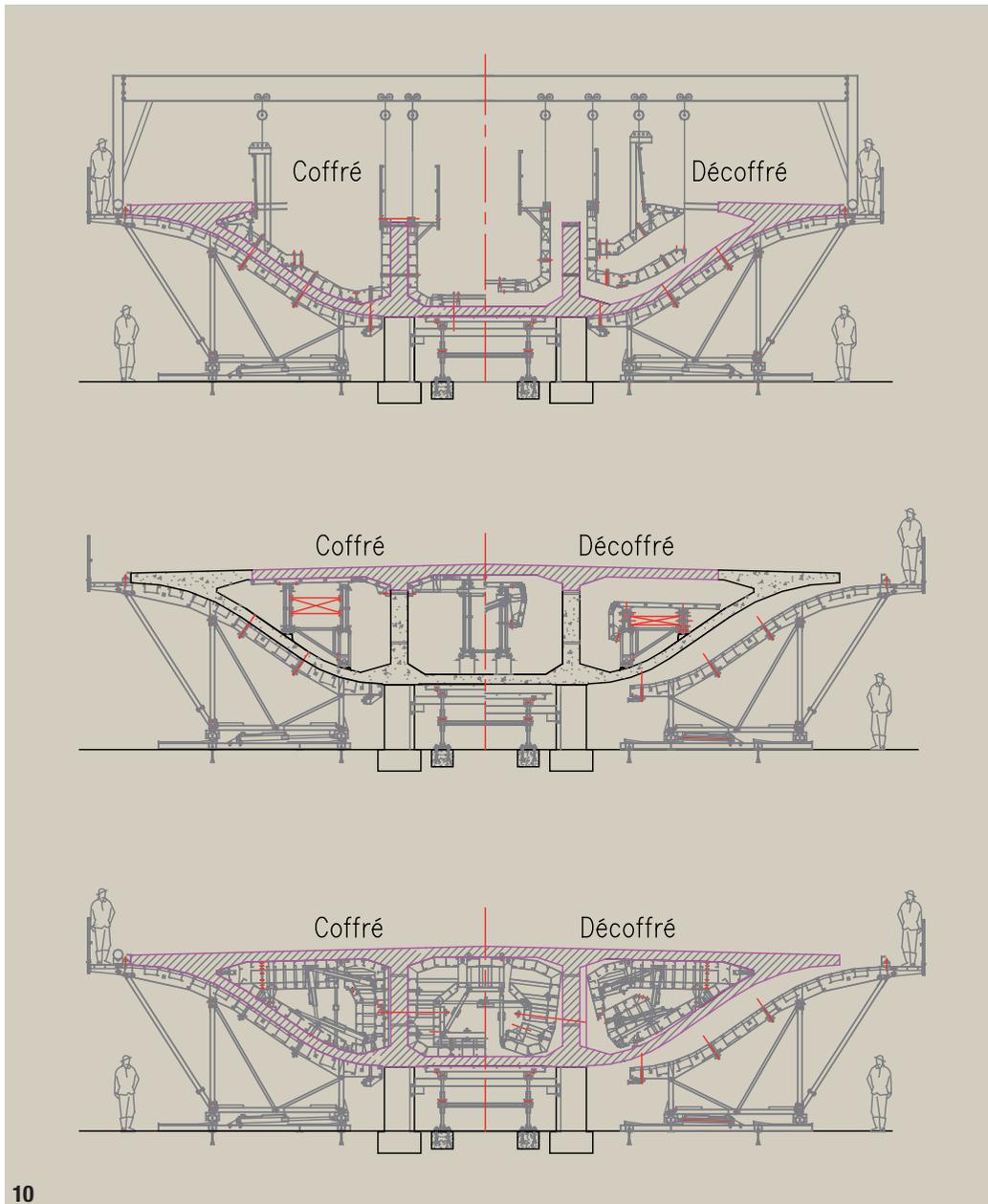
Pour réaliser les têtes de pile de forme évasée, un coffrage métallique constitué de deux demi-coquilles reposant sur une ceinture provisoirement fixée en tête de fût de pile a été conçu (photo 4). La qualité de découpe des tôles, le soin apporté à leur assemblage et à la finition des joints soudés entre elles mettent en valeur la géométrie retenue pour transition entre le fût de pile de section circulaire et la section plane elliptique sur laquelle sont disposés les appuis définitifs et divers dispositifs provisoires pendant la construction.

Les cages d'armatures des fûts de pile et chevêtres ont été assemblées à terre dans des gabarits conçus à cet effet.

LES ACCÈS AUX PILES ET PILES

Pour construire les pieux et les piles dans l'estuaire, des moyens nautiques lourds ont été mobilisés : la barge Excalibur pour réalisation des pieux, le ponton Atlas équipé d'une grue de 150 t pour la construction des piles et chevêtres, un ponton de transport pour amenée des cages de ferrailage, coffrages et outils divers et enfin un remorqueur d'assistance et de déplacement des pontons.

Ces moyens adaptés aux levages lourds ne règlent ni l'accès aux différents ateliers offshore par le personnel d'encadrement et d'exécution



10

ni l'approvisionnement du béton frais depuis la berge. Mobiliser une flotte complémentaire adaptée à ces deux besoins soulevait de nombreuses questions (sécurité des personnes aux embarquements et débarquements, risques de pollution accidentelle lors des opérations de bétonnage, faibles cadences pour le transport du béton, impossibilité d'accostage à marée basse, coût d'une telle flotte, etc.). Une réponse originale a été apportée à ces questions.

Dès lors qu'une chemise métallique non réutilisée doit être installée à chaque mono-pieu et sert déjà de batardeau provisoire pour la construction de la pile, pourquoi ne pas l'utiliser pour supporter un accès permanent depuis la rive ? Dans le cycle de réalisation du

mono-pieu type et après mise en place de la chemise et forage à l'intérieur de celle-ci il a été ajouté l'installation d'une console métallique fixée à la chemise supportant une passerelle fixe reliant cette nouvelle chemise à la chemise précédente (photo 5). Au fur et à mesure de la mise en place des tubes-chemise, un accès permanent depuis la rive a été construit et conservé pour toute la durée des travaux. Outre la circulation des personnes, cet accès a été utilisé pour distribuer le béton par pompage depuis la rive et fournir électricité, air comprimé et eau douce à chaque appui en rivière pendant toute sa construction.

L'AIRE DE PRÉFABRICATION ET POUSSAGE DU TABLIER

L'aire de préfabrication est d'une lon-

gueur totale de 125 m en amont de la culée Nord (figure 6).

Le tablier en construction repose sur deux longrines centrées sous les âmes verticales du tablier et fondées sur pieux CFA. Avant scellement sur ces longrines, les tôles de glissement ont été ajustées avec une précision de l'ordre de 0,5 mm pour minimiser les efforts parasites au poussage et limiter autant que faire se peut le coefficient de frottement apparent sur le banc en deçà de 20 %.

Dès l'étude, il était envisagé de pousser le tablier de 33 000 t en réutilisant les dispositifs de poussée déjà utilisés par Morgan VINCI pour les ouvrages TGV entre le tunnel sous la Manche et Londres. Ces pousseurs ont une capacité nominale de poussage de

1 200 t et une course élémentaire de 1 200 mm ; ils progressent le long des longrines et se bloquent sur celles-ci par serrage hydraulique (photo 7). Compte tenu du poids du tablier et du retour d'expérience des ouvrages précédents, il était prévu d'installer en cours de construction un dispositif supplémentaire au droit de la culée apportant un appont de 600 t pour disposer d'une capacité nominale totale de 1 800 t. En pratique, les mesures effectuées durant la construction ont montré que l'installation de ce dispositif d'appont ne serait pas nécessaire. Les 1 200 t de poussage installées sur le banc se sont révélées suffisantes pour toute la construction, à l'exception du poussage de l'antépénultième travée, pour laquelle il a fallu mobiliser 50 t supplémentaires lors du « décollage » de la travée en début de poussage. Au final, les coefficients de frottement moyen mesurés sur l'ensemble de la construction sont de l'ordre de 2 % sur les appuis provisoires en tête des piles et de 15 % sur le banc.

LA CONSTRUCTION DU TABLIER

Pour rentrer dans l'enveloppe du programme général de l'opération, la travée type devait être construite en 10 jours travaillés poussage compris. Méthodes et phasage ont donc été développés sur la base d'un cycle « cible » de 8 jours afin de disposer d'une certaine marge pour mise en cadence, intempéries et incidents divers (figure 8). Pour atteindre cet objectif, deux dispositions importantes ont été retenues :

→ La préfabrication du seul voussoir sur pile en moins de 5 jours ne paraissant pas envisageable, il a été décidé de le préfabriquer séparément puis de le ripper pour faire passer son cycle propre en temps masqué (photo 9).

→ En portant la longueur totale des longrines de poussage à 125 m, chaque travée courante de 45 m peut faire l'objet d'un premier poussage sur appuis multiples avant de passer la culée ; elle n'a donc besoin d'être précontrainte que pour son second déplacement. La mise en œuvre de la précontrainte de poussage est donc sortie du cycle de construction de la travée type. Cette disposition raccourcit le cycle et lisse les activités de précontrainte de la travée « n » sur la durée totale de préparation de la travée « n+1 ».

La longueur du voussoir sur pile fixée ▷



à 12 m, les 33 m restants de la travée type sont réalisés en trois voussoirs successifs de 11 m bétonnés chacun en 2 phases : hourdis inférieur et âmes en première phase, hourdis supérieur et poutres de rive en seconde phase (figure 10 et photo 11).

En pratique la durée moyenne de construction de la travée type a été de 9,5 jours travaillés, mise en cadence et impact des travées spéciales comprises. Le cycle optimum visé de 8 jours travaillés a été effectivement atteint à 2 reprises. Les matériels et accessoires de poussage (avant-bec et appuis provisoires de glissement) sont classiques avec toutefois un effort spécifique pour une implantation très précise et un entretien rigoureux pour éliminer les efforts parasites et donc limiter les efforts de poussage.

CONCLUSION

Commencée en juin 2006, cette nouvelle traversée, baptisée « Clackmannanshire bridge », a été ouverte à la circulation en novembre 2008. L'ouvrage principal est le second ouvrage poussé au monde par sa longueur (poussage total de 1 188 m depuis une seule extrémité) (photo 1). Sa conception de détail et sa construction dans un délai de 2 ans entre la réalisation du premier pieu et la pose des joints de chaussée constituent un exemple de coopération technique réussie entre les équipes des entreprises, des bureaux d'études, du client et du maître d'œuvre pour tirer le meilleur parti d'un ensemble d'idées et de solutions innovantes appliquées à un cahier des charges particulièrement exigeant en termes de qualité, de sécurité, de respect des délais et de respect d'un environnement sensible. □

11- Le ferrailage d'un voussoir courant.

12- L'ouvrage existant et la nouvelle traversée.

11- Reinforcement for an intermediate segment.

12- The existing bridge and the new crossing.

PRINCIPALES QUANTITÉS

TABLIER :

FERRAILLAGE : 3 188 t

BÉTON : 13 392 m³

PRÉCONTRAINTÉ DE POUSSAGE : 228 t

PRÉCONTRAINTÉ DE CONTINUITÉ : 218 t

PIEUX :

FERRAILLAGE : 618 t

BÉTON : 6 086 m³

PILES :

FERRAILLAGE : 408 t

BÉTON : 2 392 m³

ABSTRACT

PUSHED BRIDGE AT KINCARDINE - SCOTLAND

P. VILLARD, VINCI - F. GUINCHARD, VINCI - E. LAUNAY, VINCI - C. NEULAT, VINCI

A first bridge crossing the Forth River estuary, at the level of the village of Kincardine (about 45 km upstream of Edinburgh), was opened to traffic in 1936. The Scottish government has decided to create a new crossing called the «Upper Forth Crossing at Kincardine» upstream of the existing bridge. This new crossing, which will initially be used alone to allow renovation of the existing crossing, should, when both crossings are in service, improve the flow of traffic by separating traffic flows between South and Northwest Scotland from flows between the South and Northeast. □

PUENTE PRETENSADO EN KINCARDINE - ESCOCIA

P. VILLARD, VINCI - F. GUINCHARD, VINCI - E. LAUNAY, VINCI - C. NEULAT, VINCI

Una primera obra para atravesar el estuario del río Forth, a la altura del municipio de Kincardine (a unos 45 kilómetros aguas arriba de Edimburgo), fue abierta a la circulación en 1936. El Gobierno de Escocia tomó la decisión de realizar una nueva travesía denominada «Upper Forth Crossing at Kincardine» ubicada aguas arriba del puente existente. Esta nueva travesía, utilizada únicamente en una primera etapa para permitir la refacción de la travesía existente, vislumbra, una vez puestas en servicio ambas travesías, una mejor fluidez del tráfico al separar los flujos de circulación entre Sur y Norte-Oeste de Escocia en primer lugar, y entre Sur y Norte-Este en segundo lugar. □

SOUTÈNEMENTS DE GRANDE HAUTEUR SUR UNE VOIE EXPRESS A DAKAR. TECHNIQUES TERRAMESH SYSTEM ET GEOGRILLES

AUTEURS : MICHEL COURTAUD, RESPONSABLE AFRIQUE, FRANCE MACCAFERRI - ALIOUNE TOURE, DIRECTEUR DES TRAVAUX, EIFFAGE SÉNÉGAL - GÉRARD SENAC, PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL, EIFFAGE SÉNÉGAL

LES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT DE GRANDE HAUTEUR ONT TOUJOURS ÉTÉ DIMENSIONNÉS POUR GARANTIR UN OUVRAGE FIABLE ET PERFORMANT. AUJOURD'HUI L'APPROCHE DE LA CONCEPTION A ÉVOLUÉ PUISQUE LA SENSIBILITÉ ENVIRONNEMENTALE EST DEVENUE PARTIE INTÉGRANTE DU PROCESSUS DÉCISIONNEL. LE CHALLENGE DU CHANTIER DE LA VOIE EXPRESS DE DAKAR A ÉTÉ DE TROUVER, POUR UN SOUTÈNEMENT DE 16 MÈTRES DE HAUT, LA SOLUTION PERFORMANTE, ADAPTÉE, QUI S'INTÈGRE DANS LE SITE ET À UN COÛT DE CONSTRUCTION AVANTAGEUX. DÈS LORS, LE CHOIX D'UNE SOLUTION TERRAMESH SYSTEM À PAREMENT MINÉRAL, ASSOCIÉ À DES GÉOGRILLES DE RENFORT À HAUTE RÉSISTANCE MÉCANIQUE, S'EST IMPOSÉ POUR LA CONSTRUCTION D'UN OUVRAGE DE GRANDE HAUTEUR EN FRONT DE MER ET SITE PROTÉGÉ.



