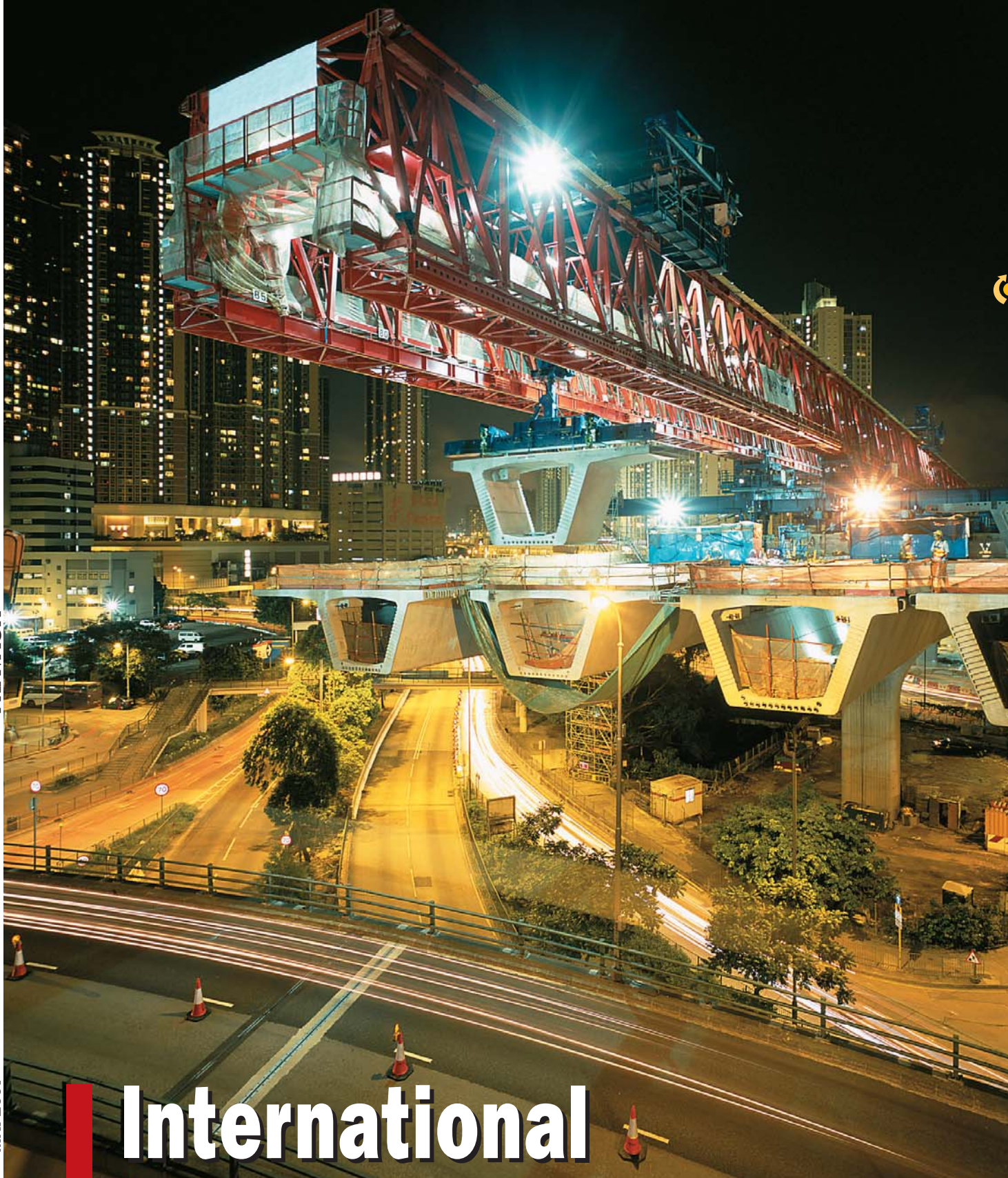


La revue technique des entreprises de Travaux Publics

Travaux

n° 841
Mai 2007



International

INTERNATIONAL

- **Métro de Budapest :**
surveillance géotechnique, acoustique et hydro-géologique de la ligne M4
- **Réhabilitation de la piste aérienne de Rabi au Gabon**
- **Traitement des griffes d'érosion sur les plateaux batékés**
- **La Réunion :**
le viaduc de la Grande Ravine
- **Dubai, Palm Jebel Ali, vibrocompaction**
- **Ho Chi Minh City :**
Thu Thiem Tunnel
- **Viaduc de Lai Chi Kok à Hong Kong**
- **East Tsing Yi viaduct**
- **Le tunnel de Changjiang en Chine**
- **Prony. De l'énergie pour le nickel néo-calédonien**
- **Chicago, réservoir de McCook**



Bruno Dupety
Président de la Commission
Europe-International/SEFI
Président de Freyssinet

Dès 2005, la FNTP a renforcé son organisation et ses moyens d'action pour intervenir efficacement, et le plus en amont possible, dans le processus d'élaboration des dispositions européennes et internationales qui s'imposent à terme aux entreprises du secteur. Cette priorité s'est notamment traduite par la création de la Commission Europe-International/SEFI¹.

Plusieurs actions majeures sont menées de front.

La participation aux dossiers législatifs européens

La FNTP intervient sur des dossiers législatifs en cours d'examen au sein des institutions européennes qui intéressent le secteur. Elle a mis en place une structure d'échanges privilégiés avec les députés français, au sein du « Cercle BTP du Parlement européen ». Différents succès ont été obtenus particulièrement lors de l'adoption de la directive sur les « services dans le marché intérieur » ou du Programme Cadre de Recherche et Développement Technologique (PCRDT) 2007-2013. Le nouveau cadre européen comprend des références explicites au secteur de la construction, en particulier : le stockage souterrain du CO₂, la prévision des glissements de terrains, le rôle des Plates-formes technologiques ou les Initiatives technologiques conjointes.

La FNTP participe également à l'élaboration d'une directive sur les concessions de travaux et de services dont l'enjeu est notamment d'éviter l'application systématique du « dialogue compétitif » pour l'attribution des concessions.

La coordination avec l'ingénierie

L'évolution des procédures et des pratiques de banques multilatérales de développement font largement intervenir les ingénieries. Il en est de même pour le développement des PPP et les opérations recourant aux techniques du financement de projet.

L'expérience récente montre que les firmes d'ingénierie et les entreprises partagent des préoccupations communes qui portent notamment sur :

- la préservation de la qualité de l'ingénierie. Lorsqu'elle intervient sur financements internationaux, cette dernière souffre tout à la fois de l'insuffisance des budgets alloués par ces institutions et du renforcement de la distorsion de la concurrence provenant des sociétés d'ingénierie des pays émergents ;
- l'évaluation des besoins, la définition des programmes fonctionnels et la conduite du dialogue compétitif dans les projets de partena-

riat public-privé, tant en France qu'à l'international nécessitent une compréhension partagée de la place et du rôle de chacun des acteurs.

La FNTP entend promouvoir à cet effet un dialogue institutionnel direct avec la commission internationale de Syntec Ingénierie et, au travers de la FIEC, en participant aux groupes de travail institués sur ce sujet par l'European Federation of Engineering Consultancy Association (EFCA).

La lutte contre la corruption

Des textes multiples régissent la lutte contre la corruption. La transposition en droit interne des différentes conventions internationales et directives européennes qui l'organisent, le transfert aux agences de crédit export de responsabilités accrues dans ce domaine suivant les recommandations de l'OCDE, la mise en application du programme de la Banque Mondiale (Voluntary Disclosure Program) pour ne citer que les principaux, font peser sur nos entreprises des contraintes et des risques accrues. Celles-ci sont conduites à prêter une attention croissante à leur exposition aux sollicitations indues d'agents publics étrangers.

La FNTP entend contribuer à la prise de conscience par les États et les organisations internationales financières, économiques et politiques de la nécessité d'une action plus vigoureuse de leur part pour susciter, accompagner et soutenir les efforts que doivent entreprendre les États. Pour ce faire, elle participe aux différents groupes de travail du Business Industry Advisory Council (BIAC) qui représente auprès de l'OCDE les organisations professionnelles des pays membres. Elle est également active, d'une part au sein du Comité Anti-corruption de la Chambre de Commerce International, et d'autre part auprès de la sous-commission « Internationalisation de l'entreprise » du Medef.

Ce sujet est également traité au niveau européen de la profession. La Fédération de l'Industrie Européenne de la Construction (FIEC) et les European International Contractors (EIC) ont créé un groupe de travail pour faire connaître la position et les recommandations de l'industrie européenne de la construction, notamment sur le plan contractuel. La FNTP prendra une part active à ces travaux.

L'amélioration de l'information

L'activité internationale requiert prioritairement l'accès à une information fiable. C'est pourquoi la Commission Europe-International/SEFI, par un dialogue renforcé avec les entreprises, veut améliorer l'accès de ces dernières à une information synthétique et opérationnelle de qualité répondant à leurs besoins.

La densité du réseau des Missions économiques, la présence dans un certain nombre d'entre elles d'attachés Transport et Infrastructures, doivent permettre, pour un coût maîtrisé, une remontée d'informations plus facilement assimilables et exploitables par les PME. La FNTP a engagé avec les autorités françaises, prioritairement avec Ubifrance, un dialogue approfondi sur les voies et moyens d'y parvenir.

1. SEFI = Syndicat des Entrepreneurs français internationaux

Métro de Budapest : acoustique et hydro-en construction

La construction de la ligne M4 du métro de Budapest débute en avril 2007. Dans une ville où opéras et bains thermaux sont la marque d'un plaisir de vivre qui attire de nombreux Européens, limiter l'impact des travaux sur l'environnement est essentiel.

Un système de surveillance intégré est installé par Sol Data Pannonia, établissement de la société Sol Data en Hongrie. Ce dispositif permet, pendant la construction du métro, de détecter dès leurs premières manifestations les impacts des travaux dans les domaines des déformations, de la géotechnique, de l'hydrogéologie, du bruit et des vibrations. Cette détection précoce permet de prendre à temps les mesures correctives.

■ Le projet du métro

C'est à Budapest qu'a été inaugurée, en 1896, la première ligne de métro du continent européen. Un siècle plus tard, en 2006, la ville lance les travaux de la ligne M4. Cette ligne traverse la ville en passant sous le Danube, reliant ainsi la partie sud de Buda au centre de Pest. Cette nouvelle ligne est essentielle pour soulager le trafic de surface sur les sept ponts de la ville (photo 1).

Opérateur historique du métro, le bureau BKV Zrt. en a défini le tracé : 7,3 km de long entre Kelenföldi et Keleti, deux gares ferroviaires majeures, 10 stations. L'ouvrage comporte deux tubes de 5 m de diamètre et il chemine à une profondeur variant de 13 à 30 m sous la surface. Sous le Danube la couverture n'est que de 5 m. Une extension de 3 km et des jonctions sont d'ores et déjà prévues.

La géologie présente, côté Buda, un substratum argilo-marneux qui se prête bien aux travaux de tunnel. En revanche, côté Pest, les terrains, constitués d'argiles sableuses peu cohérentes, sont difficiles. Le creusement simultané des deux tubes utilise deux TBM à pression de terre décalés d'environ 200 m et dont l'avancement est de 10 à 15 m/jour.

La faible profondeur du tracé permet de construire la plupart des stations sur le principe d'une boîte rectangulaire réalisée en parois moulées. L'excavation se fait en taube si possible. Les stations sont traversées par le tunnelier.

Photo 1

Travaux place Gellert : conditions de sol difficiles dans un contexte historique

Works in Gellert Square : difficult soil conditions in an historic setting

■ La maîtrise des risques passe une surveillance pertinente et continue

Les risques de nuisances et de dommages engendrés par les travaux ont été pris en compte dès le départ. L'analyse pratiquée en amont a permis d'en identifier trois types :

- dans cette ville chargée d'histoire, les excavations dans des terrains de médiocres caractéristiques vont engendrer des tassements, estimés à plusieurs centimètres par endroits. Les études géotechniques préalables ont permis d'identifier 580 immeubles exposés le long du tracé, dont 63 à risque élevé. On dénombre une centaine de conduites de gaz ou d'eau, dont certaines de 3 m de diamètre. Parmi les nombreux passages délicats on relève particulièrement les suivants : à Baross le tunnelier traverse directement des alluvions, à Kalvin il passe à 3 m de la ligne 3 du métro sous l'université technique place Gellert, classée au patrimoine mondial, les travaux sont prévus directement en sous-œuvre, quant à la station Kellenfold elle est implantée sous la gare MAV;
- de premières mesures avant travaux ont montré que les vibrations et le bruit allaient approcher les limites réglementaires, dans un contexte de relations déjà tendues avec certains riverains;

La mesure du bruit

dB : l'unité de mesure du bruit est le décibel dB. Il s'agit d'une unité logarithmique : deux bruits de 50 dB donnent un bruit de 53 dB ; un bruit de 40 dB et un bruit de 70 dB donnent un bruit de 70 dB : le bruit fort couvre l'autre.

dB(A) : l'oreille humaine réagit différemment aux bruits suivant leur forme, leur tonalité ou leur fréquence. Il faut donc pondérer les mesures physiques pour exprimer une mesure physiologique, qui s'exprime en dB (A).

L_{eq} : c'est la contraction de l'expression anglaise « Level equivalent » qui signifie niveau équivalent ou niveau moyen. Cette grandeur caractérise la « dose de bruit » reçue pendant une période donnée, par exemple 1 mn, 30 mn ou 24 heures Elle s'exprime en dB(A). Le L_{eq} est communément utilisé pour définir des valeurs limites d'exposition.

Échelle :

- jardin : 40 dB(A)
- conversation normale : 60 dB(A)
- rue très encombrée : 75 dB(A)
- bruit dangereux : 100 dB(A)



surveillance géotechnique, géologique de la ligne M4

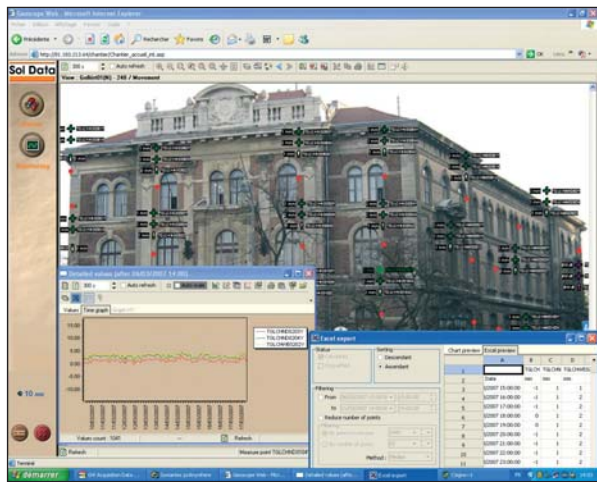


Photo 2

Surveillance de l'université place Gellert, au moyen de Cyclops garantissant une précision de 1 mm
Monitoring of the university in Gellert Square, using Cyclops guaranteeing a precision to within 1 mm

- enfin, les tunneliers vont avoir à traverser des zones karstiques, siège des sources chaudes qui alimentent les fameux thermes. Outre le danger qui résulterait d'une brutale arrivée d'eau dans le tunnel en construction, la perturbation du régime hydrothermal toucherait durement l'activité des bains et, au-delà, l'image de la ville et ses intérêts économiques. La maîtrise d'œuvre du projet, prévoyante, a mis en place un système de surveillance complet, à la fois géotechnique, acoustique et hydrogéologique. L'impact des travaux sur l'environnement est ainsi précisément suivi grâce à, notamment, 7000 points topographiques, 40 Cyclops (stations totales robotisées), 40 piézomètres, 45 extensomètres, 15 inclinomètres, 120 électro nivelles, 5 stations de bruit.

■ Surveillance géotechnique et hydrogéologique place Gellert

La configuration des travaux entrepris sur la place Gellert illustre bien l'enjeu sur le plan de la surveillance géotechnique. Nous sommes au bord de Danube, dans une zone karstique surmontée d'alluvions et de terrains gagnés sur le fleuve. La station est réalisée en taube sous le bâtiment de l'université (photos 2, 3 et 4). Le tunnelier traverse des zones karstiques alimentant les bains Gellert, ce site fameux quasi emblématique de Budapest.

Pour ce bâtiment extrêmement sensible, le premier seuil d'alerte est fixé à 2 mm par les géotechniciens.



Seuls les Cyclops permettent d'atteindre une telle précision dans des conditions réelles de terrain. Ces Cyclops sont des stations totales robotisées. Elles mesurent 24 heures sur 24 les mouvements de prismes de 5 cm de diamètre, fixés aux façades. Grâce à des prismes de référence situés dans des zones stables, les Cyclops se recalent en permanence (photo 2).

Une étude initiale prend en compte des facteurs aussi divers que la stabilité des références ou la précision intrinsèque des instruments. Cette étude permet d'implanter les trois Cyclops et les 180 cibles pour atteindre une précision de 1 mm.

Les sous-sols de l'université sont peu accessibles mais très directement exposés. Sol Data a donc installé des électro nivelles. Une électro nivelleville est une chaîne de 10 capteurs répartis sur 20 m de long permettant d'établir un profil de tassements au plus près des travaux.

L'alimentation en eaux thermales des bains Gellert est attentivement suivie. Les eaux issues des zones karstiques sont en effet captées et pompées au moyen de puits profonds creusés à partir d'un tunnel. Ce tunnel traverse le mont Gellert et alimente les bains Gellert, Rudas et Racs. Sol Data a installé des piézomètres dans les puits de pompage ainsi que dans les nappes superficielles. Des débitmètres permettent de contrôler l'alimentation. Les matériels, et surtout le système de collecte automatique des données, ont dû être renforcés pour résister à des conditions difficiles caractérisées par 100 % d'humidité et température de 45 °C dans le tunnel. Les niveaux des nappes dépendent aussi des pluies, du niveau du Danube et bien sûr des pompages. Il s'est



Ronan Le Roy
 Directeur
 Sol Data Pannonia



Peter Molitorisz
 Ingénieur
 Instrumentation
 Sol Data Pannonia



Gabor Gereb
 Ingénieur
 Instrumentation
 Sol Data Pannonia

Photo 3

Un Cyclops installé entre l'université et le Danube; les mesures sont transmises par radio

A Cyclops set up between the university and the Danube; measurements are transmitted by radio

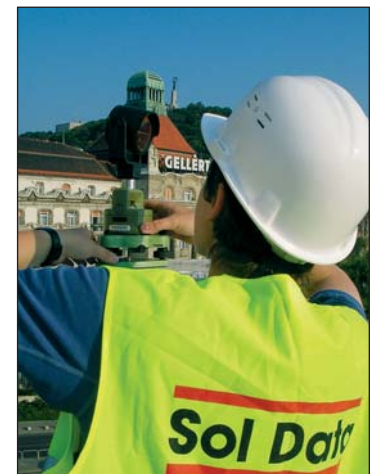


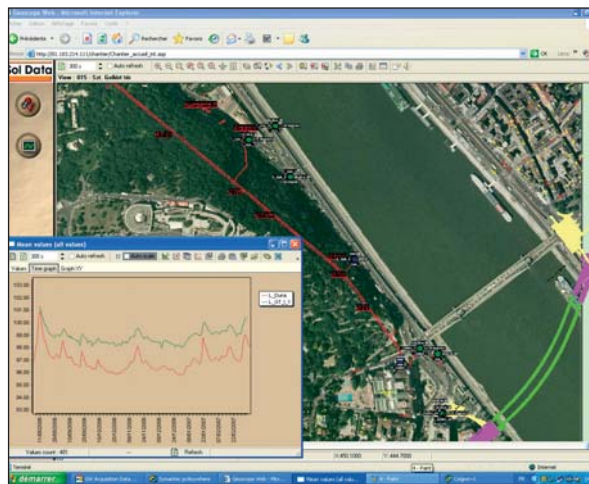
Photo 4

Mesures de déplacement par Cyclops sur les bains Gellert
Displacement measurements by Cyclops on the Gellert baths

Méto de Budapest : surveillance géotechnique, acoustique et hydrogéologique de la ligne M4 en construction

Photo 5

Surveillance des eaux karstiques autour des bains Gellert
Monitoring of the karstic waters around the Gellert baths



avéré nécessaire de forer un piézomètre de 300 m de profondeur pour suivre la nappe profonde (photo 5).

■ Surveillance du bruit place Morisz

C'est sur le chantier de la station Morisz qu'on apprécie les enjeux de la surveillance du bruit. Le site est bordé de nombreux immeubles d'habitation et connaît un fort trafic automobile. Le niveau de bruit avant les travaux est déjà très élevé.

Sol Data effectue évidemment les classiques mesures ponctuelles à raison de 450 mesures réparties sur 5 ans, qui permettent d'établir une carte de bruit initiale et de faire des contrôles ultérieurs. Sol Data installe ensuite cinq stations de bruit automatiques dans les zones les plus sensibles. À partir de capteurs échantillonnant à 44 kHz, les stations enregistrent deux fois par seconde des mesures brutes d'intensité, de spectre sur 23 bandes, de forme du signal (photo 6). Ces données sont immédiatement traitées pour établir les L_{eq} (cf. encadré « La mesure du bruit »). Suivant les normes en vigueur, les L_{eq} sont ensuite corrigées : la compensation fréquentielle de 0 à 6 dB et la compensation temporelle de 0 à 6 dB permettent de restituer l'impact subjectif du bruit sur l'oreille humaine, qui supporte mieux un bruit blanc qu'un bruit dynamique (photo 7).

Le système fournit ainsi automatiquement les mesures utiles à l'utilisateur final : L_{eq} journalier, L_{eq} horaire, nombre de dépassements du seuil, durée des dépassements. Des enregistrements ciblés permettent de vérifier les origines du dépassement comme, par exemple, le battage de pieux ou le passage d'une ambulance avec sa sirène.

Ces résultats permettent d'analyser de manière très fine l'impact réel des travaux. Maître d'œuvre et entrepreneur ont alors toutes les cartes en main pour dimi-

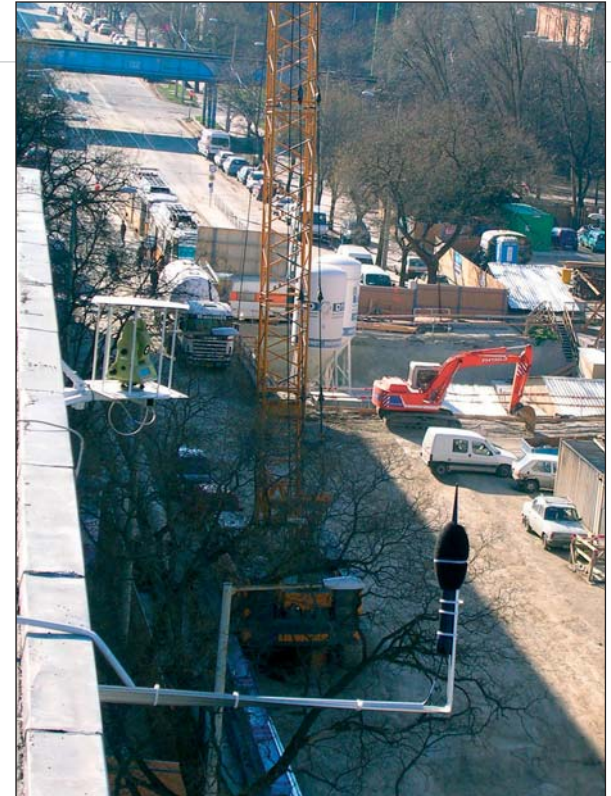


Photo 6

Micro et Cyclops pour la surveillance de la place Morisz
Micro and Cyclops for monitoring Morisz Square

nuer l'impact de leurs travaux, ce qui est l'essentiel, et aussi pour se défendre en cas de réclamation des riverains.

