

TRAVAUX

DÉCEMBRE 2001

INTERNATIONAL

n° 781

EUROPE

- Le pont-canal du Sart à Houdeng-Aimeries en Belgique

- CTRL : liaison ferroviaire entre Londres et le tunnel sous la Manche. Le viaduc sur la Medway

- Ecosse - Kingston Bridge à Glasgow

- La construction du pont du III^e millénaire Jean-Paul II à Gdansk (Pologne)

AFRIQUE

- Remise en état des vannes de fond du barrage de Bin El Ouidane au Maroc

AMÉRIQUE DU SUD

- Bogota : un collecteur de transfert d'eaux usées

ASIE

- Un viaduc ferroviaire dans les nouveaux territoires de Hong Kong

- Le pont de Seohae en Corée du Sud

- Supervision d'ouvrages exceptionnels sur le TGV coréen

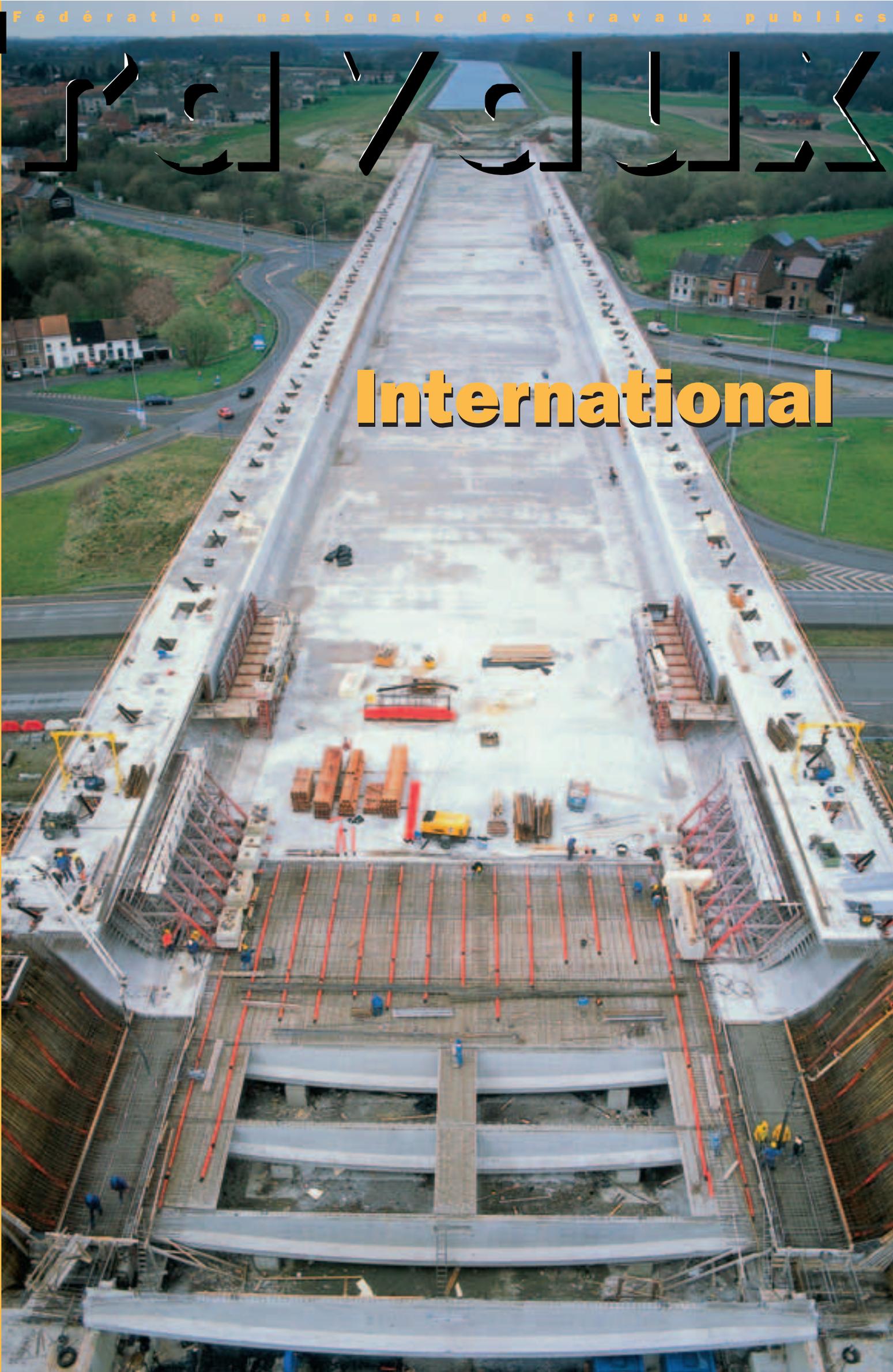
- Fondations profondes à Hong Kong

- Chine : nouveaux développements des ponts en arc tubulaires remplis de béton

International

TRAVAUX

N°781



sommaire

Travaux
numéro 781

décembre 2001
International



Notre couverture

La construction du pont-canal du Sart en Belgique

© Fr. Vigouroux/Photothèque Freyssinet

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 0144 13 31 44

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 0241 18 11 41
Fax : (33) 0241 18 11 51
Francoise.Godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Olivier Schaffer
9, rue Magellan - 75008 Paris
Tél. : (33) 0140 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr
France : 155 € TTC
Etranger : 190 €
Prix du numéro : 19 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 0144 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 0144 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

14

PRÉFACE

Spiro Agius

17

EUROPE

◆ Le pont-canal du Sart à Houdeng-Aimeries (Belgique). Record mondial en masse pour un pont poussé - *The Sart canal bridge at Houdeng-Aimeries (Belgium). World record for weight of a pushed bridge*

M. Dekeyser

18

◆ CTRL : liaison ferroviaire à grande vitesse entre Londres et le tunnel sous la Manche. Lot 350/410 : le viaduc sur la Medway - *Channel Tunnel Rail Link (CTRL) : High-speed rail link between London and the channel tunnel. Work section 350/410 : the viaduct over the Medway*

Th. Portafaix, C. Roude, L. Rosset

26

◆ Ecosse - Kingston Bridge à Glasgow - *Scotland - Kingston Bridge in Glasgow*

L. Boutonnet

32

◆ La construction du pont du III^e millénaire Jean-Paul II à Gdansk. Le premier pont à haubans polonais construit en encorbellement - *Construction of the Third Millennium Jean-Paul II Bridge on Sucharski road in Gdansk. The first Polish cable-stayed bridge built by cantilevering*

J. Mossot

37

AFRIQUE

◆ Remise en état des vannes de fond du barrage de Bin El Ouidane au Maroc - *Repair of the outlet gates of Bin El Ouidane dam in Morocco*

J. Bordignon, Th. Levain

55

AMÉRIQUE DU SUD

◆ Bogota - Un collecteur de transfert d'eaux usées - *Bogota - A sewage transfer drain*

M. Guillaud, J.-N. Lasfargue, B. Théron

59



Sommaire

décembre 2001
International

Dans les prochains numéros

Ponts

Travaux urbains

Travaux

souterrains

Sols

et fondations

Routes

Terrassements

Environnement

Eau

Réhabilitation

d'ouvrages



ASIE

◆ Un viaduc ferroviaire dans les nouveaux territoires de Hong Kong. Huit lanceurs pour six cents travées en 18 mois

- *A railway viaduct in the New Territories of Hong Kong. Eight launching systems for six hundred spans in 18 months*

F. Cayron, P. Cote

63



◆ Le pont de Seohae en Corée du Sud

- *Seohae Bridge in South Korea*

B. Lecinq, P. Hease

68



◆ Supervision d'ouvrages exceptionnels sur le TGV coréen

- *Supervision of exceptional structures for the Korean high-speed train system*

B. Fradin, H. Khadivi

75



◆ Fondations profondes à Hong Kong

- *Deep foundations in Hong Kong*

M. Pratt, N.-M. Walsh, S. Arunachalam, S. Young, P. Sunderland

79



◆ Chine. Nouveaux développements des ponts en arc tubulaires remplis de béton

- *China. New developments in concrete-filled tubular arch bridges*

D. Dajun

91

répertoire des fournisseurs

95

ABONNEMENT TRAVAUX

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

ALKOR DRAKA15	SEFI – FRANKI2È DE COUVERTURE
CHRYSO.....3È DE COUVERTURE	SOLETANCHE BACHY16
DEMATHIEU ET BARD10	SOTRES13
ENTE FIERA DI VERONA7	SPIE2
IHC11	VINCI4
JEAN MULLER INTERNATIONAL.....90	VSL INTRAFOR4È DE COUVERTURE
RINCENT BTP9	

Il n'y a pas que les poètes qui s'interrogent sur les événements d'antan et lorsque dans nos têtes, aujourd'hui, s'estompent les souvenirs, il n'est pas rare que la "Une" des journaux et les médias viennent réveiller la mémoire défaillante et nous transportent impitoyablement quelques décennies en arrière. C'était au siècle dernier dans les années 1950. Le jeune ingénieur qu'alors j'étais allait à la découverte quotidienne du métier qu'il avait choisi. Cela le menait dans les étendues lacustres et marécageuses du Roudj et du Ghab syriens ou sur les sites sauvages, ô combien majestueux!, des barrages de Dokan et de Derbendikhan en plein Kurdistan irakien ou encore au fond de la vallée du Rio Torto, dans l'Apennin central et les Abruzzes en Italie, où allait s'élever un grand barrage voûte à double courbure, en béton, le premier au monde.

Oui, à l'époque, nos entreprises étaient déjà actives et performantes, un peu partout sur la planète. Elles se passionnaient au Pakistan pour les barrages sur l'Indus et ses affluents et nos spécialistes en forages et sondages y reconnaissaient la géologie des sous-sols et des sites; nos bureaux d'études planchaient sur des itinéraires routiers vers les zones tribales du Nord, de Chitral et Gilgit, en direction du Pamir et de la Chine; nos ingénieurs et nos industries livraient, clés en mains, une usine d'engrais à Multan et une usine de pâte à papier à Dhaka. Islamabad n'était qu'un point sur la carte et l'est du pays n'était pas encore le Bangladesh. Dans les immensités liquides du Sandarbans, ce delta torride et marécageux du Gange et du Brahmapoutre, nos entreprises construisaient quais et autres ouvrages maritimes à Narayananj. On les rencontrait aussi en Australie, au tunnel de Jindivick et à Gibraltar où la Marine britannique leur avait confié le creusement, sous le rocher des Singes, de vastes cavernes, réservoirs à carburants pour la flotte anglaise,...

Près d'un demi-siècle s'est écoulé depuis. Tout ce temps-là j'ai eu le privilège de vivre, avec bien d'autres, l'aventure de l'exportation. Sur le terrain d'abord, longuement, phase exaltante entre toutes puis dans les états-majors. Je témoigne que, durant ces décennies, la volonté de présence et la capacité de performance de nos entreprises et de nos bureaux d'études au-delà de nos frontières, ne se sont jamais démenties. Quelles qu'aient pu être, ici et là, les vicissitudes, les contrariétés et les innombrables résultantes adverses des événements de tous ordres qui, sans arrêt, ont secoué le monde en général et celui de notre profession en particulier, nos entreprises ont vaillamment occupé puis labouré le terrain, courageusement tenu leur place puis superbement progressé en montrant au fil des ans une énergie formidable à réagir utilement, – appuyant, certes, sur leurs points forts mais aussi reconnaissant et corrigeant leurs erreurs –, et une remarquable intelligence, doublée d'un pragmatisme lucide et serein à s'adapter à la conjoncture.

La route fut longue qui vit nos métiers prendre de l'ampleur. Nos entreprises les exercent aujourd'hui de "l'amont à l'aval", dans une approche qui se veut "globale et intégrale". Notons la vertu descriptive de ces mots "intelligents" qui veulent tout simplement exprimer que nos entreprises sont capables et de concevoir un ouvrage et de participer à son financement tout en offrant de plus, d'en assurer la réalisation, et d'aider à son exploitation et à son entretien pendant de longues années.