1- Vue d'ensemble du soutènement en Terramesh System.

1- General view of the Terramesh System supporting structure.

UN PROJET QUI S'INSCRIT DANS L'URBANISATION DE DAKAR

Dans le cadre de l'organisation, en 2008, de la Conférence des États Islamiques (O.C.I.) à Dakar au Sénégal, le gouvernement sénégalais s'est engagé dans de grands travaux de désencla-

vement et d'urbanisation de la ville. En particulier, la réalisation d'une voie express, deux fois deux voies, qui relie le quartier résidentiel des Almadies à la corniche de Dakar.

Le début du tracé de cette rocade passe au pied des « Deux Mamelles »

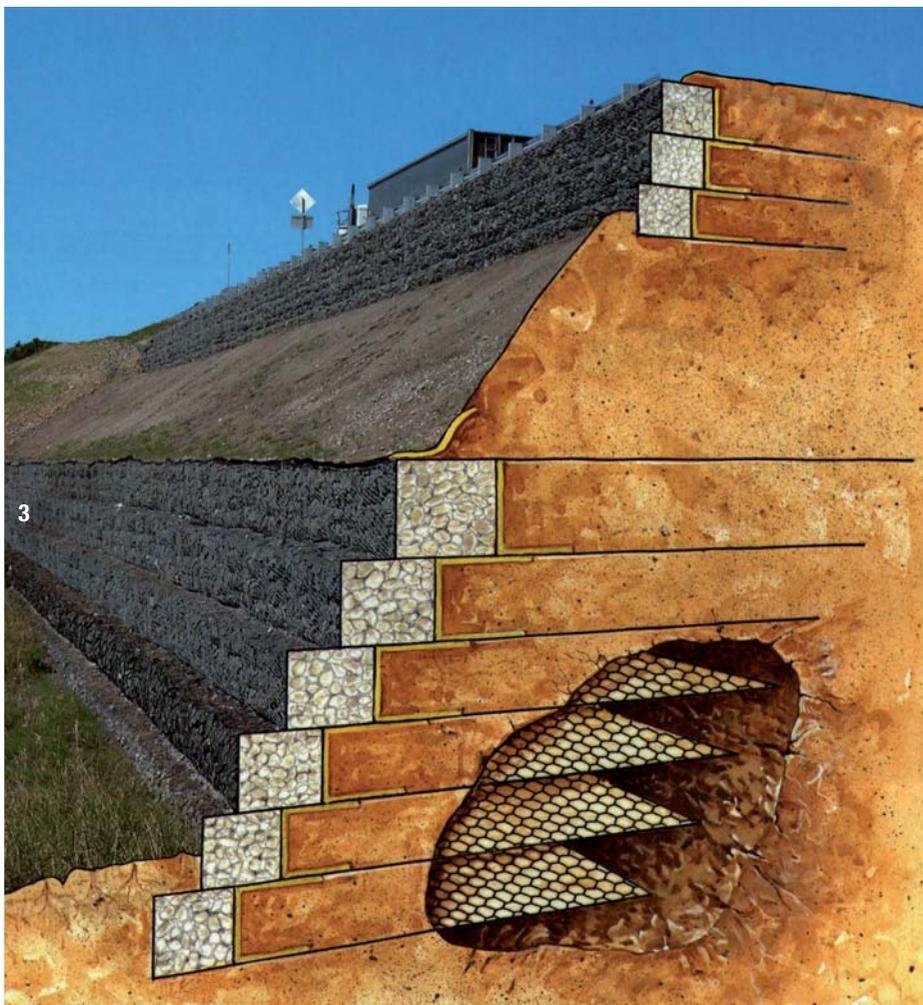
anciens volcans à la Pointe du Cap Vert et suit le front de mer, en aérien, au-dessus de la mosquée de la Divinité (photo 2).

Le site des « Deux Mamelles », ainsi que le site de la mosquée de la Divinité sont des sites protégés.

Pour réaliser l'ouvrage de soutènement majeur, hauteur maximale 16 m, et l'intégrer architecturalement, la société Eiffage Sénégal, ex-Fougerolle, titulaire du marché a choisi d'adapter au site la solution France Maccaferri : remblai renforcé par des géogrilles à très



2



3

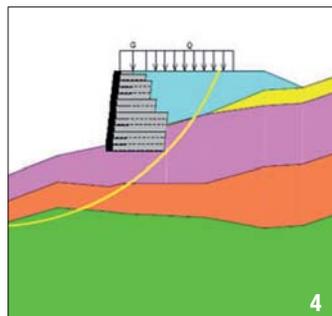
haute résistance mécanique, avec un parement minéral de type Terramesh System.

À noter que ce procédé, a déjà été réalisé par le groupe Eiffage, avec le concours de France Maccaferri et de Scetauroute, pour la construction de murs de soutènement de grandes hauteurs, de 15 à 24 m, lors de la construction de l'autoroute portugaise « Scut Interior Norte » et lors de la construction du coursier évacuateur de crues, dimensionné avec Sogreah, du grand barrage de Niamdouba en Casamance au Sénégal.

PRINCIPE DU REMBLAI RENFORCÉ TERRAMESH SYSTEM

Le Terramesh System est une structure composée d'un parement gabion dont la base est prolongée par une nappe d'ancrage en grillage. L'emploi d'une seule nappe de grillage pour la confection de la façade et de la nappe d'ancrage confère à la structure une continuité idéale des éléments et assure un ancrage parfait des renforts au parement (figure 3).

Le Terramesh System remplit exactement les trois critères de qualité des structures « gabion » en grillage double torsion : monolithisme, flexibilité et drainage. La souplesse de cette structure permet un remplissage optimum des cages et évite tout risque de tassement et d'affaissement en pied de l'ouvrage. Les structures Terramesh System sont réalisées avec du grillage double torsion à haute résistance certifié NF Acier, maille 80 x 100 mm, en fil d'acier, revêtu de Galfan (alliage zinc aluminium) et de PVC extrudé à chaud (Ø 2,7 - 3,7 mm), seules protections capables en front de mer d'assurer la pérennité de l'ouvrage.



4

- 2- Vue du site avant travaux.
- 3- Coupe de principe Terramesh System.
- 4- Profil en travers.
- 5- Mise en place du géotextile à l'arrière du gabion.
- 6- Fixation des géogrilles de renfort.
- 7 et 8- Vue d'ensemble du passage inférieur et des volées d'escaliers en courbe.

- 2- View of the site before the works.
- 3- Schematic cross section of Terramesh System.
- 4- Cross section.
- 5- Placing geotextile behind the gabion.
- 6- Attaching the reinforcing geogrids.
- 7 et 8- General view of the underpass and curved flights of stairs.

Dans le cas présent, cette structure a été associée à des géogrilles de la gamme Bidim Rock de Tencate. Les nappes de renfort ont une longueur maximale de 12 m.

UNE CONCEPTION DE L'OUVRAGE ADAPTÉE AU CONTEXTE URBAIN

L'ouvrage a été réalisé par Eiffage Sénégal, dimensionné par France Maccaferri et validé par la maîtrise d'œuvre Apave Sahel, filiale d'Apave Sud Europe.

Sa conception s'est adaptée aux volontés architecturales du maître d'ouvrage, aux caractéristiques géologiques et sismiques du site et aux problèmes de réalisation qu'impliquent généralement des travaux en zone urbaine (figure 4).

France Maccaferri utilise le logiciel MACSTARS qui permet d'effectuer des vérifications de stabilité par la méthode de l'équilibre limite pour des pentes naturelles ou pour des talus renforcés.

Le logiciel offre un choix de plusieurs types de renforts : grillage métallique

double torsion, géotextiles et géogrilles dont il intègre les caractéristiques mécaniques intrinsèques (résistance à la traction, facteurs de sécurité, module de déformation...).

Les difficultés de dimensionnement ont porté sur les interactions entre les différents ouvrages, en présence d'escaliers courbes et d'un passage inférieur qui permet l'accès à la mosquée de la Divinité et d'évacuer les produits de la pêche commercialisés sur la plage.

UN CHANTIER DANS UN SITE TOURISTIQUE ET PROTÉGÉ

Les travaux ont été dans leur ensemble réalisés par l'entreprise Eiffage Sénégal, avec une assistance technique de France Maccaferri au démarrage du chantier.

Le parement minéral a été rempli en pierres de granulométrie 80 x 180 mm, choisies pour leur forme et leur couleur en vue d'une belle intégration dans le site.

Ces pierres ont été sélectionnées et positionnées manuellement pour appa-



5



6



7



8

reiller la façade de l'ouvrage et respecter le protocole environnemental.

L'intérieur du gabion a été rempli mécaniquement.

Un géotextile de filtration a été posé à l'interface entre le parement arrière du gabion et le remblai structural, pour éviter le transfert des fines au travers des vides des pierres sèches du gabion (photo 5).

Les géogrilles de renfort ont été disposées à l'arrière des cages et fixées aux nappes grillagées d'ancrage des gabions (photo 6).

Le remblai technique a ensuite été réalisé. En raison de la hauteur de l'ouvrage, plusieurs géogrilles de la gamme Bidim Rock ont été utilisées, leur résistance à la traction variant de 80 à 400 kN/ml. Un Bidim Spacer a également été posé à l'interface du terrain naturel et du remblai technique

pour permettre l'évacuation des eaux d'infiltration en pied d'ouvrage.

Les matériaux de remblai (grave naturelle latéritique) ont été approvisionnés à partir de carrières agréées. Le remblai étant l'un des éléments essentiels de l'ouvrage, les matériaux ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques physiques (granulométrie...) et mécaniques (angle de frottement interne...) dont dépend le dimensionnement de l'ouvrage.

Approvisionnés de nuit sur le chantier, ils ont été mis à la teneur en eau, sur une aire spécifique, avant d'être placés dans le corps de l'ouvrage.

Des dispositions particulières ont été prises à chaque étape de la construction pour s'assurer que la géométrie finale du parement a bien été respectée. Il faut noter que l'ouvrage inclut dans son massif un passage inférieur

et sur sa façade deux volées d'escalier courbes en amorce du giratoire supérieur (photos 7 et 8).

UN OUVRAGE QUI ALLIE TECHNIQUE ET ESTHÉTIQUE

La réalisation d'un ouvrage de soutènement de 16 m de haut à la Pointe des Almadies, site touristique et protégé au Sénégal, a mis une nouvelle fois en évidence les qualités techniques, mécaniques et esthétiques des remblais de type Terramesh System.

En effet, outre l'aspect esthétique apporté par un choix puis un appareillage des pierres au niveau du parement, les structures Terramesh System offrent les meilleures garanties de durabilité pour les ouvrages de grandes hauteurs grâce à la double protection des aciers revêtus de Galfan et de PVC extrudé à chaud.

Ces ouvrages sont fiables et ne sont pas sujets à des tassements du parement. Grâce à la souplesse du grillage, un remplissage optimum peut être réalisé, et la fermeture des cages se fait sans vide à l'interface, contrairement aux structures électrosoudées plus rigides, qui ne permettent pas le remplissage complet des cages et qui, empilées sur de grandes hauteurs peuvent être sujettes à des flambements des panneaux du parement allant parfois jusqu'à la rupture.

Cette souplesse associée au monolithisme de l'ouvrage résultant des ligatures apportent également un avantage structurel. En effet, l'ouvrage Terramesh System est durable, puisqu'il peut accepter des tassements différentiels qu'un ouvrage en parement électrosoudé ne pourra pas absorber sans casser. □

ABSTRACT

VERY HIGH SUPPORTING STRUCTURES ON AN EXPRESSWAY IN DAKAR. TERRAMESH SYSTEM AND GEOGRID TECHNIQUES

MICHEL COURTAUD, MACCAFERRI - ALIOUNE TOURE, EIFFAGE - GÉRARD SENAC, EIFFAGE

Very high supporting structures have always been designed to ensure a dependable, high-performance structure.

Nowadays the design approach has changed, because environmental sensitivity has become an integral part of the decision-making process. The challenge of the Dakar expressway project was to find, for a supporting structure 16 metres high, an appropriate, high-performance solution which is integrated into the site, for an attractive cost of construction.