■ Le système d'information, un maillon essentiel

Grâce à un système de *data management on-line*, c'est-à-dire de gestion en ligne de l'information, les acteurs du projet que sont le maître d'œuvre, les bureaux d'études et les chantiers, partagent l'information, avec un seul objectif qui est devenu un slogan : « Toute l'information utile, rien que l'information utile ».

Sol Data a mis en œuvre un Geoscope Web, qui est un système intégré combinant une base de données et un Système d'information géographique. Un réseau radio déployé le long de la ligne de méto à surveiller permet de collecter en continu et automatiquement les données provenant des Cyclops, des stations de bruit, des extensomètres, des électro-nivelles, des piézomètres et autres capteurs. Un réseau principal Wi-Fi à 5 GHz couvre les 7,3 km de la ligne. Des réseaux locaux, Wi-Fi ou radio à 2,4 GHz, permettent de suivre tous les instruments. Des microradios « Microns » permettent même de connecter les piézomètres isolés sur la voirie.

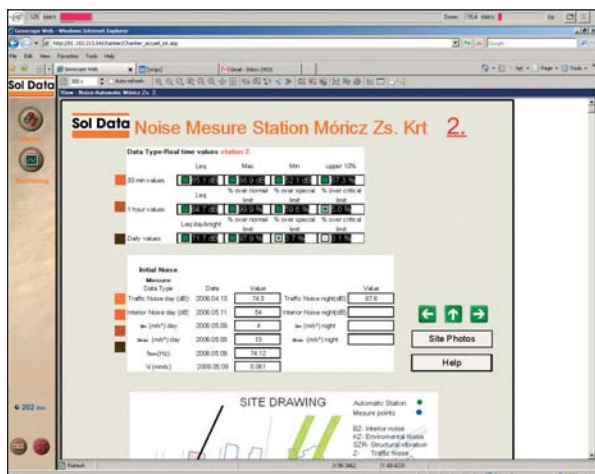


Photo 7
Relevé de bruit
Noise reading

Participant du même objectif de service en temps réel, les géomètres et les techniciens pratiquant des mesures manuelles envoient directement leurs données de nivellement ou d'inclinométrie via Internet. Les mesures sont ainsi enregistrées et mises en ligne le soir même !

Les responsables du projet consultent les mesures via Internet, avec, pour chacun, des accès correspondant aux droits qui lui ont été alloués. Pour renforcer la réactivité en cas d'évolution rapide, un système d'alerte a été mis en place. L'alerte est déclenchée en fonction de seuils définis par les entrepreneurs et les consultants. En cas de dépassement d'un seuil, un message SMS ou un E-mail est immédiatement envoyé aux responsables des travaux concernés. En général, il est alors encore temps d'adapter la conduite des travaux et de prendre des mesures correctives pour mettre fin à la perturbation.

Un exemple de réaction juste-à-temps : un tassement différentiel à l'angle d'un immeuble dépasse le seuil d'alerte et déclenche l'envoi d'une alarme aux responsables de cette station; l'immeuble est alors aussitôt suivi en détail; en deux jours, la cause est identifiée et les travaux sont adaptés pour limiter le tassement. Quinze jours plus tard, le tassement critique est parfaitement sous contrôle (photo 8).

En plus des vues et des courbes, les rapports d'inspection et les avis techniques sont mis en ligne et partagés via le Geoscope, qui constitue la mémoire vivante du projet.

Sur la ligne M4 du métro de Budapest, la construction du tunnel est confiée à une entreprise unique, mais chaque station est attribuée à une entreprise diffé-

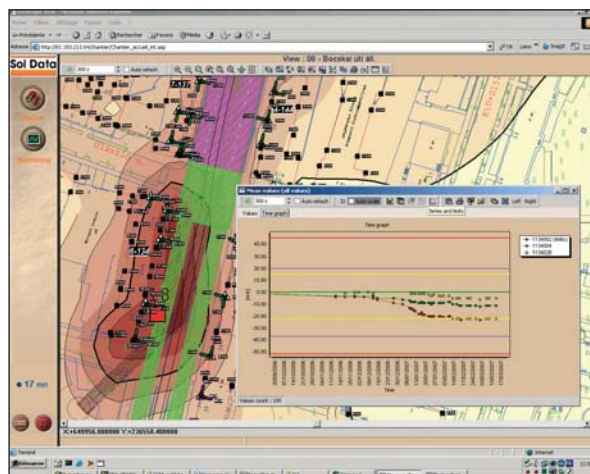


Photo 8
Tassement différentiel sur un immeuble dépassant le seuil d'alerte de 20 mm
Differential subsidence on a building exceeding the alert threshold by 20 mm



Photo 9
Installation de jauges de contraintes sur un buton pour l'entrepreneur de la station Morisz. La méthode observationnelle permet de limiter le butonnage au strict nécessaire
Installation of strain gauges on a stay for the Morisz Station contractor. The observational method allows staying to be limited to strictly what is necessary

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Ligne : 10 stations, 7,3 km, 780 millions d'euros
- Durée des travaux : 2006-2008

Métro de Budapest : surveillance géotechnique, acoustique et hydrogéologique de la ligne M4 en construction

rente. Pour assurer un suivi transversal et indépendant tout en respectant la liberté de conception des entreprises, la maîtrise d'ouvrage a retenu une solution élégante qui consiste à faire réaliser l'ensemble de la surveillance de l'impact sur l'environnement par une société spécialisée. Les mesures dans les ouvrages proprement dits pendant leur construction, par exemple les tunnels, les parois moulées et leurs butons restent toutefois de la responsabilité des entrepreneurs. Les mesures permettent, notamment pour le butonnage, d'appliquer la méthode observationnelle afin de limiter les quantités au strict nécessaire (photo 9). ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Maître d'ouvrage : BKV Zrt
- Ingénieur : Eurometro
- Entrepreneur tunnel : Bamco JV (Vinci, Strabag, Hidepitö)
- Surveillance géotechnique et bruit : Sol Data Hungeod JV
- Surveillance des eaux karstiques : Sol Data Mélyépterv Mecsekérc JV

ABSTRACT

Budapest underground railway : geotechnical, acoustic and hydrogeological monitoring of line M4 during construction

R. Le Roy, P. Molitorisz, G. Gereb

Construction of line M4 of the Budapest underground railway began in April 2007.

In a city in which operas and thermal baths are the mark of a pleasure life which attracts numerous Europeans, it is essential to limit the impact of the works on the environment. An integrated monitoring system is being installed by Sol Data Pannonia, a subsidiary of Sol Data company in Hungary. During construction of the underground railway, this system makes it possible to detect, from their first symptoms, the impact of the works in the areas of strain, geotechnics, hydrogeology, noise and vibration. This early detection enables corrective measures to be taken in time.

RESUMEN ESPAÑOL

Metro de Budapest : supervisión geotécnica, acústica e hidrogeológica de la línea M4 en curso de construcción

R. Le Roy, P. Molitorisz y G. Gereb

La construcción de la línea M4 del metro de Budapest ha dado comienzo en abril de 2007. En una ciudad en la cual óperas y baños termales constituyen la marca de un placer de vivir que atrae a numerosos europeos, limitar el impacto de los trabajos sobre el medio ambiente es primordial. Se ha instalado un sistema de supervisión integrada por Sol Data Pannonia, establecimiento de la empresa Sol Data en Hungría. Este dispositivo permite, durante la construcción del metro, poder detectar a partir de sus primeras manifestaciones los impactos de los trabajos en los campos de las deformaciones, la geotécnica, la hidrogeología, del ruido y de las vibraciones. Esta detección temprana permite tomar en su debido tiempo las medidas correctivas.

Réhabilitation de la piste aéronautique de Rabi au Gabon

Isolée au sud du Gabon, en pleine forêt primaire, la base vie de Shell n'est quasiment accessible que par avion. Afin de ne pas perturber les mouvements réguliers du personnel du site, le renouvellement de la couche de roulement de la piste devait être réalisé avec une technique rapide à mettre en œuvre. Colas Gabon a proposé une solution en enrobés coulés à froid, qui apportait en outre une réponse efficace au faïençage important que présentait le revêtement existant.

Pour cette première en Afrique subsaharienne, une équipe française du groupe est intervenue, après qu'une logistique importante ait été mobilisée afin de mettre à niveau l'usine d'émulsion, mais aussi élaborer et acheminer les matériels et matériaux sur site. Ainsi après plusieurs mois de préparation, ces travaux ont pu finalement être réalisés en une quinzaine de jours.

■ Situation et état des lieux

La zone pétrolière « on shore » de Rabi au Gabon, située à environ 450 km au sud de Libreville est dotée d'un aérodrome pour les nécessités internes des sociétés Shell, Total et de certains sous-traitants opérant sur le site.

Il s'agit d'un aérodrome privé dont Shell est le gestionnaire.

En 2004, la société Shell Gabon consulte Colas pour la réalisation des travaux de réhabilitation du revêtement de cette piste dont l'état justifie une intervention rapide.

La piste

D'une superficie de 42 000 m² (L ≈ 1 400 x l ≈ 30) environ, sa structure en latérite traitée au ciment, a été revêtue une vingtaine d'années auparavant d'un coulis bitumineux mis en œuvre manuellement, à l'aide de raclettes.

Ce revêtement, d'une épaisseur de 0,5 à 1,5 cm est faïencé anarchiquement de façon plus ou moins importante selon les zones. Les dégradations superficielles sont telles que des réparations à l'enduit superficiel à l'émulsion sont indispensables pour éviter leur généralisation.

Si ces réparations très ponctuelles s'avèrent efficaces à court terme, elles ne peuvent en aucun cas être une solution durable au problème rencontré.

Des mesures de déflexions réalisées fin 2003 sur toutes les zones montrent que la résistance du support n'est pas affectée (photos 1, 2 et 3).



Photo 1

État de la zone parking

Condition of the parking area



Photo 2

Vue du faïençage, la latérite est visible

View of cracking, the laterite is visible



Photo 3

Enduits ponctuels réalisés localement

Localised coatings performed locally

Le trafic aérien

Le trafic est relativement peu important; selon les périodes de l'année les rotations journalières sont comprises entre 2 et 6, et desservent Libreville au nord et Gamba au sud.

Les avions sont généralement des bimoteurs type « Dash 8-100 » d'une cinquantaine de places affrétés par « Air Service Gabon ».

Comme la rénovation de la piste ne devait en aucune manière perturber le trafic aérien il a été convenu alors, que les travaux de réhabilitation se feraient uni-

Gilles Duchatel
Directeur
Colas Gabon

Jack Bertholet
Directeur Technique
Colas Afrique de l'Ouest
et Centrale

Pierre Montmory
Campus Scientifique
et Technique
Colas

Réhabilitation de la piste aéronautique de Rabi au Gabon

Photo 4

Vue partielle de l'usine
et des stockages d'émulsion
*Partial view of the plant and
the emulsion storage areas*



Photo 5

L'unité de reconstitution
des granulats
The aggregate blending unit



quement hors trafic, chaque fin de semaine, les samedis et dimanches.

Compte tenu de l'état de la piste, la solution préconisée consistait d'une part à traiter la fissuration superficielle et d'autre part à renouveler la couche de roulement afin de recréer les caractéristiques d'homogénéité, d'imperméabilité et d'adhérence indispensables à ce type d'ouvrage.

La proposition technique finale de Colas a été la mise en œuvre d'un enrobé coulé à froid selon la technique bicouche :

- une première couche de granulométrie 0/4, volontairement riche en fines, et à module de richesse élevé, permettant d'imperméabiliser et de pénétrer efficacement les fissures les plus fines;
- une deuxième couche de granulométrie 0/6 plus traditionnelle, donnant l'homogénéité d'ensemble en conférant l'adhérence souhaitée.

Les moyens et matériels disponibles au Gabon

Les techniques à l'émulsion sont encore actuellement mal connues au Gabon.

Colas dispose cependant d'une usine de fabrication d'émulsion située à Owendo, à proximité de Libreville, qui peut approvisionner le chantier de Rabi.

La carrière Dragage, de Kinguélé, produit un granit massif 100 % concassé pouvant être utilisé.



Photo 6

La machine d'application de l'ECF
The slurry seal application machine

Pour répondre à ce marché potentiel, Colas Gabon s'est doté, entre 2004 et 2005, de matériels adaptés à ce type de chantier :

- l'usine de fabrication d'émulsion de première génération a été entièrement réaménagée et modernisée, pour élaborer une émulsion de qualité compatible à la réalisation d'ECF (photo 4);
- construction d'une centrale de reconstitution équipée de :
 - > prédoseurs,
 - > crible à étage,
 - > trémies peseuses,
 - > malaxeur,
 - > bandes transporteuses,
 - > cabine de commande.

Cet ensemble performant permet la reconstitution et l'humidification conformes aux prescriptions demandées. Cet ensemble a été acheminé et implanté sur le site de Rabi (photo 5);

- matériel d'application de l'ECF : acquisition d'une machine Breining SHS 1000 entièrement réhabilitée (photo 6).

■ Étude initiale en laboratoire

L'étude préalable de formulation a été confiée au CST Colas de Magny-les-Hameaux et réalisée à partir des diverses matières premières disponibles localement : agrégats de Kinguélé, bitume...

Les conditions climatologiques particulières et notamment la forte hygrométrie ambiante, les contraintes de remise au trafic aérien, ont demandé une étude affinée de la formulation.

L'adoption d'une formule au liant élastomère s'est imposée, puis mise au point courant juin 2004.

■ Vérifications sur site de la faisabilité

Au Gabon, la saison « sèche » est de courte durée, elle débute en juin et se termine généralement en septembre. Or l'importance des modifications entreprises n'a pas permis d'entamer les travaux au cours de l'année 2004; ils ont donc été programmés pour le mois d'août 2005.

Des vérifications préalables ont été effectuées en juillet 2005 pour s'assurer de la viabilité de l'opération. Elles ont consisté en la mise en route de l'usine après transformations, aux contrôles des produits fabriqués et leur aptitude à pouvoir être mis en œuvre selon les formulations préconisées et enfin à la formation du personnel chargé des contrôles et du suivi de ce chantier.

Les fabrications industrielles ont été lancées à la suite de ces vérifications.

Parallèlement, le matériel nécessaire à la reconstitution et les agrégats étaient acheminés par barge puis par route jusqu'à l'aérodrome de Rabi.

■ Les formulations appliquées

Les agrégats

Ils sont conformes aux normes XP P 18540 pour les granulats 4/6 et NF 18540 BIII a pour le sable 0/4 :

- ECF Colmat 0/4, après criblage et humidification en centrale de recomposition est conforme aux prescriptions du fuseau ISSA (figure 1);
- ECF Colmat 0/6, après criblage et humidification en centrale de recomposition est conforme aux prescriptions du fuseau ISSA (figure 2).

L'émulsion

Elle est conforme à la norme NF T 65-011. Ses caractéristiques sont reportées sur le tableau I. Pour les mélanges ECF Colmat 0/4 et 0/6 on peut se référer au tableau II.

■ Application

L'agence Colas Gabon ne possédant pas l'expérience de la mise en œuvre des enrobés coulés à froid, une équipe spécialisée de Colas Midi-Méditerranée s'est déplacée pour cette opération.

Les travaux se sont déroulés tous les week-ends entre le 6 août et le 21 août 2005, comme le stipulait le contrat, mais quelques créneaux ont toutefois été accordés en dehors de ces deux journées.

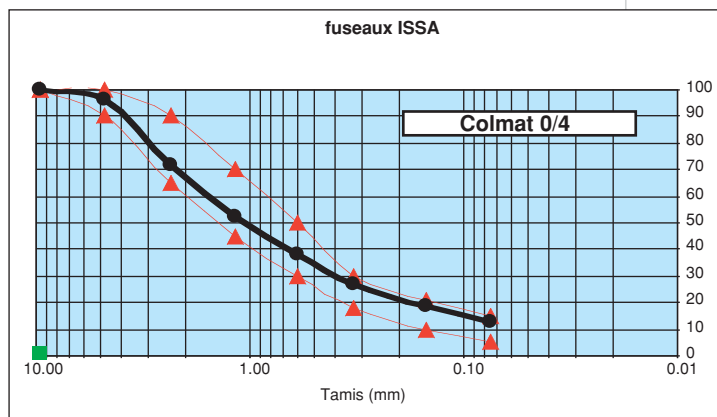


Figure 1
Fuseau ISSA/ASTM type 2
Type 2 ISSA/ASTM grading envelope

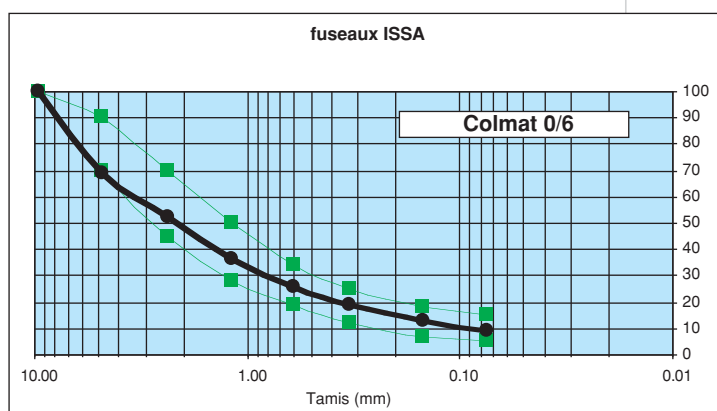


Figure 2
Fuseau ISSA/ASTM type 3
Type 3 ISSA/ASTM grading envelope

ESSAIS RÉALISÉS			Moyennes	Spécif.
Homogénéité	Particules > 0,50 mm	%	0,03	< 0,1
	Particules > 0,16 mm	%	0,09	< 0,25
Teneur en eau			%	38,0
Teneur en liant			%	62,0
Pseudo-Viscosité (STV 4 mm/25 °C)			secondes	6,2
Indice de rupture (Sikaisol)			grammes	97
pH émulsion			/	2,0
Temps de maniabilité du mélange			secondes	120
Temps de prise			minutes	22

Tableau I
Caractéristiques de l'émulsion
Properties of the emulsion

Technique	Superficie totale 47 000 m ²	
	Bicouche 0/4 + 0/6	
Granulométrie	0/4	0/6
Dosage visé ECF (kg/m ²)	10,0	14,0
Formule de l'ECF	Parties (poids)	
Granulats secs	100,0	100,0
Ciment	1,0	1,0
Eau d'apport	10,6	7,9
Emulsion	12,6	10,3

Tableau II
Formulation des ECF réalisés
Formulation of slurry seals produced

Réhabilitation de la piste aéronautique de Rabi au Gabon

Les contraintes de travaux ont conduit à appliquer l'ensemble de l'ECF 0/4 puis le 0/6.

Le matériel était composé de la machine Breining, de deux compacteurs PS 500 délestés, d'un tracto-pelle et d'un camion benne 4 x 2.

Avant le démarrage du chantier, un PAQ, les méthodologies et le plan HSE ont été transmis au client et ont été scrupuleusement respectés durant les travaux.

■ Mesures environnementales

Pour respecter les contraintes de protection de l'environnement exigées par le client, des dispositifs de récupération des déchets lors des différentes opérations de nettoyage ou de vidange ont été mis en place :

- bac de rétention pour le lavage du traîneau;
- stockage des produits de fin de bande;
- mise en fûts des produits de vidange, etc.

Ces mesures, si elles s'avèrent parfois contraignantes, n'en sont pas moins indispensables pour protéger le milieu naturel.

■ Conclusions

Cette première expérience s'est parfaitement déroulée malgré les conditions particulières liées à la géographie, la climatologie, et l'environnement.

Plus de 100 000 m² de piste y compris les essais ont été réalisés en 14 jours de travail et la qualité du revêtement obtenue satisfait à ce jour pleinement le client. ■

ABSTRACT

Renovation of the Rabi aircraft runway in Gabon

G. Duchatel, J. Bertholet y P. Montmory

Isolated in southern Gabon, in the heart of a primary forest, the Shell construction camp is accessible virtually only by plane. In order not to disturb the regular movements of site personnel, renovation of the runway wearing course had to be carried out with a technique that could be applied rapidly. Colas Gabon proposed a slurry seal solution which also provided an effective answer to the extensive cracking apparent in the existing surfacing.

For this first in sub-Saharan Africa, one of the Group's French teams performed the work, after mobilising extensive logistics to upgrade the emulsion plant and also to produce equipment and materials and convey them to the site.

Accordingly, after several months' preparation, this work was finally able to be carried out in about fifteen days.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación de la pista aeronáutica de Rabi en Gabón

G. Duchatel, J. Bertholet y P. Montmory

Aislada en el Sur de Gabón, en pleno bosque primario, la base vida de Shell es accesible casi únicamente por avión. Con objeto de no perturbar los movimientos regulares del personal de la planta, la renovación de la capa de rodadura de la pista se debía ejecutar con una técnica rápida de puesta en aplicación. Colas Gabón ha propuesto una solución de lechada bituminosa, que permitía obtener, además, una respuesta eficaz al importante cuarteamiento que presentaba el revestimiento existente. Para esta primicia en África subsahariana, un equipo francés del Grupo ha intervenido, tras la movilización de una importante logística para permitir la puesta a nivel de la planta de emulsión, así como elaborar y transportar los materiales y materias en el sitio.

De este modo, después de varios meses de preparación, se han podido ejecutar estos trabajos en un plazo de quince días.

Traitement des griffes d'érosion sur les plateaux batékés



Michel Courtaud
Directeur Afrique
France Maccaferri

Les centres historiques des capitales Kinshasa et Brazzaville sont construits sur des plaines alluvionnaires le long du fleuve Congo, bordurées par des sites collinaires aux sols fragiles (sables batékés) et sensibles aux érosions des eaux de ruissellement.

La construction des routes en sorties urbaines sur les lignes de crête et la colonisation, sans plans d'occupation des sols concertés, des parcelles à mi-pente le long de celles-ci ont engendré et amplifié les phénomènes naturels d'érosion (photo 1).

À la demande des gouvernements des pays concernés, les sociétés françaises d'ingénierie BCEOM (groupe Egis) et Othui (groupe Iosis) ont proposé des solutions en gabions double torsion afin de stabiliser les érosions, pour sauvegarder les infrastructures routières et conforter l'habitat en proximité.

Ce projet a donc consisté, en premier lieu, à maîtriser et à traiter les écoulements des eaux qui provoquent le phénomène, puis à stabiliser le fil d'eau, les pentes des ravines et la tête de la griffe.

■ Les érosions

Descriptif du mécanisme d'érosion

La pression démographique (exode rural, conflits...), aux abords de Kinshasa et Brazzaville, ces grandes métropoles d'Afrique centrale, avec ce qu'elle implique en termes de déforestation, de mise à nu des sols sans cohésion, de constructions anarchiques et concentration des écoulements, a provoqué une érosion des sols majeure, lourde de conséquences pour la population.

Sur les plateaux batékés, le terme « érosion » est impropre, s'il n'est pas suivi de la spécification « régressive ».

En périphérie des zones urbaines, les érosions sont toujours d'origine anthropique. La concentration des écoulements (débits et vitesses) entraîne les sols de faible cohésion, tels que les sables batékés, et les transporte sur de longues distances, parfois sur plusieurs kilomètres, jusqu'à ce que les vitesses diminuent par frottement et par dissipation d'énergie à chaque rupture de pente.

La griffe d'érosion se creuse progressivement, de l'aval vers l'amont. La tête de la griffe peut atteindre des profondeurs importantes car elle évolue jusqu'à ce que la pente d'équilibre du fil d'eau soit atteinte. L'instabilité

des rives accentue le mécanisme qui devient rapidement irréversible.

L'amplitude du phénomène est atteinte lorsque le bassin-versant, généré par la griffe d'érosion elle-même, est suffisant pour concentrer lors d'une pluie un ruissellement érosif.