Leur capacité d'innovation, point fort de leur personnalité, a constamment précédé cette évolution et ouvert les voies du progrès. Intacte dans sa densité et sa puissance créatrice, elle a élargi les terrains de la recherche et du développement. La qualité, l'environnement y ont trouvé des places aussi choisies que celles traditionnellement réservées à la technique et à la technologie. La promotion de politiques originales de partenariats avec d'autres secteurs d'activité et des organismes les plus divers, parfois publics, s'est imposée. Qu'elle soit en train de déboucher sur le savoir-faire particulier – fruit d'une tradition fort ancienne dans notre pays – d'un mode de gestion spécifique propre aux partenariats entre le secteur public et l'entreprise privée n'a rien de surprenant. Si l'adaptation d'un tel type de partenariat aux besoins des économies des pays

modernes et nantis est relativement simple et maintenant chose faite, il ne faut pas douter, qu'à l'avenir, on réussisse à l'inscrire dans un schéma, *a priori* infiniment plus complexe qui satisfasse aussi les exigences des pays moins riches et moins développés.

Ce dynamisme constant explique que nos entreprises détiennent aujourd'hui 15 % environ du marché international de la construction; qu'elles occupent la seconde place au monde dans ce domaine et que leur activité hors de France en l'an 2000 ait été de l'ordre de 19 milliards d'euros. Œuvre d'un petit nombre – une vingtaine d'entreprises environ en ont réalisé les 90 % – elle reste le produit quasi-exclusif des seuls grands groupes dont la taille – et là est l'effet des regroupements auxquels nous assistons depuis 20 ans – les place parmi les premiers au monde.

Année après année, les implantations géographiques ont répondu à des politiques de développement bien centrées et fort cohérentes sans qu'aient été négligées pour autant, ici et là, les opportunités singulières qui se sont présentées. La moitié de l'activité se situe maintenant en Europe et va croissant. De même les parts

détenues sur les marchés du Nord de l'Amérique (20 %) et de l'Asie (15 %) augmentent régulièrement tandis que décroissent celles enregistrées sur les marchés historiques d'Afrique, du Proche et Moyen-Orient. La liste des ouvrages réalisés ou en cours de réalisation en 2000 est éloquente: les infrastructures constituent la grande majorité des réalisations, le bâtiment ne touche qu'à peine un peu plus de 15 % de l'activité.

Lorsqu'enfin on note que près des trois-quarts des contrats sont réalisés par le biais de filiales, on comprend que la croissance externe qu'a générée l'acquisition de telles filiales ait aussi été un facteur de poids dans la mesure de la progression soutenue qui s'est vérifiée ces dernières années. Les filiales étrangères soulignent l'importance des relations avec les acteurs locaux: personnel, fournisseurs, sous-traitants, entrepreneurs, industriels, administrations, et le caractère essentiel du réseau des amitiés locales qui les irriguent. Celui-ci s'est considérablement renforcé et l'évolution progressive des règles éthiques qui en gouvernent l'existence vers une plus grande clarté et une meilleure transparence n'y est certainement pas étrangère.

Ce rapide regard sur le passé à la fois proche et lointain doit nous encourager à aborder l'avenir avec confiance et assurance. Les spécialistes de l'analyse de la conjoncture prédisent

que les métiers de la construction, l'an prochain, en 2002, "feront du sur-place". Après la confortable croissance de l'an 2000, il faut s'attendre, affirmement, au classique retournement conjoncturel donc à un ralentissement voire à une récession. L'économie mondiale, ajoutent-ils, ne manquera pas d'intégrer aussi les effets des événements tragiques de septembre.

Quoi qu'il en soit, il nous faut regarder plus loin. Le processus de la libération des échanges est lancé. Il va aller de l'avant. D'autant plus vite que l'économie est en crise, que la récession menace et que la terreur se veut un frein au dynamisme. C'est l'Organisation mondiale du Commerce qui le dit et le proclame. On l'a entendu ces jours derniers, à Doha, au Qatar où la réunion de novembre dernier s'est courageusement tenue contre vents et marées. Certes, les perspectives de développement de la planète qui en découleront ne se manifesteront qu'à moyen et long terme. Il n'est plus à démontrer que cette libération des échanges concourra, dans une mesure significative, au progrès des nations les moins nanties. Et on sait combien, dans ce processus, sera essentiel le rôle des infrastructures et combien primordiale sera alors la tâche de nos entreprises, déjà à pied d'œuvre, bien préparées, honnêtes, volontaires, partenaires ouvertes aux initiatives qui se présenteront.

Contribuer à sortir de la pauvreté quelques centaines de millions de personnes de l'espace d'une petite dizaine d'années et aspirer à en être les animateurs de la dynamique, me paraît propre à construire, chez nos entreprises, leurs états-majors, les femmes et les hommes qui en assurent l'existence et la pérennité, une ambition à leur mesure.



■ **SPIRO AGIUS**
Administrateur honoraire de la FNTP
Ancien président du Comité des Infrastructures de la FIEC

Remise en état des vannes de fond du barrage de Bin El Ouidane au Maroc

Jacques Bordignon

DIRECTEUR GÉNÉRAL
Hydrokarst



Thierry Levain

CHARGÉ DE PROJETS
Hydrokarst



De nombreux barrages dans le monde souffrent d'un problème d'envasement allant jusqu'à immobiliser les ouvrages de vidanges de fond ou de prise d'eau.

L'utilisation de techniques de dévasage par pompes immergées, pilotées par plongeurs ont permis de remettre en fonctionnement les vannes bloquées.

L'utilisation d'un système de plongée en saturation de type Ulis, originellement conçu pour l'off-shore pétrolier jusqu'à - 200 m a permis de travailler en grande profondeur sans baisser le plan d'eau, sans affecter la production électrique et de réaliser les travaux dans un délai performant.

Procédure d'ensemble de l'intervention.
Prise d'eau avant et après dévasage
et schémas du parement
avec le positionnement de l'Ulis
et de la tourelle

Overall work procedure. Water intake
before and after desilting and diagrams
of the facing with the positioning
of the Ulis and the turret

■ GÉNÉRALITÉS

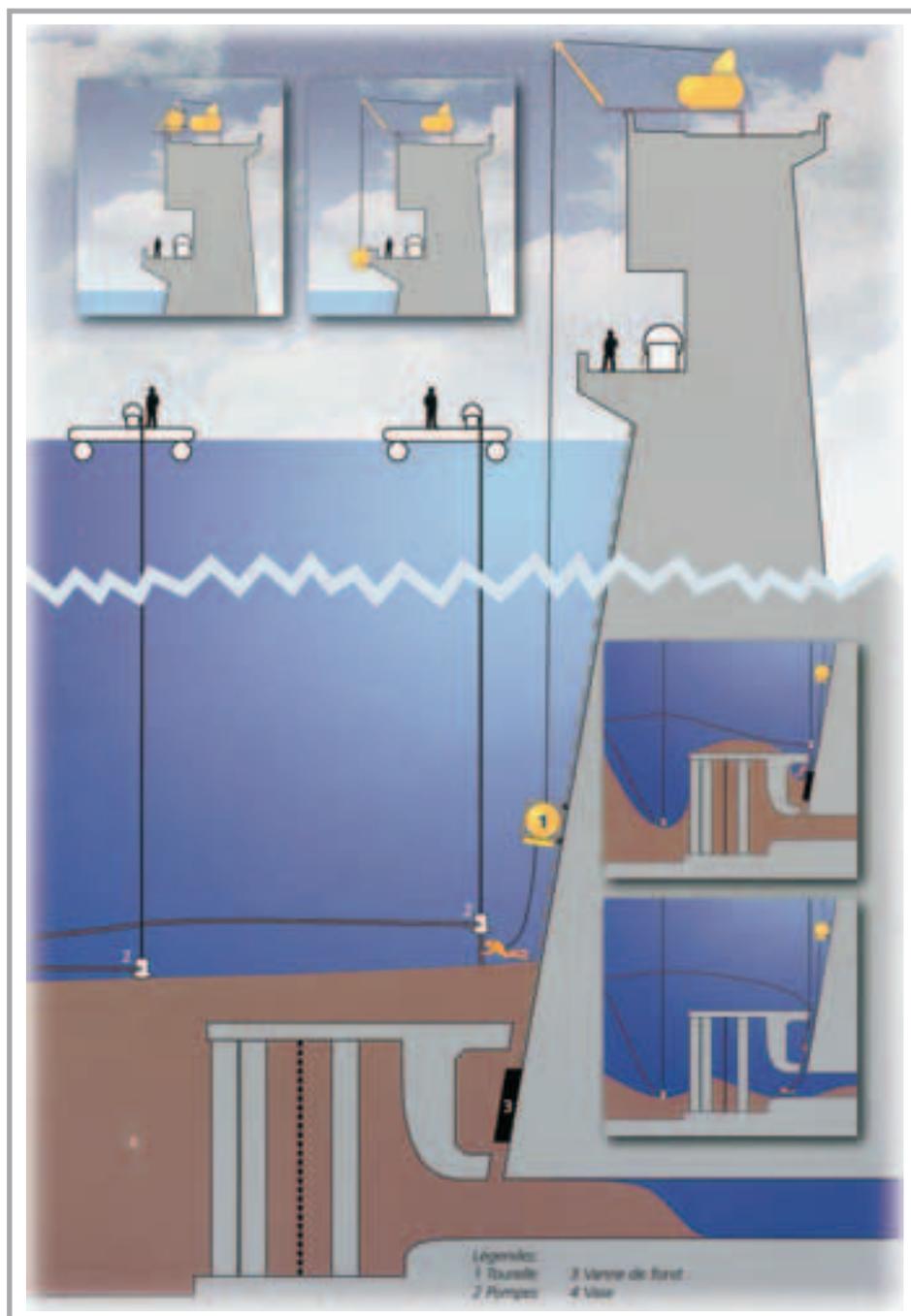
Le barrage de Bin El Ouidane est situé dans la province d'Azilal, à 300 km au sud-est de Casablanca et répond à deux vocations : la production d'énergie et l'irrigation.

De type voûte mince datant de 1953, d'une hauteur de 103 m, il est la propriété de l'Office National de l'Electricité – ONE –, ce dernier ayant passé un marché de réhabilitation des deux vannes de la vidange de fond.

Suite à un envasement de la retenue, ces deux vannes étaient inopérantes, l'une d'elles restant partiellement manœuvrable et l'autre bloquée en position ouverte.

Les travaux comprenaient les opérations suivantes :

- ◆ inspection préliminaire à l'aide d'un robot d'inspection télécommandé depuis la surface ;
- ◆ relevé bathymétrique de la zone autour de l'ouvrage de vidange de fond pour établir le niveau d'envasement ;
- ◆ dévasage de la zone située en amont pour li-



- ▶ bérer les grilles et recréer un chenal d'aspiration ;
- ◆ dévasage de l'intérieur de l'ouvrage de prise d'eau ;
- ◆ déblocage, remise en état et essais de fonctionnement des vannes type "chenille" ;
- ◆ enregistrement vidéo continu des travaux et de l'ouvrage remis à l'ONE.



Ensemble Ulis
Ulis assembly

■ INSPECTION ET BATHYMÉTRIE

En 1999, une inspection réalisée par robot télécommandé de type Achille a mis en évidence un déplacement du train des brimbales. L'ouvrage de prise d'eau était alors invisible car recouvert par la vase.

En septembre 2000, une bathymétrie sur toute la bande d'eau comprise entre les deux rives et jusqu'à 40 m en amont, a permis de positionner l'ensablement moyen de la retenue à la cote 722 NGM soit 2 m au-dessus du toit et plus de 15 m au-dessus du pied des grilles.

Les moyens mobilisés durant cette phase ont été :

- ◆ un support naval de type pneumatique ;
- ◆ un système de positionnement DGPS, type Trimble AG 132 (Omnistar) ;
- ◆ un écho sondeur ultrasonique Odom Hydrotrack (210 kHz) ;
- ◆ une antenne GPS liée au transducteur de l'écho-sondeur ;
- ◆ une plaque de calibration du sondeur.