Accordingly, a Terramesh System solution with mineral facing, combined with reinforcing geogrids of high mechanical strength, was an obvious choice for the construction of a high-rise structure in a protected location on the seafloor. □

MUROS DE CONTENCIÓN DE GRAN ALTURA EN UNA AUTOVÍA EN DAKAR. TÉCNICAS TERRAMESH SYSTEM Y GEOREJILLAS

MICHEL COURTAUD, MACCAFERRI - ALIOUNE TOURE, EIFFAGE - GÉRARD SENAC, EIFFAGE

Las obras de contención de gran altura se han dimensionado siempre para garantizar una estructura fiable y eficiente.

Hoy en día, el planteamiento del concepto ha evolucionado dado que la sensibilidad medioambiental ha llegado a ser parte integrante del proceso de decisión. El reto de la obra de la autovía de Dakar ha consistido en encontrar, para un muro de contención de 16 metros de altura, la solución de alto rendimiento, adaptada, que se integra en el sitio y según costes de construcción favorables. En estas condiciones, se ha optado para la solución Terramesh System de paramento mineral, combinada con georejillas de refuerzo de elevada resistencia mecánica, para la construcción de una obra de gran altura en frente del mar y en zona sensible. □

UN NOUVEAU QUAI DE CONSTRUCTION ET DE LANCEMENT DE PLATES-FORMES EN MER A ALTAMIRA AU MEXIQUE

AUTEURS : AARÓN GONZÁLEZ MÁRQUEZ, MCDERMOTT, MEXIQUE - JUAN PAULÍN AGUIRRE, CIMESA, MEXIQUE - PIERRE GUIOT DU DOIGNON, CIMESA, MEXIQUE - CHRISTIAN GILBERT, SOLETANCHE-BACHY, FRANCE

CIMESA, FILIALE DE SOLÉTANCHE BACHY, RÉALISE POUR LA SOCIÉTÉ MC DERMOTT UN TERMINAL DE CONSTRUCTION ET DE LANCEMENT DE PLATES-FORMES EN MER À ALTAMIRA. LES TRAVAUX COMPRENNENT UN MUR DE QUAI EN PAROI MOULÉE, L'AMÉLIORATION DE SOL PAR INCLUSIONS RIGIDES AINSI QUE LES FONDATIONS ET LE GÉNIE CIVIL DES DEUX STRUCTURES DE LANCEMENT.

UN PROJET D'ENVERGURE EN DEUX TEMPS

Au Mexique, les vastes étendues côtières qui s'étirent le long de l'océan Pacifique d'une part et le long du Golfe du Mexique d'autre part, attirent d'importants investissements dans le cadre de projets stratégiques, tels que la construction de quais destinés à la manutention de conteneurs, de minéraux en vrac, à la mise à quai de gros navires de transport de gaz liquide, ou bien à la construction de grands chantiers destinés à la fabrication de plates-formes de forage pétrolier en mer.

Le nouveau quai Mc Dermott, objet de cet article, est situé sur la côte du Golfe du Mexique, État de Tamaulipas (figure 1), dans l'enceinte portuaire de l'Integral Port Administration, au niveau du Canal Nord (North Channel) (figure 2).

Ce quai est destiné à la fabrication de plates-formes en mer, d'une masse maximale de 10 000 tonnes dans un premier temps (phase actuelle), puis de 20 000 tonnes dans les années à venir. Les 300 m de quais (en bordure du plan d'eau) sont réalisés en paroi moulée pour autoriser un dragage atteignant -12,0 m ; la plate-forme de travail, quant à elle, se situe à une altitude de +3,5 m.

Au cours de la première phase, deux structures de fabrication et de lancement destinées aux plates-formes en mer (Corredera 1 et Corredera 2) seront implantées et mesureront 200 m de longueur (figure 3). Chaque Corredera dispose de trois poutres en béton armé (A, B et C) de 3,8 x 2,0 m



1- Localisation du projet au Mexique.

2- Localisation du projet dans l'enceinte portuaire, au niveau du Canal Nord (North Channel).

1- Project location in Mexico.

2- Project location in the port area, at the North Channel level.

de section chacune, reposant sur des paires de barrettes (2,7 x 0,8 m) espacées de 8 m et descendues à -20,0 m de profondeur. Les poutres A et B sont actuellement en place et les poutres C seront construites par la suite (pour les plates-formes de 20 000 t)

Une structure désignée Cabecera a été construite en bout des Corredera, en bordure du plan d'eau (figure 3). Il s'agit d'une dalle en béton armé de 2,5 m de hauteur et de 15 x 24,3 m² de surface, qui repose sur 14 barrettes (2,7 x 0,8 m) uniformément réparties,

et descendue à -20,0 m. Cette structure solide a été construite en raison des fortes charges induites par les plates-formes lors du lancement.

La stabilisation de la paroi moulée en section courante repose sur un niveau de tirants d'ancrage permanents de type 9T15 (9 câbles de 15,24 mm de diamètre « 1860 MPa »), espacés de 1 à 2 m, tendus à 100 t et encastrés dans la tête de la paroi moulée. Ils sont inclinés à 40° (longueur scellée de 15 m et longueur libre de 21 m).

La stabilisation de la paroi au niveau de la section Cabecera est assurée par la structure Cabecera elle-même ainsi que par les poutres des Correderas qui agissent comme des tirants passifs.

Le chantier est actuellement en exploitation et la fabrication des plates-formes en mer a débuté en milieu d'année 2008 (photo 4).

Caractérisation géotechnique

Les informations géotechniques et géologiques concernant cette zone sont rassemblées dans le tableau A. Elles précisent la séquence stratigraphique à prendre en compte.

Conditions de charge et d'exploitation

Les conditions de charge et les sollicitations prises en compte dans la conception des structures du quai et de la Corredera sont multiples et varient au cours du lancement de la plate-forme en mer.

On retiendra cependant le poids de la plate-forme en mer à fabriquer : 10 000 t reposant sur 6 appuis.

Le tassement sur la Corredera devra être inférieur à 25 mm (photo 5).



3- Vue aérienne du chantier, de ses 300 m de front de mer et de ses deux Correderas (1 et 2), destinés à la fabrication et au lancement de plates-formes.

4- Vue du chantier en octobre 2008. Les plates-formes en cours de fabrication sont visibles au niveau des deux Correderas.

5- Manœuvres de positionnement de la structure de la plate-forme au moyen de grues Manitowoc 18000, novembre 2008.



3- Aerial view of the site, its 300 m of seaford and its two Correderas (1 and 2), designed for the manufacture and launching of platforms.

4- View of the site in October 2008. The platforms undergoing manufacture are visible at the level of the two Correderas.

5- Manœuvring for positioning of the platform structure using Manitowoc 18000 cranes, November 2008.



ANALYSE ET CONCEPTION DE LA STRUCTURE DU QUAÏ

Le dimensionnement a été réalisé à l'aide du programme PARIS, mis au point par le Groupe Solétanche Bachy. Il schématise la paroi moulée sous la forme d'une juxtaposition de poutres verticales, soumises aux pressions latérales des sols (statiques, actives

et passives), aux pressions sismiques, aux surcharges et à la pression hydrostatique de l'eau. Celles-ci seront soutenues par des tirants d'ancrage au niveau de la section courante et par la structure elle-même au niveau de la section de la Cabecera.

Afin de calculer les déplacements latéraux de la paroi, le sol a été modélisé

TABLEAU A SÉQUENCE STRATIGRAPHIQUE À PRENDRE EN COMPTE

Zi (m)	Zf (m)	Description
+3,5	0,0	Unité 1. Remblai contrôlé, après remplacement. $N_{SPT} > 50$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 28^\circ$, $c' = 0 \text{ kPa}$ $E = 30 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 10\,000 \text{ kN/m}^3$
0,0	-7,0	Unité 2. Argile plastique (CH). $N_{SPT} = 0$, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 20^\circ$, $c' = 0 \text{ kPa}$ $E = 5 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 1\,500 \text{ kN/m}^3$
-7,0	-10,0	Unité 3. Transition (CH). $N_{SPT} = 3$, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 25^\circ$, $c' = 0 \text{ kPa}$ $E = 10 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 8\,000 \text{ kN/m}^3$
-10,0	-17,0	Unité 4. Sable de densité intermédiaire (SM). $N_{SPT} = 20 \text{ à } 25$, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 35^\circ$, $c' = 0 \text{ kPa}$ $E = 30 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 20\,000 \text{ kN/m}^3$
-17,0	-22,0	Unité 5. Sable dense à très dense (GM et SM). $N_{SPT} > 50$, $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 40^\circ$, $c' = 0 \text{ kPa}$ $E = 50 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 30\,000 \text{ kN/m}^3$
-22,0	---	Unité 6. Marge. (CH). $N_{SPT} > 50$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 15^\circ$, $c = 150 \text{ kPa}$ $E = 50 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$ $k_s = 24\,000 \text{ kN/m}^3$

TABLEAU B PHASES DE CONSTRUCTION DE LA SECTION COURANTE

PHASE 1 : conditions initiales (construction de la paroi moulée et de la poutre de couronnement),
PHASE 2 : terrassement à +0,8,
PHASE 3 : forage, équipement et mise en tension des tirants d'ancrage,
PHASE 4 : terrassement à -12,5 m,
PHASE 5 : application de la force d'amarrage : 100 t (il s'agit de la réaction sur la paroi du bateau tirant la plate-forme),
PHASE 6 : désactivation de la force d'amarrage,
PHASE 7 : passage aux caractéristiques à long terme.

employé pour modéliser la charge mobile générée par les plates-formes au cours de leur lancement ; les résultats ont été vérifiés à l'aide du programme PARIS.

Inclusions rigides en section courante

Les terrains situés sous les remblais sont de mauvaise qualité (N_{SPT} proche de 0) : des travaux d'amélioration des sols au moyen d'inclusions rigides ont dû être envisagés à l'arrière de la paroi moulée en section courante, sur une bande de 14 m de large.

L'amélioration des sols avait pour principaux objectifs, d'une part, de limiter les pressions latérales sur la paroi moulée dues aux grues lourdes de manutention utilisées et d'autre part, d'éviter que la longueur libre des tirants ne soit affectée par la consolidation de l'argile en raison de la nouvelle charge exercée par les remblais.

Les inclusions rigides mesurent 40 cm de diamètre et sont fondées à -13,0 m, selon une maille carrée de 2,0 m de côté. Le procédé de construction STARSOL du Groupe Solétanche Bachy a été utilisé.

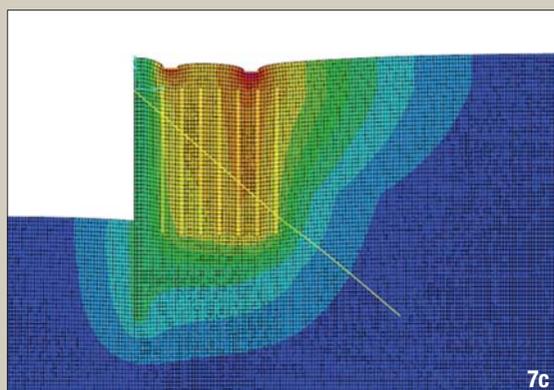
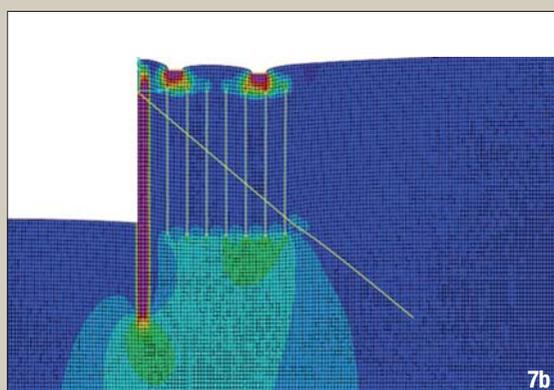
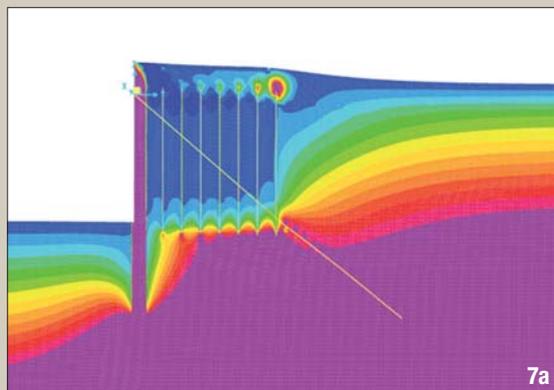
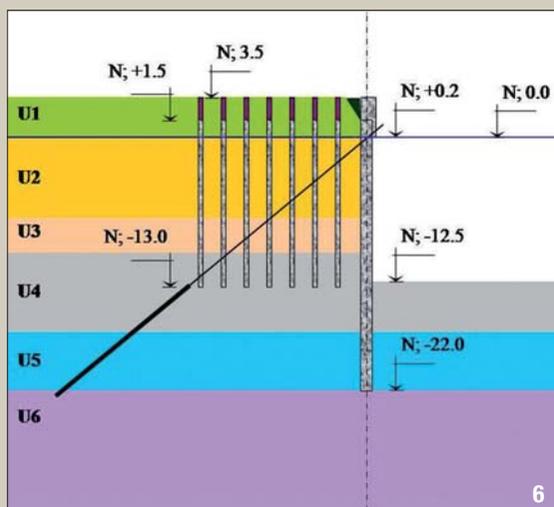
Une plate-forme en sol/ciment a été mise en œuvre comme couche de répartition (remblai sélectionné traité avec du ciment, et armé au moyen d'un géosynthétique).

Les figures 7a, 7b et 7c offrent une vue d'ensemble des efforts verticaux et de l'affaissement calculé grâce au programme aux éléments finis, en

au moyen du coefficient de réaction latérale k_s , paramètre de calcul empirique qui dépend des paramètres du sol et de la rigidité de la paroi.