Le processus de l'érosion régressive existe à l'état naturel. Il n'est pas rare de voir des griffes d'érosion sur les plateaux batékés qui se sont stabilisées et qui se sont entièrement végétalisées, créant ainsi des couloirs forestiers remarquables. Lorsque ce processus survient en zones urbanisées il se termine, en général, en catastrophe naturelle avec destruction de l'habitat, coupure des infrastructures routières et, dans certains cas, des pertes en vies humaines.



Photo 1

Érosion en périphérie urbaine

Erosion in urban outskirts

Traitement des érosions régressives

La lutte contre l'érosion consiste en premier lieu, à maîtriser et à traiter les écoulements des eaux, puis à stabiliser le fil d'eau, les pentes des ravines et la tête de la griffe.

Le traitement des griffes d'érosion régressives consiste à mener les actions suivantes :

- canaliser les écoulements afin de concentrer et restituer les eaux de ruissellement au fil d'eau de la griffe d'érosion, avec des vitesses les plus faibles possibles (dissipation de l'énergie sur des gradins et/ou dans des fosses d'amortissement) (photo 2);
- aménager le fil d'eau de la griffe d'érosion pour restituer l'intégralité des écoulements aux drains naturels déjà stabilisés, avec des vitesses d'écoulement



Photo 2

Descente d'eau en gradins de gabions

Water falling down gabion tiers

Traitement des griffes d'érosion sur les plateaux batékés

Photo 3

Restitution des eaux au lit mineur stabilisé
Restoration of waters in stabilised river channel

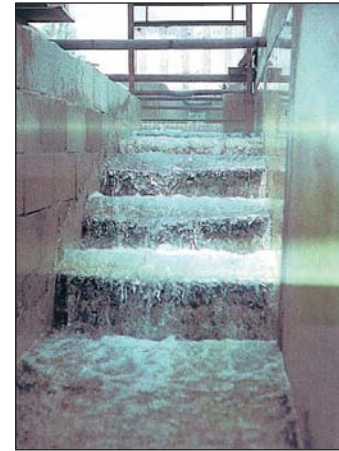
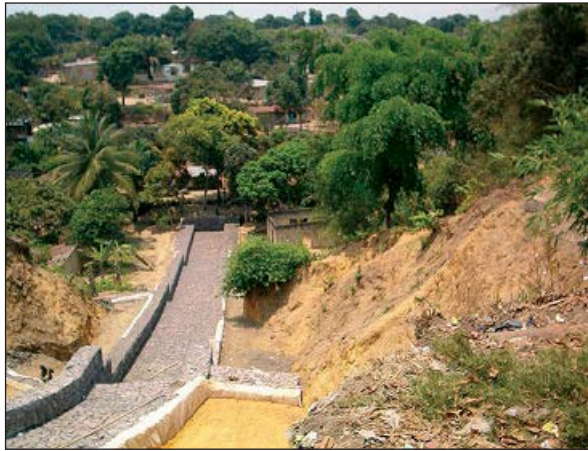


Photo 5

Essais de dissipation de l'énergie sur des gradins en gabions - Cemagref 1990
Energy dissipation tests on gabion tiers - Cemagref 1990

Photo 4

Traitement de la tête de la griffe d'érosion
Treatment of the erosion rill head

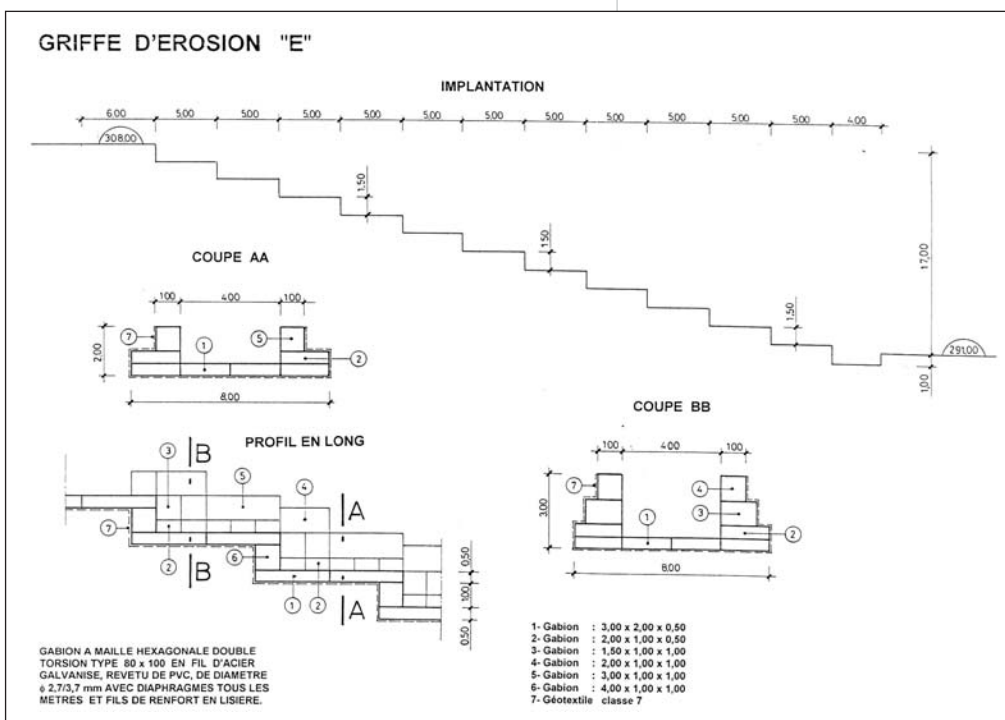


inférieures à la vitesse d'érosion des sols en place (photo 3);

- stabiliser les pentes des talus de la ravine, et ce de façon naturelle si les bajoyers de l'aménagement du fil d'eau de la griffe d'érosion forment une butée de pied suffisante pour leur permettre de trouver la pente d'équilibre naturelle. Le processus de végétalisation se développera également naturellement, et le plus souvent sans intervention;
- traiter la tête de la griffe d'érosion qu'il est nécessaire de stabiliser en zone urbaine, pour conforter les

Figure 1

Schéma de principe et principe en long
Block diagram and longitudinal schematic



habitats et/ou infrastructures qui se trouvent à proximité (photo 4).

■ Les solutions techniques mises en œuvre

Technique du « gabion »

Les études et essais du Cemagref (Aix-en-Provence, 1990) sur la dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement sur des gradins de gabions ont accrédité ce procédé particulièrement bien adapté aux exigences et contextes locaux de l'Afrique équatoriale (photo 5).

Structure « gabions »

Les structures « gabions » se définissent par trois critères fondamentaux :

- leur monolithisme : les gabions constituant l'ouvrage définitif sont ligaturés les uns aux autres, selon des règles normées (coutures ou agrafes);
- leur souplesse : celle-ci est liée au comportement même du grillage double torsion (indémaillable) qui, associé au monolithisme des gabions, permet à l'ouvrage de supporter des déformations sans pathologie destructrice, ce qui n'est pas le cas des structures rigides (béton, maçonnerie, voire treillis soudé);
- leur capacité de drainage : le gabion, une fois rempli avec les pierres ou moellons définis selon la maille et/ou la hauteur de la cage métallique retenue, offre un coefficient de vide de l'ordre de 30 %. Ceci permet de maintenir les échanges entre les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement.

Toutefois, il est fortement recommandé de positionner un géotextile de filtration sous les ouvrages hydrauliques lorsque, à ce niveau, les vitesses résiduelles sont supérieures aux vitesses d'érosion des sols sous-jacents. Ce qui est le cas des sables batékés.

Dimensionnements des ouvrages hydrauliques en gabions

La dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement sur des gradins de gabions nécessite de connaître :

- les débits et les vitesses des eaux pour fixer la section hydraulique et la typologie de l'ouvrage (épaisseur du radier, hauteur des bajoyers et revanche);
- le relevé topographique de la griffe d'érosion pour établir le profil en long de l'écoulement canalisé et stabilisé (longueur des redans, hauteurs des chutes d'eau) et déterminer le point de restitution où les sols en place ne sont plus susceptibles de subir des érosions;
- les études géotechniques pour déterminer les pentes

de stabilité des talus, l'acidité des sols (protection des aciers) et leur vitesse critique de mise en turbulence (figures 1 et 2).

Critères humains

Les constructions d'ouvrages en gabions requièrent une importante main-d'œuvre. La participation des populations riveraines concernées est fondamentale, car ainsi mobilisées, elles prendront possession de l'ouvrage, en assureront la maintenance et le protégeront de tout vandalisme (photo 6).

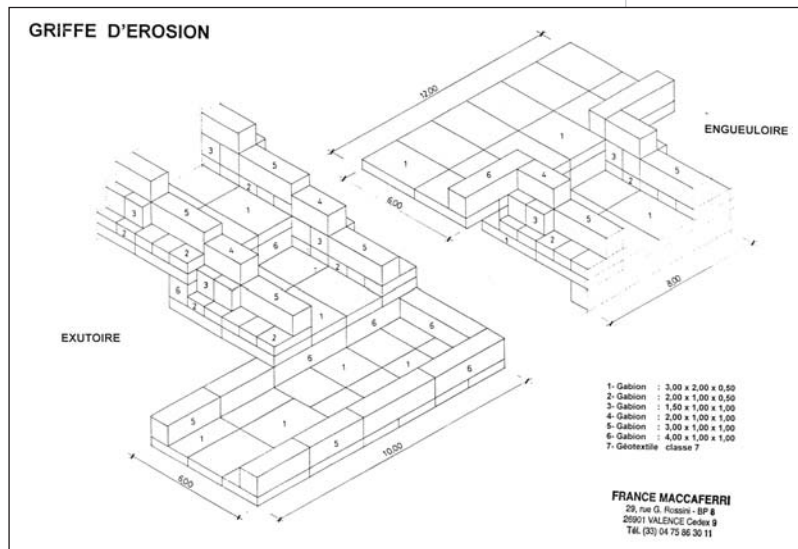


Figure 2
Typologie
Typology



Photo 6
Mise en œuvre
des gabions
par la population
locale
Gabions being
installed by the
local population

Traitement des griffes d'érosion sur les plateaux batékés

► ■ Conclusion

Le phénomène de l'érosion régressive est inhérent à la nature des sols batékés et à l'intensité des pluies de la frange équatoriale.

Les interventions pour maîtriser et traiter les griffes d'érosion en milieu urbain doivent se faire dès l'apparition des premiers symptômes.

Pour un maximum d'efficacité, le dossier d'appels d'offres devrait imposer que les études soient complétées pendant les phases travaux afin de prendre en compte tous les aléas (géologiques, climatiques, réalisations, etc.). ■

ABSTRACT

Treatment of rill erosion on the Batéké Plateaux

M. Courtaud

The historic centres of the capitals Kinshasa and Brazzaville are built on alluvial plains along the Congo River, bordered by hill sites with fragile soils (Batéké sands) and sensitive to erosion by runoff water.

Construction of roads at urban exits on the water divides and colonisation, without concerted land use plans, of the plots at mid-slope along these divides, have engendered and amplified natural erosion phenomena.

At the request of the governments of the countries concerned, the French engineering companies BCEOM (Egis group) and Othui (Iosis group) have proposed double-twist gabion solutions to stabilise erosion, safeguard the road infrastructure and consolidate the nearby housing.

This project therefore involved, firstly, controlling and treating the water runoff which causes this phenomenon, and then stabilising the gutters, the ravine slopes and the rill head.

RESUMEN ESPAÑOL

Tratamiento de los ganchos de erosión en las mesetas batekes

M. Courtaud

Los cascos históricos de las capitales Kinshasa y Brazzaville se han construidos sobre las planicies aluvionarias al borde del río Congo, con sitios cercanos compuestos por pequeños montes de suelos frágiles (arenas batekes) y sensibles a las erosiones de las aguas de escorrentía.

La construcción de las carreteras de salidas urbanas en las líneas de creta y la colonización, sin planes de ocupación de los suelos correspondientes, de las parcelas en semipendiente en el borde de esta última provocaron y amplificaron los fenómenos naturales de erosión.

A petición de los gobiernos de los países interesados, las empresas francesas de ingeniería BCEOM (grupo Egis) y Othui (grupo Iosis) han propuesto diversas soluciones en gaviones de doble torsión con el propósito de estabilizar las erosiones, para salvaguardar las infraestructuras viales y consolidar el habita cercano.

Por consiguiente, este proyecto ha consistido, en primer lugar, en controlar y tratar el drenaje de las aguas que provocan el fenómeno, y en segundo lugar, estabilizar la rigola, los pendientes de los barrancos y de la parte superior del gancho.

Un ouvrage exceptionnel à la Réunion : le viaduc de la Grande Ravine

Sur l'île de la Réunion, l'aménagement de la Route des Tamarins, à flanc de montagne sur la côte ouest, impose de construire de nombreux ouvrages d'art pour franchir les ravines. À 7 km au nord de Saint-Leu, l'interdiction de construire un ouvrage suspendu ou haubané pour cause de protection de l'environnement a conduit à concevoir un ouvrage hors du commun dont le génie civil a été confié à un groupement Dodin (VINCI Construction France) - VINCI Construction Grands Projets. Associant plusieurs techniques, cet ouvrage franchira la Grande Ravine, une faille large de près de 300 m et profonde de 170 m dès la fin 2008 (photos 1 et 2).

La Réunion en chantier

Dodin, Deschiron, VINCI Construction Grands Projets, Botte Fondations, Dredging International – toutes entreprises du groupe VINCI – sont venues à la Réunion prêter main-forte aux entités locales du groupe : SBTPC et Sogea Réunion, pour une campagne exceptionnelle de travaux dont le montant cumulé atteint 350 M€ (part VINCI : 275 M€).

Outre la réalisation de la Route des Tamarins, dont elles ont emporté en groupement quatre lots de TOARC sur six (Saint-Paul Ville; Plateau-Caillou; lots 3 et 4), trois ouvrages d'art non courants et un ouvrage exceptionnel, les entreprises de VINCI sont présentes sur deux chantiers dans la ville du Port : au Port-Est pour la réalisation d'un quai en paroi moulée de 650 m de long et l'approfondissement du port (4,2 millions de mètres cubes de déblais) et au Port-Ouest, le port de pêche, pour la création de deux darses de 3,5 ha.

Enfin VINCI a démarré, début 2006, le chantier de la tranchée couverte du Boulevard Sud à Saint-Denis.

Début 2007, ces grands travaux d'aménagement prenaient une dimension encore plus importante avec le lancement du marché des digues de Sainte-Suzanne et l'annonce de deux projets d'un montant estimé supérieur à 2,2 milliards d'euros : la construction de la Route du Littoral (entre Saint-Denis et La Possession) et d'un tram-train entre Saint-Paul et La Mare (commune de Sainte-Marie), sans oublier le futur chantier de la déviation de Grand Bois.

La géographie particulière de la Réunion – une montagne volcanique émergeant de l'océan Indien – a contraint, sur une grande partie du territoire, à aménager les routes sur la bande littorale. Resserrée entre la mer et des falaises vertigineuses hautes de plus de 100 m à certains endroits, la RN1, un axe à deux voies de 40 km reliant Saint-Paul à L'Étang-Salé, sur la côte ouest, la plus touristique, est aussi totalement saturée depuis des années en raison du développement de la circulation et parfois de la chute de blocs rocheux détachés des parois. Cette situation a conduit les autorités à entreprendre la construction d'une nouvelle route à deux fois deux voies, parallèle à cet axe, mais établie dans la montagne, et venant se raccorder au nord et au sud à des routes de même gabarit qui existent. Ce projet, baptisé Route des Tamarins, partagé en quatre lots de TOARC attribués en 2005, a été mis en chantier début 2006 et doit être achevé en 2009 (cf. encadré « La Réunion en chantier »). Construite à flanc de montagne sur une grande partie du tracé, la nouvelle route a également pour particula-

François Batifoulier
Responsable
de l'activité à la Réunion
Dodin (VINCI
Construction France)

Jean-Claude Labarrière
Directeur du chantier
de la Grande-Ravine
Dodin (VINCI
Construction France)

Jean-Luc Bringer
Directeur de la cellule
SCCM
Freyssinet (VINCI
Construction)



© Photothèque Vinci

Photo 1

Une fois l'ouvrage terminé (ici, image de synthèse), les seuls éléments des ouvrages de génie civil monumentaux réalisés sur chaque versant seront les bracons (béquilles) venant soutenir le tablier

Once the structure is completed (here, synthesis image), the only elements of the monumental civil engineering structures executed on each slope will be the stays (props) supporting the deck



© Fr. Vigouroux/Photothèque Vinci

Photo 2

Six mois après le début des travaux et d'importants confortements des versants, les terrassements des culées étaient arrivés au niveau de la tête de puits rive droite (à g.) et à mi-chemin rive gauche (à dr.)

Six months after the start of the works and extensive slope consolidation work, the abutment earthworks had reached the level of the wellhead on the right bank (on the left) and were midway on the left bank (on the right)

Un ouvrage exceptionnel à la Réunion : le viaduc de la Grande Ravine

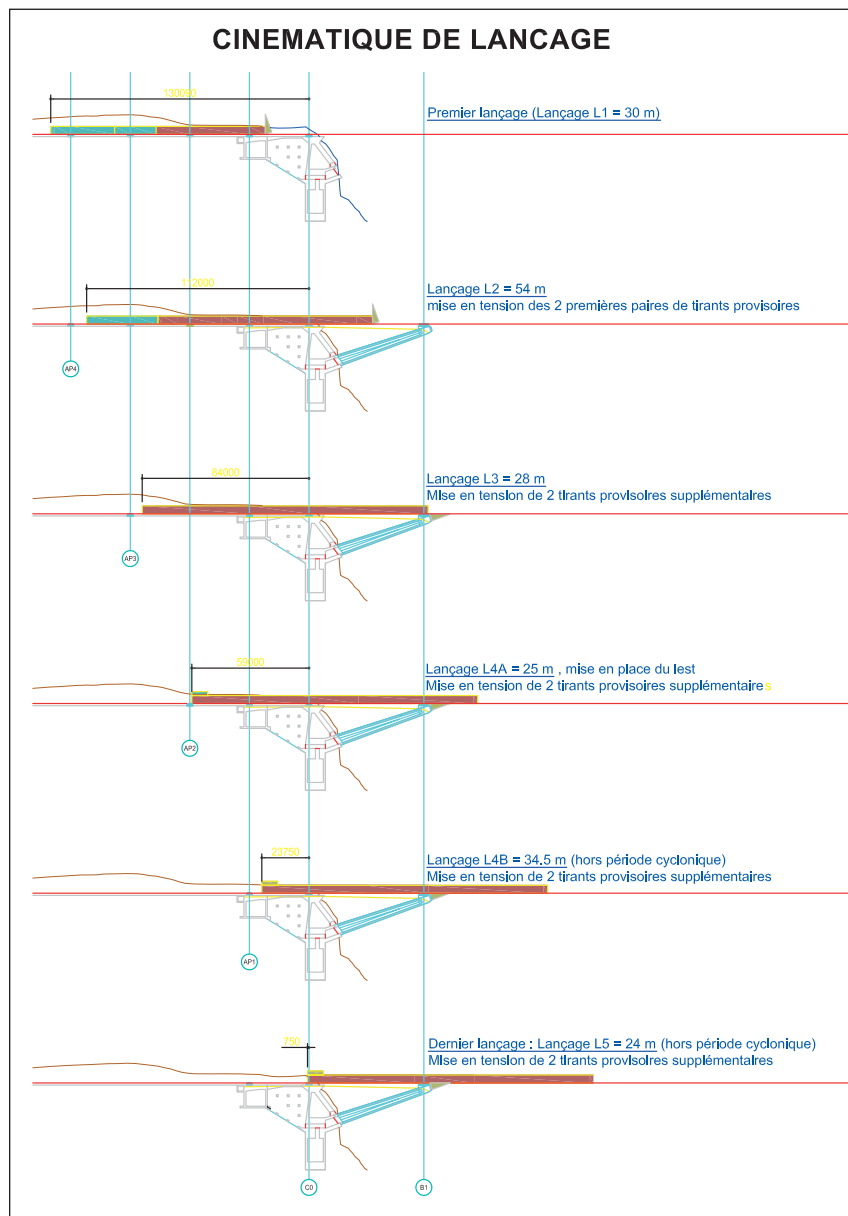
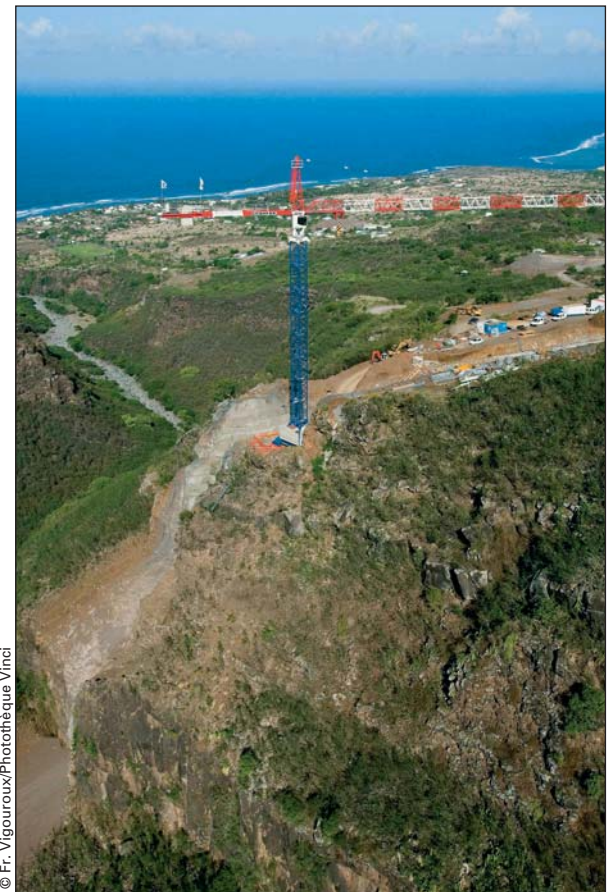


Figure 1

Cinématique de lançage

Diagram of launching



© Fr. Vigouroux/Photothèque Vinci

Photo 3

Chantier de la culée de la rive droite. L'océan n'est qu'à un kilomètre de distance, mais le chantier est à 250 m d'altitude

Construction site of the right-bank abutment. The ocean is only one kilometre away, but the construction site is at an altitude of 250 m



rité de franchir de nombreuses « ravines », ces failles aux versants abrupts, perpendiculaires à la côte et caractéristiques du relief de l'île. La Route des Tamarins comporte ainsi nombre d'ouvrages d'art dont quatre exceptionnels¹, mais le plus exceptionnel, par sa technique notamment, est le viaduc de la Grande Ravine, un ouvrage conçu par l'architecte Alain Spielmann (groupement Setec TPI-Spielmann), challenger de Norman Foster pour le viaduc de Millau, dont la réalisation a été attribuée à un groupement Dodin-VINCI Construction Grands Projets (VINCI Construction) pour le génie civil et à Eiffel pour la charpente métallique.

1. Les trois autres ouvrages d'art exceptionnels sont les viaducs de Saint-Paul (ouvrage sur piles), des Trois-Bassins (ouvrage haubané) et de Ravine Fontaine (pont en arc à culées poids).