■ DÉVASAGE EN AMONT DES GRILLES

Cette opération qui s'est révélée être la plus longue et la plus aléatoire, a été réalisée à l'aide d'une

pompe électrique immergée de type Toyo – DP50 suspendue sous un ponton et refoulant les vases à environ 300 m en amont dans la retenue par une conduite flottante de diamètre 200 mm.

Très rapidement ce système a permis d'évacuer la vase fluide de surface mais n'a pu aspirer la vase compacte qu'après adjonction d'un système de jetting à 15 bars émulsionnant la vase autour de la pompe.

Cette opération de dévasage a permis de créer un entonnement devant les grilles mais a dû fonctionner en permanence pendant 6 mois jusqu'aux chasses finales pour empêcher le comblement de ce point bas, car la vase fluide revenait quotidiennement s'accumuler devant les grilles.

Le positionnement de la pompe au plus près des grilles et ses déplacements ont nécessité des plongées quotidiennes de contrôle et de maintenance par les plongeurs sur site.

La quantité estimée de vase pompée pendant le chantier est de l'ordre de 11 000 m³.

■ DÉVASAGE DE LA PRISE D'EAU

Cette phase a été réalisée entièrement par plongeurs guidant un tuyau d'aspiration souple relié à une pompe immergée de type Toyo DP 20.

Les plongeurs ont dans un premier temps, dévasé le dessus de l'ouvrage pour accéder au-dessus de la vanne bloquée.

Cette opération a été interrompue sans cesse par la présence d'ordures ménagères déversées depuis le parement et qui se sont accumulées dans les chambres des vannes. Ces ordures ont bloqué de façon répétitive le rotor de pompe et ont immobilisé en permanence les plongeurs.

Une fois la chambre haute, la chambre des vannes

Tourelle descendant le long du parement
Turret descending along the facing



Intérieur de la tourelle
Inside of the turret





Intérieur du caisson vie
Inside of the life support chamber

et l'entonnement dévasés, les plongeurs ont dévasé la chambre de prise d'eau pour permettre le dégagement des grilles par l'aval.

■ RÉHABILITATION DES VANNES

Après déblocage et essais de fonctionnement, les vannes ont été réinstallées en position fermée. Le nettoyage des galeries d'évacuation a été conduit par hydrocurage.

Après réalisation des chasses pour s'assurer du bon fonctionnement des vannes, celles-ci ont été remontées en surface pour réhabilitation et remise en peinture.

■ PLONGÉE EN SATURATION

La profondeur d'intervention maximum corrigée par l'altitude du site a été une profondeur équivalente de 80 m.

En plongée classique depuis la surface, à cette profondeur, les temps de chaque plongée auraient été de 20 minutes de travail au fond pour 1h40 de paliers de décompression, soit seulement 2 heures de temps utile passé au fond à travailler par poste de 12 heures. Si cette méthode avait été choisie, les travaux de plongée auraient duré au minimum 6 mois avec des risques inévitables et cumulés d'accident de décompression à chaque plongée. Très rapidement, la solution d'utiliser un système de plongée en saturation a été choisie et proposée. Cette méthode consiste à faire vivre les plongeurs dans des caissons en surface, pressurisés à la même pression que le fond, pendant toute la durée du travail, soit plusieurs jours ou plusieurs semaines. Les plongeurs peuvent alors intervenir quotidiennement sans se soucier de la décompression effectuée une seule fois en fin de chantier.

Les plongeurs sont descendus dans l'eau à l'aide d'une tourelle pressurisée et ouverte au fond par

une porte lorsque les pressions intérieures et extérieures sont équivalentes et s'équilibrent.

En fin de poste, les plongeurs retournent dans la tourelle, ferme la porte et sont remontés en surface pour être reconnectés et transféré sous pression via un sas aux caissons de surface.

L'ensemble mobilisé sur le chantier était de type Ullis, acheté à Comex Pro en 1999 comprenant :

- ◆ une tourelle avec portique, treuils, câble guide et lests. La tourelle est équipée en bouteilles secours pour assurer une autonomie permettant d'at-



Control room plongée
Diving control room

tendre les secours en cas de rupture d'ombilical ; celui-ci approvisionne la tourelle en éclairage, vidéo, communications, chauffage et gaz respiratoires de type Hélix (hélium + oxygène) ;

- ◆ un caisson vestiaire, sanitaire de diamètre 1600 connectable à la tourelle ;

- ◆ un caisson vie de diamètre 1800 avec quatre couchettes ;

- ◆ un container *control room* avec les tableaux des gaz, les communications équipées de décodeurs à cause de l'hélium, les régies vidéo, les systèmes de maintien et de surveillance des paramètres de plongée et des gaz respirés ;

- ◆ un container équipé d'une régénération des gaz permettant de supprimer le dioxyde de carbone rejeté par les plongeurs, de maintenir l'hygrométrie

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Office National de l'Electricité du Maroc - ONE

Maitre d'œuvre

Division de la production hydraulique à Afou-rer

Entreprises

- OSS Mohammedia (Maroc)
- Hydrokarst (Isère)
- Tetis (Vendée)

et la température adéquates et d'un surpresseur pour la fabrication des mélanges hélium + oxygène ;

- ◆ un container équipé d'une chaudière pour le confort des plongeurs via une circulation d'eau chaude dans leur combinaison ;

- ◆ un container atelier, une centrale hydraulique et un système d'alimentation électrique.

■ CONCLUSIONS

L'association de méthodes de dévasage adaptées au site, aux matériaux et d'un système de plongée en saturation ont permis de remettre en service l'ouvrage de prise d'eau à - 80 m sur un barrage en production et sans baisser le plan d'eau.

Le système de plongée en saturation a permis de réduire les temps de plongée, de diminuer les risques d'accident de décompression et de raccourcir le délai global du chantier d'au moins 6 mois.

Ce système permet d'intervenir jusqu'à une profondeur de - 200 m et nécessite des compétences et un savoir-faire issus de l'offshore pétrolier.

Seul disponible en France il peut être transporté par mer, route et avion.

ABSTRACT

Repair of the outlet gates of Bin El Ouidane dam in Morocco

J. Bordignon, Th. Levain

Numerous dams in the world suffer from a problem of silting which may be so serious as to immobilise the outlet gate or water intake structures.

Using techniques for desilting by submerged pumps, controlled by divers, the operation of the blocked valves was able to be restored.

The use of a saturation diving system of the Ulis type, originally designed for offshore oil production at depths of as much as 200 metres, made it possible to work at great depths without lowering the water level and without affecting electricity production, and to perform the work to a tight deadline.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación de las compuertas de fondo de la presa de Bin El Ouidane, en Marruecos

J. Bordignon y Th. Levain

Son numerosas las presas existentes en el mundo que se ven afectadas por un problema de enlodado, que llegan incluso a inmovilizar las estructuras de descarga de fondo o de toma de agua. La utilización de técnicas de eliminación de los lodos depositados en el fondo, mediante bombas sumergidas, controladas por buzos han permitido poner de nuevo en funcionamiento las compuertas bloqueadas.

La utilización de un sistema de buceo en saturación del tipo Ulis, inicialmente proyectado por las explotaciones petroleras costafuera hasta - de 200 m ha permitido trabajar a gran profundidad sin disminuir el nivel de las aguas, y sin tener que reducir la producción eléctrica y llevar a cabo los trabajos en un plazo sumamente reducido.

Ecosse

Kingston Bridge à

De nombreux désordres du Kingston bridge à Glasgow trouvaient leur origine dans le fonctionnement de la structure – un demi-portique – engendrant des déformations et des efforts sur la structure elle-même et sur les fondations en bordure de rivière.

La solution de réparation proposée et réalisée, outre le renforcement de la travée centrale par précontrainte additionnelle, a consisté au remplacement des piles principales par de nouveaux supports.

Pendant les 10 mois de travaux de génie civil, le pont en exploitation a été porté et guidé par un système actif de vérinage assurant le rôle d'appuis du pont et autorisant le fonctionnement normal de la structure dans les conditions de sécurité d'un ouvrage en service.

INTRODUCTION

Description du Kingston bridge

Le Kingston bridge sur la rivière Clyde au centre de Glasgow est un des ouvrages de franchissement les plus chargés d'Europe. Le pont supporte l'autoroute stratégique M8 qui relie Glasgow et les autres villes industrielles de l'ouest de l'Ecosse à Edinburgh sur la côte est. Il est emprunté chaque jour par 155 000 véhicules.

L'ouvrage en béton, âgé de trente ans a été projeté pour être un demi-portique comprenant une poutre de trois travées de 268,3 m de long et les appuis associés. Longitudinalement, le tablier se décompose en 62,5 + 143,3 + 62,5 m et la poutre varie de 10,9 m de hauteur sur les piles principales intermédiaires à 2,5 m à la clé. Le tablier est simplement appuyé aux extrémités.

La pile principale au sud de la rivière, de 8,2 m de hauteur était encastree dans le tablier et articulée sur la fondation et constituait le point fixe. La pile principale nord était articulée sous le tablier et sur

la fondation et fonctionnait comme un balancier de 8,2 m de haut.

Transversalement, le tablier compte deux caissons parallèles (de trois cellules) de 16,2 m de large chaque, ils sont couverts par des hourdis indépendants de 20,7 m, supportant chacun cinq voies de circulation. Les deux caissons sont reliés par des chevêtres sur appuis et tous les quarts de travée.

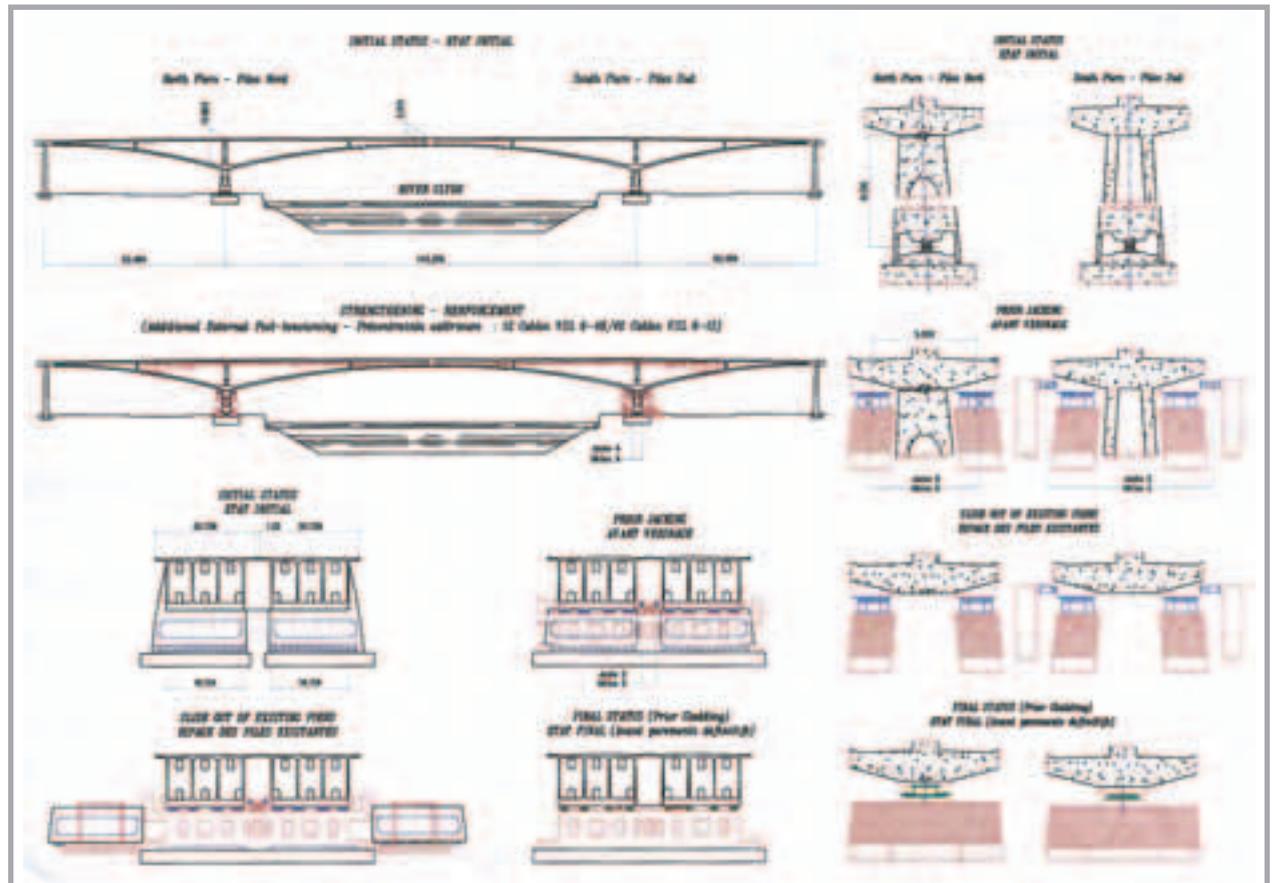
Le pont a été construit par encorbellements successifs avec des voussoirs précontraints coulés en place.