En ce qui concerne la section courante (figure 6), les phases de construction sont rappelées dans le tableau B.

Quant à la section de la Cabecera, le programme aux éléments finis a été



« **L'EFFORT
DE LA BARETTE
SOUMISE À L'ESSAI
ÉQUIVAUT
À 2,6 FOIS CELUI
DES BARETTES
DU PROJET** »

6- Schéma de la section courante. Illustration de la paroi moulée ainsi que de la poutre de couronnement et des tirants d'ancrage.

7a- Vue d'ensemble des efforts verticaux dans une configuration déformée sous l'effet du poids du sol. Section courante.

7b- Vue d'ensemble des efforts verticaux dans une configuration déformée sous l'effet de la charge induite par l'utilisation d'une grue, parallèlement au quai. Section courante.

7c- Vue d'ensemble des affaissements dans une configuration déformée sous l'effet de la charge induite par l'utilisation d'une grue, parallèlement au quai. Section courante.

6- Diagram of standard section. Illustration of the diaphragm wall and the capping beam and anchor ties.

7a- General view of vertical forces in a configuration deformed by the soil weight. Standard section.

7b- General view of vertical forces in a configuration deformed by the load resulting from the use of a crane, parallel to the dock. Standard section.

7c- General view of subsidence in a configuration deformed by the load resulting from the use of a crane, parallel to the dock. Standard section.

modélisant l'inclusion sous la forme d'un élément de charpente et le sol sous la forme d'éléments de volume. La surcharge appliquée en surface en raison de l'utilisation de grues était de 300 kPa. Les Figures 7a et 7b représentent l'importance des efforts verticaux dans l'espace renforcé par les inclusions, en raison de leur transmission à des couches plus profondes.

ESSAI DE CHARGEMENT SUR BARETTES DE FONDATION

L'essai a été réalisé dans la zone sud du quai (photo 8). La barrette d'essai a été réalisée avec le même équipement et selon le même procédé. La seule différence réside dans la dimension de la barrette : 2,70 x 0,5 pour l'essai et 2,70 x 0,80 pour le projet (afin de limiter le système de réaction nécessaire à l'essai de chargement).

Pour définir la valeur de la charge d'essai, une charge de service de 800 t a été envisagée pour les barrettes du projet, sur une section de 2,7 x 0,8, soit un effort de 370 t/m². Une charge maximale de 1 300 t a été appliquée à la barrette d'essai, ce qui, d'après sa section transversale (2,7 x 0,5), correspond à un effort de 963 t/m². L'effort de la barrette soumise à l'essai équivaut à 2,6 fois celui des barrettes du projet ; le résultat et l'interprétation de l'essai ont donc permis de valider le dimensionnement des barrettes du projet.

En raison de la valeur de la charge d'essai, le système de réaction de type poids a été choisi ; dans ce cas de figure, il s'agit d'une plaque de transfert de charges en béton armé de 12,2 x 12,2 m et de hauteur variable : 50 cm ▷

INSTRUMENTATION

- Compte tenu de l'importance de l'ancrage pour la stabilité de la paroi, des cellules de contrôle ont été placées sur 11 tirants d'ancrage afin de suivre l'évolution de la charge dans le temps. D'après les résultats obtenus à ce jour, la charge sur les tirants d'ancrage s'est avérée stable.
- Des inclinomètres ont été mis en place dans la paroi moulée pour le suivi des déplacements de cette dernière, pendant la phase de construction et après les travaux.



8



10



9



11



12



13



14



15

8- Situation du site d'essai de chargement.

8- Location of the loading test site.

9- Vue latérale de la structure ballast, de la plaque de transfert et des vérins de 1000 t.

9- Side view of the ballast structure, the transfer plate and the 1000-tonne jacks.

10- Excavation de la paroi moulée au moyen de bennes preneuses hydrauliques.

10- Excavation of the diaphragm wall using hydraulic clamshell grabs.

11- Perforation et équipement des tirants d'ancrage.

11- Drilling and fitting with anchor ties.

12- Tête d'ancrage dans la poutre de couronnement.

12- Anchor head in the capping beam.

13- Réalisation de la couche de répartition.

13- Execution of the load distribution layer.

14- Bétonnage de la Cabecera (dalle du quai en béton armé).

14- Concreting the Cabecera (reinforced concrete dock slab).

15- Mise en place et mise à niveau des plaques métalliques utilisées comme surface de glissement.

15- Placing and alignment of the metal plates used as a sliding surface.

aux extrémités et 95 cm au niveau de la zone centrale, avec variation progressive de la hauteur. La plaque soutenait 60 blocs de béton armé pesant près de 20 t. Dans la zone centrale, deux vérins de 1 000 t chacun (photo 9) ont été placés entre la barrette et la plaque.

Le suivi de l'essai a été réalisé à l'aide d'un extensomètre à différents niveaux de la barrette, ainsi que la mesure du tassement en tête. La barrette soumise à l'essai a soutenu sans problème la charge d'essai de 1 300 t.

Le tassement maximal enregistré sur la barrette soumise à l'essai sous la charge maximale était de 8 mm, soit une valeur inférieure aux prévisions.

PHASAGE DES TRAVAUX

Les phases de construction se sont déroulées comme suit :

→ Réalisation d'une plate-forme de travail

Une plate-forme de travail drainée a été réalisée au début des travaux, en particulier pour améliorer la sécurité des opérations.

→ Construction de la paroi moulée

L'excavation de la paroi moulée a été réalisée sous boue bentonite au moyen de bennes hydrauliques (photo 10) en contrôlant la verticalité pour réduire les déviations. Les panneaux, d'une largeur de 6 m, disposaient d'une cage d'armature unique. La boue bentonitique a été adaptée aux conditions locales (eau saumâtre) (photo 10).

→ Construction des inclusions rigides

Le forage à la tarière creuse Starsol a été choisi afin d'obtenir une production industrielle importante et de garantir la

continuité et la qualité du bétonnage.

→ Perforation et équipement des tirants d'ancrage de forte capacité.

Afin de valider le système de forage et d'injection, 3 essais préalables ont été réalisés avant le début des travaux. Un système d'injection de type répétitif et sélectif a été choisi. Les tirants d'ancrage sont définitifs ; par conséquent, leur protection sur la longueur libre a reposé sur l'isolation et la protection individuelles des câbles. Les têtes d'ancrage ont été protégées au moyen d'un capot injecté, qui a été noyé dans la poutre de couronnement (photos 11-12).

→ Construction de la poutre de couronnement.

→ Mise en tension des tirants d'ancrage.

La mise en tension des tirants d'ancrage a été réalisée conformément aux

recommandations de la norme française TA95 intitulée "Recommandation concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle pour tirants d'ancrage", via la méthode du cycle. Réalisation de la couche de répartition sur les inclusions (photo 13).

→ Construction des barrettes de fondation.

Les barrettes ont été réalisées au moyen de bennes hydrauliques, en appliquant la même méthode que pour la paroi moulée.

→ Construction des poutres en béton des Correderas.

→ Construction des dalles en béton de la Cabecera.

Le bétonnage de 1 000 m³ a été réalisé en une seule opération (photo 14).

→ Mise en place des plaques métalliques à utiliser comme surface de glissement (photo 15). □

« **LES BARRETTES
ONT ÉTÉ
RÉALISÉES
AU MOYEN
DE BENNES
HYDRAULIQUES,
EN APPLIQUANT
LA MÊME
MÉTHODE QUE
POUR LA PAROI
MOULÉE** »

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROI MOULÉE (ÉPAISSEUR 1.0 M) : 6 900 m²

TIRANTS : 126 unités (44 92 m)

INCLUSIONS RIGIDES (Ø 0.4M) : 882 unités (12 789 m)

BARRETTES (2.7X0.8M) : 116 unités (2 436 m)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : J. Ray Mc DERMOTT Inc.

MAÎTRE D'OUVRAGE : J. Ray Mc DERMOTT de Mexico

ENTREPRISE GÉNÉRALE : CIMESA-SBF

BUREAU DE CONTRÔLE : GEOGRUPO

ABSTRACT

A NEW DOCK FOR THE CONSTRUCTION AND LAUNCHING OF OFFSHORE PLATFORMS AT ALTAMIRA IN MEXICO

AARÓN GONZÁLEZ MÁRQUEZ, MCDERMOTT - JUAN PAULÍN AGUIRRE, CIMESA - PIERRE GUIOT DU DOIGNON, CIMESA - CHRISTIAN GILBERT, SOLETANCHE-BACHY

Cimesa, a subsidiary of Solétanche Bachy, is building for the McDermott company a terminal for the construction and launching of offshore platforms at Altamira.

The works include a diaphragm wall for the dock, ground improvement with rigid inclusions, and the foundations and civil engineering work for the two launching structures. □

NUEVO ANDÉN DE CONSTRUCCIÓN Y DE LANZAMIENTO DE PLATAFORMAS EN EL MAR EN ALTAMIRA, MÉXICO

AARÓN GONZÁLEZ MÁRQUEZ, MCDERMOTT - JUAN PAULÍN AGUIRRE, CIMESA - PIERRE GUIOT DU DOIGNON, CIMESA - CHRISTIAN GILBERT, SOLETANCHE-BACHY

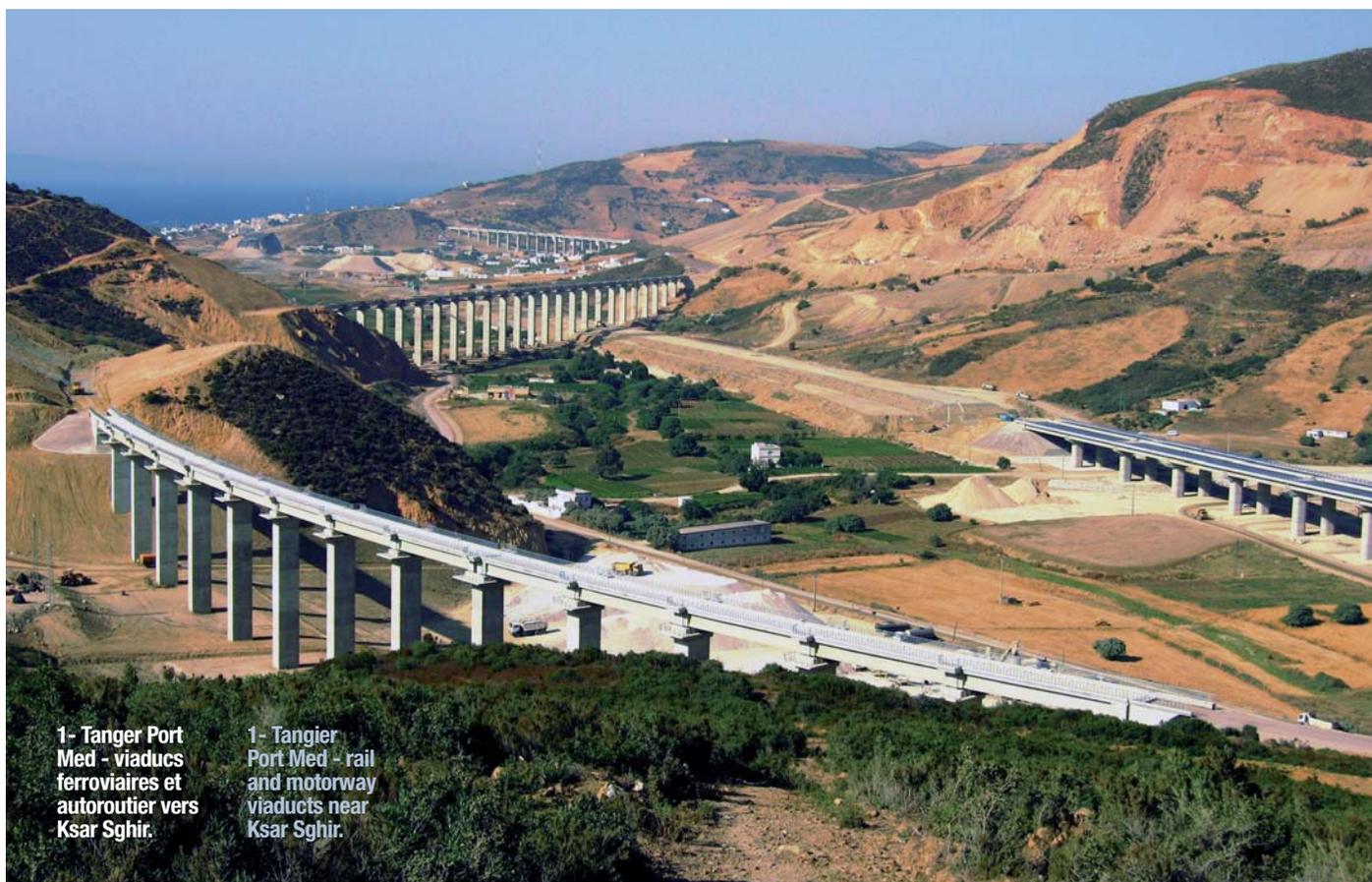
Cimesa, filial de Solétanche Bachy, está ejecutando para la empresa Mc Dermott una terminal de construcción y de lanzamiento de plataformas en el mar en Altamira.