■ Un lieu de nature sauvage

Avant d'évoquer les travaux ou les questions techniques, Jean-Claude Labarrière, le directeur du chantier, présente les lieux :

« La Grande Ravine se situe sur la commune des Trois-Bassins, à environ 7 km au nord de Saint-Leu. Elle est profonde de 170 m et large de près de 300 m. Bien qu'il ne soit qu'à un kilomètre du rivage, le chantier est à une altitude de 250 m et offre une vue imprenable sur l'océan ; c'est un lieu de nature sauvage et difficile d'accès où il n'y a... rien. Ainsi, les installations de chantier, sur chaque rive, doivent être alimentées en électricité par groupe électrogène et en eau par citernes et bâches, et les bureaux sont situés tout en contrebas, au départ des pistes, à 2 km de distance. »

Cette nature n'a pourtant rien d'un désert. C'est même le refuge d'espèces endémiques protégées comme le

puffin de Baillon et le pétrel de Barau, deux oiseaux de mer qui nichent et se reproduisent sur les versants de la ravine et lui ont valu d'être classée Znieff² de niveau 1. Cette particularité impacte ici bien davantage que l'exécution du chantier, qui devra, entre autres, protéger de toute pollution la captation d'eau située en fond de ravine : le concours lancé pour la maîtrise d'œuvre interdisait toute solution d'ouvrage haubané ou suspendu dont les câbles auraient pu représenter un danger de collision pour les puffins. C'est ainsi qu'a été imaginé un viaduc constitué d'un tablier métallique dont la dalle orthotrope sera mise en place par lancement depuis les deux rives par l'entreprise Eiffel (figure 1) – un ouvrage au profil très épuré de pont à béquilles très tendues qui traversera la faille comme une lame dans le paysage. Quant aux bracons (les béquilles) qui reprennent l'ouvrage, ils s'encastrent dans des fondations, elles-mêmes enfouies dans la roche sur les deux rives et parfaitement intégrées dans le site.

« En réalité, souligne Jean-Claude Labarrière, plusieurs techniques ont été conjuguées pour aboutir à un fonctionnement structurel à "effet d'arc compensé et contrôlé" dont le fonctionnement est très complexe. » (figure 1 et photo 3).

■ Deux béquilles impressionnantes de 65 m au-dessus du vide

« Cet effet d'arc limité et contrôlé s'explique par la présence de tirants – 10 câbles établis dans chaque "demi-tablier" (cf. encadré « Précontrainte définitive, précontrainte provisoire et phasage ») –, qui permettent de limiter les poussées horizontales dans le massif en reprenant les charges de poids propre par un moment de basculement dans la culée, équilibré par le contrepoids, poursuit Jean-Claude Labarrière. Ainsi les efforts appliqués au niveau du terrain sont bien moindres que si l'ensemble de la structure fonctionnait en arc, et cela répond précisément à une exigence du programme qui était de limiter les poussées dans le terrain, constitué de basaltes fracturés et très hétérogènes. »

La réalisation de ces travaux mobilise depuis le départ toute l'attention des génie-civilistes en raison de leur complexité et de leur caractère monumental.

« Il faut imaginer deux ouvrages en béton précontraint longs de 50 m, larges d'une quinzaine de mètres et hauts de 30 m, fondés à l'arrière (sous le contrepoids) sur semelle superficielle et à l'avant, sur un puits marocain de 10 m de diamètre et de 20 m de profondeur, encastrés juste au bord du versant », explique François Batifoulier, responsable de l'activité Dodin sur les 13 chantiers où l'entreprise est actuellement présente dans l'île, après avoir dirigé

2. Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique.

Précontrainte définitive, précontrainte provisoire et phasage

« Dans cet ouvrage très particulier, la précontrainte est employée à titre définitif comme élément structurel (74 t) et à titre provisoire dans la mise en place du tablier métallique (44 t) », explique Jean-Luc Bringer, directeur de la cellule SCCM (Service centralisé câbles et manutention) de Freyssinet, qui fournira et mettra en œuvre la précontrainte du viaduc. La précontrainte définitive se compose de trois séries de câbles mises en œuvre au niveau de chaque culée. La première, dite précontrainte de culée, est constituée de 10 câbles 12T15 (5 t) établis entre l'arrière du contrepoids et la base de la béquille – une implantation qui fait passer les câbles du plan horizontal à un plan biais selon un rayon de courbure de 7 m. Plus classique, la deuxième précontrainte est rectiligne et s'applique aux 16 voussoirs de chaque béquille à raison de deux câbles 12T15 par voussoir, soit 32 câbles (10 t) mis en œuvre au fur et à mesure de la construction des ouvrages en encorbellement.

À cette précontrainte traditionnelle par câbles injectés au coulis de ciment s'ajoute une troisième série de câbles qui sont en réalité des tirants définitifs puisqu'ils sont destinés à renvoyer les efforts verticaux du tablier au niveau des culées. Dix câbles 31T15 (22 t) gainés graissés, dont les torons pourront être retendus, voire individuellement remplacés, seront ainsi établis à l'intérieur du tablier, ancrés dans la partie arrière de la culée et à 55 m de chaque extrémité du tablier.

Alors que les deux premières séries de câbles seront mises en œuvre au fur et à mesure de la réalisation du génie civil, la troisième série, elle, le sera nécessairement après mise en place du tablier, qui s'effectuera par poussage depuis les versants de la faille, et elle se substituera à la précontrainte provisoire selon un phasage bien défini. Après l'achèvement des béquilles et avant le lancement des demi-tabliers, 12 câbles 31T15 (22 t) seront en effet établis du nu extérieur de la culée à l'extrémité de la jambe de force et mis en tension au fur et à mesure du lancement pour reprendre les efforts verticaux appliqués par le tablier à la pointe de l'ouvrage. Le lancement et le clavage du tablier étant terminés, les tirants définitifs seront installés à l'intérieur du tablier et mis en tension au fur et à mesure de la détente et de la dépose de la précontrainte provisoire.

de 2003 à 2005 la construction du viaduc de la Sioule sur l'A89.

Chaque culée est en fait constituée d'un caisson en béton précontraint de hauteur variable dont le rôle est de conduire les différents efforts aux fondations par l'intermédiaire des voiles longitudinaux. De leur côté, les bracons (béquilles) sont constitués d'un caisson en béton à hautes performances (BHP) C60/75, incliné de 20°, long de 50 m, de largeur constante (7 m) et de hauteur variant de 6 à 3 m. Ceux-ci seront construits au-dessus du vide par encorbellements successifs avec mise en œuvre d'une précontrainte de fléau. Le tablier s'appuiera sur les bracons par l'intermédiaire d'articulations, et au droit des culées sur des appuis glissants

LES CHIFFRES DU CHANTIER

- 15 000 m³ de béton
- 2 500 t d'acier (armatures) et 210 t de précontrainte
- 3 500 t de charpente métallique
- Montant du marché : 42,6 M€ (dont 22,6 M€ pour le génie civil)

Un ouvrage exceptionnel à la Réunion : le viaduc de la Grande Ravine



Photo 4

La situation du chantier (ici, culée de la rive droite) tout au bord de la falaise, et la nature très hétérogène et fracturée du terrain expliquent l'importance des travaux de confortement et les précautions prises dans l'exécution du chantier

The location of the construction site (here, right-bank abutment) right on the edge of the cliff, and the very heterogeneous and fractured nature of the land explain the major consolidation works and the precautions taken when carrying out the project



Photo 5

Chantier de terrassement de la rive gauche vu de la rive droite à la mi-février

Left-bank earthworks site seen from the right bank in mid-February



avec butées transversales. Les tirants définitifs seront mis en œuvre à l'intérieur du caisson au droit des articulations après le clavage (photos 4 et 5).

■ Terrassements délicats en terrain instable

À la mi-février 2007, les bétonnages des culées n'avaient pas encore commencé, et les terrassements préliminaires se poursuivaient. L'aménagement, sur chaque rive, des fouilles où seront réalisés ces ouvrages a dû lui aussi composer, d'une part avec l'hétérogénéité des terrains rencontrés, qui a nécessité de conforter plus de 1 000 m² de parois des fouilles subverticales par clouage et béton projeté, et d'autre part avec l'instabilité des versants des falaises, qui ont dû être purgées par minage et confortées avec grillage cloué sur environ 500 m². Devant l'importance de ces aléas, qui ont considérablement perturbé le déroulement des terrassements, le phasage a dû être adapté au jour le jour et a conduit à prendre beaucoup de précautions. Exécutés par des équipes de Deschiron (VINCI Construction France) d'une quinzaine de personnes, ces travaux s'effectuent par passes de 2,50 m à la pelle, au BRH (brise-roche hydraulique) ou par minage selon la nature du sol rencontré, après quoi les parois sont confortées par clouage (selon une maille de 5 x 5 m), mise en place de treillis soudé et projection de béton. Depuis juillet 2006, six mois ont été nécessaires pour arriver au niveau de la tête de puits rive droite – soit le double du délai prévu – et les terrassements rive gauche ne s'achèveront pas avant la fin mai. Le génie civil pourra démarrer dès que sera terminé le creusement des puits marocains, avec le coulage du radier, d'une épaisseur de 4 m, puis le bétonnage du voile périphérique, par levée de 4 m. Après quoi pourront être réalisés les différents éléments des culées : le contrepoids arrière, une « boîte » de 15 x 15 m où seront remblayés 1 000 m³ de matériaux, la culée avant et son masque, les voiles de la culée précontrainte longue de 18 m qui assure la liaison du contrepoids et de la culée avant, la dalle de couverture de la culée de liaison, enfin les bracons, dont la mise en chantier est prévue en novembre 2007 rive droite et en janvier 2008 rive gauche.

■ Clavage prévu pour l'automne 2008

D'ici là, en août 2007, les équipes d'Eiffel seront arrivées sur place pour commencer l'assemblage des éléments du tablier, des caissons d'acier fabriqués dans les ateliers de l'entreprise à Lauterbourg (Bas-Rhin), longs

de 10 m, larges de 20 m en partie supérieure et de 6 m en partie inférieure, hauts de 4 m et profilés pour résister aux vents cycloniques. Les premiers lancements par poussage doivent intervenir fin 2007 et le clavage des deux demi-tabliers de 144 m est prévu au début de l'automne 2008. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Région Réunion – Direction de l'opération Route des Tamarins

Maître d'œuvre

Groupement Setec - Alain Spielmann

Génie civil

Groupement Dodin - VINCI Construction Grands Projets

Charpente métallique

Eiffel

Lots sous-traités

- Terrassements : Deschiron (VINCI Construction France)
- Précontrainte : Freyssinet (VINCI Construction)
- Confortements, clouage, creusement des puits : Stips
- Étanchéité et enrobés : Eurovia
- Armatures : SAMT
- Géotechnique : Fondasol
- Études d'exécution : Greisch - Tremblet

ABSTRACT

An exceptional engineering structure on Reunion Island : Grande Ravine viaduct

Fr Batifoulier, J.-Cl. Labarrière,

J.-L. Bringer

On Reunion Island, the development of Route des Tamarins, on the mountainside on the western coast, requires the construction of numerous engineering structures to cross the ravines. 7 km north of Saint-Leu, the prohibition on building of a suspended or cable stayed engineering structure for reasons of environmental protection led to the design of an exceptional structure for which civil engineering was entrusted to the consortium formed by Dodin (VINCI Construction France) and VINCI Construction Grands Projets. Combining several techniques, this structure will cross the Grande Ravine, a fault almost 300 m wide and 170 m deep, as of the end of 2008.

RESUMEN ESPAÑOL

Una estructura excepcional en la isla de La Reunión : el viaducto de la Grande Ravine

Fr Batifoulier, J.-Cl. Labarrière

y J.-L. Bringer

En la isla de La Reunión, la ordenación de la Carretera de los Tamarinos, ubicada en la ladera de la montaña en la costa oeste, exige la construcción de numerosas obras de fábrica para franquear los barrancos. A 7 km al norte de Saint-Leu, la prohibición de construir una estructura suspendida o colgante por motivos de protección medioambiental ha precisado establecer el concepto de una estructura fuera de lo normal cuya ingeniería civil ha sido encargada a la agrupación Dodin (VINCI Construction France) - VINCI Construction Grands Projets. Combinando varias técnicas, esta estructura permitirá franquear a partir de finales de 2008 la "Grande Ravine", una amplia grieta de cerca de 300 m y de 170 metros de profundidad.

Dubai, Palm Jebel Ali,

L'image du palmier de Dubai a fait le tour du monde. Le public a des idées moins claires sur le fait que plusieurs îles artificielles, qui n'ont pas toutes une forme de palmier, sont construites, ou en construction ou en projet dans les eaux turquoise qui bordent l'émirat.

La première de la série est Palm Jumeirah, commencée en 2001. Cet article décrit les travaux de Palm Jebel Ali qui est le deuxième palmier. Son promoteur est Nakheel. Commencée fin 2002, cette île artificielle est en cours de construction. Elle est 1,7 fois plus grande que la première. La prochaine sera Palm Deira commencée en 2004 et qui mesurera environ 12,5 km dans sa plus grande dimension.

Sur Palm Jebel Ali, 108 millions de mètres cubes de remblai en matériaux de dragage sont compactés par la méthode de la vibroflotation. Ce marché de traitement de sol est exécuté par The Vibroflotation Group Ltd, une filiale de Solétanche Bachy, en groupement avec APCC, entreprise spécialiste en fondations basée à Abu Dhabi. La durée d'exécution est de 18 mois, entre août 2006 et février 2008.



Figure 1
Vue aérienne de Palm Jebel Ali en août 2006
Aerial view of Palm Jebel Ali in August 2006



Figure 2
Atelier de vibrocompaction tandem en action, profondeur de traitement de 15 m

Tandem vibrocompaction plant in action, treatment depth 15 m

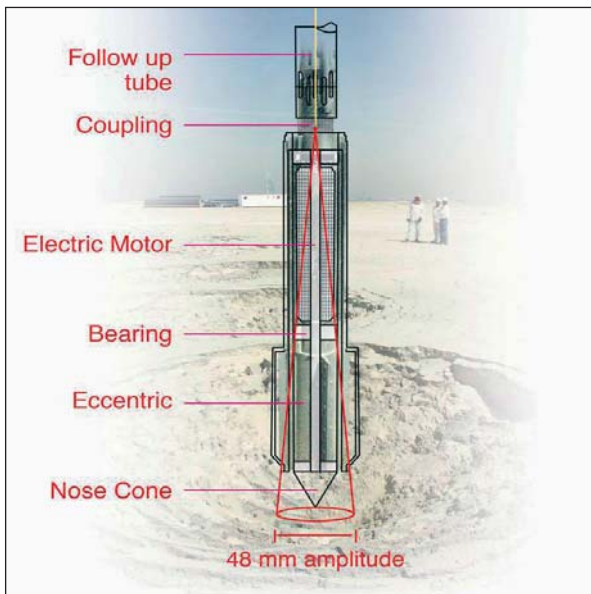
As part of the development undertaken by Dubai Government, Nakheel, one of the most prestigious developers in Dubai is managing and executing the construction of new cities reclaimed on the sea. Up to date, there have been four major reclamations already constructed: Palm Jumeirah, Dubai Maritime City, the World and Palm Jebel Ali. A fifth one is still under reclamation (Palm Deira) and its dimensions are such that the works are not expected to finish before several years.

Ground improvement is needed for all these reclamations. The joint venture Vibro Foundations Ltd and APCC has been a major player in the execution of these works and have executed already the majority of the available soil treatment. We will develop hereafter the works undertaken at Palm Jebel Ali.

Palm Jebel Ali is the second reclamation after Palm Jumeirah, which is constructed in the shape of a palm tree with a trunk, spine and fronds, with a surrounding crescent as protective breakwater using 170 million m³ of sand and 10 millions tons of rocks (figure 1). It is approximately 1.7 times the size of Palm Jumeirah with a total land area of approximately 10 million square metres spread over a total sea area of 49 km² approximately. The development will consist of a mix of residential villas, apartment blocks, hotels, commercial and leisure facilities designed to accommodate 250,000 people.

The reclamation has been formed by placement of marine dredged sand to an average thickness of around 15 m. Much of the reclamation sand in its "as placed condition" requires densification by vibrocompaction (figure 2). The objectives of the densification are to enhance the bearing capacity, to make conditions more uniform, to limit total and differential settlement

vibrocompaction



Manufacturer	Vibro
Machine name	V48
Length [m]	4.08
Diameter [mm]	378
Weight [kg]	2600
Motor [kW]	175
Speed [r.p.m]	1200-1500
Amplitude [mm]	36-48
Dynamic Force [kN]	230-470

Figure 4
Caractéristiques du vibreur V48
Characteristics of the V48 vibrator

Figure 3
Coupe du vibreur V48
Cross section of the V48 vibrator

under static loading and to eliminate risk of liquefaction during a UBC category 2A earthquake, with Magnitude $M = 6$.

The Ground improvement works are being undertaken by Vibro Foundations Ltd, who are working in Joint Venture with Abu Dhabi based Specialist Foundation Company APCC. Vibro Foundations Ltd is a wholly owned subsidiary of French Specialist Foundation Group Soletanche-Bachy. The Joint Venture was awarded the Works on a Design and Build Contract.

The works are being undertaken utilising mainly Vibroflotation Group V48 vibroprobes (figures 3a and 3b), mostly operating as tandem pairs.

The contract period is 18 months commencing in September 2006 ending in February 2008.

The volume of sand to be treated is estimated to be 108,000,000 m³ approximately. As part of the quality control works there will be approximately 1000 boreholes and 30,000 Cone Penetration Tests.

In order to meet the programme milestones, the joint venture has to put in production some 18 Vibroflotation Group V48 or similar, 5 Cone Penetration Tests trucks and some 7 soil investigation rigs. All of the above shall be working 24 hours a day, 6 days a week.

■ Ground conditions

The basis of the design for the vibrocompaction was that the soil to be treated (reclamation material and existing seabed soil) would consist of compactable medium to coarse sand with less than 10 % material finer than 63 μm . Compaction by vibratory action

alone becomes less effective as fines content (particle size $< 63 \mu\text{m}$) increases above 10 % and is ineffective when fines content is greater than about 20 %.

The soils have high carbonate content, typically in the range 40 % to 90 %. Carbonate rich material is mainly in the form of broken shells.

■ Vibrocompaction

The vibrocompaction technique involves the in situ densification of essentially granular soils by use of heavy duty vibrating pokers or vibroprobes. Horizontal vibration at the tip of the vibroprobes is generated by rotation of an eccentric weight in the lower portion. The power and the amplitude of vibration depend on the mass of the eccentric weight, the degree of eccentricity of the weight, and on the detailed geometry of the lower portion of the poker. For most effective compaction, vibroprobes are designed so that vibration is restricted to the lowest section, with the vibrating lower portion being separated from the upper portion by a flexible coupling, or "isolator" (figures 3 & 4).

Penetration to the required depth is achieved by a combination of the vibratory action of the vibroprobe and the action of high pressure jets at the nose of the vibroprobe. Once the required depth is reached, water and/or air supply to the nose jets is cut off, and the vibroprobe is withdrawn in stages. The vibroprobe is held at each stage to allow compaction of the surrounding sand to take place, with the period of hold being dependent on the nature of the sand to be compacted. In general longer hold periods are necessary for finer grained sand. As compaction occurs rotation of the eccentric weight in the poker becomes more difficult,



Alexandre Abinader
Project Director
APCC - Vibro
Foundations Ltd JV
Solétanche Bachy



David Johnson
Design Manager
APCC - Vibro
Foundations Ltd JV
Solétanche Bachy



Ali Mansour
Project Director
Nakheel

Dubai, Palm Jebel Ali, vibrocompaction



Figure 5
 Quelques ateliers au travail, sur un total de neuf
A few sets of equipment at work, out of a total of nine



Figure 7
 Les travaux se déroulent 24 heures sur 24 et 6 jours sur 7
The work is carried out round-the-clock 6 days a week

▶ as indicated by an increase in the current being drawn by the electric motor (figures 5, 6 & 7).

■ Surface compaction

The nature of the vibrocompaction technique is such that it is not possible to fully compact soils at shallow depth because of reduced overburden effects. In the case of a V48 type of vibroprobe full compaction may not be achieved in the uppermost 2 m to 3 m below working platform level. Therefore in order to satisfy the necessary performance at shallow depth additional



Figure 6
 La dimension des cratères formés pendant la vibro-
 compaction est un indicateur du bon compactage du sol
*The size of the craters formed during vibrocompaction
 is an indicator of good soil compaction*

compaction is applied from the surface utilizing Impact Roller (figure 8). Four units have been purchased specifically for this project.

■ Soil grading

It has been found that there are significant variations in soil grading, and investigations during the progress of the ground improvement works have shown that there are zones where fines content exceeds 10 %, and is sometimes far greater than 10 %. Zones of soil with high fines content (very silty sand and very sandy silt) are in the form of seabed soil, silty soils in the lower parts of the reclamation immediately above seabed soils, or randomly distributed lenses at higher levels within the reclamation.

■ Performance

Assessment of performance is based on results of post compaction CPTUs, monitoring of induced settlement and zone load tests.

Post compaction CPTUs are undertaken in pairs with one test close to a compaction point and one test undertaken at the midpoint of a straight line drawn between adjacent compaction points. Weighted averages are calculated for each pair of tests and then a rolling mean of the weighted average is calculated over 1 m depth zones. This profile forms the basis of assessing performance.

As detailed above in situ densification by vibration alone becomes less effective when fines content (less than 0.063 mm) increases beyond 10 %. A good indi-



Figure 8

Compactage de la couche superficielle au rouleau à impacts « square wheel » BH 1300

Compacting the surface layer by BH-1300 “square wheel” impact roller

cator of fines content is CPTU friction ratio, with increasing friction ratio indicating increasing fines content. On this site there are pre treatment boreholes undertaken at a frequency of one per 900 m², always with a pre treatment CPTU adjacent to each borehole. There is a range of laboratory tests undertaken on soil samples recovered from boreholes which include particle size analyses. This enables correlations to be made between CPTU friction ratio, and fines content. For this site CPTU friction ratios exceeding approximately 2 % indicate low silty sand or very sandy silt. Such soils cannot be improved by vibration alone.

Examination of the example post CPTU plot shows that where pre treatment CPTU tip resistance is low, and CPTU friction ratio is low (generally less than 0.5 %) good enhancement of CPTU tip resistance is achieved after vibrocompaction. However, where CPTU friction ratio consistently exceeds 2 %, indicative of either very sandy silt or very silty sand, there is no enhancement of CPTU tip resistance after vibrocompaction. In this case the unimproved silty soils are below the zone stressed by shallow foundations which will be constructed at the surface, so do not affect foundation settlement. Also the silty soils are non

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Remblai hydraulique : 170 000 000 m³
- Enrochements : 10 000 000 t
- Surface créée : 10 000 000 m²
- Longueur de rivage créée : 70 km

liquefiable during an earthquake so do not require enhancement to eliminate risk of liquefaction.

Often pre CPTUs show high tip resistance profiles above groundwater, which is typically at +1 m DMD. This may be indicative of high “as placed” density, but may also be due to weak cementing between carbonate particles. Where above groundwater soil is already in a compact state, there is no requirement for further densification. However, where there may be high pre CPTU tip resistance due to weak cementing, in which case high pre treatment CPTU tip resistance may not indicate compact soil. In such cases it is necessary first to break down the bonds between the weakly cemented particles, and then to repack the soil particles into a more dense state. This is achieved by vibrocompaction.

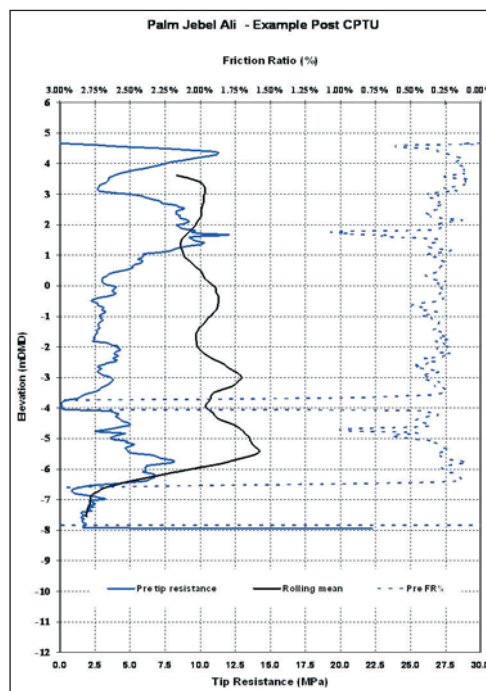
Void closure generated by the vibrocompaction is assessed by taken a grid of levels before and after vibrocompaction and surface compaction (figure 9).