Etat de l'ouvrage

Lors d'inspections à la fin des années 1980, on observa que la travée centrale présentait une flèche de 300 mm à mi-portée associée à une fissuration marquée. Les investigations qui suivirent conclurent que ces désordres étaient dus essentiellement à un défaut de précontrainte et aux déformations à long terme (fluage).

Ces deux effets sont bien connus comme cause

Principe de la réparation
Principle of repair





Glasgow

de déformation excessive dans ce type de structure en béton.

En outre, les inspections révélèrent d'autres désordres tels que :

- ◆ défaut d'aplomb de 165 mm de la pile principale nord avec dégagement partiel de l'articulation haute ;
- ◆ le pont au contact des viaducs d'accès nord avec transfert de force et dommages au niveau des joints de chaussée ;
- ◆ semelle de fondation anormalement sollicitée par un chargement non considéré ;
- ◆ mouvement des murs de quai vers le lit de la rivière.

■ LE PROJET

Historique

Au début des années quatre-vingt-dix quand VSL s'est intéressé au projet, le renforcement longitudinal de la travée centrale était évident et relativement aisé au moyen d'une précontrainte additionnelle extérieure au béton.

Par contre, les solutions visant à réduire les autres désordres trouvant leur origine dans le fonctionnement de la structure et de ses appuis étaient à imaginer.

Après des études préliminaires, VSL proposait de simplifier la structure en la transformant en une poutre simplement appuyée sur des appareils d'appuis modernes, annulant ainsi tout effort structurel horizontal.

Afin d'étayer la proposition, l'étude de faisabilité d'un système de vérinage permettant de pratiquer le changement sans fermeture significative de l'ouvrage était présentée.

Contrat

Au milieu des années 1990, l'appel d'offres préconisait la réparation globale comprenant la précontrainte additionnelle pour renforcement de la travée centrale et le remplacement des appuis principaux du pont.

A la fin de la période d'examen des offres et de sélection, Balfour Beatty Construction Ltd en tant qu'entreprise générale, BWM (licencié VSL) comme entreprise spécialisée pour les travaux de précontrainte et VSL comme entreprise spécialisée pour les travaux de vérinage ont été choisies pour mener à bien ce challenge complexe.

■ LE RENFORCEMENT

Le renforcement de la travée centrale s'articulait en la mise en place et fixation contre les hourdis inférieurs et les âmes des travées de rive de massifs d'ancrage en béton au moyen de barres précontraintes. A travers les chevêtres sur piles principales et à tout changement de direction des déviateurs furent installés.

Ensuite, les conduits et les câbles de précontrainte furent installés entre les ancrages opposés déjà en place et tendus lors de l'avancement des travaux de remplacement des appuis. Les cinquante-deux nouveaux câbles VSL de 200 m de long en moyenne développent une force complémentaire de 90 MN par caisson.



Vue d'ensemble de l'ouvrage

Overall view of the structure

■ MODIFICATION DU FONCTIONNEMENT DE LA STRUCTURE

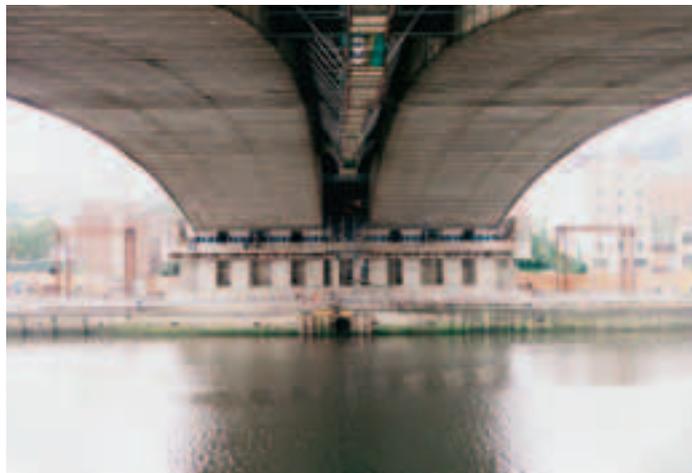
Etude générale

Les documents du contrat comprenaient une étude du client qui définissait précisément les ouvrages de génie civil nécessaires au changement structurel de l'ouvrage. Ils se composaient de nouvelles colonnes, de chaque côté des piles existantes à l'aplomb des âmes des caissons, aménagées pour recevoir le dispositif de vérinage et connectées en tête par une grille de poutres. Les poutres en tête étaient destinées à recevoir, en fin de travaux, les appuis définitifs.

Le consultant en association avec le client et l'entreprise fixaient les exigences auxquelles devait souscrire en permanence le système de "supportage" provisoire. Ces exigences visant à assurer la sécurité du pont en toute circonstance étaient basées sur des données géométriques et de chargement qui devaient être respectées à tout instant que ce soit lors de phases de transfert ou de complet supportage.

Comme l'arrangement ne permettait pas de dis-

Vue de la pile nord
côté rivière
View of the north pier,
river side



© Kingsley Photography



Vue partielle du banc d'essai B
Partial view of test bench B



poser d'une ligne centrale d'appuis articulés (zone occupée par les piles existantes), le système de vérinage a été prévu pour être permanent en organisant la liaison hydraulique des deux lignes actives de vérins distantes de 5,000 m fonctionnant alors comme une articulation qui autorisait les rotations sur appui dues aux surcharges, aux variations de température, etc. En d'autres termes, le fonctionnement de la structure n'était pas affecté par le système d'appuis ainsi réalisé.

Etude du système actif de vérinage

Les composants du système de vérinage comprennent un ensemble intégrant plusieurs technologies de haut niveau permettant la réalisation du contrôle actif. Les composants étaient organisés comme suit.

Mécanique

Les composants mécaniques comprenaient les vérins proprement dit et accessoires. Le système de vérinage était divisé en quatre sous-systèmes A, B, C et D (que l'on nommera système dans ce qui suit).

Le système B assurait le supportage vertical au moyen de 128 vérins de 1 000 t de capacité installés sur les nouvelles colonnes et agissant sous des bossages liés aux tabliers. Chaque pile principale nord ou sud comprenait 32 vérins nommés "Actifs" et 32 vérins nommés "Réserves" assurant le secours mobilisable en cas de mauvais fonctionnement ou de rupture dans le système "Actif". Chaque vérin était équipé d'un écrou de sécurité comme ultime secours en cas de double défaut de l'"Actif" et du "Réserve". Tous les vérins B étaient surmontés d'un dispositif glissant et de rotation permettant les déplacements horizontaux et les rotations.

Les systèmes A, C et D étaient les systèmes horizontaux comprenant plus de 100 vérins de 200 t de capacité :

- ◆ le système A disposé au pied de la pile sud de part et d'autre et entre les piles existantes et les nouvelles colonnes était destiné à réduire les forces internes emmagasinées, provenant des déforma-

tions imposées et qui devaient se libérer lors de la séparation ;

- ◆ le système C, au sommet de la pile sud agissant sur les caissons en prenant appui sur des consoles additionnelles, assurait ainsi le guidage longitudinal dans les deux sens ou permettait les mouvements lorsque souhaités ;

- ◆ le système D au sommet des piles nord et sud agissant sur les caissons en prenant appui sur des consoles additionnelles qui assurait ainsi le guidage transversal dans les deux sens, entre autre lors des mouvements longitudinaux.

Chaque vérin était équipé d'un écrou de sécurité afin de permettre un blocage mécanique et d'un dispositif glissant et de rotation permettant les mouvements verticaux.

Hydraulique

Les composants hydrauliques comprenaient les pompes et accumulateurs avec leurs ensembles de contrôle et, au voisinage des vérins, des sous-ensembles de contrôle déportés comprenant les valves de contrôle et composants spéciaux associés. Tous ces composants hydrauliques étaient traités comme entrées/sorties des processeurs. Le système vertical B comprenait deux systèmes hydrauliques totalement séparés, un pour le système "Actif", un pour le système "Réserve", la coordination entre les deux était exclusivement réalisée par les processeurs. Chaque système horizontal A, C et D disposait de son propre système hydraulique.

Electronique

Les composants électroniques comprenaient :

- ◆ l'instrumentation incluant des capteurs de déplacement afin de connaître les mouvements du pont par rapport aux supports, des capteurs de pression disposés sur les circuits hydrauliques afin de connaître les charges développées par les systèmes. Toutes ces mesures ainsi que les signaux retours d'états des principaux composants constituaient des entrées des processeurs ;

- ◆ les deux processeurs et leurs modules d'entrée/sortie qui constituaient le calculateur et le contrôleur de l'installation assurant les flux de sorties vers les actionneurs et d'informations vers les postes de supervision ;

- ◆ le système de supervision comprenait de nombreux ordinateurs utilisés comme interface homme/machine et pour visualiser et stocker en permanence toutes les informations. Sur le réseau, le client et son consultant pouvaient à tout instant connaître l'état du pont et vérifier la phase de travail en cours.

Comme le pont demeurait en exploitation alors qu'il était supporté par les vérins du système, l'analyse des risques imposait le triplement des instruments et chaînes de mesure critiques qui associé au système de secours du système B "Actif", garantis-

sait un double supportage effectif du pont disponible à tout instant.

Le software comprenait les programmes des divers systèmes A, B, C, D, au nord et au sud de la rivière qui étaient coordonnés par un programme global basé sur une matrice des combinaisons de tâches possibles.

Le programme du système B était le plus sophistiqué et comprenait de nombreuses routines :

- ◆ routines de vérification du fonctionnement des composants incluant la gestion des capteurs triplés ;

- ◆ routines de calculs de valeurs relatives à la position et aux déformations du pont ainsi qu'aux distributions des charges ;

- ◆ routines vérifiant que les paramètres et valeurs calculées étaient conformes aux spécifications ;

- ◆ routines de sécurité assurant la conduite du système de "Réserve" comme esclave du système "Actif" et capable à tout instant d'opérer une substitution et, après réparation, conduite de l'opération inverse de substitution visant à réintroduire le système Actif ;

- ◆ routines effectives opérant les diverses phases de l'opération et comprenant principalement :

- transfert de charges destiné à effectuer le passage des charges des appuis existants au système de vérinage et du système de vérinage vers les nouveaux appuis,

- levage et abaissement par vérinage destinés à mouvoir le pont aux valeurs objectives,

- maintenance destinée à entretenir le pont dans une situation contrôlée déterminée.

Afin de traiter plus de 1 000 paramètres et entrées/sorties, le programme nécessitait plus de 12 000 lignes de code et pouvait identifier plus de 3 000 messages d'alarme différents.