Los trabajos incluyen un muro de andén en pantalla continua, la mejora de suelo por inclusiones rígidas así como las cimentaciones y la ingeniería civil de ambas estructuras de lanzamiento. □

CONSTRUCTION DE LA LIAISON FERROVIAIRE TANGER - PORT MEDITERRANEE

AUTEURS : DOMINIQUE BOUVIER, EGIS, CHEF DE MISSION AMOE - XAVIER AILLERET, EGIS, ADJOINT AU CHEF DE MISSION AMOE, (ACTUELLEMENT DIRECTEUR DE PROJET AUTOROUTE A406) - BRUNO MAZARÉ, EGIS, EXPERT GÉOTECHNICIEN
PREFACE : KHALID KHAIRANE, DIRECTEUR DE LA MAITRISE D'ŒUVRE ONCF TANGER-MED

L'OPÉRATION FERROVIAIRE APPELÉE TANGER PORT MED EST L'UN DES MAILLONS D'UN VASTE PROGRAMME D'INVESTISSEMENT LANCÉ PAR L'OFFICE NATIONAL DES CHEMINS DE FER DU MAROC (ONCF) DEPUIS QUELQUES ANNÉES POUR LA RÉNOVATION ET L'EXTENSION DE SON RÉSEAU QUI DATE POUR LA PLUS GRANDE PARTIE D'UNE ÉPOQUE LOINTAINE.



1- Tanger Port Med - viaducs ferroviaires et autoroutier vers Ksar Sghir.

1- Tangier Port Med - rail and motorway viaducts near Ksar Sghir.

À côté des reconstructions de gares, modernisées et adaptées aux nouvelles demandes de la clientèle et exigences commerciales, Tanger, Marrakech, Rabat, Fès, etc., et après les travaux de doublement et d'électrification de voies principales, Sidi Kacem-Meknès-Fès, l'ONCF a lancé en 2004 deux opérations principales d'extension du réseau ferré : Tanger - Port Méditerranée de

Oued R'Mel, (45 km à l'Est de Tanger) et Taourirt - Nador (110 km) qui rentrent dans la politique générale de développement économique du Nord du pays.

L'opération Tanger Med comporte en réalité deux liaisons neuves complémentaires :

→ La liaison de Tanger Ville au Port de Oued R'Mel appelé Port Tanger Méditerranée, mise en service prévue

au premier trimestre 2009, ligne neuve traversant un relief très accidenté, ayant nécessité 9 viaducs, 2 tunnels et plus de 20 Mm³ de terrassements ;

→ La liaison Sidi Yahia - Mechraa Belksiri, plus au Sud, traversant directement la plaine du Gharb pour éviter le crochet que fait la ligne actuelle par Sidi Kacem, avec inversion de circulation et souvent rupture de charge pour le trafic. Cette ligne directe doit faire

gagner 1 h sur le trajet Rabat Tanger. Ces deux nouvelles lignes visent à relier rapidement le centre vital du Maroc avec la région de Tanger qui va connaître, et qui connaît déjà, avec l'ouverture du nouveau port, un développement industriel très important.

L'ONCF participe ainsi, avec cet important investissement, de l'ordre de 4 milliards de dirhams (400 M€) à l'essor économique du Nord du Maroc. ▷

L'ONCF

L'Office National des Chemins de Fer exploite un réseau ferroviaire de 1 900 km, dont 1000 km de lignes électrifiées et 430 km à double voie. Le réseau est principalement constitué d'une dorsale en Y reliant Marrakech – Casablanca – Rabat – Oujda ou Tanger, avec des antennes desservant des ports maritimes et des gisements miniers. L'ONCF transporte annuellement plus de 27,7 millions de voyageurs, enregistrant une croissance annuelle moyenne de l'ordre de 10% depuis les 5 dernières années, et plus de 32 Millions de tonnes de marchandises diverses (dont le phosphate).

L'ONCF est maintenant engagé dans un plan de développement comportant la création de 200 km de nouvelles liaisons ferroviaires (Tanger – Port Med, Taourirt – Nador, Sidi Yahia – Mechraa Belksiri), le doublement de 220 km de voies existantes (Meknès – Fès, Sidi El Aidi – Settat, Nouasser- El Jorf), le renforcement de la sécurité (suppression de passages à niveaux, construction de clôtures, équipements modernes de signalisation et télécommunications), électrification de plusieurs lignes, rénovation et construction de nouvelles gares voyageurs, construction de plates-formes logistiques. Des projets de lignes TGV (Tanger - Casablanca, Settat -Marrakech) sont également en cours d'étude et la réalisation de la première est programmée pour 2014.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

L'Office National des Chemins de Fer assure les fonctions de maître d'ouvrage et de maître d'œuvre de ce projet.

Dans un premier temps, il a confié les études d'avant-projet et l'élaboration des dossiers de consultation de travaux de ce projet d'infrastructure à plusieurs bureaux d'études. Le temps alloué aux études a été très court et n'a pas permis d'approfondir suffisamment certains points délicats relatifs à la géotechnique et aux grands ouvrages.

En phase travaux, l'ONCF a installé une Direction de la maîtrise d'œuvre sur le site du projet à Tanger, responsable de l'exécution du projet. Elle comprend trois départements chargés de l'infrastructure (section courante), des ouvrages d'art, et des superstructures et bâtiments.

S'agissant de l'une de ses premières opérations de construction de voie nouvelle, et devant la difficulté technique de ce projet, l'ONCF s'est adjoint les services d'une assistance à maîtrise d'œuvre (AMO).

Cette mission d'AMO a été confiée à un groupement franco-marocain de bureaux d'études EGIS (mandataire) – SYSTRA – CID – EWI Maroc – TEAM Maroc. Elle comprend la planification du projet, la supervision et le contrôle qualité des travaux, la gestion contractuelle et financière des marchés de travaux, ainsi que la mobilisation d'experts pour résoudre les problèmes techniques difficiles survenant au cours de l'exécution des travaux. Elle comprend également la mise en place du Plan Assurance Qualité de la maîtrise d'œuvre de l'opération.

Le contrôle extérieur de laboratoire a été confié par contrat au Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes du Maroc (LPEE), qui a mis en place sur site un laboratoire d'essais et une équipe d'ingénieurs et techniciens.

LES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES : 7 MARCHÉS

- 3 lots de terrassement attribués à Polat (entreprise turque) pour 17 km, Entreprise Marocaine de Travaux (EMT) pour 7 km, et Société Générale des Travaux du Maroc (SGTM) pour 16 km,
- 3 lots de viaducs, attribués à Vinci – Sogea Maroc (groupement d'entreprises françaises) pour 4 viaducs, Dogus (entreprise turque) pour 4 viaducs, et SGTM pour 1 viaduc situé sur un glissement de terrain actif.
- 1 lot de 2 tunnels attribué à Transtech Engineering Corporation (TEC, entreprise chinoise) ; ce lot comprend également la réalisation de 3 km de terrassement entre les deux tunnels.

L'ONCF conserve en propre la maîtrise d'œuvre des travaux de superstructures, voies, réseaux et gares.

OBJECTIF : LA CREATION D'UNE ZONE D'ACTIVITE ECONOMIQUE INTERNATIONALE

Dans la stratégie de son développement économique, le Maroc a décidé la création, dans la région de Tanger, d'une zone d'activité économique internationale, comprenant un nouveau port maritime et des zones industrielles franches.

L'agence « Tanger Mediterranean Special Agency » (TMSA) a été fondée pour le développement de ce complexe comprenant principalement :

→ Un premier port en eau profonde, dénommé « Tanger Med », situé dans le détroit de Gibraltar à 40 km à l'est de Tanger ;

→ Un second complexe portuaire comprenant un port roulier, terminal pétrolier et céréalier,

→ Des zones franches logistiques dans les environs immédiats du port Tanger Med,

→ Des zones franches situées dans la région de Tanger – Tétouan, à vocation industrielle.

La première phase du port, lancée en 2003, et consistant en un terminal à conteneurs, a été mise en service en juillet 2007. Les extensions portuaires lancées en 2007 comportent un terminal de transport international routier, un terminal pétrolier, un terminal céréalier, un terminal de vrac, ainsi qu'une gare maritime pour le trafic des passagers, dont la mise en service est prévue en 2009.

Le projet d'une deuxième phase d'extension a été lancé ; il concerne une extension du terminal à conteneurs dont la capacité sera d'environ 50% supérieure à la première phase.

La desserte de ce complexe portuaire et des zones franches nécessitait donc la construction de nouvelles infrastructures de transport depuis la ville de Tanger, et raccordées aux réseaux existants. C'est ainsi qu'une nouvelle section autoroutière réalisée par la société « Autoroutes Du Maroc » (ADM), et une nouvelle liaison ferroviaire réalisée sous maîtrise d'ouvrage de l'ONCF ont été initiées dès le lancement du projet du Port.

L'ensemble de ce projet vise à désenclaver la région Nord du Maroc et à en assurer le développement économique en attirant des investisseurs industriels internationaux. Il permettra également de fournir une capacité de transport de passagers compatible avec l'évolution prévisible du trafic à travers le détroit de Gibraltar.

LE PROJET DE VOIE FERREE TANGER – PORT MED

Le projet de liaison ferroviaire pour la desserte du Port Tanger-Med consiste à construire une voie unique électrifiée, de 45 km de longueur, prenant son origine sur le réseau ferroviaire existant à Tanger. Cette infrastructure franchit une zone de moyenne montagne fortement accidentée, qui nécessite notamment la réalisation de 9 viaducs et 2 tunnels.

Le projet ne peut longer la côte escarpée du littoral du détroit de Gibraltar puisque la pente admissible pour une voie ferrée est limitée à 15‰. En quittant la ville de Tanger, par le Sud-Est, le tracé s'oriente d'abord à l'intérieur des terres, en direction de Tétouan. Il grimpe pendant 14 km pour atteindre son point culminant à une altitude de 170 m et franchir un col, longe ensuite une vallée à flanc de versant, franchit un éperon par un tunnel de 650 m, puis traverse la barrière du Jebel Dehour par le tunnel de Ras R'Mel long de 2600 m, et rejoint le littoral au droit de la ville de Ksar Sghir, avant de longer la mer jusqu'à atteindre le port de Tanger-Med.

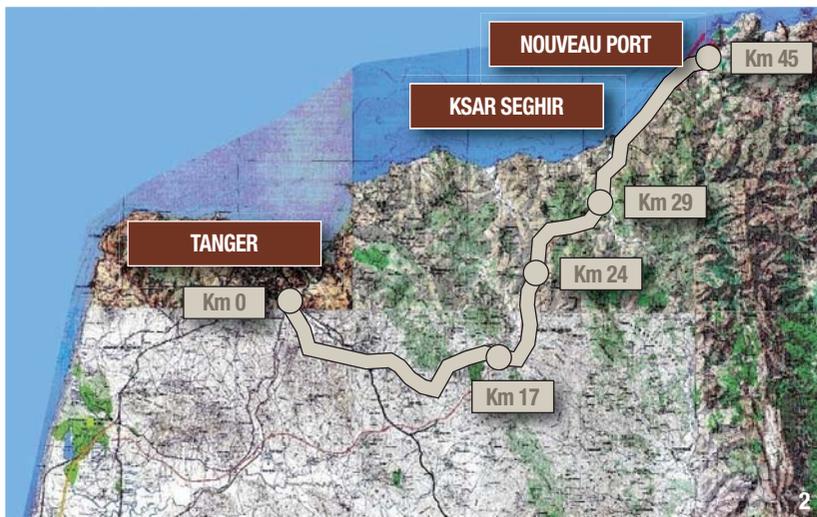
La profondeur des déblais peut atteindre 45 m et la hauteur des remblais 25 m ; les plus hautes piles de viaduc atteignent 40 m et la couverture du tunnel de Ras R'Mel dépasse 150 m. En profil en travers, la plate-forme, à voie unique, est large de 7 m sous le ballast. Sa structure se compose d'une couche de forme de 50 cm d'épaisseur en matériau granulaire 0/80, surmontée d'une sous-couche (couche sous ballast) de 35 cm en matériau granulaire 0/40. La couche de ballast est d'épaisseur 35 cm.

Le tracé retenu permet d'envisager des vitesses commerciales de l'ordre de 140 à 160 km/h. Le projet comporte 4 gares voyageurs desservant les futures zones franches de Meloussa 1 et Meloussa 2, la ville de Ksar Sghir, la gare maritime du port roulier, une halte de desserte du Centre Tertiaire International du Port, ainsi qu'une gare de triage située à proximité du port. Les zones de gares sont équipées de plusieurs voies afin de permettre le croisement des trains. Le doublement de la voie est envisagé ultérieurement.

CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le projet se développe dans la région du Tangérois, constituée géologiquement par l'empilement de nappes de charriage d'âge Secondaire et Tertiaire. Il s'agit de collines au relief mou, mais qui s'affirme en progressant vers l'Est.