As part of the Quality Control, zone load tests are undertaken for every 200,000 m² approximately of reclaimed land. The aim of these tests is to measure the settlement on short term and, by back analysis calculation, determine the conformity of the performance line.

Figure 9

Exemple de résultats d’essais au pénétromètre statique

Example of static penetrometer test results



Dubai, Palm Jebel Ali, vibrocompaction

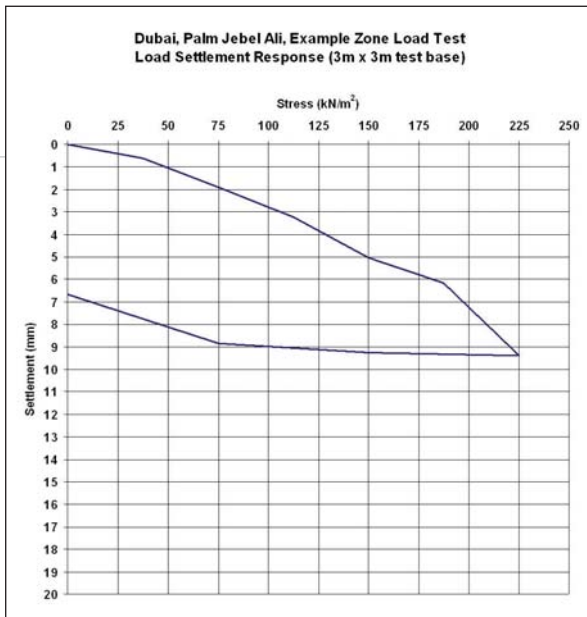


Figure 10

Exemple de graphique d'essai de chargement

Example of loading test graph

ABSTRACT**Dubai, Palm Jebel Ali, vibrocompaction**

A. Abinader, D. Johnson, A. Mansour

The picture of the Dubai palm has gone around the world. The public has less clear ideas about the fact that several artificial islands, which do not all have a palm tree shape, have been built, or are undergoing construction or planning in the turquoise waters bordering the Emirate.

The first in the series is Palm Jumeirah, begun in 2001. This article describes the work on the second palm, Palm Jebel Ali, developed by Nakheel. Begun at the end of 2002, this artificial island is currently undergoing construction. It is 1.7 times larger than the first one. The next one will be Palm Deira, begun in 2004, which will measure about 12,5 km along its largest dimension.

On Palm Jebel Ali, 108 million cubic metres of dredging material backfill are compacted by the vibroflotation method. This soil treatment contract is performed by The Vibroflotation Group Ltd, a subsidiary of Solétanche Bachy, in a consortium with APCC, a specialist foundation contractor based in Abu Dhabi. The performance period is 18 months, between August 2006 and February 2008.

RESUMEN ESPAÑOL**Dubai, Palm Jebel Ali, vibrocompacción**

A. Abinader, D. Johnson y A. Mansour

La imagen de la isla palmera de Dubai ha circulado en todo el mundo. El público tiene diversas ideas más o menos claras sobre el hecho de que varias islas artificiales, que no representan todas una forma de palmera, se han construidas, o se encuentran en construcción o bien en proyecto en las aguas de color turquesa que rodean el Emirato.

La primera de la serie es Palm Jumeirah, cuya construcción se comenzó en 2001. En el presente artículo se describen los trabajos de Palm Jebel Ali que constituye la segunda isla palmera. Su promotor es Nakheel. Iniciada a finales de 2002, esta isla artificial está actualmente en curso de construcción, su dimensión será 1,7 veces más grande que la primera. La próxima isla será Palm Deira cuya construcción se emprendió en 2004 y cuya longitud se aproximará de los 12,5 km en su más grande dimensión.

En Palm Jebel Ali, se compactaron 108 millones de metros cúbicos de relleno con materiales de dragado por medio del método de la vibroflotación. Este contrato de tratamiento de suelo se está ejecutando por The Vibroflotation Group Ltd, filial de Solétanche Bachy, en agrupación con APCC, empresa especialista en cimentaciones cuya base está ubicada en Abu Dabi. El plazo de ejecución es de 18 meses, entre agosto de 2006 y febrero de 2008.

▶ The result of a typical zone load test undertaken on a 3 m x 3 m test base is presented (figure 10).

As mentioned previously the reclaimed land at Palm Jebel Ali is spread over a sea water area of 49 km² approximately. Marine transport and logistic management are part of the main keys for the success.

The progress of the Works at Palm Jebel Ali is approximately 12 % at the moment this article is being written. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS**Employer**

Nakheel

Main Contractor for Reclamation

China Railway Engineering Me

Sub Contractor for Reclamation

Jan De Nul group of Companies

Main Contractor for Break Waters

Jan De Nul group of Companies

Contractor for Ground Improvement Works

APCC-VFL Joint Venture

Ho Chi Minh City : Thu Thiem Tunnel



Jonathan Hill
Project Manager
Bachy Soletanche Group
Ltd



Hoang Nhan Pham
Commercial Manager
Bachy Soletanche
Vietnam

Le tunnel de Thu Thiem est un ouvrage clé au sein du vaste projet du lot 2 pour la construction de l'autoroute Est-Ouest de la capitale du Vietnam. Sa fonction est de relier le 1^{er} district de Ho Chi Minh City à Thu Thiem en passant sous la rivière de Saigon. Le contrat principal est attribué à Obayashi Construction.

Il est question ici des accès au tunnel réalisés en tranchées couvertes et du puits de ventilation. Ces ouvrages ont donné lieu à la construction de plus de 75000 m² de parois moulées et barrettes réalisées en sous-traitance par Bachy Soletanche Ltd et Bachy Soletanche Vietnam.

Cet important chantier de fondations a nécessité la mobilisation et la coordination de moyens matériels et des ressources humaines de plusieurs entités du groupe Solétanche Bachy appartenant essentiellement à la zone d'Asie de l'Est.

The Thu Thiem Tunnel Project, is located either side of the Saigon River, with the approaches being West - District 1 of Ho Chi Minh City and East - Thu Thiem. The Main Contract awarded to Obayashi Corporation consists of constructing Package 2 of the Saigon East-West Highway Construction Project for the Employer - Project Management Unit for Ho Chi Minh City (PMU), which includes inter-alia the cut and cover approaches for, as well as the submerged tunnel beneath the Saigon River (figure 1). The project is 65 % funded by loans from the Japanese Official Development Assistance (ODA) through Japan Bank for International Co-operation (JBIC). The permanent works are Employer Engineer, Pacific Consultants International designed and Obayashi Corporation is responsible for the temporary works design, including the cut and cover excavation, strutting and associated review of the Diaphragm Wall. The construction of the Diaphragm Wall and Barrette works were carried out by Bachy Soletanche Group Ltd together with Bachy Soletanche Vietnam (figure 2).

Figure 1

Implantation de Thu Thiem Tunnel sur la rivière de Saigon

Location of Thu Thiem Tunnel on the Saigon River

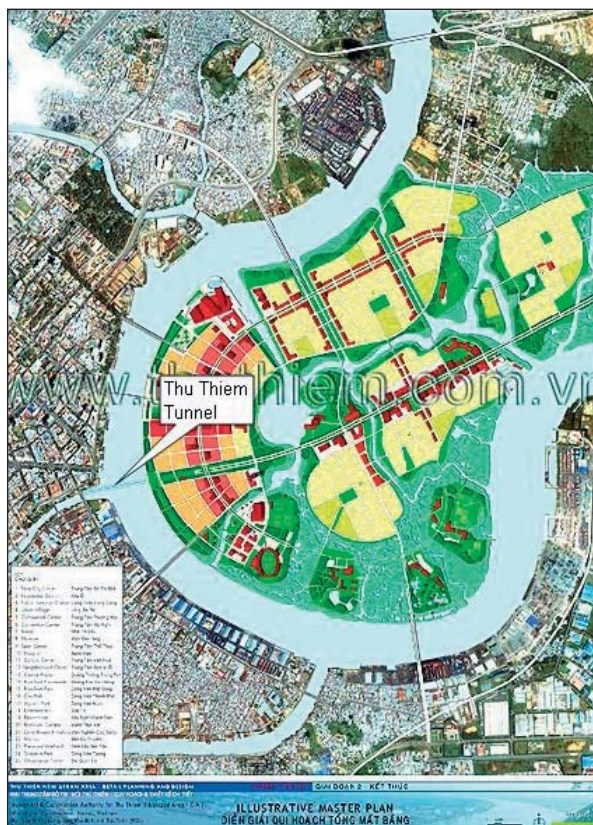


Figure 2

L'équipe de la rive Ho Chi Minh City

The team on the Ho Chi Minh City bank

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Murettes-guides pour parois moulées : 1824 m
- Murettes-guides pour barrettes : 410 m
- Nombre de barrettes : 82 u
- Excavation paroi moulée e = 1000 mm : 11870 m²
- Excavation paroi moulée e = 1200 mm : 55139 m²
- Excavation barrette e = 800 mm : 15105 m²

Ho Chi Minh City : Thu Thiem Tunnel

Figure 3

Poste de nuit
à Ho Chi Minh City
Night shift in Ho Chi Minh
City



Figure 4

Phase 1 terminée et déviation de l'accès au pont
de Khanh Hoi

Phase 1 completed and diversion of the Khanh Hoi Bridge
approach

Figure 5

L'équipe de la rive Thu Thiem
The team on the Thu Thiem bank



Bachy Soletanche's subcontract consisted of constructing approximately (excavation/concrete) 56,957 sqm/55,635 sqm of 1 200 mm and 5,986 sqm/5,884 sqm of 1000 mm thick Diaphragm Wall down to a maximum design toe level of -33.8 m and approximately 15,205 sqm/8,341 sqm of 800 mm thick Barrette Piles down to a maximum design level of -33.8 m.

Due to the need within the project period to divert the main Khanh Hoi Bridge whilst maintaining the traffic flow in and out of the center of Ho Chi Minh City, together with the need to provide time for the reclamation of the Ben Nghi Canal by Obayashi Corporation, the project was proposed to be carried out in three stages. With work continuing both day and night (figure 3).

Stage 1 at Ho Chi Minh side consisted of carrying out Diaphragm Wall and Barrettes sufficient to permit the necessary diversions of the roads and bridges by Obayashi Corporation, this work was carried out from 14th November to 30th December 2005 (figure 4).

Stage 2 was the works to the Thu Thiem side of the Saigon River. This required, due to the limited road access to the site at the time, the transfer of all of Bachy Soletanche's equipment by barge across the Saigon River.

Thu Thiem had formally been a network of canals and paddy fields and this proved to be a difficult area to carry out the necessary Diaphragm Wall and Barrette works. Once the construction could proceed at pace, the Thu Thiem side Diaphragm Wall and Barrettes, were completed by the 23rd May 2006 (figure 5).

Stage 3 saw the return by barge across the Saigon River to the Ho Chi Minh side where the final Diaphragm Wall and Barrettes were to be constructed.



Figure 6

La plate-forme de travail en remblai sur le canal de Ben Nghi

The backfill work platform on Ben Nghi Canal

Given the programme constraints, the Ben Nghi Canal deposits, consisting of soft muds and silts, beneath the sand reclamation had not been improved or removed prior to the commencement of the Diaphragm Wall and Barrette works. To overcome this problem Bachy Soletanche implemented a continuous system of localised H beams driven adjacent to each panel and barrette to maintain the upper trench stability (figure 6).

Bachy Soletanche removed the old Khanh Hoi Bridge piles using the mechanical KL grabs together with chisels, with backfilling taking place prior to carrying out the Diaphragm Wall.

With a tight programme, difficult ground conditions and an intricate reinforcement cage design, Bachy Soletanche took to directly construct together with the Diaphragm Wall and Barrettes the 2254 m of guide wall and over 8000 tonnes of reinforcement cut, bend and fix, leading at one time during the project to a collective workforce of over 400 personnel (figure 7).

As part of the scheme there was need to construct eighty six 5 m x 0.8 m Barrettes. Bachy Soletanche's solution was to mobilise their KS hydraulic grab and fabricate for the project a set of 5 m x 0.8 m jaws with accessories to permit the excavation of a 5 m barrette in one bite (figure 9).

Further there was need to install within each 5 m barrette, two UC section king posts, these were installed as a pair in a single lift with an installation system developed by Bachy Soletanche for the project (figure 8).

The project mobilised equipment from Vietnam, France, Hong Kong, Philippines, Singapore and Australia, with the personnel originating from



Figure 7

Le plateau de fabrication des cages d'armature pour la phase 3 de Ho Chi Minh City

The reinforcement cage manufacturing platform for Ho Chi Minh City phase 3



Figure 8

Le système « Twin King Post » construit spécialement pour le projet

The twin king post system built specially for the project



Figure 9

La benne de 5 m d'ouverture construite spécialement pour le projet

The grab with 5-metre opening built specially for the project



Ho Chi Minh City : Thu Thiem Tunnel



Figure 10
Paroi moulée butonnée, côté Thu Thiem
Stayed diaphragm wall, Thu Thiem side

▶ Vietnam, France, Hong Kong, Philippines, Thailand and the UK.

Overall Bachy Soletanche commenced excavation on the 14th November 2005 and completed the last of the 403 pours to the Diaphragm Wall and Barrettes on September 21st 2006 (figure 10). ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Main Contract

Saigon East-West Highway Construction Project
Package 2

Client

East-West Highway and Water Environment
Project Management Unit of Ho Chi Minh City

Main Contractor

Obayashi Corporation

Engineer

Pacific Consultants International

Subcontractor

Bachy Soletanche Group Ltd

Sub-Subcontractor

Bachy Soletanche Vietnam

ABSTRACT

Ho Chi Minh City : Thu Thiem Tunnel

J. Hill, H. Nhan Pham

Thu Thiem Tunnel is a key structure as part of the vast project work section 2 for construction of the Vietnamese capital's East-West motorway.

Its function is to link the first district of Ho Chi Minh City with Thu Thiem, passing under the Saigon River. The main contract is awarded to Obayashi Construction.

The present article concerns the tunnel approaches executed by the cut-and-cover technique, and the ventilation shaft. These structures involved the construction of more than 75,000 sq. m of diaphragm walls and supporting wall units executed under subcontract by Bachy Soletanche Ltd and Bachy Soletanche Vietnam.

This major foundation project required the deployment and coordination of the material and human resources of several entities of the Solétanche Bachy Group mostly operating in the East Asia region.

RESUMEN ESPAÑOL

Ho Chi Minh City : Thu Thiem Tunnel

J. Hill y H. Nhan Pham

El túnel de Thu Thiem es una estructura clave que se incluye en el amplio proyecto del lote 2 para la construcción de la autopista Este-Oeste de la capital de Vietnam. Su cometido consiste en poner en comunicación el 1er distrito de Ho Chi Minh City con Thu Thiem pasando debajo el río Saigón. El contrato principal se ha atribuido a Obayashi Construction. Se trata en este caso de los accesos al túnel ejecutados en falso túnel y de los pozos de ventilación. Estas obras dieron lugar a la construcción de más de 75000 m² de pantallas continuas y presillas realizadas en subcontratación por Bachy Soletanche Ltd y Bachy Soletanche Vietnam.

Esta importante obra de cimentaciones ha requerido la movilización y la coordinación de los medios materiales y los recursos humanos de varias entidades del grupo Solétanche Bachy que se encuentran ubicadas principalmente en la zona de Asia del Este.

Le viaduc de Lai Chi Kok à Hong Kong

Une équipe intégrée au service d'un projet difficile

Patrice Arnold
Directeur de projet
VSL

Cet ouvrage réalisé par VSL, dans le cadre de la nouvelle Route 8 est l'un des plus complexes que la filiale de Bouygues Construction spécialisée en précontrainte ait jamais construit, du fait des fortes contraintes de pose : trafic, accès en zone fortement urbanisée, construction par encorbellement – à 45 m de hauteur – d'un double tablier à faible rayon de courbure en plan, et très déversé. Sur l'une des piles, des moyens inhabituels : deux grues à chenille de 100 t à chaque extrémité du tablier en cours de construction, alimentées par une troisième grue de 200 t, levant les voussoirs depuis une rue adjacente. Au total, six méthodes de pose employées pour 1766 voussoirs.

Le gouvernement de Hong Kong construit actuellement la nouvelle « Route 8 » reliant l'île de Tsing Yi à Shatin. Ce projet a fait l'objet d'un découpage en plusieurs lots, dévolus à différentes entreprises. VSL Hong Kong est intervenue dans plusieurs de ces lots, assurant, selon les marchés, la pose des voussoirs, la précontrainte, la fourniture et la mise en œuvre des appareils d'appui et des joints de chaussée et la fourniture des équipements de levage.

L'un des projets, le viaduc de Lai Chi Kok, a été attribué à Acciona, anciennement Necso. Pour ce projet, VSL Hong Kong et Acciona ont constitué une équipe intégrée chargée de la pose de 1766 voussoirs préfabriqués, de la mise en œuvre de la précontrainte et de l'installation des appareils d'appui et des joints de chaussée.

Les tabliers en voussoirs préfabriqués concernent l'ouvrage principal, un double viaduc constitué de deux poutres-caissons globalement parallèles, ainsi que deux bretelles d'accès au sud et deux bretelles d'accès au nord. Les tabliers reposent sur des piles d'une hauteur de l'ordre de 25 m pour la plupart, certaines pouvant toutefois atteindre jusqu'à 45 m. Selon l'emplacement, on rencontre toutes les combinaisons possibles de tablier et d'appuis, le nombre de caissons variant de un à quatre selon le cas. Les tabliers sont généralement encastrés sur les piles; quelquefois, ils reposent sur des appareils d'appui.

Le projet est situé dans un secteur de Kowloon fortement peuplé, de sorte que les sujétions et les obstacles y étaient omniprésents. VSL, rompu à ce type de travail dans des environnements particulièrement difficiles, a apporté à l'équipe intégrée son savoir-faire technique

et les compétences de ses ingénieurs et a ainsi permis de relever les défis rencontrés dans le cadre du projet.

■ Cintre autolanceur

Pour ériger le viaduc principal, là où l'accès au sol était limité, à cause de la présence d'autres voies de circulation ou parce que les terrains étaient inaccessibles, on a utilisé un lanceur spécialement construit à cet effet, capable de lever des voussoirs de 100 t. Les voies existantes ne pouvant être fermées à la circulation que pendant la nuit – normalement entre 1 heure et 5 heures du matin –, une programmation et une préparation détaillées étaient nécessaires. Sur certains sites, le planning devait être particulièrement précis, les voies à fermer différant selon les voussoirs. Au



Photo 1
1766 voussoirs
préfabriqués
et précontraints
1,766 prefabricated,
prestressed segments



Photo 2
Cintre autolanceur
capable de lever
des voussoirs de 100 t
Self-launching centre
capable of lifting
100-tonne segments

Le viaduc de Lai Chi Kok à Hong Kong. Une équipe intégrée au service d'un projet difficile

Photo 3

Sept voies de circulation au niveau du sol
Seven traffic lanes at grade



Photo 4

Chèvre de levage pour une plus grande souplesse dans le phasage des opérations

Hoisting tripod for greater flexibility in operation scheduling



niveau de la pile P7, par exemple, où le tablier comportait un joint de chaussée, six fléaux recouvraient sept voies de circulation au niveau du sol et quatre voies surélevées.

Le lanceur, long de 172 m et pesant environ 1000 t, pouvait se déplacer latéralement sur 45 m, permettant ainsi la pose simultanée de quatre poutres-caissons parallèles.

■ Chèvre de levage LCK

Le deuxième équipement de levage, une chèvre construite spécifiquement pour le projet LCK, a été conçue et réalisée pour les zones nécessitant une grande souplesse dans le phasage des opérations. Les voussoirs préfabriqués étaient acheminés au sol et hissés avec le système de levage VSL à torons de précontrainte, monté sur la chèvre LCK. Une fois la précontrainte nécessaire du fléau réalisée, la chèvre était déplacée vers l'avant pour recevoir le voussoir suivant.

À mesure que les travaux progressaient, les contraintes évoluaient toutefois, se faisant toujours plus complexes et les problèmes d'accessibilité, de phasage, de conception ou de tirant d'air sous les lignes électriques devenaient de plus en plus cruciaux.

Pour y remédier, des solutions alternatives s'imposaient. L'équipe intégrée VSL-Acciona a étudié un grand nombre d'options différentes et décidé d'utiliser deux équipements de levage VSL existants, un système de ripage de voussoirs, les poutres VSL de grande capa-

cité et une gamme étendue de grues, ceci afin de pouvoir installer la totalité des voussoirs.

■ Chèvre de levage SWC

La chèvre de levage SWC, utilisée précédemment sur un autre chantier VSL à Hong Kong, a été adaptée ici aux dimensions des ouvrages définitifs. Cette chèvre a servi pour la pose des voussoirs des doubles poutres-caissons parallèles. Elle est équipée du système de levage VSL qui utilise des torons de précontrainte et qui permet de lever des voussoirs depuis le sol d'un côté ou de l'autre des tabliers. Ceci rend le levage possible lorsqu'une des deux poutres-caissons franchit une zone inaccessible telle que le canal à ciel ouvert de Lai Chi Kok.

■ Chèvre de levage WTY

La chèvre de levage WTY a été utilisée après quelques modifications pour les piles supportant une poutre-caisson unique, lorsque l'accès à proximité de la pile était possible mais que le reste de l'espace sous l'encorbellement du tablier était inaccessible – dans le cas d'une pente raide, par exemple.

La chèvre WTY est équipée de deux vérins VSL pour levages lourds. Avec la grande poutre – équipée du système de levage – et le palonnier, ce dispositif permet de lever les voussoirs au plus près de la pile, puis d'avancer la chèvre, voussoir suspendu, jusqu'à l'extrémité de l'encorbellement.



Photo 5

Chèvre pour la pose des voussoirs des doubles poutres-caissons parallèles

Tripod derrick for placing parallel double box girder segments



Photo 6

Chèvre pour la pose des voussoirs des poutres-caissons uniques

Tripod derrick for placing single box girder segments

Une fois le voussoir en place, la chèvre est ramenée près de la pile pour lever le voussoir suivant.

■ Système de ripage

Un tronçon de viaduc en courbe d'environ 80 m était coincé entre une pente raide d'un côté et une route existante de l'autre, de sorte que l'on ne disposait pas de l'espace et de l'accès nécessaires à l'utilisation ni de la chèvre de levage ni d'une grue.

Pour amener les voussoirs préfabriqués jusqu'à cet emplacement exigü, l'équipe a conçu et installé un système permettant le ripage des voussoirs. Ces derniers, levés au moyen d'une grue, étaient placés à une extrémité du dispositif, puis glissés jusqu'à l'autre extrémité, sur une longueur pouvant aller jusqu'à 80 m. Au niveau de la conception comme du fonctionnement, il a fallu s'affranchir de divers obstacles, tels le tracé courbe de l'ouvrage, sa pente longitudinale – jusqu'à 4 % –, et la présence de piles sur le chemin de ripage.

■ Contrepoids

En deux emplacements, la géométrie de la pile et de la poutre-caisson a nécessité une stabilisation de la structure avant que la continuité définitive ne soit assurée.

Photo 8

Six méthodes de pose différentes pour cet ouvrage
Six different placing methods for this structure



Photo 7

Sans l'espace et l'accès nécessaires à l'utilisation ni de la chèvre de levage ni d'une grue, dispositif de ripage des voussoirs

Without the space and access necessary for the use of either the hoisting tripod or a crane, segment skidding device



Le viaduc de Lai Chi Kok à Hong Kong. Une équipe intégrée au service d'un projet difficile



Photo 9

Stabilisation temporaire de la structure

Temporary stabilisation of the structure

► Un système d'ancrage a été conçu afin d'empêcher le mouvement des ouvrages permanents et de maintenir la poutre-caisson en bonne position pendant la construction. Une charge allant jusqu'à 350 t a été appliquée à une distance de l'axe de la pile pouvant aller jusqu'à 8,5 m. Des tours d'étaie provisoires ont par ailleurs également été nécessaires.