L'action de base à l'interface entre le système et la structure a été définie, puis testée et enfin employée lors des opérations pour être :

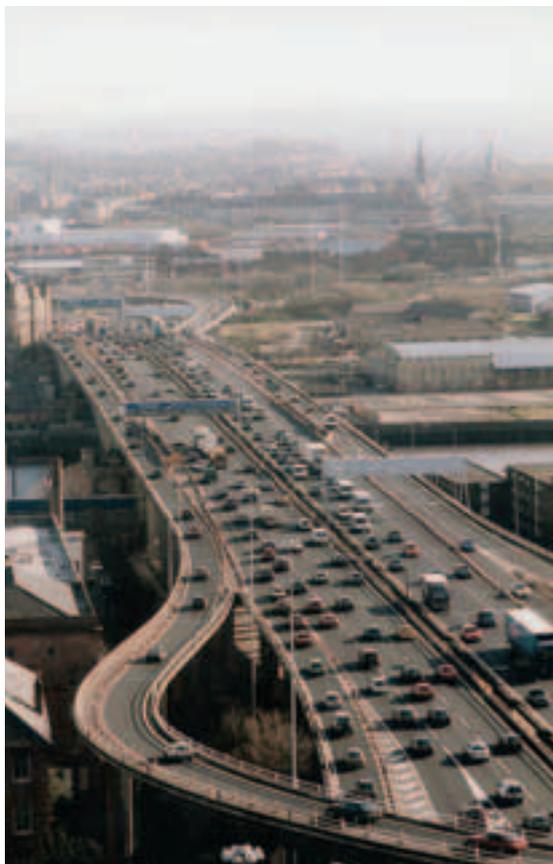
- ◆ résolution en déplacement de 0,1 mm ;

- ◆ résolution en force d'environ 1 % de la charge maximale.

La période d'étude a été suivie par plus de 3 mois de tests destinés à démontrer l'aptitude du système à respecter les spécifications en toute circonstance.

Dans ce but, deux bancs d'essais ont été construits, un pour les systèmes horizontaux A, C et D et un, le plus impressionnant, pour le système vertical B. Le banc du système B modélisait la moitié d'une pile principale et incluait un système automatique de chargement simulant les actions permanentes, soit égales soit inégales, des quatre âmes du caisson.

L'objectif principal des tests sur une maquette adéquate du système B était de reconstituer la réponse du système associé au pont.



Vue d'ensemble de l'ouvrage et des viaducs d'accès

Overall view of the structure and access viaducts

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Client

Glasgow City Council

Consultant

Gifford and Partners

Génie civil

Balfour Beatty Construction Ltd

Précontrainte

BWM (licencié VSL au UK lors du contrat)

Vérinage (étude, fourniture, installation, opération)

VSL Western Europe

Les tests ont été conduits dans le but de succésivement :

- ◆ déboguer et valider le programme ;

- ◆ démontrer le fonctionnement correct du système dans les conditions courantes d'utilisation normale ;

- ◆ confirmer et valider la réponse du système en cas de mauvais fonctionnements ou pannes des composants définis dans une liste exhaustive de l'analyse des risques ;

- ◆ démontrer que les réponses dynamiques du système en régime transitoire ou permanent sous des excitations linéaires ou échelons respectaient les spécifications. Ces excitations représentaient par exemple une fuite d'huile limitée et continue jusqu'à une fuite massive et instantanée dans le circuit "Actif" avec substitution des vérins de "Réserve" à la place des vérins "Actifs" et l'opération inverse après réparation ;

- ◆ confirmer les choix des paramètres configurables destinés à la conduite des opérations.

Après installation de l'équipement, les opérations ont été précédées d'une série limitée de tests précis sur site. Ils ont été réalisés dans les conditions réelles sans transfert total de charge afin de vérifier le bon fonctionnement du système dans des conditions voisines de celles escomptées.

Opérations

Le vérinage de 15 mm des 52 000 t du tablier et le poussage de 30 mm vers le sud afin de rendre le pont libre des piles existantes et des viaducs d'accès ont été réalisés au cours de deux nuits, le week-end avec fermeture limitée du pont, en octobre 1999 sans difficulté particulière.

Durant les opérations, une impressionnante équi-



Ripage d'une pile principale
Sliding a main pier

pe d'ingénieurs et techniciens (plus de 100 personnes) était en charge de la surveillance du pont lui-même et de ses environnements au moyen d'une instrumentation appropriée afin de déceler tout événement anormal alarmant.

Le système de vérinage était ensuite placé en mode "Maintenance" pour plusieurs mois avec une surveillance permanente. Dans ce mode, la position du pont et les régimes de pressions hydrauliques étaient continuellement contrôlés et éventuellement corrigés afin de respecter les spécifications. Le démontage des articulations, la coupe des piles sud puis le ripage vers l'extérieur des piles existantes de 800 t et leur démolition étaient réalisés dans cette configuration sans perturbation du trafic.

Ensuite, une poutre en-tête et entre les nouvelles colonnes était coulée en place; elle incluait les inserts nécessaires aux nouveaux appuis. De même les bossages sous le tablier étaient alors réalisés. A la fin, huit appuis à pot (de 41.000 kN de capacité) plus des guides au sud et huit appuis néoprène (de 41.000 kN de capacité) plus des guides au nord étaient installés sur des vérins plats en tôles soudées sur la poutre en-tête.

Au cours du mois d'août 2000, lors de trois fermetures limitées du pont, de nuit, le week-end, le pont était abaissé, poussé à nouveau vers le sud et une fois correctement positionné, les vérins plats étaient injectés afin de placer et précharger les appuis sous le pont. Après cure et durcissement du coulis d'injection, le transfert final des charges du système de vérinage au nouveaux appuis était réalisé.

CONCLUSION

Le Kingston bridge traverse toujours la Clyde, et son rôle comme un des franchissements les plus importants d'Ecosse est assuré pour une longue période à venir grâce à la réalisation d'une réparation difficile qui dépendait d'une solution, à la pointe de l'art du contrôle actif des structures dans le domaine du vérinage.

ABSTRACT

Scotland - Kingston Bridge in Glasgow

L. Boutonnet

Many disorders on the Kingston Bridge in Glasgow were due to the operation of the structure – a half-gantry – generating strains and forces on the structure itself and on the foundations at the river edge. The repair solution proposed and implemented involved reinforcing the centre span through additional pre-stressing, and also replacing the main piers with new supports. During the ten months of civil engineering work, the bridge, still in operation, was carried and guided by an active system of jacks acting as supports for the bridge and enabling the structure to operate normally in the safety conditions of an operational structure.

RESUMEN ESPAÑOL

Escocia - Kingston Bridge, en Glasgow

L. Boutonnet

Fueron muy numerosos los desórdenes del Kingston Bridge de Glasgow, que tuvieron por origen el propio funcionamiento de la estructura -en semipórtico- que dieron lugar a deformaciones y esfuerzos ejercidos sobre la propia estructura y los cimientos en las márgenes del río. La solución de reparación, propuesta y ejecutada, además del refuerzo del tramo central por pretensado adicional, ha consistido en la sustitución de las pilas principales por nuevos soportes. Durante los 10 meses de obras de ingeniería civil, el puente ha permanecido en funcionamiento y ha estado soportado por un sistema activo de cilindros hidráulicos que han asumido el cometido de apoyos del puente y permitido así el funcionamiento normal de la estructura en las mismas condiciones de seguridad de una estructura en servicio.

Un viaduc ferroviaire dans les nouveaux territoires de Hong Kong

Huit lanceurs pour six cents travées en 18 mois

VSL Hong Kong a remporté le contrat de pose de 9 000 voussoirs constituant les 20 km des viaducs de West Rail, projet de développement du chemin de fer dans les nouveaux territoires de Hong Kong lancé par KCRC (Kowloon Canton Railway Corporation). Pour respecter le délai tendu de pose de 18 mois, VSL a conçu des outils spécifiques (deux types de cintres autolanceurs) permettant de s'adapter aux différentes configurations du site. Un cycle court de pose des voussoirs a ainsi été obtenu dans un environnement difficile : franchissement de routes ou de cours d'eau, travail en milieu urbain.

Fabrice Cayron
RESPONSABLE
TECHNIQUE
DU CHANTIER
VSL Hong Kong



Pierre Cote
SUIVI LIVRAISON
VOUSSOIR ET FINITION
VSL Hong Kong



■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Pour répondre à la demande croissante de moyens de transport publics reliant Hong Kong à ses nouveaux territoires, KCRC (Kowloon Canton Railway Corporation) a créé une nouvelle ligne de chemin de fer entre Kowloon et Tsuen Wan : le "West Rail". Cette ligne s'étend sur 30 km et nécessite la construction de tranchées couvertes, tunnels, viaducs et gares de voyageurs (figure 1).

Les contrats CC201 et CC211 ont pour objet la réalisation du tiers du tracé (10 km) sous forme de viaducs parallèles enjambant routes, autoroutes et obstacles naturels (rivières et fleuves) qui permettront de se rendre de la ville de Kam Tin à Tuen Mun.

La construction a été confiée à MCWJV (Maeda Chun Wo Joint Venture) en juin 1999 sur la base d'une variante de RBA (Robert Benaim and Associates) (figure 2). Le concept de cette variante est de conserver le même alignement et le même emplacement des piles que les études originales mais avec une structure optimisée. On obtient ainsi un gain de l'ordre de 30 % sur les quantités mises en œuvre tout en éliminant les appareils d'appuis en tête des piles courantes.

La connexion entre pile et viaduc est assurée par un béton armé coulé en place en seconde phase. Le



Figure 1
Ensemble du projet West Rail
Overall drawing of West Rail project

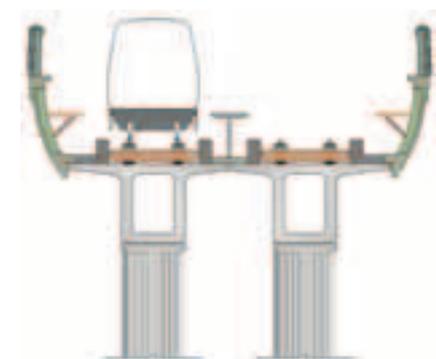
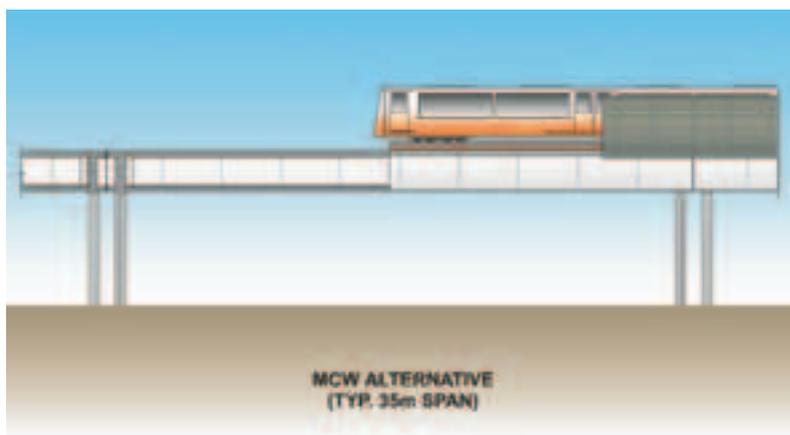


Figure 2
Détail de la variante proposée par RBA (Robert Benaim & Associates)
Detail of the variant proposed by RBA (Robert Benaim & Associates)

Vue aérienne du cintre autolanceur type 2

Air view of type 2 self-launching truss



du projet et ont une portée qui varie de 22 m à 44 m.

La pose du viaduc s'effectue travée par travée au moyen de deux types de cintres métalliques auto-lanceurs suivant le cycle de pose décrit ci-après.

Le cycle de pose

Quel que soit le type de cintre utilisé, les cycles de pose sont similaires :

- ◆ installation des équipements en têtes de pile ;
- ◆ lancement, réglage des cintres métalliques ;
- ◆ levage et pose des voussoirs préfabriqués sur les cintres au moyen d'une grue à chenilles ou d'une grue mobile (capacité variant de 120 t à 300 t) ;
- ◆ application de la résine époxy sur la face du premier voussoir ;
- ◆ ripage du second voussoir contre le premier et mise en place du brêlage temporaire au moyen de trois barres de précontrainte (effort total 90 t) ;
- ◆ réglage de cette paire de voussoirs ;
- ◆ procédure similaire pour les autres voussoirs constituant la travée ;
- ◆ enfilage des câbles de précontrainte première phase ;
- ◆ mise en tension et transfert de charge de la travée sur les têtes de piles ;
- ◆ réglage final de la travée.

La mise en place de la seconde phase de précontrainte est effectuée ultérieurement après bétonnage de la connexion tête de pile-travée et la pose des parapets (objet d'un autre contrat).