PROJET TANGER MED



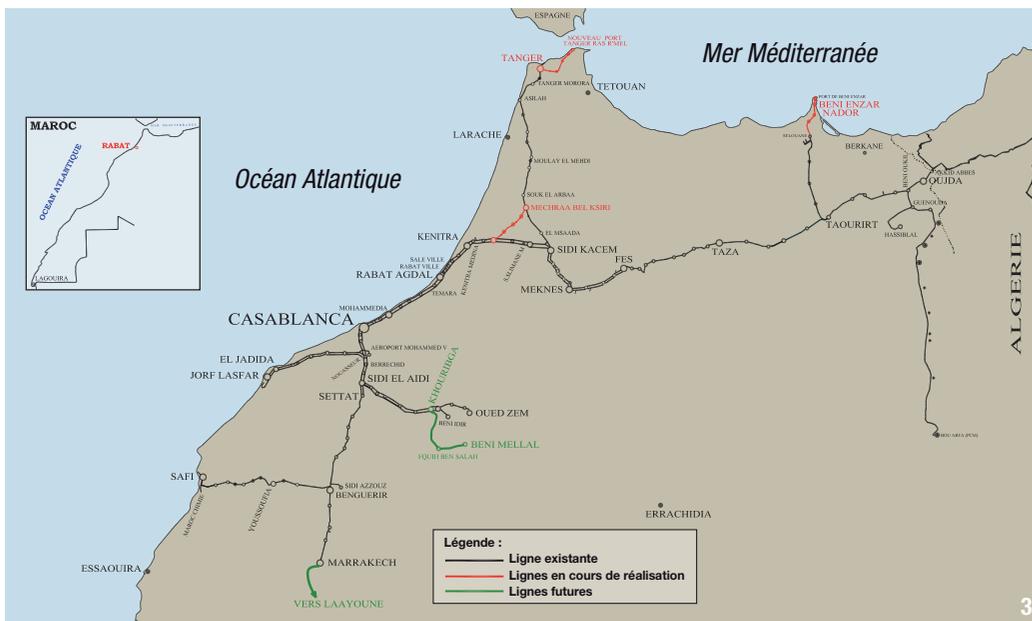
2- Carte du projet Tanger Port Med.

3- Carte du réseau ferroviaire ONCF.

2- Map of the Tanger Port Med project.

3- Map of the ONCF rail network.

CARTE FERROVIAIRE DU MAROC



Les terrains en présence correspondent au flysch constitué d'argilites (ou pélites) et marnes, et de niveaux gréseux intercalés. Les niveaux gréseux, moins érodables, sont à l'origine des buttes topographiques.

Les nappes de charriage sont de tectonique très calme et souple à l'Ouest ; la stratigraphie est alors subhorizontale et les terrains sont affectés par des diaclases verticales. En allant vers l'Est, ces terrains se plissent et peuvent présenter des pendages de 30 à 60° sur l'horizontale.

D'un point de vue hydrogéologique, on remarque la présence de réseaux aériens (oueds), secs en été et la présence de quelques nappes aquifères en fond de vallées ou dans les colluvions de pente. Ces nappes aquifères, parfois temporaires, sont exploitées par des

puits généralement peu profonds.

Les grès, du fait de leur fracturation, sont très perméables. De nombreux puits sont donc localisés au voisinage de l'interface entre formations gréseuse et argilo-marneuses sous-jacentes. Ils captent une nappe aquifère perchée, localisée à la base des grès (au toit de l'horizon peu perméable de marnes et argilites), et qui s'écoule dans les formations argileuses sous-jacentes en hydratant leur frange décomprimée.

Les argilites (ou pélites) présentent la particularité d'être très sensibles à l'eau et très altérables, une fois mises au jour par les terrassements.

De ce fait, de nombreux versants naturels montrent des signes morphologiques de glissements plus ou moins actifs.

Deux types d'instabilités naturelles sont

constatés au droit du projet :

→ Les mouvements de reptation superficielle (solifluxion) ;

→ Les glissements de terrains (instabilités de grande masse ou de versant). Les reptations superficielles se développent généralement dans les terrains altérés temporairement saturés, sur 2 à 3 m d'épaisseur.

De nombreux glissements de versant préexistent au droit du projet, avant travaux ; ces instabilités intéressent généralement une épaisseur variant de 5 à 10 m de terrains argileux (argilites) ou marneux.

La pente des versants est en général relativement faible (10° à 15°). Ces mouvements sont souvent liés à la saturation des terrains argileux par l'émergence, en amont, de la nappe aquifère des grès.

COMPORTEMENT MECANIQUE

Les argilites (ou pélites) en place se présentent comme un terrain rocheux, à la fois dur et fracturé ; elles sont classées R31 ou R32 suivant le GTR (Guide des Terrassements Routiers). A l'extraction, qui peut localement nécessiter l'usage du ripage ou du brise-roche, les argilites se fragmentent fortement et seuls quelques blocs rocheux subsistent. Soumis aux agents atmosphériques, les blocs éclatent et se dégradent très rapidement en évoluant en argile. Cette formation s'avère non réutilisable en remblai.

En phase conception, des sondages pressiométriques et carottés ont été réalisés ainsi que des puits de reconnaissance. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'essais en laboratoire : identifications, essais de cisaillement à la boîte de Casagrande ou essais triaxiaux, ainsi que quelques œdomètres.

La stabilité au grand glissement des ouvrages en terre (déblais et remblais) étant la principale problématique de ce projet, la détermination fiable de l'angle de frottement interne et de la cohésion à long terme des argilites et des marnes est apparue particulièrement importante.

Ces caractéristiques mécaniques de cisaillement, obtenues lors des études de conception par essais en laboratoire, se sont avérées plutôt représentatives d'un comportement à court terme qu'à long terme (angles de frottement mesurés faibles et cohésion forte), cela probablement en raison de vitesses de cisaillement trop élevées en regard de la perméabilité des échantillons.

En phase travaux, les angles de frottement interne ont donc été revus à partir de corrélations avec les résultats d'essais d'identification, et calculs de stabilité à rebours en cas d'instabilité déclarée; il a finalement été retenu :
 → Argilites - Pélites : $\phi' = 23 \text{ à } 27^\circ$; $c' = 3 \text{ à } 6 \text{ kPa}$;
 → Marnes : $\phi' = 22 \text{ à } 25^\circ$; $c' = 0$ (frange altérée).

En cas de glissement déclaré, l'angle de frottement résiduel a été pris en compte, associé à une cohésion résiduelle nulle.

Concernant les grès, l'angle de frottement a été évalué à 30°, associé à une cohésion variable selon l'importance de la fracturation.

CONCEPTION GENERALE

TRACE ET MOUVEMENT DES TERRES

Lors des études générales de conception, l'axe du projet était calé, tant en ▷

planimétrie qu'en altimétrie, de façon à retenir un tracé permettant les pentes admissibles des convois ferroviaires. En revanche, l'équilibre du mouvement des terres faisait état d'un fort déficit :
→ 23 millions de mètres cubes de déblai,

→ 5 millions de mètres cubes de remblai, dont moins de 1 million en provenance des déblais.

Hormis quelques éperons gréseux et quelques zones où les terrains pouvaient être réutilisés, l'ensemble des matériaux de déblais se sont avérés inutilisables.

Il en a résulté la mise en dépôt définitif d'un volume important de matériaux sur des terrains naturels de stabilité précaire et la nécessité de rechercher des zones d'emprunt à proximité du tracé. Lors de la conception du projet, ces deux points importants n'avaient pas été étudiés précisément.

OUVRAGES EN TERRE

Les principaux risques d'instabilité identifiés concernaient les terrains de nature argilo-marneuses. Les dispositions constructives des études de conception s'avérant imprécises ou difficilement réalisables, celles-ci ont dû être redéfinies en urgence au

démarrage des travaux, sans que des études de détail puissent être réalisées sur chaque ouvrage pour des raisons de délai.

Ces dispositions préventives sont détaillées ci après.

Déblais dans les terrains argilo-marneux

Un talutage penté à 3H/1V, soigneusement lissé, mené du haut vers le bas à pente constante, a été préconisé au démarrage des travaux dans les formations argileuses. Cette inclinaison, inférieure à l'angle de frottement résiduel estimé dans les marnes et argilites, permettait de justifier l'équilibre limite du talus à long terme en cas de perte totale de cohésion dans la frange superficielle et en l'absence de nappe aquifère.

Les entreprises ont proposé de raidir la pente de ces talus afin de réduire les volumes considérables de déblais, mais rapidement plusieurs glissements de terrain sont apparus, confirmant que la limite de stabilité était proche de cette pente de 3H/1V. Des glissements ont même été observés sur des talus dont la pente avait été adoucie de façon empirique à 4/1 au vu de traces de solifluxion ou de présence de nappe attestée par des puits.

Aucune risberme n'a été prévue car favorisant les infiltrations d'eau dans ces terrains très sensibles aux fissures de retrait sous l'effet de la dessiccation. D'autre part, l'évacuation des eaux de ruissellement s'avère aléatoire sur des risbermes de faible pente dans des terrains où des mouvements résiduels restent possibles.

La grande longueur développée de ces talus entraîne un phénomène de ruissellement et d'érosion des terrains argileux, qui provoque, sous les fortes pluies orageuses, de profondes ravines sur ces talus, et des coulées de boue qui viennent obstruer les caniveaux de bord de plate-forme, et parfois plus.

Pour s'affranchir de ces problèmes d'érosion, un masque granulaire de protection superficielle, au droit des terrains argileux les plus sensibles, a été préconisé, mais n'a pas été retenu. Une végétalisation par ensemencement hydraulique a été réalisée, mais cette technique demande du temps pour l'accrochage de la végétation, et n'a pas produit l'effet escompté sur les terrains purement péloïtiques. Une autre solution aurait consisté à concevoir au projet des surlargeurs de déblais qui auraient servi à la fois de piste d'entretien et de recueil des coulées dans

les premières années d'exploitation en attendant que la végétation reprenne.

En cas de résurgence de nappe, mise au jour par le terrassement, il a été convenu de réaliser ponctuellement des masques drainants ou éperons drainants afin de prévenir d'éventuelles instabilités. De tels travaux ont également été étendus en amont des déblais dans des versants présentant des indices de solifluxion.

Ces dispositions préventives avaient pour but de limiter les risques d'instabilité mais n'avaient pas la prétention de régler tous les problèmes susceptibles d'être rencontrés. C'est pourquoi une démarche observationnelle a été mise en œuvre en parallèle.

En cas d'instabilité déclarée en cours ou après terrassement, les travaux de stabilisation ont été définis au cas par cas. Ces travaux ont été principalement axés sur du drainage et des substitutions des terrains glissés par des matériaux granulaires drainants et frottants (éperons ou masques). La faible pente des talus permettant l'intervention aisée de matériels de terrassement sur les talus.

Par cette démarche, les travaux confortatifs ont pu être limités aux strictes zones qui en avaient besoin.



Remblais

Contrairement aux déblais qui sont réa-
lisés au droit de croupes topographi-
ques, donc dans des terrains de rela-
tive bonne qualité car non érodés, les
remblais surchargent en général des
dépressions topographiques souvent
remplies d'éboullis ou de colluvions de
compacité très médiocre.

Des conditions géotechniques délicates
ont été rencontrées :

→ Remblais sur terrain plat en site
compressible ;

→ Remblais franchissant des talwegs
présentant des signes de mouve-
ments ;

→ Remblais à flanc de versant présen-
tant des signes de mouvements lents.
Les études de conception s'avérant
insuffisantes pour définir précisément
les dispositions à mettre en œuvre au
cas par cas, celles-ci ont du être pré-
cisées en phase travaux par la Maîtrise
d'Oeuvre, les entreprises réalisant les
reconnaitances complémentaires et
les études d'exécution.

Les remblais sur terrain plat en sites
compressibles ont fait l'objet de véri-
fication de leur portance, tassement
et temps de consolidation. En cas de
besoin, la purge des terrains compres-
sibles associée à des assises drainan-

tes a été privilégiée car généralement
d'épaisseur limitée.

Au droit des remblais de franchis-
sment des talwegs présentant des
signes de mouvements naturels, des
purges associées à du drainage par
tranchées drainantes et éperons drai-
nants ont été retenues.

Il en a été de même pour les remblais
à flanc de versant présentant des indi-
ces de mouvements lents ou anciens.
Ces purges associées à des travaux
de drainage ont conduit à des travaux
de terrassement importants (bêches
de butée de pied, redans). Lors de ces
décaissements préalables, de nom-
breuses loupes de glissement se sont
produites, confirmant l'instabilité des
terrains et la nécessité de ces travaux
stabilisateurs.

LES VIADUCS

Les viaducs franchissant les vallées
importantes ont des longueurs varia-
bles de 300 à 950 m, leur longueur
cumulée est de près de 4,5 km.
Ce sont des ponts à poutres en béton
armé de 22 à 28 m de portée.

Les fondations sont constituées soit de
massifs de gros béton dont la profon-
deur est limitée à 12 m, soit de pieux
forés atteignant 40 m de longueur.

Les niveaux de fondations sont calés
pour fonder les ouvrages sur la pélite
saine. Les piles sont rectangulaires en
béton armé et coiffées d'un chevêtre et
d'une plate-forme de visite accessible à
partir du tablier; leur hauteur maximale
est de 40 m. Elles ont été réalisées à
l'aide de coffrages semi-grimpants.

Le tablier est constitué transversale-
ment de 2 poutres liaisonnées par
un hourdis béton, et entretoisées sur
appui. Les poutres sont posées, sui-
vant le choix des entrepreneurs, soit à
la grue, soit au lanceur. Lorsque toutes
les poutres sont posées sur un appui,
une entretoise de liaison est bétonnée.
Les hourdis sont ensuite bétonnés tra-
vée par travée. À l'issue du bétonnage
du tablier, les charges sont transférées
des boîtes à sable provisoires vers
les appareils d'appui en élastomère
fretté.

L'étanchéité est constituée d'une feuille
préfabriquée protégée par un mortier.
Le tablier est équipé de garde corps
métalliques, de chemins de câbles
et de ballast. Les remblais contigus,
ou blocs techniques, sont constitués
d'un noyau en grave ciment contre la
maçonnerie et de grave non traitée.