Fin août 2006, le dernier voussoir était posé et le joint de clavage réalisé.

La clé du succès de l'opération LCK tient aux efforts conjugués de deux sociétés œuvrant ensemble dans une équipe intégrée et bénéficiant de l'expérience de VSL en matière de construction de tabliers par voussoirs préfabriqués. ■

ABSTRACT

Lai Chi Kok Viaduct in Hong Kong. An integrated team for a difficult project

P. Arnold

This structure, executed by VSL as part of the new Route 8 highway, is one of the most complex ever built by this Bouygues Construction subsidiary specialised in prestressing, due to the major installation constraints : traffic, access in a highly urbanised area, construction by cantilevering – at a height of 45 m – of a double deck with a small plane radius of curvature, and steeply banked. On one of the piers, exceptional equipment : two 100-tonne caterpillar cranes at either end of the deck undergoing construction, fed by a third 200-tonne crane, raising the segments from an adjacent street. In all, six placing methods used for 1770 segments.

RESUMEN ESPAÑOL

Viaducto de Lai Chi Kok en Hong Kong. Un equipo integrado al servicio de un difícil proyecto

P. Arnold

Esta obra ejecutada por VSL, en el marco de la nueva Carretera 8 es una de las más complejas que la filial de Bouygues Construction especializada en construcciones pretensadas haya nunca construída, debido a los fuertes imperativos de tendido : tráfico, acceso en zona muy urbanizada, construcción en voladizo – a 45 metros de altura – de un doble tablero de reducido radio de curvatura en plano, y muy inclinado. Para una de las pilas se ha tenido que recurrir a medios inhabituales : dos grúas de orugas de 100 t en cada extremo del tablero en curso de construcción, alimentadas por una tercera grúa de 200 t, que levanta las dovelas desde una calle adyacente. En total, 6 métodos de tendido empleadas para 1770 dovelas.

East Tsing Yi Viaduct

Dans le cadre du projet de la Route 8 reliant la ville de Shatin à l'aéroport, Hong Kong Highways a attribué à Dragages Hong Kong, Bouygues Travaux Publics et China Harbour Engineering Company la construction du viaduc de East Tsing Yi.

Ce projet, comprenant la réalisation de travaux de terrassement, de fondations, d'infrastructure et de superstructure, est constitué d'un tablier principal de 2 x 3 voies d'une longueur de 1,1 km à 65 m de hauteur et de rampes d'accès d'une longueur totale de 5 km. Cet ouvrage est composé essentiellement de 1939 voussoirs préfabriqués coulés en Chine et livrés par barge à Hong Kong. Cet ouvrage exceptionnel, du fait de son architecture, a nécessité la construction d'outils spécifiques pour sa réalisation. En particulier, le lanceur « Fei Long » d'une longueur de 150 m et d'un poids de 700 t a été spécialement conçu pour ce projet afin de permettre, entre autres, la pose des travées d'accès en courbe de 125 m de rayon. L'ensemble des travaux seront achevés début 2008 après 40 mois de travaux.

Le projet de East Tsing Yi Viaduct, d'un montant de 100 M€, a été attribué fin 2004 par le département de Hong Kong Highways du gouvernement de Hong Kong HKSAR au groupe-

ment d'entreprises Dragages Hong Kong, Bouygues Travaux Publics et China Harbour Engineering Company.

Ce projet est un « conforming design » dont le maître d'œuvre est ARUP Hong Kong. La durée totale du projet est de 40 mois (photo 1).

Étant le dernier maillon de la nouvelle Route 8 reliant la ville de Shatin à l'aéroport international via l'île de Tsing Yi, le viaduc principal comprend un double tablier de 2 x 3 voies d'une longueur de 1,10 km, entre le pont haubané de Stonecutters et le tunnel de Nam Wan. Les rampes d'accès d'une longueur totale de 5 km, à une ou deux voies, permettent de relier le nouveau port container n° 9 au viaduc principal.

Le projet est constitué pour la majeure partie de voussoirs préfabriqués. Ces voussoirs sont préfabriqués en Chine Populaire et transportés par barges jusqu'au chantier. Un convoi routier exceptionnel est utilisé pour livrer les voussoirs depuis l'aire de déchargement jusqu'à l'ouvrage.

■ Terrassements et infrastructures

D'importants travaux de terrassements sur chemin critique ont été exécutés dans le cadre ce projet. Environ 100 000 m³ de granit ont été excavés et cloutés par plus de 1 000 clous durant 6 mois. Ces travaux de terrassements ont été exécutés essentiellement durant l'une des saisons les plus pluvieuses de ces 20 dernières années. L'emploi d'explosif étant interdit, l'excavation s'est faite avec des brise-roches hydrauliques. Les maté-



Photo 1

Image en 3D de l'ouvrage
3D picture of the structure

Dominique Droniou
Directeur du Projet
Bouygues Travaux
Publics

Fabrice Cayron
Responsable Technique
Bouygues Travaux
Publics

Yves Riolland
Responsable Études
Bouygues Travaux
Publics

Jean-Philippe Cariou
Responsable Méthodes
Bouygues Travaux
Publics

East Tsing Yi Viaduct

Photo 2

Travaux
de terrassements
*Earth moving
work*



Photo 3

Coffrage de pile
Pier formwork

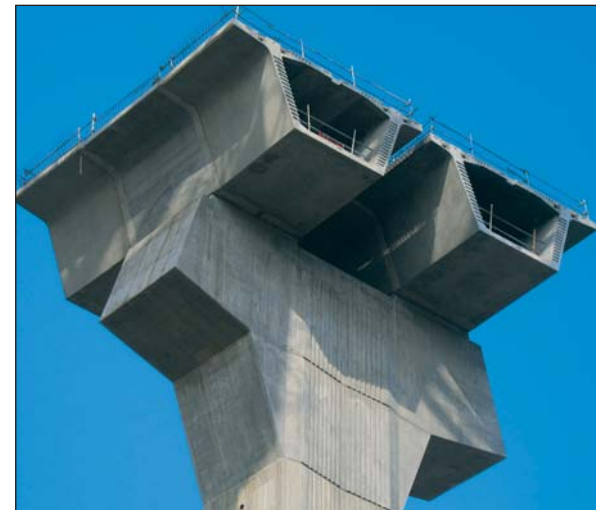


Photo 4

Pile marteau et voussoir coulé en place
Hammerhead pier and cast-in-situ segment

riaux sont ensuite évacués en décharge par camion. Les contraintes climatiques, de planning et d'accès pour les hommes et équipements ont rendu cette phase des travaux très difficile (photo 2).

East Tsing Yi Viaduct est construit pour partie sur une nouvelle zone de remblais en mer et pour partie à flanc de colline.

Deux types de fondations sont utilisés : des pieux préfondés (H métallique coulé dans un pieu béton) dans le terrain naturel et des pieux forés dans les zones de remblais.

Les 558 pieux préfondés d'un diamètre de 600 mm et d'une profondeur variant de 9 m à 35 m représentent une longueur totale d'environ 12 km. Ces travaux ont été achevés en 10 mois en utilisant en moyenne cinq ateliers.

Les 263 pieux forés de diamètre 1,50 m, 1,80 m et 2,00 m et d'une profondeur variant de 15 m à 67 m ont été achevés en 7 mois avec quatre ateliers.

Les 94 semelles sur pieux ont été construites de façon traditionnelle au moyen de coffrages en bois, soit dans des batardeaux de palplanches (sur les flancs de la col-

line et à proximité des voies de circulation), soit en tranchées ouvertes (dans la zone de remblais). Ces travaux étaient sous-traités à une entreprise locale.

La construction des 100 piles d'une longueur cumulée de l'ordre de 4000 m a nécessité la fabrication de dix jeux de coffrages métalliques. Une levée de 6,00 m est bétonnée tous les 4 jours (par équipement).

Tous ces coffrages sont auto-stables (photo 3) et déplacés au moyen de grues sur chenilles de 150 t de capacité. Ces mêmes grues, ayant des flèches de l'ordre de 80 m, sont également utilisées pour la mise en place du ferrailage et le bétonnage. La fin des travaux de construction est prévue en mai 2007.

Les piles sont couronnées soit par des têtes marteaux, soit par des portiques, soit directement par des voussoirs coulés en place. Toutes ces parties d'ouvrage sont coffrées avec des équipements spécifiques manutentionnés par des grues sur chenilles.

Un cycle de 18 jours est nécessaire à la construction d'une tête de pile type marteau alors que 4 à 6 semaines sont nécessaires pour construire un portique au moyen de coffrage traditionnel sur étalement.

Quatre coffrages métalliques sont utilisés pour le bétonnage des voussoirs sur piles : cycle typique de 12 jours incluant la mise en place et le réglage des coffrages, le ferrailage et le bétonnage.

La fin des travaux d'infrastructure est prévue pour juin 2007 (photos 4, 5 et 6).

■ Superstructure

Les études et méthodes de construction du tablier de l'ouvrage ont été réalisées en collaboration entre le

Photo 5

Construction portique P4, 1^{er} niveau
Construction of portal structure P4, first level

chantier et les services études (TPBE), méthodes (TPMP) et matériel (DMTP) de Bouygues TP en France.

Méthodes de pose du tablier

Dès la signature du contrat, la première étape fut la définition du cahier des charges du lanceur nécessaire à la pose du tablier : études des cinématiques préliminaires liées à la géométrie complexe de l'ouvrage (rayon minimum du tablier en plan de 125 m, devers maximum de 7 %, pente maximum de 5 %, poids maximum des voussoirs limité à 140 t), définition des principes de fonctionnement de l'outil, des systèmes de sécurité et de l'ergonomie.

La seconde étape fut la définition de l'ensemble des contraintes ayant un impact sur la géométrie des voussoirs afin de pouvoir démarrer leur préfabrication. Ce sont principalement l'analyse de la géométrie des bossages de précontrainte, la précontrainte temporaire entre voussoirs et la stabilité de fléau.

Sur ce dernier point, l'architecture des têtes de piles a conduit à reprendre une partie des efforts de basculement d'un fléau en construction par un clouage classique du voussoir sur pile combiné à des bracons métalliques précontraints en tête de pile équipés de vérins hydrauliques. Afin de ne pas surcharger ces bracons métalliques, les efforts appliqués en tête de vérins hydrauliques ont été calculés pour la pose de chacune des paires de voussoirs de l'ouvrage.

Les cinématiques de pose réalisées sur chantier ont été définies en tenant compte de la géométrie de l'ouvrage, de la capacité du lanceur, de l'optimisation des mouvements de la poutre ainsi que de la capacité de résistance structurelle du tablier en phase de construction (tout en limitant la quantité de précontrainte additionnelle temporaire à mettre en œuvre).

Études d'exécution

Le bureau d'études de Bouygues TP a réalisé l'ensemble des études liées à la définition géométrique de l'ouvrage (implantation et segmentation), à la vérification de l'ouvrage en phase provisoire, au réglage et au contrôle géométrique des voussoirs.

Compte tenu de la complexité géométrique de l'ouvrage, il a été décidé de faire une maquette numérique tridimensionnelle. Cette maquette, dont l'arête de base est générée par le logiciel de contrôle géométrique DATUM, incorpore l'ensemble des données géométriques et mécaniques de l'ouvrage (géométrie des piles et du tablier, segmentation, caractéristiques mécaniques des voussoirs et câbles de précontrainte).

Associée à des logiciels développés en internes, cette modélisation permet d'une part d'assurer le contrôle



Photo 6

Construction portique P4, 2^e niveau
Construction of portal structure P4, second level

géométrique en cours de préfabrication des voussoirs et d'autre part de vérifier les contraintes dans le tablier en phase provisoire.

Cette modélisation accessible à la fois par l'équipe technique du chantier à Hong Kong et par les intervenants de la direction technique basés à Paris, s'est avérée également indispensable à l'étude des interactions entre les câbles de précontrainte extérieurs et les bossages de précontrainte temporaire ainsi qu'à la définition des tubes déviateurs.

Superstructure

Le projet est divisé en 20 ponts individuels, chacun d'entre eux étant séparé par un joint de chaussée.

Le pont principal, reliant le projet Stonecutters Bridge au tunnel de Nam Wan, est un double tablier de 2 x 3 voies d'une longueur de 1,10 km. Les travées ont des portées variables de 55,00 m à 84,00 m. La construction de ces ponts représente un total de 1939 voussoirs préfabriqués (à l'exception de deux ouvrages coulés en place sur échafaudages, situés au nord du projet).

East Tsing Yi Viaduct



Photo 7
Vue aérienne
Aerial view



Photo 8
Poutre en configuration de lancement maximum
Girder in maximum launching configuration



Un pont type est constitué de quatre à cinq travées, ayant généralement deux voussoirs sur pile coulés en place au milieu et un voussoir de type joint de chaussée sur pile à chaque extrémité. Vingt-deux mois sont nécessaires à la construction de ces ouvrages avec une fin de pose prévue en décembre 2007 (photo 7).

La construction des parapets, l'étanchéité, la mise en œuvre de l'enrobé et la signalisation font également partis du contrat.

Les équipements

Le lanceur, Fei Long – Dragon volant en cantonais – a été assemblé et réceptionné en début d'année 2005. D'une longueur de 150 m et d'un poids de 700 t, cet équipement a été fabriqué spécialement pour le projet. Le suivi des études et de fabrication en Italie a été effectué par le service matériel de Bouygues TP. L'une de ses spécificités est d'être équipé de capteurs électroniques permettant, soit une lecture directe des charges sur un écran centralisé, soit via un réseau WiFi, de transférer les informations aux bureaux du chantier.

Cette dernière génération de lanceur permet d'accomplir des performances inégalées à ce jour. Sur un projet de cette ampleur et de très haute technicité, il a fallu rassembler l'ensemble des compétences des équipes techniques et de production ayant déjà travaillé sur des ouvrages similaires dans le passé (photo 8).

L'achèvement du cycle de pose de trois paires de voussoirs par poste de travail a été atteint très rapidement après quelques travées de mise en cadence. Le nombre maximum de voussoirs posés par jour calendaire est de 14 unités (deux postes par jour, 11 heures/poste).

Les travées de rive sont entièrement suspendues au lanceur par un système spécialement conçu pour ce projet (photo 9).

La moyenne journalière depuis le début de la pose, y compris les différents arrêts dus aux intempéries et maintenance, est de 3,2 voussoirs par jour travaillé.

Un autre type d'équipement est utilisé pour la mise en place de la première paire de voussoirs adjacents au voussoir sur pile coulé en place. Ces voussoirs n'étant pas à joints conjugués, un joint mâté est coulé en place après ajustement final. Le hissage de ces voussoirs se fait au moyen de chèvre de levage équipée d'une paire de vérins hydrauliques (câbles de 65 m de longueur). Le cycle de mise en place de cette paire de voussoirs, y compris le joint coulé en place, est de 4 jours. Le béton

Photo 9

Pose d'une travée de rive suspendue au lanceur
Placing an end span suspended from the launcher

de clavage spécialement mis au point pour ce projet atteint 25 MPa en 12 heures. Ceci permet de mettre en tension au plus tôt la précontrainte intérieure et de placer la chèvre de levage sur la pile suivante (photo 10). Les voussoirs sur pile sur appareil d'appuis sont mis en place au lanceur sur quatre vérins hydrauliques de 800 t de capacité (1 300 t sur écrou de sécurité). Ces voussoirs sont ensuite cloués à la pile à l'aide de câbles de précontrainte. Deux câbles de 19 unités, en moyenne, installés en boucle suffisent pour reprendre les efforts de déséquilibre du fléau, associés aux bracons métalliques précontraints en tête de pile.

La pose des voussoirs au lanceur par encorbellement a débuté après l'achèvement des premiers ouvrages coulés en place. Ces deux ponts construits de façon traditionnelle sur échafaudage sont un point de passage obligé pour la livraison des voussoirs par convoi routier (photo 11).

L'ordre de construction des différents ponts est lié à de nombreux paramètres tels que la logistique d'acheminement des voussoirs et les interférences entre tabliers déjà posés et équipements de pose.

Le plus gros challenge pour le lanceur de 150 m de long fut la pose des voies d'accès d'un rayon de 125 m en plan. Cette pose a été rendue possible grâce aux caractéristiques mécaniques du lanceur qui permettent entre autres des rotations des béquilles et traverses de l'ordre de 30°. Les traverses supportant le lanceur d'une longueur de 30 m permettent à la poutre de se désaxer suffisamment dans les phases de lancement en courbe (photo 12).



Photo 10
Chèvre pendant levage
*Tripod derrick
during hoisting*



Photo 11
Pose
en encorbellement
Cantilever placing



Photo 12
Vue de la pose en courbe
View of placing in curve

East Tsing Yi Viaduct

Le lanceur est également utilisé pour l'approvisionnement des voussoirs des cinq travées isostatiques de 50 m de portée contre la culée du tunnel de Nam Wan. Ces travées d'un poids maximum de 1 500 t vont toutes être posées sur échafaudage, puis glisser transversalement jusqu'à leur position finale sur un rail composé d'innox et de téflon au moyen de vérins hydrauliques.

Conclusion

À fin mars 2007, l'avancement global atteignait 72 %. L'infrastructure sera terminée courant mai 2007, et la pose des voussoirs fin 2007.

Les travaux de finitions, d'étanchéité, d'enrobés et l'installation des candélabres et signalisation seront achevés début 2008.

La qualité, la sécurité et l'environnement font partie intégrante des tâches quotidiennes. De nombreuses fiches de contrôles sont utilisées afin de suivre les normes Iso appliquées pour la construction du projet. Les contrôles sonores, de poussières et de la qualité de l'eau sont effectués chaque semaine et suivis par différentes organisations gouvernementales. En termes de sécurité, les chutes de grande hauteur étant l'un des risques principaux, des procédures renforcées ont été mises en place par les équipes de sécurité et de production.

Le projet est actuellement dans une des périodes les plus tendues en termes de programme, avec environ 300 ouvriers et une centaine de personnels d'encadrement. Le groupement d'entreprises achèvera ce projet extrêmement technique dans les délais du contrat et permettra ainsi une plus grande fluidité du trafic routier de l'un des plus grands ports container du monde. ■

« Dominique Droniou, directeur du projet, en accord avec Hong Kong Highways Department pour la publication de cet article. »

ABSTRACT East Tsing Yi Viaduct

D. Droniou, F. Cayron, Y. Rialland,
J.-Ph. Cariou

As part of the Route 8 project linking the city of Shatin to the airport, Hong Kong Highways awarded Dragages Hong Kong, Bouygues Travaux Publics and China Harbour Engineering Company the contract for construction of the East Tsing Yi viaduct.

This project, involving the performance of earth moving, foundation, infrastructure and superstructure works, consists of a main three-lane dual-carriageway deck 1,1 km long at a height of 65 metres and access ramps of total length 5 km. The structure basically consists of 1939 prefabricated segments cast in mainland China and delivered to Hong Kong by barge. This structure, exceptional due to its architecture, required the manufacture of specific tools for its construction. In particular, the "Fei Long" launcher, 150 metres long and weighing 700 tonnes, was specially designed for this project to allow, among other things, the placing of curved approach spans of 125-metre radius. All the works will be completed in early 2008 after 40 months' work.

RESUMEN ESPAÑOL Viaducto East Tsing Yi

D. Droniou, F. Cayron, Y. Rialland
y J.-Ph. Cariou

Situándose en el marco del proyecto de la Carretera 8 que pone en comunicación la ciudad de Shatin con el aeropuerto, Hong Kong Highways ha designado a Dragages Hong Kong, Bouygues Travaux Publics y China Harbour Engineering Company la construcción del viaducto de East Tsing Yi. Este proyecto, que comprende la realización de trabajos de movimientos de tierra, de cimentaciones, de infraestructura y de superestructura, está compuesta por un tablero principal de 2 x 3 carriles de una longitud de 1,1 km ubicado a 65 m de altura y de carriles de acceso de una longitud total de 5 km. Esta estructura está formada, fundamentalmente, por 1939 dovelas prefabricadas coladas en China y transportadas por una embarcación fluvial hasta Hong Kong. Esta estructura extraordinaria con motivo de su arquitectura ha precisado la construcción de herramientas específicas para su ejecución. En particular, el lanzador « Fei Long » de una longitud de 150 metros y de un peso de 700 toneladas fue elaborado especialmente para este proyecto con objeto de permitir entre otras el tendido de los tramos de acceso en curva de 125 metros de radio. La totalidad de los trabajos será finalizada a principios de 2008 tras 40 meses de trabajos.

Le tunnel de Changjiang (Chine) Un défi commercial et technique audacieux !

Le tunnel de Changjiang, partie du projet autoroutier de desserte de l'île de Chongming consiste en une double traversée de la branche sud du « Yantze river » large de 7 km, entre le continent et l'île de Changxing. Record du monde en terme de diamètre (15,43 m) le projet assurera en deux tubes un lien routier (2 x 3 voies) et une ligne de métro. Il représente non seulement une prouesse technique mais aussi un grand succès commercial. En effet, il permet à une entreprise occidentale d'accéder pour la première fois à une licence permanente de construction chinoise en génie civil et tunnel et de réaliser cet ouvrage dans le cadre d'une joint-venture intégrée.

■ Présentation du projet

Le projet global

Le tunnel de Changjiang fait partie d'un projet de desserte autoroutière de l'île de Chongming située dans l'estuaire du fleuve Yantze, à quelques dizaines de kilomètres à l'est de Shanghai.

Le projet, consistant en deux chaussées de trois voies, comporte une traversée souterraine entre la rive droite du fleuve et l'île de Changxing puis une traversée par viaduc entre cette île et l'île de Chongming. C'est là que de gigantesques implantations industrielles et tou-

ristiques sont en train de naître, d'où un besoin impérieux de dessertes avec la grande agglomération shanghaïnaise.

L'ouvrage de traversée souterraine

Il s'agit d'un bitude de 7 500 m de longueur pour véhicules légers et lourds (2 x 3 voies de 3,75 m de largeur) avec, en option, l'adjonction d'un métro léger sous chaussée.

Les gabarits requis conduisent à un diamètre intérieur de 13,70 m et un diamètre d'excavation de 15,43 m. Cela constitue un nouveau record du monde en termes d'excavation mécanisée après Hambourg : 14,20 m ; Groene Hart : 14,87 m et Madrid : 15,20 m.

Les pentes maximales aux extrémités des tubes sont de 3 % et les rayons de courbure minimaux de 1 500 m.

La profondeur maximale en radier est de 55 m.

Les structures internes sont constituées :

- en partie inférieure, d'une dalle appuyée sur corbeaux et sur deux voiles ajourés longitudinaux ;
- en voûte, d'une dalle sur corbeaux (non définie à ce jour et hors marché).

Les accès aux extrémités des tunnels sont traités en lots séparés. Ils sont constitués de tranchées ouvertes puis couvertes de type classique (talus, parois moulées, radier, dalle). Ils comportent les puits de départ et d'arrivée des machines selon spécifications géométriques du contracteur du lot tunnel, et huit rameaux de communication piétons entre les deux tubes (section utile : 1,80 x 2,10 m).