Les équipements

Les cintres autolanceurs type 2

Chaque cintre type 2 est constitué de deux poutres métalliques en profilé reconstitué soudé d'une longueur de 85 m. La section centrale d'une longueur de 45 m est constituée de trois éléments à inertie variable de même longueur. A chaque extrémité se trouvent les éléments de transition (longueur 5 m) puis les nez (longueur 15 m). Ces éléments sont précontraints à l'aide de barres de diamètre 73 mm. Les nez à l'arrière des poutres peuvent tourner afin de ne pas interférer avec la travée précédemment posée dans le cas de faible rayon de courbure. D'une hauteur maximale de 1,80 m et d'une largeur de 1 m, les poutres sont autolanceurs sur une portée maximale de 40,5 m. Des supports intermédiaires sont nécessaires dans le cas de travée d'une longueur supérieure.

Les poutres sont supportées par des roues à galets pendant les phases de lancement et par des vérins hydrauliques durant les phases de pose, l'ensemble reposant sur des consoles métalliques précontraintes sur les têtes de piles (effort de précontrainte : 640 t).

Les poutres sont équipées en partie supérieure de deux paires de chariots permettant le ripage des



viaduc devient donc une succession de portiques en série.

En août 1999, VSL Hong Kong, filiale de Bouygues Construction, s'est vu attribuer le contrat de pose des voussoirs préfabriqués, de mise en place de la précontrainte, de l'installation des appuis (au niveau des culées) et des joints entre viaducs des contrats CC201 et CC211.

■ CHIFFRES CLÉS ET QUANTITÉS

Ce contrat représente pour VSLHK la pose de 20 km de viaduc (607 travées soit 8 732 voussoirs d'un poids moyen de 25 t), la mise en place de 3 500 t de précontrainte, l'installation de 5 500 m de joints et de 54 appuis en moins de 18 mois.

L'ouvrage comprend deux différents types de structure à voussoirs préfabriqués. Les travées standards, d'une portée maximale de 44 m, sont posées de façon isostatique. Les viaducs principaux, au nombre de quatre, d'une portée maximum de 80 m, sont posées par encorbellement successif.

Les équipements utilisés sont spécifiques au projet : les études ont été menées par les différents centres techniques du groupe. Au total, ces équipements représentent plus de 2 000 t d'acier. Ils ont été fabriqués en Chine dans les régions de Schenzen et de Wuhan, et la livraison des éléments métalliques s'est faite par transport routier jusqu'aux différents sites d'assemblage.

■ POSE DES TRAVÉES STANDARDS

D'un rayon minimal de 450 m, les travées standards constituées en moyenne de 14 voussoirs à joints conjugués, représentent 93 % de l'ensemble



Cintres type 2 travaillant par paire

Type 2 trusses working in pairs

voussoirs préfabriqués et leur réglage ainsi que de vérins hydrauliques supportant par les ailes les voussoirs dans les phases statiques.

Au total, sept cintres autolanceurs ont opéré simultanément sur chantier. Pour limiter le nombre de grue utilisée, VSL HK s'est efforcé de faire fonctionner les cintres par paires. Une grue à chenille (150 t) est capable d'approvisionner en voussoirs deux équipes de travail.

Un cycle moyen de pose de 3,5 jours a été obtenu avec un record à 2,2 jours.

Cintre type 1

Les cintres autolanceurs sont remarquablement efficaces pour la pose de viaduc linéaire. Mais à l'approche de certaines stations, les voies se ramifient et le viaduc compte alors jusqu'à six travées parallèles. Pour ces travées d'approche (une centaine pour l'ensemble du projet), il a fallu concevoir un outil capable de se riper de façon autonome transversalement d'une travée à l'autre : le cintre type 1.

Il est composé d'une poutre treillis métallique à section triangulaire (d'un poids maximum de 100 t), de poutres de ripages ainsi que de charpentes supports de voussoirs. La poutre principale est composée de six modules interchangeable. La combinaison de ces modules permet à l'outil de s'adapter à toutes les configurations requises par le projet. Ces éléments sont précontraints entre eux à l'aide de barre diamètre 56 mm.

Le déplacement transversal se fait par ripage sur des poutres de glissement fixées à l'avant les piles. Le déplacement longitudinal de l'outil se fait au moyen d'une grue à chenilles de 200 t.

Un cintre de ce type a été fabriqué pour le projet. Un cycle moyen de pose de 2,5 jours a été obtenu.

■ POSE DES VIADUCS PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS

Les quatre viaducs principaux, d'une portée maximum de 80 m, enjambent fleuves et autoroutes. Ces viaducs sont posés à la grue suivant la méthode d'encorbellements successifs.

D'une hauteur maximum de 5,5 m, les voussoirs préfabriqués sont livrés par transport exceptionnel. Ils sont alors redressés et levés à l'aide de grues mobiles (capacité variant de 120 t à 300 t) ou à chenilles.

Chaque encorbellement étant encastré en tête de pile, la procédure de pose est la suivante :

- ◆ assemblage et collage à la résine époxy des deux voussoirs sur pile au sol ; brélage temporaire et pose en tête de pile de l'ensemble sur vérins provisoires ;
- ◆ mise en tension du clouage afin d'assurer la stabilité du fléau pendant les phases de pose ;



Pose des viaducs principaux de nuit sur autoroute

Installation of the main viaducts at night on motorway

© Photo Sam Cheng



Levage des voussoirs des viaducs principaux à la grue (150 t)

Lifting the segments of the main viaducts by crane (150 tonnes)

- ◆ pose de la paire de voussoirs suivante et mise en tension du brélage temporaire ;
- ◆ enfilage des câbles de fléau et mise en tension ;
- ◆ même opération pour la troisième paire de voussoirs ;
- ◆ réglage en niveau et position des six premiers voussoirs. Après ce stade aucun ajustement n'est possible ;
- ◆ ferrailage, bétonnage de la connexion tête de pile-fléau ;
- ◆ pose des voussoirs restants en procédant paire par paire. Nombre maximum de voussoirs par fléau : 16 paires ;
- ◆ pose du voussoir de clavage ;
- ◆ mise en place du coffrage de clavage et bétonnage.

- ▶ D'une hauteur maximale de 25 m, les travées de rive ont été posées sur des échafaudages lourds spécialement conçus et fabriqués pour ce chantier. Deux à trois paires sont posées en moyenne par jour.



Pose de l'un des viaducs principaux surplombant l'autoroute

Installation of one of the main viaducts overlooking the motorway

Vue générale d'un viaduc en cours de construction

General view of a viaduct undergoing construction



■ LES HOMMES - LE PROGRAMME

L'encadrement, le personnel de chantier

Ce type d'outil fait figure d'innovation à Hong Kong ou il n'était jusque là que peu utilisé. Pour le mettre correctement en œuvre, techniquement parlant, mais aussi pour accéder à des cadences de production élevées avec un très haut niveau de sécurité, le chantier a fait appel à des ingénieurs, commerciaux, chefs de chantier et chefs d'équipe, au total 50 personnes issues de dix-neuf nationalités différentes, ont formé la main d'œuvre d'origine népalaise et chinoise aux différentes techniques de pose et de lancement.

Les autorités locales

Sur 2 x 10 kilomètres de long, ce projet traversent trois villes, enjambent 34 routes, deux autoroutes, 11 fleuves et rivières. Pour prévenir les risques matériels et humains et les nuisances induites (bruits et impondérables) par le franchissement de ces divers obstacles, KCRC a mis en place des comités

regroupant les principales autorités (ministère du transport, du travail et de l'environnement, maires et élus locaux).

Pendant de longs mois, des campagnes de médiation et d'information ont dû être menées avec ces comités afin d'obtenir les autorisations requises pour la pose en milieux sensibles. Certaines phases du projet (travail en ville, pose des travées surplombant la chaussée) sont effectuées de nuit. Ces opérations nécessitent la mobilisation d'une équipe d'une vingtaine de personnes chargées des déviations routières, de la signalisation temporaire et d'assurer une présence forte sur le terrain. Compréhension et confiance une fois installées, les travaux se déroulent dans un très bon climat.

Le programme

Pour un chantier comme celui-ci, la logique voudrait un planning linéaire ; partir d'une extrémité pour rejoindre l'autre. Tel n'a pas été le cas. La progression des viaducs s'est ralentie à diverses reprises du fait de difficultés rencontrées lors de la construction de la construction des piles ou des gares (objet d'autres contrats).

Pour limiter l'impact de ces retards sur la date de livraison de l'ouvrage, VSL Hong Kong a proposé au maître d'œuvre (O.A.P. Ove Arup and Partners) des solutions différentes, souvent plus difficiles à mettre en œuvre que celle du "tout linéaire" : augmentation du nombre de points d'attaque (jusqu'à 14 fronts de pose simultanées incluant deux ateliers supplémentaires de pose de travées sur échafaudages), meilleure utilisation des ressources et des outils en augmentant le nombre de relocalisation des équipements (on dénombre jusqu'à 22 montages et démontages de cintres pour l'ensemble du chantier). La disponibilité des hommes, la flexibilité des outils, l'organisation ont rendu possible un remaniement complet du programme afin de répondre aux attentes du client et du maître d'œuvre.

■ CONCLUSION

Ce chantier d'une longueur exceptionnelle, très technique, a répondu aux exigences du client, dans de très bonnes conditions de qualité, de sécurité et de gagner ainsi la confiance du maître d'œuvre. VSL Hong Kong s'est vu, depuis, attribuer un nouveau contrat pour la pose des voussoirs du projet KCRC "East Rail", à l'est des nouveaux territoires.

ABSTRACT

A railway viaduct in the New Territories of Hong Kong. Eight launching systems for six hundred spans in 18 months

F. Cayron, P. Cote

VSL Hong Kong won the contract for installing 9,000 segments constituting the 20 km of viaducts of West Rail, a railway development project in the New Territories of Hong Kong launched by KCRC (Kowloon Canton Railway Corporation). To meet the tight installation deadline of 18 months, VSL designed special tools (two types of self-launching trusses) capable of adapting to the various site configurations. A short segment installation cycle was thus obtained in a difficult environment : crossing of roads and watercourses, for example, and work in an urban environment.

RESUMEN ESPAÑOL

Viaducto ferroviario en los nuevos territorios de Hong Kong. Ocho lanzadores para seiscientos tramos en 18 meses

F. Cayron y P. Cote

VSL Hong Kong ha conseguido el contrato de la instalación de las 9.000 dovelas componentes de los 20 km de los viaductos de West Rail, proyecto de desarrollo ferroviario en los nuevos territorios de Hong Kong lanzado por KCRC (Kowloon Canton Railway Corporation). Para respetar el plazo, ya corto de por sí, de instalación en 18 meses, VSL ha diseñado herramientas específicas (dos tipos de cimbras autolanzadoras) que permiten adaptarse a las diversas configuraciones del emplazamiento. Un ciclo corto de instalación de las dovelas se ha obtenido así en un entorno difícil : franqueo de carreteras o de vías de agua y obras ejecutadas en medio urbano.

New Development of Concrete-Filled Tubular Arch Bridges in China

Après un rappel des premières utilisations des tubes remplis de béton dans les bâtiments et les stations de métro de Pékin dans les années soixante, l'auteur évoque les réalisations récentes en Chine. Après un record du monde, en 1999, avec une portée de 270 m pour le pont Yongjiang, le record de portée passe à 360 m pour le pont de Yajisha et enfin à 420 m au Wanxian Yantze River Arch Bridge. Enfin, la ville de Shanghai a en projet un pont en arc de 550 m de portée, le Lupu Bridge.

BACKGROUND

In the 60s of last century, concrete-filled tube (CFT) has been started to be used in the construction of buildings and Beijing metro station columns and to be studied widely in China. In 1990-1992, three Chinese Specifications CECS28-90, DLGJ99-91 and DLGJ-S11-92 have been successively published [1] to bring about a great advance of CFT in the applications of buildings and some special structures. At the beginning of the 90's of 20th century, CFT has been used in the construction of arch bridges. When the span is not large, such as $L \leq 80$ m, single tube can be used, for an example, in the 80 m-span Yiwu Yuanhuang Bridge in Zhejiang Province, single tube of $\varnothing 800 \times 18$ mm is used [2].