Des modifications substantielles ont
dû être apportées en cours de travaux

sur quelques viaducs : changement de
fondations superficielles en fondations
profondes, allongement d'ouvrages par
adjonction de travées supplémentaires
pour éviter des remblais contigus aux
culées trop importants sur des terrains
instables. La maîtrise d'œuvre et les
entreprises ont su montrer une bonne
réactivité devant ces problèmes, ce qui
a permis de terminer les viaducs sensi-
blement dans les délais prévus malgré
ces modifications.

LES TUNNELS

Le projet comporte deux tunnels :

→ Le tunnel Ras R'Mel, long de
2 650 m, traversant une chaîne de
moyenne montagne, avec une couver-
ture maximale de 150 m ;

→ Le tunnel Sidi Ali, long de 650 m,
qui a permis de préserver le site du
marabout de Sidi Ali ainsi qu'un
pylône d'une ligne électrique très
haute tension.

La conception des deux tunnels est
similaire : il s'agit d'ouvrages en sec-
tion de fer à cheval de 6 m d'ouver-
ture, avec des revêtements de 60 cm
d'épaisseur en béton faiblement armé
à la jonction radier – piédroit.

Des niches de sécurité sont disposées
en quinconce tous les 25 m. ▷



4



5



6

**4- Glissement
de terrain
au PK 32,7.**

**5- Viaduc et
soutènement
au PK 32,7.**

**6- Paroi moulée
et remblai
autoroutier
au PK 38,8.**

**4- Landslide
at PK 32.7.**

**5- Viaduct and
supporting
structure
at PK 32.7.**

**6- Diaphragm
wall and
motorway
embankment
at PK 38.8.**

SYSTEME QUALITE

Pour ce projet de construction, l'ONCF a adopté une démarche qualité différente de la démarche traditionnellement utilisée auparavant de contrôle systématique des travaux par le maître d'œuvre. Dès l'appel d'offres, il a été demandé aux entreprises de présenter un Schéma Organisationnel de Plan d'Assurance Qualité, rendu contractuel dans le marché. Les marchés ont été passés selon le mode de plan qualité de classe C (ou niveau 3), comprenant un contrôle interne et externe chez l'entrepreneur, et un contrôle extérieur chez le maître d'œuvre. Les entrepreneurs, comme le maître d'œuvre ont établi leurs plans assurance qualité dès la période de préparation des marchés. Les difficultés habituelles de mise en place d'un nouveau système, auquel certaines entreprises n'étaient pas encore formées, ont été rencontrées, mais la démarche a pu être menée à terme.



© ENTREPRISE DOGUS

Pour les deux tunnels, les travaux ont consisté à réaliser d'abord des tranchées d'accès avec parois en béton projeté et cloué. La stabilité définitive des fronts d'attaque étant insuffisante à long terme, ces tranchées ont été partiellement remblayées au dessus de faux tunnels construits après achèvement des tunnels.

Les études initiales prévoyaient deux types de soutènement provisoire, par cintres dans les terrains marno-argileux, par boulons rayonnants dans les terrains gréseux, selon les reconnaissances géologiques.

A l'exécution, une seule méthode de creusement a été réalisée suivant la méthode traditionnelle par demi-section, et pose de cintres, compte tenu de la nature géologique réellement rencontrée. Les travées de creusement ont varié de 0,75 à 1,50 m, suivant la qualité du terrain et l'épaisseur de la couverture. La demi-section inférieure était excavée avec un décalage d'une dizaine de travées sur la demi-section supérieure.

Le soutènement provisoire de l'excavation était réalisé par :

→ Une première couche de 5 cm de béton projeté, réalisée à l'avancement pour chaque travée, afin d'éviter la décompression des pélites au cours du creusement ;

→ Le soutènement lourd par cintre en profilé métallique HEB 180, mis en place aussi tôt que possible ;

→ Une deuxième couche de béton projeté de 18 cm d'épaisseur de remplissage de l'espace entre cintres.

Le revêtement définitif intervenait environ 200 m à l'arrière du front, et comprenait les phases suivantes :

→ Radier avec drainage central ;

→ Étanchéité en calotte par membrane et drainage latéral par nappe drainante ;

→ Bétonnage des amorces de piédroits ;

→ Bétonnage de l'anneau à l'aide d'un portique de coffrage par plots de 12 m.

Quelques incidents géologiques ont été rencontrés, qui ont nécessité de

réduire l'espacement des cintres, et ont entraîné parfois des convergences importantes : l'épaisseur nominale du revêtement béton a dû être localement réduite moyennant un renforcement d'armatures.

La cadence moyenne d'avancement de chaque attaque a été de 80 m par mois, et malgré le caractère toujours aléatoire d'un chantier de travaux souterrains, les délais des tunnels ont été respectés.

DIFFICULTES PARTICULIERES

Ce projet, de grande envergure, lancé très rapidement, a rencontré de nombreuses difficultés lors de sa réalisation, dues en grande partie à la nature des terrains, et à un temps de préparation et d'études trop court qui n'a pas permis d'appréhender et d'approfondir tous les problèmes. La maîtrise d'œuvre, son assistance, et les entrepreneurs ont dû, dans l'urgence du démarrage des travaux, rechercher et trouver des solutions pour adapter les ouvrages

en terre aux conditions géotechniques du site. Nous développerons certaines de ces difficultés, à titre de retour d'expérience.

LES EMPRUNTS

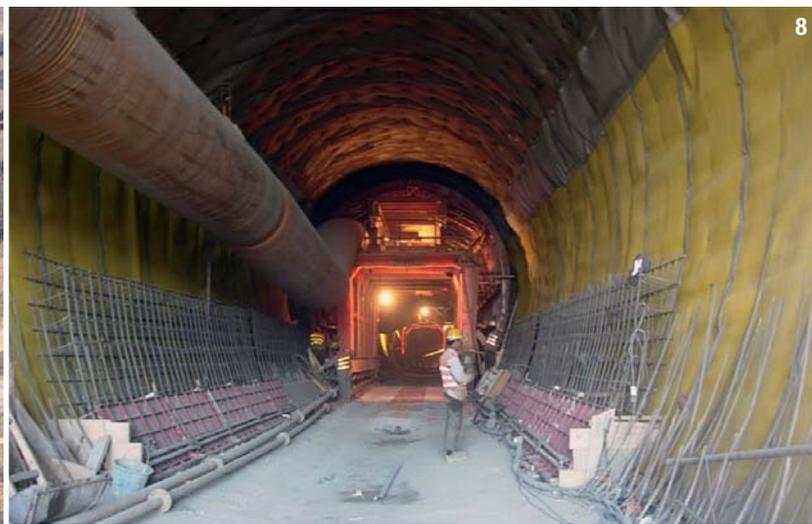
L'ensemble de la région du projet est pauvre en matériaux de qualité.

Les matériaux de déblais étant inutilisables en majorité pour la réalisation des corps de remblais, il a fallu recourir à des emprunts proches du chantier.

Après de difficiles recherches, des massifs de grès ont pu être repérés et exploités pour fournir le matériau d'apport, classé C1B5 au GTR.

Les entreprises, à qui était confiée la recherche de ces emprunts, ont connu certaines difficultés dans l'obtention administrative d'ouverture des carrières.

Pour les matériaux nobles, seules des carrières de calcaire situées à des distances de 30 à 50 km se sont avérées disponibles (couche de forme 0/80, sous-couche 0/40, tout-venant 0/65, matériau drainant 0/150).



7- Tanger Port Med, triple viaducs.
8- Tunnel de Ras R'mel, vue intérieure.
9- Tunnel de Sidi Ali, vue d'ensemble côté Tanger.

7- Tanger Port Med – Triple viaducs.
8- Ras R'mel tunnel – Inside view.
9- Sidi Ali tunnel – General view at Tanger end.

LES DEPOTS

Parallèlement, l'excédent important des matériaux de déblais et leur caractère non réutilisable a nécessité de disposer de nombreuses et vastes zones de dépôts le long du chantier. En effet, le volume à placer en dépôt définitif atteignait environ 22 millions de mètres cubes. Cette recherche, confiée contractuellement aux entrepreneurs, a d'abord nécessité de trouver des parcelles dont la topographie permette de stocker ces matériaux de qualité très médiocre. Dans ce relief de collines où de nombreux versants sont à l'état limite de stabilité, il s'est avéré difficile de trouver des sites acceptant de telles surcharges. Ces importants dépôts ont été à l'origine de plusieurs glissements de terrains. Simultanément, le chantier de l'autoroute avait besoin de zones de dépôts importantes. Le stockage définitif d'environ 50 millions de mètres cubes, même répartis sur une quarantaine de kilomètres, ne pouvait passer inaperçu. Devant le bouleversement attendu du paysage, le simple accord des proprié-

taires concernés et des mairies n'était plus suffisant ; les autorités provinciales ont alors installé une commission chargée d'instruire et de valider les projets de dépôts remis par les entrepreneurs. Elles ont aussi exigé, dans le secteur proche de Ksar Sghir, que les dépôts, ne soient pas visibles des voies de communication, route autoroute et voie ferrée, ce qui a conduit les entreprises à s'éloigner des tracés. Sur des projets d'une telle importance et vu les impacts visuels, il est important que les maîtres d'œuvre de conception identifient des zones potentielles de dépôts lors des études et préparent des solutions.

COORDINATION AVEC LES AUTRES INFRASTRUCTURES

Le projet de la voie ferrée croise à plusieurs reprises celui de l'autoroute, et lui est contigu sur les derniers kilomètres avant l'arrivée à Port Med. Les deux projets ont été coordonnés au stade de l'avant projet géométrique, mais les études d'exécution ont été développées séparément.

De nombreuses réunions de coordination ont été menées entre les maîtres d'œuvre des deux infrastructures, mais cela n'a pu empêcher quelques difficultés de réalisation des travaux, chacun ayant ses propres objectifs de délai. L'instabilité des terrains a engendré d'autres difficultés, les glissements ou risques de glissement intéressant les deux infrastructures dont le planning d'avancement était décalé. Cela a nécessité des reprises d'études et le dimensionnement de travaux de confortement parfois importants : purges de grandes dimensions, stabilisation par éperons drainants, parois moulées avec tirants d'ancrage, rangées de pieux de stabilisation, avec tirants d'ancrage pour certains, drains sub-horizontaux. D'autre part, les derniers kilomètres de la voie, arrivant dans la zone portuaire de TMSA, elle-même en évolution entre le projet initial et les extensions successives, ont nécessité plusieurs adaptations du projet ferroviaire, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, dont le profil en long,

le profil en travers, l'implantation des gares, et de nouveaux ouvrages d'art (galerie, pont rail).

SENSIBILITE DES TERRAINS AUX GLISSEMENTS - PROBLEMATIQUE GENERALE

Cette problématique a été évoquée précédemment. On rappelle que de nombreux glissements de terrains préexistaient au droit du projet avant le démarrage des travaux. Ces instabilités généralement liées à la saturation des terrains argileux par l'émergence, en amont, de la nappe des grès se développaient sur des épaisseurs de 5 à 10 m, y compris sur des pentes de terrains relativement faibles (10° à 15°). Malgré les dispositions préventives décrites ci-dessus, de nombreux glissements se sont déclarés lors des travaux de terrassement en déblai, et même longtemps après leur achèvement. La plupart de ces glissements étaient d'ampleur limitée, et pouvaient être traités sans grandes difficultés : purge de l'ensemble des matériaux argileux ▷

glissés, réalisation en fond de purge d'éperons drainants et frottants dans le sens de la plus grande pente (remblayés en matériau granulaire 0/150 issu de carrière), et remblayage de la purge avec ce même matériau drainant.

En revanche, quelques glissements ont concerné des volumes importants (jusqu'à 475 000 m³) ou ont nécessité des traitements spécifiques tels que ceux présentés ci après. Les glissements des PK 10 et 38 à 39 retiennent particulièrement l'attention, ainsi que celui du PK 32,7 qui a conduit à changer un ouvrage en terre en ouvrage d'art.

GLISSEMENTS – EXEMPLES REMARQUABLES

Glissement du PK10

Au PK 10, un glissement s'est produit sur un talus de déblai dans un versant de colline. Le versant concerné a pour ossature des marnes surmontant des argillites. Malgré une inclinaison faible (8° sur l'horizontale), l'ensemble du secteur présente des signes de glissement ancien. Ce versant est surchargé en tête par un important dépôt de stériles provenant d'une ancienne carrière ; cette surcharge, associée à une nappe aquifère, est vraisemblablement à l'origine du glissement ancien intéressant le versant. Non loin, un autre glissement avait causé la destruction d'une maison d'habitation quelques années avant les travaux. Le projet prévoyait d'entailler en déblai la base de ce versant sans aucun dispositif confortatif. La butée de pied de ce versant en stabilité précaire a été amoindrie par les travaux et un glissement très actif a alors réactivé localement l'ancien glissement.

La position de la surface de glissement a été précisée à l'aide de profils topographiques et de sondages pressiométriques. Après analyses de stabilité, le traitement suivant a été retenu :

→ La zone glissée a été écrêtée parallèlement à la pente sur une épaisseur de 3 m, par passes de largeur réduite à 12 m ;

→ Des éperons drainants ont ensuite été réalisés le long de la pente, avec un espacement de 6 m, jusqu'à une profondeur de 3 à 4 m ; ils ont été associés à une bêche d'ancrage granulaire ;

→ Les eaux drainées ont été évacuées par drains et collecteur gravitaire ;

→ Le pied de talus a été reconstitué avec des matériaux granulaires frottants talutés à 3H/2V.

Un inclinomètre a été positionné en amont du talus de déblai pour s'as-

surer du comportement du versant après la mise en service de la voie, et déterminer si des travaux supplémentaires de confortement du talus seront nécessaires.