Le concepteur a prévu une ventilation longitudinale. Quatre stations de pompage internes à la section du



Pierre Longchamp
Directeur technique
Tunnels et Ouvrages
souterrains
Bouygues TP



Xiaohong Fan
President
Bouygues (Shanghai)
Engineering Co. Ltd



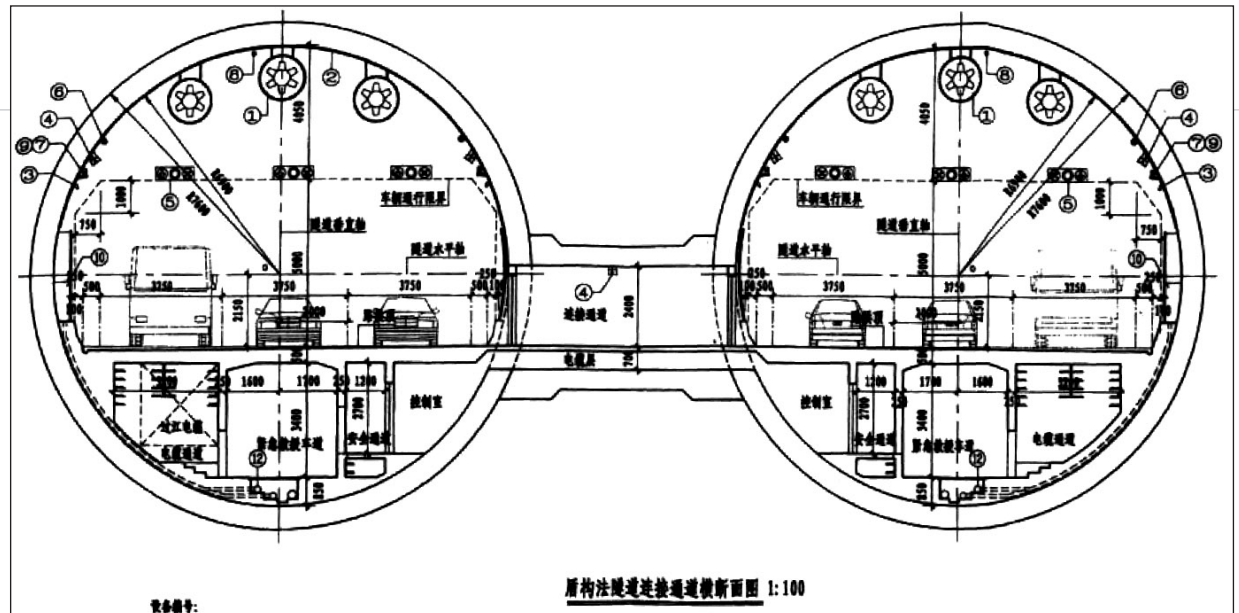
Dominique Gazal
Vice-président
du développement
Asie-Pacifique
Chairman of Bouygues
Shanghai Engineering
Co. Ltd



Figure 1 et photo 1
Situation du projet
Project location

Le tunnel de Changjiang (Chine). Un défi commercial et technique audacieux !

Figure 2
Sections types des tunnels
et rameaux de communication
Typical cross sections
of the tunnels
and cross-passages



tunnel sont implantées aux points bas correspondants. À noter l'absence d'accès intermédiaire aux tunnels autres que les ouvrages d'extrémités.

Géologie

Le sous-sol est de type estuarien. Il est constitué essentiellement de silts avec des horizons légèrement sableux à légèrement argileux.

Les perméabilités sont faibles ($< \text{à } 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) à très faibles.

Ces silts sont caractérisés par une faible cohésion, mais très sensible en termes de stabilité et altération mécanique. Leur consistance est très plastique avec une teneur en eau proche du seuil de liquidité.

S'agissant d'une traversée sous-fluviale, la nappe est bien sûr omniprésente.

■ Contrat

Le contrat est limité à la construction des deux tubes, des structures internes inférieures, des rameaux de communication, stations de pompage et traitement de sol des entrées en terre et entrées en puits de sortie.

La préfabrication des voussoirs (à l'exception de la galerie technique) et la fourniture du bouclier ne font pas partie de la fourniture mais ont été largement spécifiées par le contracteur du tunnel.

Le montant forfaitaire du marché est de 1850 millions de RMB (185 millions d'euros).

Le client est Shanghai Changjiang Tunnel & bridge Development Co. Ltd., le contracteur, la joint-venture STEC-Bouygues TP (60-40 %).

L'ingénierie est réalisée sous contrat séparé par Shanghai Tunnel Engineering and railway Transportation Design Institute, mais là aussi très encadrée par le contracteur et plus particulièrement par Bouygues TP.

La date prévisionnelle d'achèvement des deux tunnels est le 7 octobre 2009.

L'obtention de la licence chinoise de constructeur (grade 1) procédant d'un très long processus administratif, la préparation et le démarrage des travaux ont été réalisés dans un cadre d'ingénierie d'études et travaux avant la mise en vigueur effective du contrat de travaux au sein de la joint-venture.

En fait, cette démarche a procédé d'une stratégie technique et commerciale qui s'est étirée sur près de 6 années au cours de laquelle une première approche expérimentale de travaux sur le projet des tunnels de Shang Zon Lu ($2 \times 3000 \text{ m}$) pour lesquels Bouygues TP avait vendu à Stec le tunnelier du Groene Hart.

Cette expérience, riche d'enseignements a consisté en une assistance technique pour la remise en état et le lancement de la machine, ainsi qu'une assistance en conception et méthodes d'exécution.

En Chine, il ne suffit pas de présenter ses compétences, il faut aussi gagner la confiance de l'ensemble des acteurs techniques et administratifs !

■ La conception du tunnel

Bien que la conception ne fasse pas partie de la fourniture, Bouygues TP a contribué de façon très significative aux principes de base de la conception des tunnels pour ce qui concerne les voussoirs, les structures internes, les rameaux de communications et les stations de pompage. De même, la stabilité du front et la maîtrise des tassements (passages sous digue du fleuve) ont fait l'objet d'une contribution active.

Les apports ont été essentiellement guidés par la maîtrise de la qualité et de la durabilité des ouvrages.

Ces apports se retrouvent effectivement dans la réalisa-

Photo 2

Tête d'abattage du bouclier face à l'entrée en terre
Excavation head of the shield facing the underground entrance

tion. Jamais un tel niveau de qualité n'avait été obtenu à l'exécution en Chine. Celui-ci peut être qualifié d'excellent sur l'échelle des références internationales.

■ Les méthodes

Ce qui précède montre que les méthodes de base ont été très étroitement encadrées par Bouygues TP tout au long du processus d'obtention de l'affaire et du lancement de l'activité. Les objectifs visés étaient de garantir la qualité de l'ouvrage et la maîtrise des risques et délais.

Ces méthodes ont procédé essentiellement en l'analyse des opérations et des risques techniques y afférant. Quelques points marquants sont à relever :

- les spécifications techniques et le suivi de conception-construction des tunneliers et fardiers de transports :
 - > les boucliers de Shang Zong Lu (NFM) et Changjiang (Herrenknecht) sont les deux premiers boucliers à confinement de boue régulés par un système dit « à bulle d'air »,
 - > les machines sont de type classique mais équipées des toutes dernières technologies des machines développées en Europe (automatismes, guidage) (PYXIS¹), data acquisition (CATSBY¹) en vue de la maîtrise technique des process;
- face à la profondeur et la longueur du projet en terrain meuble et aquifère, et à l'absence de site d'arrêt privilégié pour maintenance sous le fleuve, une réflexion approfondie a été conduite et des solutions mises en œuvre pour la maintenance des outils d'abattage et du joint de queue telles que :
 - > outils d'excavation pour sol meuble échangeables sous pression atmosphérique à partir des caissons formés par les structures métalliques de la tête d'abattage,
 - > maintenance des joints de queue sous congélation (brevet Bouygues TP),
 - > possibilité de mise en œuvre d'un sas navette pour opération hyperbare de longue durée et à grande profondeur;
- première « vraie » station de séparation des déblais et de gestion qualitative des boues recyclées vers les TBM (premier contrat de fourniture française avec MS) en vue de la maîtrise sans faille de la qualité de la boue et donc du soutènement du front d'excavation (187 m²!);
- ingénierie de la boue de forage (sans bentonite!);
- premier usage en Chine d'un mortier de bourrage semi-inerte pour la maîtrise des tassements et du

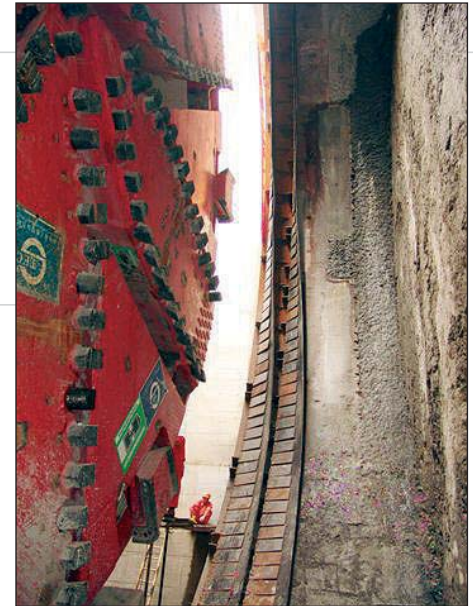


Photo 3

Tête du bouclier face à l'entrée en terre
Shield head facing the underground entrance



Photo 4

Station de traitement des déblais MS
MS treatment plant for excavated material

soulèvement de l'anneau soumis à la poussée d'Archimède;

- traitements, dispositifs et séquences de lancement et d'entrée en terre des machines « révolutionnaires! » dans ce pays pour la maîtrise des risques afférents à ces opérations;
- structures internes inférieures réalisées de façon synchronisée et partiellement intégrée avec l'avancement de la machine (galerie centrale préfabriquée : 4,10 x 4,50 m; corbeaux et dalles latérales coulés en place);
- les rameaux de communication seront réalisés sous congélation au travers de voussoirs métalliques.

■ Lancement des tunnels

Les opérations de creusement des deux tunnels sont encadrées par une équipe d'une quinzaine d'expatriés français.

À la date de la rédaction de cet article, les deux machines ont été lancées selon des processus parfaitement maîtrisés. Elles ont atteint très rapidement des avancements records (pour ce type et dimension de machine) de 400 m par mois.

La qualité d'ouvrage obtenue est très exceptionnelle

1. Technologie Bouygues TP

Le tunnel de Changjiang (Chine). Un défi commercial et technique audacieux !



Photo 5

Vue du tunnel

View of the tunnel

▶ par rapport aux références locales et au sommet des standards internationaux.

Les apports principaux à l'exécution sont :

- la maîtrise de la conception de base par l'orientation vers des concepts techniques et les revues de conception;
- l'anticipation des tâches et des séquences (études, méthodes et phasages) par la définition des orientations de base et des revues techniques méthodes;
- la maîtrise des processus et risques par l'analyse et le management;
- la définition et mise en œuvre d'outils spécifiques et performants;
- l'organisation des travaux avec l'apport des hommes clés;
- la maintenance préventive et organisée des matériels.

■ Conclusions

L'investissement, la patience et l'apport technologique ont porté leurs fruits sur un continent et au sein d'une culture que l'on ne peut aborder de façon classique selon la manière des pays occidentaux.

C'est sans conteste un grand succès de la technologie française et des équipes d'hommes qui ont su faire preuve d'adaptabilité aux conditions et aux us et coutumes locales. Ce qui laisse augurer la participation prochaine à d'autres projets dans un pays où le développement des infrastructures est extraordinairement actif. ■

ABSTRACT

**Changjiang Tunnel (China).
A bold commercial and
technical challenge !**

P. Longchamp, X. Fan, D. Gazal

Changjiang Tunnel, forming part of the motorway project for access to Chongming Island, consists of a double crossing of the southern branch of the Yangtze River 7 km wide, between the continent and Changjiang Island.

Breaking the world record for diameter (15,43 m), the project will provide a twin-tube road link (three-lane dual-carriageway) and an underground railway line.

It is not only a technical prowess but also a great commercial success. It allows a western company, for the first time, to obtain a permanent Chinese construction permit for civil engineering and tunnel work and to build this structure within the framework of an integrated joint venture.

RESUMEN ESPAÑOL
El túnel de Changjiang
(China). Un audaz reto
comercial y técnico

P. Longchamp, X. Fan y D. Gazal

El túnel de Changjiang, que forma parte del proyecto de autopista local de la isla de Chongming consiste en una doble travesía del ramal sur del "Yantze river" de una anchura de 7 km, entre el continente y la isla de Changjiang.

Récord mundial en término de diámetro (15,43 m) el proyecto permitirá realizar en dos tubos un enlace viario (dos por tres carriles) y una línea de metro.

Este proyecto no sólo representa una hazaña técnica pero además, un importante éxito comercial. Efectivamente, permite a una empresa occidental acceder por vez primera a una licencia permanente de construcción en China para la ingeniería civil y túnel así como realizar esta obra en el marco de una "JV" integrada.

Prony. De l'énergie pour le nickel néo-calédonien

Des pieux aux antipodes des procédés traditionnels

La centrale thermique réalisée pour Prony Énergies près de Nouméa en Nouvelle Calédonie est fondée sur des pieux réalisés par Solétanche Bachy en utilisant le procédé marteau fond de trou à circulation inverse de très gros diamètre, inhabituel dans cette dimension.

Cette technologie répond à des conditions géotechniques assez particulières caractérisées par une très grande hétérogénéité de la géologie et de l'hydrologie.

L'éloignement de ce chantier commando, situé aux antipodes, est une autre difficulté qui a été surmontée grâce à une organisation et une logistique appropriées.

■ Genèse du projet

Le Sud de l'île de Nouvelle Calédonie recèle d'importants gisements de fer et de nickel. Près de la baie de Prony et de la commune de Goro, la société Goro Nickel exploite une concession.

Dans le dessein de répondre aux besoins en énergie électrique de cette installation minière et, également, à ceux de la ville de Nouméa, la société Prony Énergie, filiale d'Enercal et d'Elyo, avait conçu le projet de construire une centrale thermique au charbon d'une puissance de 100 MW dont la production serait vendue pour moitié à l'usine de nickel et pour moitié à la collectivité locale.

En 2002 ce projet a connu une éclipse consécutive à un changement d'objectif industriel de Goro Nickel. Il est réapparu et s'est concrétisé fin 2004, après quelques péripéties et plusieurs études auxquelles a participé Solétanche Bachy. Cette dernière est intervenue en sous-traitance de Vinci Construction Grands Projets



pour la conception et la réalisation des pieux de fondation de la centrale thermique.

La mission d'assistant au maître d'ouvrage a été confiée par Prony Énergies à Tractebel Engineering qui, à ce titre, a participé à la mise au point du dossier et a réalisé le suivi des travaux sur le chantier.

Cet article décrit la méthode d'exécution des pieux, une méthode originale mise en œuvre par Solétanche Bachy, afin de s'adapter à des conditions géologiques pour le moins particulières.

■ La géologie et le parti de fondation

Comme chacun sait, la Nouvelle Calédonie provient du détachement d'un lambeau de croûte continentale consécutif à la formation d'une dorsale océanique à l'Est de l'Australie. Ce fragment a progressé vers l'Est jusqu'à s'engouffrer dans une zone de subduction dont il a bloqué le fonctionnement. Sous la pression, un lambeau de croûte océanique est alors remonté des profondeurs et a glissé par-dessus la croûte continentale. L'érosion a ensuite fait son œuvre et a découvert les péridotites issues du manteau supérieur. Les péridotites sont les roches mères des minerais saprolitiques dont font partie la garniériste et les latérites. Ce raccourci approximatif ne couvre que quatre-vingts millions d'années.

Il est bon de rappeler également que le constituant minéral essentiel de la péridotite est l'olivine, qui, en Nouvelle Calédonie contient entre 0,3 et 0,4 % de nickel. Mais pour que le minerai se forme, il faut que les péridotites soient altérées par l'eau et le climat tropical qui libère le nickel, lequel, mis en solution circule dans les fractures et vient se fixer sur les saprolites, dont la garniériste et les latérites et plus particulièrement les latérites jaunes.

Le contexte géologique du site est le reflet de cette description.

En effet, le sol sous la centrale présente la stratigraphie suivante :

- une cuirasse de fer dont l'épaisseur peut atteindre 8 m mais qui n'est pas présente partout;
- une couche de latérite pouvant cacher des vides appelés « dolines » de plusieurs mètres de hauteur;
- des blocs de péridotite enchâssés dans la latérite (photo 1);

Photo 1

Faciès de latérite contenant des blocs de péridotite, visible sur un talus routier

Laterite facies containing blocks of peridotite, visible on a road embankment



Michel Coudry
Directeur Exploitation
Direction des Affaires
Internationales
Solétanche Bachy



François Paris
Directeur du projet
Vinci Construction
Grands Projets

Prony. De l'énergie pour le nickel néo-calédonien. Des pieux aux antipodes des procédés traditionnels

Photo 2

Taillant de marteau fond de trou. Les gros orifices servent à l'évacuation des sédiments

Down-the-hole drill bit. The large apertures serve to remove sediments

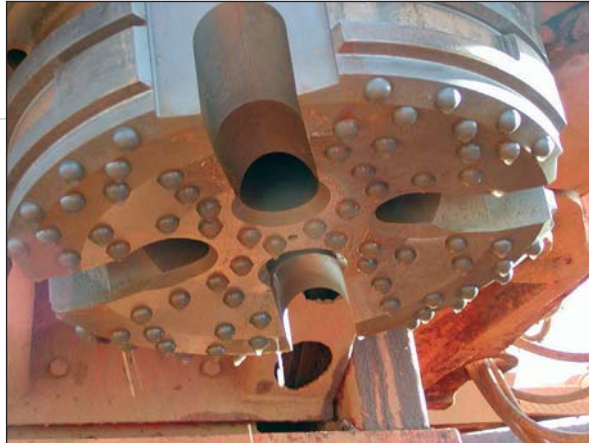


Photo 4

Mise en place de la couronne (« ring bit ») au pied du tubage

Placing the ring bit at the base of the casing



Photo 3

Foreuse au marteau fond de trou en circulation inverse. On voit le tubage extérieur et la tige double de forage

Counterflush down-the-hole drilling machine. You can see the outer casing and the double drill rod

■ Les pieux

Les pieux ont un diamètre de 508 mm et sont armés d'un profilé HUC de 245 mm de côté pesant 107 kg/m scellé au coulis de ciment.

La méthode de forage choisie pour traverser les terrains à blocs siège de circulations d'eau avec manifestations d'artésianisme et pour réaliser un ancrage en pied dans le socle de rocher dur a été le marteau fond de trou à air comprimé avec tubage à l'avancement, en circulation inverse (photos 2 et 3).

Il faut noter l'importance assez exceptionnelle du diamètre dans lequel cette méthode est mise en œuvre et qui fait pour l'essentiel l'originalité de ce chantier.

■ Les contraintes

On ne reviendra pas sur le contexte géologique, pas plus qu'on ne s'étendra sur les contraintes logistiques liées à l'éloignement d'un chantier aux antipodes qui requièrent, plus qu'ailleurs, un bon sens de l'anticipation.

Contrairement à l'image de grands espaces qu'on plaque généralement sur cette contrée lointaine et contrairement à ce que suggèrent peut-être les photos, une des difficultés du chantier a été l'exiguïté du site, en raison de la présence de nombreux talus sur la plateforme de travail et de la taille importante des machines.

- le socle de péridotite dont la profondeur est très variable, entre 13 m et 55 m.

L'eau est présente partout mais elle est vagabonde, avec des circulations dans la zone de blocs et sur le toit du socle rocheux, mais aussi, bien que dans une moindre mesure, dans les zones altérées du rocher. Par endroits ces circulations sont en charge, provoquant de l'artésianisme.

De préférence à une fondation sur radier qui risquait d'être vulnérable aux effondrements de dolines, le choix s'est porté sur des pieux descendus jusqu'au socle de péridotite.

Mais le contexte géotechnique exceptionnellement hétérogène n'était pas propice aux méthodes traditionnelles d'exécution de pieux.

Le maître d'ouvrage a été conduit à réaliser un sondage au droit de chaque pieu, sous contrôle du LBTP.

Cette sage précaution a notamment permis de pallier l'aléa sur les quantités de tubes et de profilés à approvisionner.

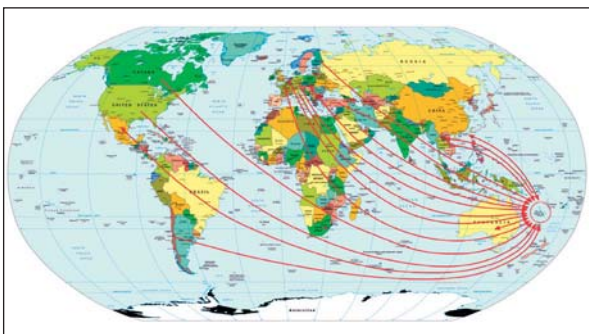
LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Pieux : 412 u
- Linéaire de pieux : 11 007 m
- Armatures et tubages : 2 300 t
- Coulis de scellement : 3 700 m³

Figure 1

Les moyens sont parvenus de 13 pays différents

The construction equipment came from 13 different countries



L'organisation du chantier a donc dû composer entre ces contraintes, celles du planning et la recherche d'une production industrialisée.

La séquence type était la suivante :

- implantation du pieu;
- mise en place de la foreuse (matériel de plus de 45 t) et forage au marteau fond de trou en circulation inverse en diamètre 522 mm avec tubage d'acier laissé en place;
- recépage du tubage au niveau de la plate-forme;
- mise en place du profilé formant l'armature et du tube pour l'injection de coulis de scellement;
- mise en place du coulis de scellement.

■ La méthode de forage au marteau fond de trou en circulation inverse

Le procédé de circulation inverse est une obligation dans le cas de forages de grand diamètre et nécessite l'emploi de tiges doubles. Il consiste à faire remonter les sédiments de forage, non pas dans l'espace annulaire autour de la tige, mais à l'intérieur de la tige. La circulation ascendante dans la tige de forage de petite section permet d'obtenir la vitesse de fluide nécessaire à l'entraînement des sédiments.

Le flux descendant d'air comprimé, qui actionne le marteau et qui s'en échappe ensuite pour remonter les sédiments de forage, transite par l'espace annulaire de la double tige de forage. Le tubage extérieur, dont le diamètre est celui du forage, est nécessaire pour soutenir les couches instables du terrain traversé.

Ceci conduit, dans la pratique, à une séquence de perforation très lourde :

1. Préparation du casing de départ équipé d'un sabot.
2. Installation du marteau à l'intérieur du casing et pose la couronne (photo 4).
3. Mise en place de l'équipement sur forage.
4. Forage.
5. Raboutage d'éléments de tubage par soudure (photo 5).
6. Rajout de tiges de forage.



Photo 5

Soudure de tubage

Casing welding



Photo 6

Compresseurs couplés

Coupled compressors

7. Arrêt du forage à la profondeur prédéterminée selon le sondage préalable correspondant.

La méthode requiert l'utilisation de trois gros compresseurs couplés par machine (photo 6), délivrant ensemble $60 \text{ m}^3/\text{mn}$ à 14 bar. La lubrification du marteau est réalisée par un graisseur en ligne. Solétanche Bachy a utilisé de l'huile écologique, sachant que pas moins de 12 t d'huile mélangée à l'air comprimé ont été consommées au cours du chantier.

■ L'organisation de la logistique et le déroulement des travaux

Pour les fournitures nécessitant un long délai d'acheminement, Solétanche Bachy avait reçu de Prony Énergies les commandes partielles anticipées nécessaires.

Le département logistique de l'entreprise, rompu à ce genre d'exercice, a optimisé les délais d'approvisionnement en recherchant à travers le monde les meilleurs matériels et fournitures, qui sont ainsi parvenus de 13 pays différents (figure 1).

La réalisation des pieux a débuté le 18 novembre 2004 pour s'achever 5 mois plus tard, avec 412 pieux réalisés pour une longueur cumulée de 11007 m.

Encore une fois, il faut insister sur le caractère inhabituel du diamètre utilisé en technique marteau fond de

Prony. De l'énergie pour le nickel néo-calédonien. Des pieux aux antipodes des procédés traditionnels



Photo 7

Poste de nuit

Night shift

► trou. La dimension et le poids de l'outillage de perforation ont nécessité deux foreuses de forte capacité, assistées d'une nacelle télescopique et d'une grue de manutention. En effet, les tiges pesant 160 kg/m et le marteau 1,3 t, il fallait organiser les manutentions avec des moyens appropriés pour en garantir la sécurité et la rigueur technique.