As the span is larger, two tubes connected in dumbbell [3] are employed [2]; or three tubes of $\varnothing 600 \times 12$ mm are used in 100 m-span.

Yilan Mudanjiang (jiang means river in Chinese) Bridge with one on top and two in bottom, completed in Heilongjiang Province; and four tubes are used in Huangbai River and Xialao River Bridges, both composed of 2 $\varnothing 1000 - 12$ mm with $l = 160$ m, completed in Hubei Province [3]. Besides, San-an Yongjiang Bridge [1] [4] [5] in Guangxi Province, is a half-through arch with main $L = 270$ m, open in 1999, a worldwide record of arch bridge in this type at that time.

In Yajisha Bridge [5] [6] at Guangzhou with main $L = 360$ m, open in June 2000, becomes new worldwide record to replace San-an Yongjiang Bridge, in this Bridge six tubes are used firstly in China [7], the details will be given in next section.

There is another way to apply CFT in arch bridges, i.e. CFT is used as stiffening skeletons on which the form is hung for pouring concrete box beam such as in Wanxian Yangtze River Arch Bridge with main $L = 420$ m [1] [8], the present worldwide re-

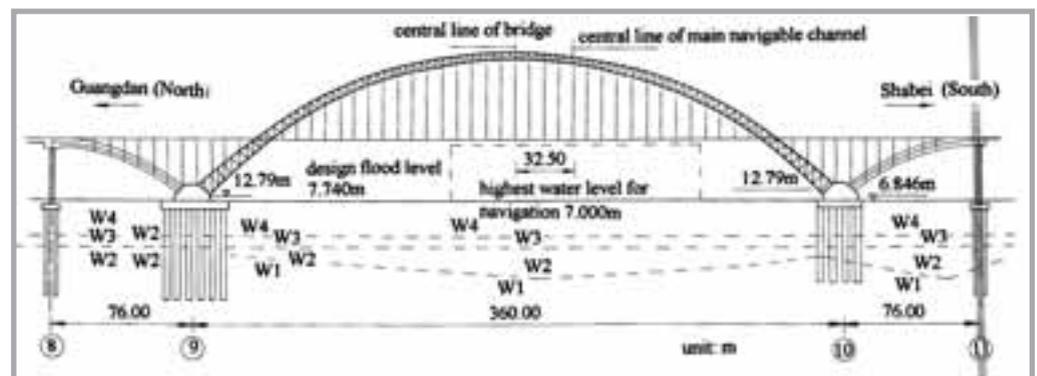


Figure 1
 Elevation of Yajisha Bridge
 Vue en élévation du pont Yajisha

cord of decked reinforced concrete arch bridges because in this case, the concrete box beam is still called RC structure and the CFT is considered as the stiff reinforcement in concrete [1].

The Yongning Yongjiang Bridge in Guangxi Province is constructed as Wanxian Bridge, but is a half-through arch bridge with main $L = 312$ m [1] [4] [9] [10] and is a worldwide record of half-through RC arches (figure 1).

YAJISHA ARCH BRIDGE

Yajisha Bridge is an extra-large CFT arch bridge, spanning over Zhujiang on the southwest ring of Express Way at Guangzhou city, the span distribution of main bridge is $76 + 360 + 76$ m. Figure 1 shows its elevation [7]. This Bridge has a half-through mid span and two decked side spans of half arch. The mid-span is an inverted catenary hinged arch with calculated $L = 344$ m and rise $f = 76.45$ m. In each main rib, six tubes constructed as shown in Figure 2 [11]. Two mid tubes in a rib are $\varnothing 750 \times 20$ mm, four side ones are $\varnothing 750 \times 18$ mm and the thickness of horizontal connecting plate is 12 mm; the web members consist of the vertical tubes $\varnothing 450 \times 12$ mm and the inclined ones of are $\varnothing 351 \times 10$ mm. The arch rib has an equal width of 3.45 m and a variable depth with a central distance of 4.00 m between upper and lower chord tubes at the crown and of 8.039 m at the springings. The

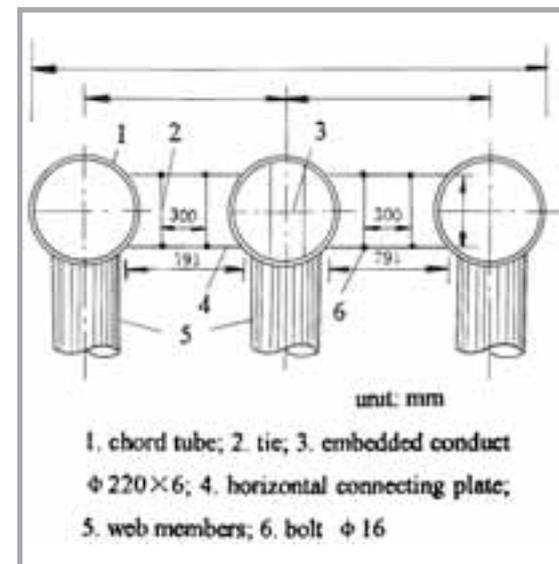


Figure 2
 General construction of chord tubes and horizontal connecting plates
 Construction générale de tubes à membrure et de plaques de liaison horizontales

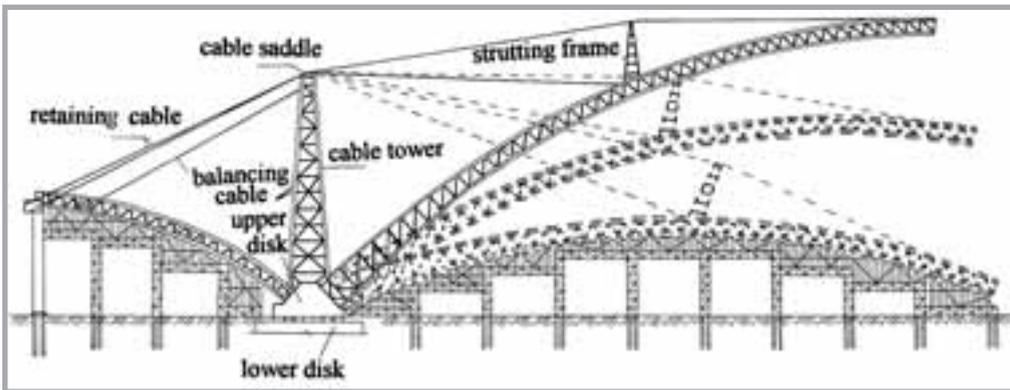


Figure 3
Sketch of vertical rotation system

Esquisse d'un système de rotation verticale

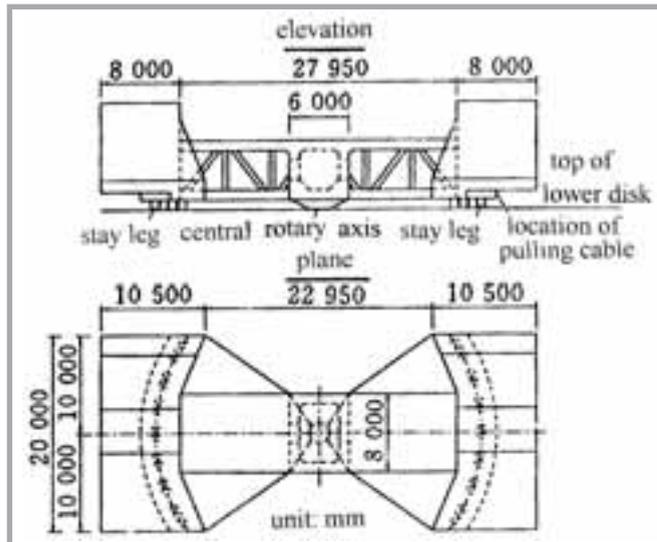


Figure 4
General construction of upper disks
Construction générale de disques supérieurs

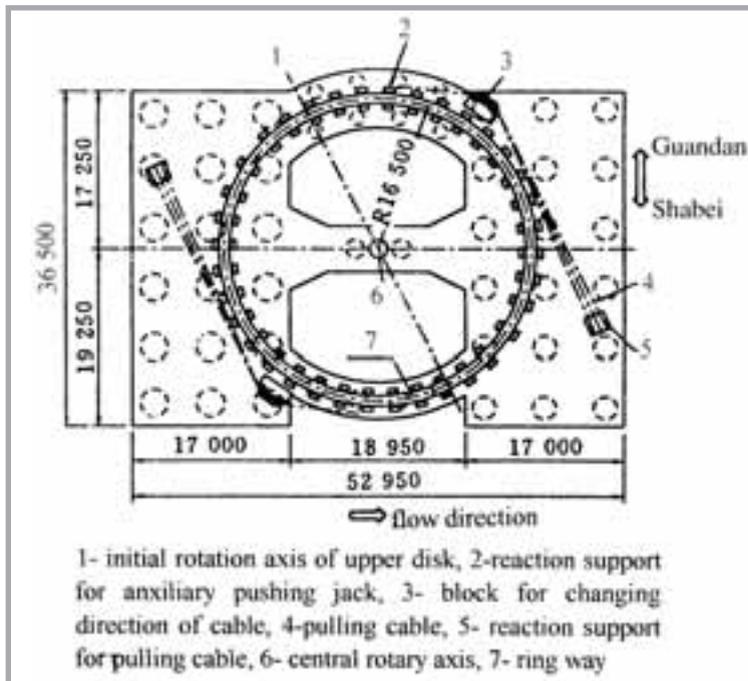


Figure 5
General construction of north lower disk
Construction générale du disque inférieur nord

► thickness of tube connecting to abutments is increased to 36 mm in a segment from the springing. The central distance of two ribs is 35.95 m with 6*-shaped and 2 K-shaped transverse bracings set between two ribs. The axis of half side arch follows also an half inverted catenary and has a calculated span of 71.0 m and a rise of 27.3 m with box section of 3,45 m (width) x 4.5 m (depth). Between two ribs there are

set 1*-shaped and 1 K-shaped transverse bracings. The side half arch ribs are supported on side piers through movable rubble pot bearings. Between the ends of two side spans, there are set throughout strand ties to balance the horizontal thrusts from main arch ribs so as to constitute a 3-span continuous self-anchored arch structure called flying-swallow type.

Because the large ships with capacities of ten-thousand tones must pass through Zhujiang throughout a year, the Yajisha Bridge can not be constructed as some bridges such as Xialao Bridge with a half arch to be fabricated in river during low water and then to be lifted into position by using vertical swing method as introduced in [3]. For this Bridge, two halves can only be fabricated respectively on arch frame along two banks with springings to be supported on their abutments which are constructed as upper rotary disks (figure 3) [12], both of which at one arch end are connected with a steel frame tie constituted of 1 m thick top and 1 m thick bottom concrete slabs between them concrete will be post-cast; and are lifted to designed elevation through vertical rotation with angle of 24.7014° , then through horizontal rotation to be closed. Figures 3 and 4 show respectively the sketch of vertical rotation system and the general construction of upper disks. On every lower rotary disk, there is set a ring way with diameter of 33 m and width of 1.1 m, on which there is a 3 mm thick stainless mirror steel sheet, and below every upper rotary disk there are set 7 stay legs made of $\varnothing 800 \times 14$ mm tubes (figure 4) to transmit the weight from upper disk to lower one. Figure 5 shows the north lower rotary disk. On the lower rotary disks there are set two reaction supports for pulling cables and two blocks for changing direction of cables. The horizontal rotary angles are 117.1117° on the north bank and 92.2333° on the south respectively. The lower disks are also the bearing platforms of pile foundation.