Des éperons drainants ont également été réalisés sur l'ensemble du talus de déblai, pour prévenir une nouvelle instabilité dans ce secteur sensible.

Glissements dans la zone des PK 38 à 39

La zone entre les PK 38 et 39 du projet est une zone à forte interférence entre l'infrastructure ferroviaire et l'infrastructure autoroutière : les deux plates-formes sont accolées sur un versant de nature instable, et descendant jusqu'au niveau de la mer, la voie ferrée étant implantée en contrebas de la voie autoroutière. Dans cette zone, le projet ferroviaire prévoyait des murs de soutènement sous le remblai autoroutier, et sur quelques rares zones sans mur, un remblai ferroviaire accolé sous le remblai autoroutier. La logique de construction de cette zone aurait voulu que la plate-forme ferroviaire, au niveau inférieur, soit construite avant la plate-forme autoroutière, tant pour les remblais que pour les murs de soutènement. Mais la programmation très serrée des travaux autoroutiers a conduit au phasage inverse, ce qui a entraîné deux situations de glissements très critiques. Un premier glissement de terrain fossile a été réactivé par les travaux de préparation et de montée du remblai autoroutier au droit du PK 38,8 à un endroit où la voie ferrée implantée à l'aval était projetée également en remblai. L'ensemble du terrain situé à l'aval de l'autoroute s'est trouvé déstructuré et cela jusqu'au bord de mer. La présence du remblai autoroutier, quasiment terminé, ne permettait plus de réaliser les purges nécessaires pour asseoir le remblai ferroviaire sur des terrains stables. Après de nombreuses expertises, études, et concertations entre les Maîtres d'Oeuvre et d'Ouvrage, la solution radicale, qui consistait à démonter le remblai autoroutier et remonter l'ensemble des deux plates-formes, s'est avérée impossible pour cause de mise en service prochaine de l'autoroute. La solution alors retenue a consisté à réaliser une paroi moulée, avec des tirants actifs, en pied du remblai autoroutier, pour, d'une part permettre l'exécution des purges des terrains glissés sous la plate-forme ferroviaire, et la montée du remblai ferroviaire, et d'autre part pérenniser la stabilité de l'autoroute. Un deuxième glissement s'est produit au PK 38,4. A cet endroit,

le projet prévoyait un mur de soutènement en béton armé sur semelle. Le remblai autoroutier amont ayant été monté, là encore, avant la construction du mur aval, le glissement s'est produit lors de l'ouverture des fouilles de ce mur. Une buse hydraulique existante sous l'ancienne route nationale dominant le site, obturée lors des travaux de terrassement, avait aussi saturé le remblai, juste dans l'axe du glissement. La situation était donc assez critique car la circulation de la route nationale, contiguë à la plate-forme autoroutière en construction, ne pouvait pas être coupée.

Après expertises, et études de plusieurs solutions, (terrassement du remblai glissé, paroi berlinoise provisoire au bord de la route), c'est la solution terrassement qui a été rapidement arrêtée, et mise en oeuvre. Par plots de 20 m de longueur, le remblai autoroutier a été terrassé selon une pente de 2H/1V, et des éperons drainants de 3 à 4 m de profondeur, espacés de 4,5 m ont été réalisés perpendiculairement pour drainer la surface de glissement, et améliorer l'angle de frottement des terrains sur cette surface. Une purge de 2 m sous la semelle du mur de soutènement a été exécutée, pour asseoir l'ouvrage sur un terrain stable et remblayée en matériau drainant, connectée avec les éperons, puis construction du mur béton armé, par plots de 10 m, et remblai partiel avant de passer au plot suivant.

Ce travail par plots de longueur limitée, délicat en raison du maintien de la circulation routière et des venues d'eaux sous le remblai, et suivi en permanence par un géotechnicien, a permis de rétablir la stabilité du site tout en assurant la stabilité de la route nationale en amont.

VIADUC DU PK32+700

Dix kilomètres avant le port, le tracé franchit sur 300 m, entre deux massifs gréseux, une dépression topographique qui montre des mouvements lents du sol mameux. Le projet prévoyait initialement un remblai haut de 20 m environ. Au démarrage des travaux, cette zone a été repérée comme particulièrement délicate : des purges importantes ont alors été dimensionnées pour assurer la stabilité du remblai et un phasage particulier de ces travaux a été mis au point. Lors des travaux préparatoires des premiers décaissements de purges, un glissement important de terrain s'est produit. L'analyse de la zone glissée a montré que pour obtenir la sécurité requise sur la stabilité du

remblai, il fallait s'assurer de la purge totale de tous les terrains en glissement et les substituer par un matériau frottant et drainant, avec un drainage en amont. Il fallait également réaliser une risberme en pied de versant, ainsi que des inclusions rigides pour stabiliser le sol lors des purges. Devant l'importance des travaux à réaliser, l'ONCF a demandé d'étudier la faisabilité d'une solution d'ouvrage d'art pour le franchissement de ce glissement. La comparaison entre l'ouvrage en terre et l'ouvrage d'art ayant conclu que les coûts et les délais des deux solutions étaient proches, le maître d'ouvrage a décidé de retenir la solution viaduc en béton armé, solution jugée préférable pour la pérennité de l'ouvrage. Les études de projet du viaduc ont alors été lancées, études délicates puisqu'il faut à la fois stabiliser les sols en mouvement et fonder l'ouvrage à travers la zone glissée. Les travaux des ouvrages proches étant déjà réalisés, le tracé du projet ne pouvait plus être modifié. Dès lors, les alternatives pour fonder l'ouvrage sur le terrain en mouvement étaient les suivantes :

→ Soit concevoir des fondations qui résistent aux efforts engendrés par le glissement ;

→ Soit se fonder au dessus de la surface de glissement et prévoir la possibilité de réaliser des réglages corrigeant les mouvements du sol ;

→ Soit se fonder dans le terrain stable et protéger les piles des efforts horizontaux par des viroles ;

→ Soit se fonder dans le terrain stable après terrassement en déblai des terrains instables dominant l'ouvrage, le déblai étant conforté par des soutènements ancrés et drainages subhorizontaux définitifs. La difficulté principale de la conception des fondations d'un tel viaduc et de son soutènement de protection résidait dans la reconnaissance du volume de sol en glissement et dans la définition des vitesses de déplacement et des efforts susceptibles de s'appliquer à la structure.

Une importante campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire a donc été réalisée sur site dans le but de mieux cerner la géométrie du glissement, notamment par la mise en place d'inclinomètres. L'analyse des résultats d'inclinomètres en corrélation avec les résultats de sondages carottés et pressiométriques a permis de préciser la profondeur approximative de la surface de glissement (entre 8 et 10 m de profondeur). Les deux premières alternatives de fondation évoquées ci-

dessus ont été écartées en raison des efforts importants amenés par le glissement sur l'ouvrage, et parce que, la vitesse du mouvement n'ayant pu être déterminée de façon fiable (période de mesure insuffisante), il n'était pas possible de définir les réglages des contre-déplacements. Cela d'autant plus que le glissement peut être déclenché par un séisme. Le principe d'isolation des fondations par rapport au sol en mouvement, proposé par l'assistance à la maîtrise d'œuvre, consistait à construire des viroles de grand diamètre de protection autour des fondations. De telles viroles permettaient d'une part de s'affranchir de poussées parasites sur l'ouvrage, et d'autre part de réaliser des drains subhorizontaux rayonnants à partir des puits de viroles, drains contribuant à ralentir, voire stabiliser l'activité du glissement. Cette solution imposait de connaître précisément sur chaque fondation le niveau de la surface de glissement et la vitesse approximative de ce mouvement. Elle était d'autant moins onéreuse que la longueur des travées pouvait être augmentée pour réduire le nombre de fondations en terrain instable, ce qui n'était cependant pas possible en conservant le choix d'un tablier en béton armé.

Le maître d'ouvrage a finalement retenu la quatrième solution, de construction d'un ouvrage sur pieux, à l'aval d'un soutènement permettant le terrassement des terrains en glissement. La conception et le dimensionnement

de ce soutènement ont été mis au point après plusieurs études variantes. La solution finale a consisté dans la réalisation de murs en béton projeté et cloués (clous de 16 à 36 m de longueur) de hauteurs entre 3 et 6 m, étagés sur le versant, à l'amont des fondations de l'ouvrage. Un nouveau marché comprenant les études d'exécution et la réalisation du soutènement et du viaduc a été passé. Le phasage de construction prévoyait normalement l'exécution du soutènement avant celle des piles situées au cœur du glissement. Mais le délai extrêmement court pour la réalisation du viaduc, qui était alors sur le chemin critique de la mise en service de la voie ferrée, et des retards dans la mise au point des études du soutènement, ont conduit l'entreprise à proposer et réaliser un blindage de protection provisoire au droit de chaque appui afin de permettre le terrassement des appuis sans attendre la réalisation de l'ensemble des soutènements. Ce blindage a été réalisé sous la forme d'une rangée de pieux de gros diamètre ancrés dans le substratum. Cette solution, risquée, a permis de dégager la construction du viaduc du chemin critique, mais de forts déplacements des parois ont été observés lors de l'excavation à l'aval.

CONCLUSION

La construction de la liaison ferroviaire Tanger – Port Med a constitué un chantier d'exception, qui a requis la mobili-

sation de moyens humains et matériels importants. Les difficultés de réalisation, causées notamment par une durée d'études insuffisante, une évolution du projet, et des conditions géotechniques très délicates, ont nécessité d'importantes adaptations du projet pendant les travaux. Les différents intervenants du projet ont fait preuve de réactivité, de compétence et d'imagination pour résoudre en urgence les problèmes parfois très difficiles et permettre le bon avancement du chantier.

Ce difficile chantier d'infrastructure est maintenant achevé. Le Port de Tanger-Med est entré en activité à l'été 2007, il a été raccordé au réseau autoroutier en mars 2008, et est relié au réseau ferroviaire depuis mai 2009, ce qui le rend pleinement opérationnel. Fort de cette expérience réussie, l'Office National des Chemins de Fer se consacre maintenant au premier projet de ligne à grande vitesse marocaine, Tanger - Kenitra - Rabat - Casablanca. □

COÛTS ET DELAIS

Le coût global du projet est de 3,3 milliards de dirhams (environ 300 millions €).
Le coût de l'infrastructure représente environ 2,5 milliards de dirhams dont 50% pour les terrassements, 25% pour les viaducs et 25% pour les tunnels.
Les travaux d'infrastructures ont démarré mi 2005 et se sont achevés progressivement entre mi-2007 et fin 2008 pour la dernière section.
Les travaux de superstructures ferroviaires, gares, signalisation et télécommunications ont démarré fin 2007 et se sont achevés au premier trimestre 2009. La mise en service a eu lieu en mai 2009.

10- Viaduc au PK6 – poutre de lancement.

10- Viaduct at PK6 – Launching girder.



© EGIS

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE TANGIER – MEDITERRANEAN PORT RAIL LINK

DOMINIQUE BOUVIER, EGIS - KHALID KHAIRANE, EGIS - XAVIER AILLERET, EGIS - BRUNO MAZARÉ, EGIS

The rail project called Tanger Port Med is one of the links in a vast investment programme launched by the Moroccan national railways board (ONCF) a few years ago for the renovation and extension of its network, which largely dates from distant times.

The Tanger Med project consists of two additional new links:

- *The link between Tanger City and Oued R'Mel Port called Port Tanger Mediterranean, due to be commissioned in the first quarter of 2009, a new line passing through a very undulating relief, that required 9 viaducts, 2 tunnels and more than 20m cu. m of earthmoving;*
- *The Sidi Yahia – Mechraa Belksiri link, further south, passing directly through the Gharb Plain, to avoid the detour by the current line via Sidi Kacem, with a traffic reversal and often transshipment. This direct line should save 1 hour on the journey between Rabat and Tanger.*

These two new lines are designed to provide a rapid link between the vital centre of Morocco and the region of Tanger, which will experience, and is already experiencing, with the opening of the new port, significant industrial development. □

CONSTRUCCIÓN DEL ENLACE FERROVIARIO TÁNGER – PUERTO MEDITERRÁNEO

DOMINIQUE BOUVIER, EGIS - KHALID KHAIRANE, EGIS - XAVIER AILLERET, EGIS - BRUNO MAZARÉ, EGIS

La operación ferroviaria que recibe la denominación de Tanger Port Med representa uno de los eslabones de un amplio programa de inversión iniciado por el Office National des Chemins de Fer du Maroc (ONCF) desde hace algunos años para la renovación y la ampliación de su red ferroviaria cuya mayor parte se remonta a una lejana época.

La operación Tanger Med consta de dos nuevos enlaces complementarios:

- *el enlace de Tanger Ville con el Puerto marítimo de Oued R'Mel denominado Port Tanger Méditerranée, cuya puesta en servicio será efectiva durante el primer trimestre de 2009, nueva línea que atraviesa un relieve sumamente accidentado, que ha precisado 9 viaductos, 2 túneles y más de 20 Mm³ de movimiento de tierras,*
- *el enlace Sidi Yahia – Mechraa Belksiri, más al Sur, que atraviesa directamente la llanura del Gharb para evitar la parada obligatoria de la línea actual por Sidi Kacem, con inversión de circulación y con frecuentes rupturas de carga para el tráfico.*

Esta línea directa permitirá ganar 1 hora en el trayecto Rabat Tanger. Estas dos nuevas líneas permitirán rápidamente la conexión del centro vital de Marruecos con la región de Tánger que estará objeto y que ya experimenta un desarrollo industrial muy importante con la entrada en servicio del nuevo puerto marítimo. □