Sur le plan des ressources humaines, Solétanche Bachy a détaché une quinzaine d'expatriés, qui ont formé et encadré une quarantaine de Calédoniens dont une majorité des tribus du Sud.

Travaillant en deux postes de 10 heures, 55 personnes se sont relayées à la production (photo 7). Les arrêts pour intempéries ont été minimes.

Solétanche Bachy a utilisé les services d'une quarantaine d'entreprises de l'île, tant pour la location de matériels que la fourniture de produits. Un petit partenariat a même été mis en place avec l'entreprise de forage Fondacal.

■ Conclusion

Ce chantier est une bonne illustration de la manière et de l'esprit avec lesquels la Direction des Affaires Internationales de Solétanche Bachy mène les chantiers dits « commandos », ceux réalisés loin des bases permanentes en parachutant tous les moyens nécessaires et en contrôlant l'exécution et l'administration grâce à une chaîne fiable de relais entre le chantier et le siège de la société.

Outre le savoir-faire technique, les secrets de la réussite de ces opérations lointaines sont la prévision, l'anticipation, la préparation et le reporting. ■

ABSTRACT

Prony. Energy for New Caledonian nickel. Piles at the antipodes of traditional processes

M. Coudry, Fr. Paris

The thermal power station constructed for Prony Energie near Noumea in New Caledonia has foundations on piles executed by Solétanche Bachy using the counterflush down-the-hole drilling process of very large diameter, a process that is uncustomary for this size.

This technology corresponds to rather special geotechnical conditions characterised by very heterogeneous geology and hydrology.

The remoteness of this "commando" project, located in the antipodes, is another difficulty that had to be overcome through appropriate organisation and logistics.

RESUMEN ESPAÑOL

Prony. Energía para el níquel neo-calédoniense. Pilotes muy alejados de los procedimientos tradicionales

M. Coudry y Fr. Paris

La central térmica realizada para Prony Energie en las cercanías de Noumea en Nueva Caledonia está construida con pilotes realizados por Solétanche Bachy mediante la utilización del procedimiento martillo fondo del pozo con circulación inversa de diámetro sumamente importante, inhabitual en esta dimensión.

Esta tecnología responde a diversas condiciones geotécnicas bastante particulares caracterizadas por una muy grande heterogeneidad de la geología y de la hidrología.

El alejamiento de esta obra "comando", ubicada en las antipodas, representa otra dificultad que se ha tenido que superar gracias a una organización y una logística apropiadas.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Prony Énergie

Assistant du maître d'ouvrage

Tractebel Engineering

Contrôle technique

Veritas

Entreprise générale

Vinci Construction Grands Projets

Sous-traitant fondations spéciales

Solétanche Bachy France

Laboratoire géotechnique

LBTP

Chicago, réservoir de McCook : un gigantesque chantier de voile étanche par injection informatisée

Nicholson, filiale américaine de Solétanche Bachy, réalise le plus grand chantier d'injection contrôlée par système informatique jamais réalisé aux États-Unis. C'est un projet environnemental qui consiste à réaliser une enceinte étanche autour d'un bassin de collecte des eaux usées et des eaux d'orage existant qui dessert la conurbation de Chicago.

Le maître d'œuvre est le US. Army Corps of Engineers, dont les spécifications en matière de méthode d'injection ont été respectées. Les opérations d'injections sont entièrement informatisées selon le système GROUT I.T. à la pointe du progrès. Le forage dans les terrains de couverture est carotté par la méthode sonique et le forage dans le rocher est réalisé au marteau fond de trou à eau.

On August 8, 2006, Nicholson Construction Company received the Notice to Proceed for the CUP-McCook Reservoir Stage 1 Grout Curtain Project. Due to staged funding allocations, the project is currently recorded at \$15.25M but will ultimately grow to \$39.11M through the award of two separate options over the next 20 months. This project will eventually become the largest contract ever awarded to Nicholson Construction Company (outside of joint-ventures) and will be the largest computerized cement grouting project ever constructed in the U.S. The project is a tribute to the local, state, and federal agencies that have demonstrated their commitment to improving the environment by providing the necessary funding to control combined sewer overflow (CSO).

■ CSO

In many older U.S. cities collection of sanitary sewage (sewage that comes out of homes or businesses) is collected by a single sewage system that also collects the storm water runoff from the streets and roofs. Since this system includes both rainwater and sewage, it is referred to as a Combined Sewer System or a CSS. CSSs are designed to carry the rainwater and sewage in the same pipe to a sewage treatment plant during "dry weather". However, in periods of heavy rainfall or snow melt the wastewater volume of a CSS can exceed the capacity of the sewer system or treatment plant. For this reason, CSSs are designed to overflow occasionally and discharge excess wastewater directly to nearby streams, rivers, or lakes. When this discharge takes place it is referred to as a Combined Sewer

Overflow (CSO). It was originally thought that the sewage from homes would not have a large impact on water quality due to the greater volume of storm water. From an environmental point of view we now know that this was an incorrect assumption and improvements to CSO systems have been implemented.

■ TARP – The Chicago Tunnel and Reservoir Project

Combined sewers carrying both stormwater and raw sewage serve Chicago and 51 neighboring communities, an area of 375 square miles. Stormwater runoff frequently exceeds sewer capacity, backing up into basements and sending overflow into area waterways. To combat this flooding the Tunnel and Reservoir Project (TARP) & the Chicagoland Underflow Plan (CUP) was created. The project, under construction since the 1970s, is scheduled for overall completion in 2019 at a final estimated cost of over \$5 billion. TARP consists of two phases, the tunnels (Phase I), which are water pollution control projects, and the reservoirs (Phase 2, also know as CUP), which are considered flood control projects. Both systems of tunnels and reservoirs provide storage for wastewater overflow during rain events. Immediately after the event, the contents of the reservoirs will be pumped to major water reclamation plants for treatment prior to being discharged to the local waterways.

The Phase 1 tunnels are a series of 109.4 miles of tunnels ranging from 9-ft to 33-ft in diameter and constructed 150-ft to 350-ft below grade in solid rock. The tunnel construction, managed by the Metropolitan Water Reclamation District (MWRD), was completed this spring after more than 30 years of contracting out numerous tunnel projects. The Phase 2 reservoir projects consist of building 3 reservoirs with a combined 15.4 billion gallons of overflow storage capacity. The O'Hare Reservoir will store 350 million gallons, the Thornton Reservoir will store 8 billion gallons, and the McCook Reservoir will store 7 billion gallons. When completed, these reservoirs will be the largest CSO storage reservoirs in the world. The reservoir construction will be managed by the Chicago District U.S. Army Corps of Engineers (USACE), who will fund the reservoirs at 75 % compared to 25 % by the MWRD. Control of the reservoir construction is by the USACE due to their designation as flood control projects (figure 1).



Roger Baldwin
Vice President
Nicholson Construction Company (a Soletanche Bachy Company)



Luca Barison
Senior Project Manager
Nicholson Construction Company (a Soletanche Bachy Company)

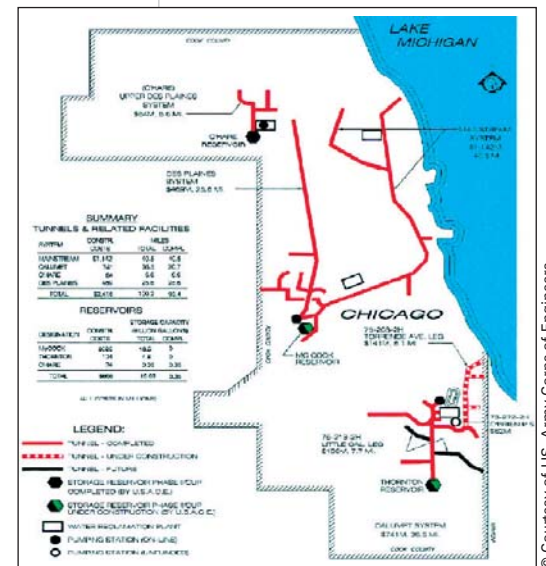


Figure 1
Le réseau de tunnels et réservoirs du projet TARP
TARP Project – Tunnels and Reservoirs

Chicago, réservoir de McCook : un gigantesque chantier de voile étanche par injection informatisée



© Courtesy of US. Army Corps of Engineers

Figure 2
Perspective de synthèse
du projet de McCook
Reservoir
McCook Reservoir Project
Rendering

staggered 15-degrees from vertical in opposite directions) drilled through the overburden then 325-ft into the limestone to provide the necessary ground treatment in order to decrease permeability in the rock zones. Both the overburden cutoff wall and the grout curtains will be performed in two separate stages of work. The Stage 1 cutoff wall has been completed and Stage 2 is currently under construction. Nicholson mobilized to begin the Stage 1 grout curtain work in November of 2006. The Stage 2 grout curtain contract will be tendered near the completion of Nicholson's work on Stage 1 in 2009 (figure 2).

■ Stage 1 Grout Curtain

The Stage 1 Grout Curtain consists of the base contract plus two options. The base contract consists of 2,700-lf of double-row grout curtain installed to depths of 325-ft in bedrock with 60-ft - 75-ft of overburden. Base contract work also includes installation of a concrete plug in an abandoned 14-ft diameter tunnel, which runs perpendicular through the grout curtain. Option 1 and Option 2 will add respectively 3,500-lf and 1,600-lf of additional double-row grout curtain installed in a similar manner. Nicholson will self perform the majority of the work on the contract with the exception to the following components of the work :

- construction of a continuous concrete work platform – Walsh Construction;
- installation of permanent steel overburden casing using sonic drilling - Miller Government Services;
- installation of the concrete tunnel plug – Kenny Construction.

The main drilling and grouting portion of the work includes the following features of work (figure 3) :

- overburden drilling using sonic drilling – 189,615-lf;
- rock drilling using waterhammer technology – 469,296-lf;
- pressure washing and water pressure testing – 4,339 hours;
- grouting 27,339 hours and 143,138 bags cement (94-lb);
- verification coring;
- verticality and borehole camera surveys.

Grouting is a frequently utilized remedy in the planning and implementation of ground treatment and tunnel rehabilitation practice. Nicholson will utilize the Soletanche Bachy state-of-art computerized grouting control and data collection system for a precise and highly effective groundwater cutoff in fractured limestone. Balanced and stabilized grout mixes, will be utilized to achieve the effective permeability of the

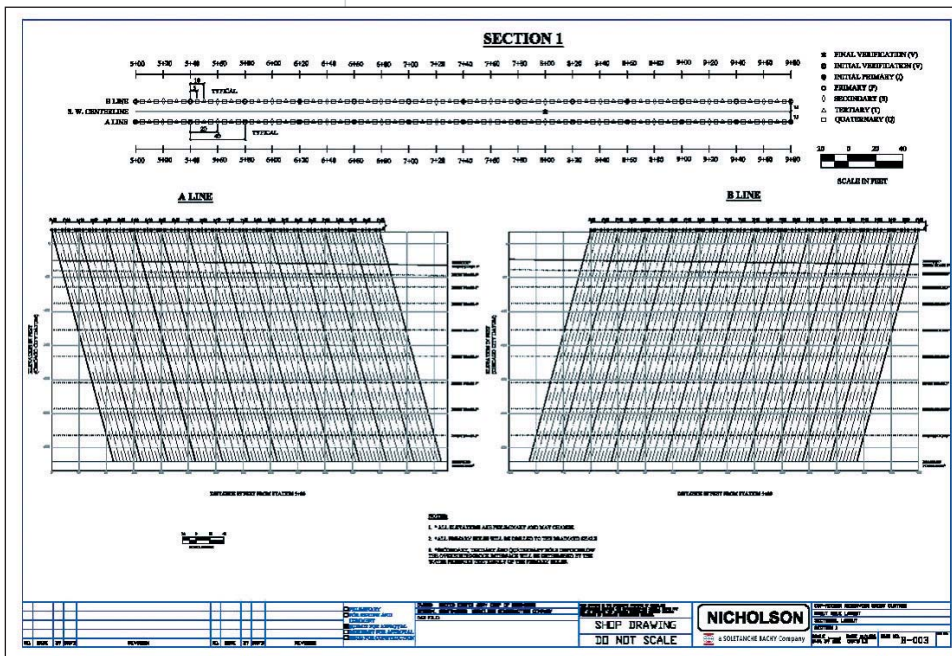


Figure 3
Voile injecté – Plan et coupe
Grout Curtain – Typical Layout and Cross Section

■ CUP – McCook Reservoir Project

The final price tag on McCook Reservoir alone is estimated at \$528 million. Major components of the overall reservoir construction include :

- distribution and main tunnels, shafts, chambers, buildings, gates and valves;
- mass excavation of bedrock to create the basin;
- groundwater pollution control system consisting of an overburden cut-off wall and a grout curtain around the perimeter of the reservoir.

To obtain the reservoir storage, the basin will be constructed by excavating and shaping an average of 65-ft of overburden soil then blasting/excavating 250-ft further into limestone bedrock. To decrease permeability around the perimeter of the reservoir, a cement bentonite cutoff wall will be constructed through the overburden soils. Beneath the cutoff wall will be two rows of grout curtain (one on each side of the cutoff wall



rock mass and reducing it two orders of magnitude. All grout holes (primary through quaternary) will be initially drilled, pressure washed, tested, and grouted in the top 15-ft stage at the overburden/bedrock interface zone. Subsequently the holes will be drilled to full depth and the remaining portion of the hole will be upstage grouted in 40-ft stages. All primary and secondary holes will be completed to full depth with tertiary and quaternary holes completed as required to reduce the overall permeability to a 0.5 Lugeon Value (figure 4).

■ New Technology for Nicholson

The award of the McCook Reservoir project exemplifies just how advantageous it has been for Nicholson to become a Soletanche Bachy company. Nicholson submitted a Request for Proposal (RFP), which was awarded on a “best value” basis. A major component of our successful award was the worldwide instrumented grouting experience of Soletanche Bachy. Nicholson utilized the Computerized Grout Chain in its RFP, a proven computerized grouting software package that was 1st developed by Soletanche Bachy in 1986, which has been continuously improved over the years.

Prior to mobilization the system was adapted to meet the needs of the U.S. market by the group technical department. Current U.S. practice is to use lower pressures during grouting along with the requirement for a return line to the grout plant. In this manner the system as adapted to the U.S. market can not control the grouting operation, i.e. pumps, but serves as a real-time quality control display system. To further adapt to the market the name has been changed within the U.S. to GROUT I.T.

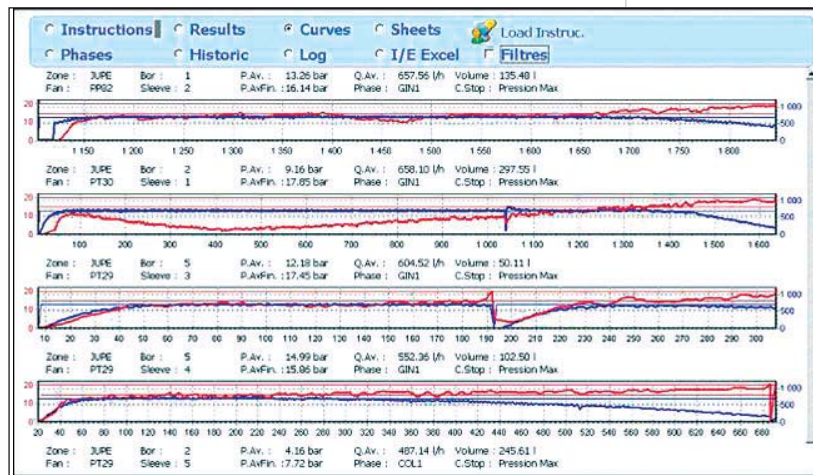


The GROUT I.T. system will measure, record and graphically display in real time the total volume of fluid placed in the rock, the gauge and effective injection

Figure 4

Voile injecté – Implantation des phases 1 et 2 de travaux sur McCook Reservoir

McCook Reservoir Project – Grout Curtain Stage 1 and Stage 2 Areas



Figures 5 & 6

Exemple de diagramme d'enregistrement restitué par le logiciel SPICE
SPICE Diagram

pressures, the rate of injection, the apparent lugeon value, the start and stop times of grout injection, and the total time and volume of fluid placed. All grouting parameters, pertinent data, and hole documentation will be recorded and displayed graphically in real time to provide optimum control of the grouting operations.

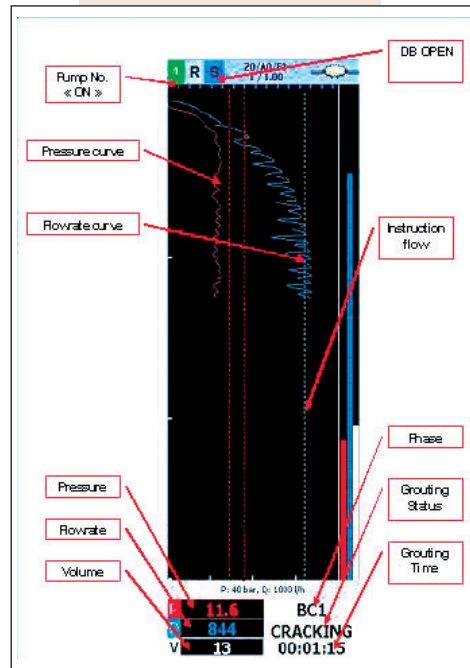
GROUT I.T. consists of a “control room” that houses the computer and support equipment and communicates with all individual grout and pressure test monitoring units. This control room is temperature and humidity controlled and is set up in a central location on site.

The software for the Real-time Information Technology for Grouting (GROUT I.T.) will track the following information :

- water pressure testing;
- grout mixes;
- grouting program requirements/criteria;
- grouting results (stage, pressure, flow).

The database for the GROUT I.T. is designed to cope with very high production rates of modern grouting sites. Around the central database, an integrated set of modules is organized to cover all aspects of data management and processing (figures 5 & 6).

Two housing units will be used as a command post for



Chicago, réservoir de McCook : un gigantesque chantier de voile étanche par injection informatisée

Figure 7
Système GROUT I.T. :
poste de contrôle
GROUT I.T. Operator during
Grouting Operation



Figure 8
Système GROUT I.T. : plan
du centre de commande
GROUT I.T. Command Post
Layout

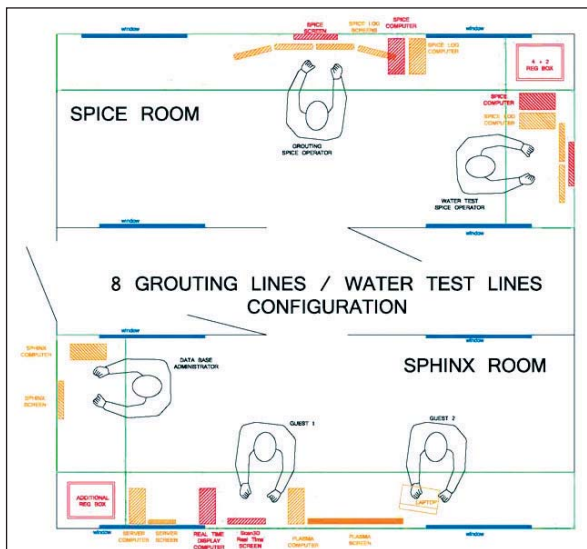


Figure 9
Machines de carottage sonore sur la plate-forme de travail
Sonic Drills on Work Platform



all grouting operations. The Automated Grouting Control and Data Collection System Operator will control and over see all grouting operations from this command post (figures 7 & 8).

All headers are linked by a robust hardware cable that will allow the transfer of information from the header to the command post. The Automated Grouting Control and Data Collection System Operator will be in constant contact with each of the header operators by two-way radios.

Permanent documentation of the quality control aspects of the job will be accomplished by a combination of electronic storage and retrieval, and with hard copies stored on site for convenience and ease of access by USACE and Nicholson personnel.

In addition to the GROUT I.T. system, Nicholson will utilize two newer drilling technologies during the Stage 1 Grout Program. First, the overburden casing will be installed using sonic drilling methodology. A sonic drill is a machine that uses high frequency mechanical oscillations developed in the special drill head to transmit resonant vibrations and rotary power through the drill tooling to the drill bit. This sonic vibratory action fluidizes the soil particles, destroying the shear strength and pushing the particles away from the tip of the drill bit and along the sides of the drill string. This unique methodology allows the machine to drill through overburden and even bedrock (figure 9).

The sonic drilling equipment used at the McCook Reservoir project will consist of two truck mounted sonic rigs, two support water trucks, two one-ton support trucks, 4-inch sonic Core barrel and 6-inch sonic override casing with bit bodies and bits.

Second, the foundation drilling will be accomplished using waterhammer technology. Two new custom built



Figure 10
Foreuse Cubex QXW 810
Cubex QXW 810 Drill



Figure 11
Foreuse Cubex
QXW 810 :
vue de la cabine
Cubex QXW
810 Drill –
View of
Operator Cabin

Cubex QXW 810 drill rigs. The drills are specially designed rigs built with onboard triplex water pump and rod handling capability allowing Nicholson to productively drill to 440-ft depths. The QXW 810 is a track drill with a frame-mounted feed system that has a deck mounted 48-drill pipe carousel holding 10-ft. drill pipe. The pipe is added to the feed with the use of the onboard pipe arm. Hydraulic powered track uses Caterpillar components with 19.7 in. (500 mm) wide, triple grouser shoes. The tri-plex plunger pump has an output capacity of 85 gpm (322 litre/min) @ 2900 psi (200 bar). The drill offers an integrated computerized hydraulic system along with touch screen display. The drills will run the new W80HD “Wassara” water activated percussion down-the-hole-hammer (DHH) systems, which will drill using a 3.75-inch (figures 10 & 11).

Construction started in November of 2006 with the installation of the work platform. Drilling and Grouting operations started in December of 2006. Schedule completion by contract is April of 2008 for the Base Work. Option 1 and Option 2 are scheduled to be completed by April of 2009. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Owner

Metropolitan Water Reclamation of Greater Chicago

Client

US. Army Corps of Engineers – Chicago District

Contractor

Nicholson Construction Company

Main Subcontractors

- Walsh Construction Company
- Kenny Construction Company
- Miller Government Services, LLC

ABSTRACT *Chicago, McCook Reservoir : a huge computer-controlled grout curtain project*

R. Baldwin, L. Barison

Nicholson, the US subsidiary of Solétanche Bachy, is carrying out the biggest computer-controlled cement grouting project ever performed in the United States. It is an environmental project involving the construction of a watertight enclosure around an existing sewage and stormwater collection reservoir serving the Chicago conurbation.

The consulting engineer is the U.S. Army Corps of Engineers, whose specifications regarding the cement grouting method were complied with. The cement grouting operations are fully computerised by the cutting-edge GROUT I.T. system. Drilling in the cover material is cored by the sonic method and drilling in the rock is performed by water down-the-hole drill.

RESUMEN ESPAÑOL *Chicago, estanque de McCook : una obra gigantesca de pantalla impermeable por medio de inyección informatizada*

R. Baldwin y L. Barison

Nicholson, filial estadounidense de Solétanche Bachy, realiza la obra más importante de inyección controlada por medio de un sistema informático que constituye una primicia en EE UU. Se trata de un proyecto medioambiental que consiste en la ejecución de una pantalla impermeable alrededor de un depósito de colecta de las aguas residuales y de las aguas pluviales existente que abastece la conurbación de Chicago.

El responsable del proyecto es el US. Army Corps of Engineers, cuyas especificaciones en el aspecto de método de inyección fueron respetadas. Las operaciones de inyecciones van totalmente informatizadas según el sistema GROUT I.T. que se beneficia de las últimas técnicas de vanguardia. La perforación en los terrenos de cobertura se somete a prueba mediante el método sónico y la perforación en la roca se lleva a cabo por medio de un martillo de fondo de pozo con agua.