The concrete cast under pressure into tubes is C60 with mixing appropriate expanding agent. For promoting the workability of concrete, some retarding agent is also added. The water cement ratio is 0.35 with slump constant of 18-20 cm. The 3-day compressive strength reaches 58.5 MPa actually. The sequence of pressure cast concrete are as follows : chord tubes earlier and horizontal connected plates (into cavities of plates) later, lower reaches earlier and upper reaches later, the lower chords earlier and the upper later. Into web tubes and transverse bracings, no concrete will be cast. During pressure cast, it is equivalent to charge the halves of arch rib and to adjust the arch axis. The adjustment is also done by using gay ropes. After the axis agrees with the design requirement, each of two halves will be closed to use turnbuckles put between chord tubes, then welded. The closed segment has a length of 1 m. Figure 6 shows the arch

ribs on two banks under horizontal rotation.

After all construction cables have been loosened to make the internal forces to be zero, the main ribs become two-hinge arches.

After all the construction equipments have been removed and the tubes connecting to abutments and all connecting steel members between upper and lower rotary disks have been welded, and the concrete between two disks has been cast, the ribs become hingeless arches.

The deck structure consists of precast II-shaped slabs and steel transverse beams with spacing of 8 m and four steel longitudinal beams, on slabs there is also a 12 cm thick pavement consisting of 4 cm modified bituminous concrete and 8 cm fiber reinforced concrete, the latter can be considered in calculation.

Under lower rotary disks, there is set pile foundation with 36 \varnothing 3.0 m bored piles and 18 \varnothing 2.0 m under the bearing platforms on north bank (figure 5) and there are 24 \varnothing 3.0 and 10 \varnothing 2.0 m piles under platforms on south bank. The plane dimensions of south bearing platforms are decreased into 26.0 m in width and increased into 54.59 m in length.

Figure 7 shows the completed Yajisha Bridge.

■ THE OTHERS

In the completed arch bridges in China, especially in CFT arch bridges, the half-through ones occupy the 1st place, the decked ones take the 2nd and through ones are the least.

Wuhan 3rd Hanjiang Bridge shown in Figure 8 [13] is a through CFT arch bridge with double dumbbell constituted of 4 tubes in constant section; this bridge has a main $L = 280$ m, completed in 2000, and is a worldwide record of through-type CFT arch bridges.

Beside Yajisha Bridge, the Wuhan 5th Hanjiang Arch Bridge is also a 3-span flying-swallow-typed arch, i.e. the mid span is a half-through arch and two side spans are decked half arches with spans : 60.5 + 251 + 60.5 m [14].

Wuzhou 3rd Guijiang Bridge is a CFT arch bridge with type similar as Yajisha, the main span $L = 175$ m, constructed by vertical swing method as done in Xialao Bridge [3], the installation error of 8 tubes in space is only 3 mm.

Fengjie Meixi Bridge in Sichuan Province is a decked CFT hingeless arch bridge with main span $L = 288$ m, the worldwide record of decked CFT arch bridges, completed by using hoist along 500 m-span cable and stay hang cantilever method.

Acknowledgement

The author wishes to express his heartfelt gratitude to Senior Engineers Mr. Hu Yushan, and Mr. Xu Shengqiao as well as to D' Ding Hanshan for their kind help as he finished this article.



Figure 6
Horizontal rotation
Rotation horizontale



Figure 7
Completed Yajisha bridge
Pont Yajisha après achèvement



Figure 8
Wuhan 3rd Hanjiang bridge
Wuhan 3^e pont Hanjiang

■ REFERENCES

- [1] Ding Dajun. Science of Modern Concrete Structures (in Chinese). *China Building Industry Press, Beijing*. 2000, 1047 pp.
- [2] Ding Dajun. Achievements after Achievements in Construction of Arch Bridges in China (in Chinese). *Bridge Construction*. Issue No. 129, 1st Quarter, 2000, pp. 63-67.
- [3] Pu Zhou, Zhengqun Zhu. Concrete-Filled Tubular Arch Bridges in China. *Structural Engineering International*, Vol.7, N.3, IABSE, Zurich, 1997, pp. 161-163.
- [4] Ding Dajun, Juhani Virola. Recent extra-large arch bridges in China. *Rakennus-Insinoori Ja-Arkki-tehti (Construction Engineer and Architect)*, No.2, 2000, pp. 14-16.



[5] Ding Dajun, Liu Yongfu. Erfolge des Bogenbrückenbaus in China. *Bautechnik*, 78. Jahrgang, Jan. 2001, Heft 1, pp. 63-66.

[6] Hu Yushan; Xu Shengqiao; Ding Dajun. Yajisha Half-through Arch Bridge. *Bridge, design & engineering, Bd & e*, Issue No.21, fourth Quarter 2000, p. 14.

[7] Xu Shengqiao, Ren Weidong, Li Yanming. Design of main bridge of Yajisha bridge (in chinese). *Bridge construction*, issue N.132, 4th Quarter, 2000, PP. 29-33.

[8] Guomin Yan; Zhihua Yang. Wanxian Yangtze Bridge, China. *SEI*, Vol.7, No.3, IABSE, Zurich, 1997, pp. 164-166.

[9] Ding Dajun; Juhani Virola. Long-span concrete arch and stone arch bridges. *Rakennus-Insinööri Ja-Arkkiitehti (Construction Engineer and Architect)*, No.6, 2000, pp. 26-28.

[10] Ding Dajun; Liu Weiqing. Neue Entwicklungen bei Hochhäusern und grossen Brücken aus Beton in China. *B. u. St.* 94 (1999), Helf 4, pp. 178-185.

[11] Yin Haohui; Wu Binsheng. Casting of Concrete in Steel Tubes of the Main Arch Ribs and the Control of the Alinement of Yajisha Major Bridge (in Chinese). *Bridge Construction*, issue No. 132, 4th Quarter, 2000, pp. 49-51.

[12] Zhuang Weilin; Huang Daoquan; Xie Bangzhu; Zhang Lianyuan. Design of Rotatory Erection Procedures for Yajisha Bridge (in Chinese). *Bridge Construction*. Issue No. 129, No.1, 2000, pp. 37-41, 50.

[13] Jiang Deliang; Fang Yili. Reviews and Prospects for Highway Bridges in Hubei Province (in Chinese). *Proceedings of 2000 Symposium on Bridges in Hubei Provinces*, edited by Communication Dept. of Hubei Province, etc. pp. 1-12.

[14] Zhang Yongshui. Structural Calculation of Wuhan 5th Hanjiang Bridge (in Chinese). *Proceedings of 1999 Symposium on Highway Bridges in Sichuan Province*, edited by Bridge Speciality Committee of Highway Society, Highway Planning & Prospecting Research Institute of Communication Dept., Sichuan Province, pp. 43-48.

ABSTRACT

China. New developments in concrete-filled tubular arch bridges

D. Dajun

After recalling the initial applications of concrete-filled tubes in buildings and underground railway stations in Beijing in the 1960s, the author discusses recent projects in China. Following a world record in 1999 with a span of 270 m for the Yongjiang Bridge, the span record increased to 360 m for the Yajisha Bridge, and finally 420 m on the Wanxian Yantze River Arch Bridge. Finally, the City of Shanghai plans an arch bridge of 550 m span, the Lupu Bridge.

RESUMEN ESPAÑOL

China. Nuevos desarrollos de los puentes tubulares en arco, con relleno de hormigón

D. Dajun

Tras un resumen relativo a las primeras utilidades de los tubos rellenos de hormigón con destino a los edificios y a las estaciones del metro de Pekín durante los años sesenta, el autor da cuenta de las realizaciones recientes en China. Tras un récord del mundo, en 1999, con una luz de 270 m para el puente de Yongjiang, el récord de luz pasa a 360 m para el puente de Yajisha y, finalmente, a 420 m en el Wanxian Yantze River Arch Bridge. Finalmente, la ciudad de Shanghai tiene en proyecto un puente de arco de una luz de 550 m : el Lupu Bridge.

Le pont-canal du Sart (Belgique)

Record mondial en masse

La réalisation du pont-canal du Sart constitue un record mondial quant au poids d'un pont poussé. En fin de poussage la masse en mouvement atteignait 65 000 tonnes. D'autre part, la très grande inertie longitudinale du tablier combinée à des impositions esthétiques sévères a conduit à devoir imaginer différentes solutions techniques non habituelles pour des ponts poussés. L'article décrit les solutions adoptées avec succès et relate les réflexions principales qui y ont conduit.

■ SITUATION GÉNÉRALE

Dernier maillon de la mise au gabarit de 1350 t du canal du Centre, cet ouvrage est situé près de La Louvière à 50 km au sud de Bruxelles.

Cette importante voie de navigation relie les bassins de l'Escaut et de la Meuse et permet au réseau navigable belge d'accéder à celui du Nord de la France, offrant ainsi un débouché à la mer alternatif à celui d'Anvers. Le pont-canal du Sart permettra le franchissement par le canal du Centre de la vallée du Thiriau du Sart ainsi que de l'important carrefour routier entre la N55 et la N535 situé à proximité de l'accès à l'autoroute E19 Bruxelles-Paris (photo 1). Venant du bassin de la Meuse et de la Sambre, le canal accédera ainsi aux ascenseurs de Strépy-Thieu qui reprendront la chute de 73,15 m donnant accès au bassin de l'Escaut. Cette chute est actuellement reprise par quatre ascenseurs hydrauliques construits au siècle dernier et classés Patrimoine mondial par l'Unesco mais n'autorisant que le passage de péniches de 300 t.

Photo 1
Vue générale
General view



Figure 1
Vue d'artiste
Artist's view



■ LE CHOIX DU PROJET

La régionalisation complète des Travaux Publics en 1989 et la décision du gouvernement wallon de créer une société mixte de financement des grandes infrastructures – la SO.FI.CO. – ont permis au projet de voir le jour.

En 1996, l'Administration lança, dans le respect des directives européennes, un appel d'offres auprès des bureaux d'études afin de sélectionner un projet sur la base de différents critères techniques, esthétiques et économiques mais sans directive sur les matériaux mis en œuvre. Après examen des différents dossiers reçus, le choix se porta sur un ouvrage en béton précontraint conçu par le bureau d'études Greisch (BEG) de Liège.

Toutefois, la SO.FI.CO. décida de permettre la mise en concurrence d'ouvrages métalliques et un second appel d'offres fut alors lancé en ce sens. Le projet déposé par le bureau d'études G.E.I. de Bruxelles, avec un immense arc métallique, fut retenu. La SO.FI.CO. décida alors de lancer une adjudication publique permettant la mise en compétition des deux ouvrages selon un critère strictement financier. Le projet en béton se révéla sensiblement moins cher que le projet métallique – 7,6 millions d'euros d'écart. L'association des entreprises CFE - BAGECI - Franki Construct remit l'offre régulière la plus basse (22,5 millions d'euros).

■ LES GRANDES LIGNES DU PROJET

Franchir une vallée sur près de 500 m, à une hauteur variant entre 12 et 20 m, par une voie d'eau de 33 m de largeur utile et de 4,15 m de tirant d'eau implique un ouvrage imposant, voire écrasant.

Pour pouvoir réussir une intégration de cet ouvrage dans son environnement, le bureau BEG a choisi l'option d'une structure simple, répétitive et reposante plutôt que d'imaginer un projet artificiellement compliqué et cherchant à se faire oublier par des jeux de formes et de couleurs (figure 1). En revanche, il exigea une qualité d'exécution irréprochable en insistant sur le degré de finition des faces apparentes qu'aucune reprise de bétonnage ne pouvait traverser. Pour éviter l'impression d'écrasement, il espaça les colonnes pour atteindre des portées courantes de 36 m, peu habituelles pour ce type d'ouvrage devant supporter plus de 4 t/m².



à Houdeng-Aimeries

pour un pont poussé

Le projet à réaliser est ainsi constitué de deux bajoyers inclinés et de courbures variables dont la hauteur totale est de 7,1 m. Ces derniers, longs de 498 m, sont monolithes afin de réduire notamment le nombre des joints de dilatation et d'étanchéité. Sur ces éléments porteurs longitudinaux sont alors fixés, tous les 4,5 m, des entretoises en ventre de poisson de 27 m de longueur qui supportent la dalle du plafond du canal (figure 2). Le tablier présente ainsi une largeur totale de 46 m et une hauteur de 7,1 m et repose sur deux files de 14 colonnes chacune – une file par bajoyer – distantes longitudinalement de 36 m et transversalement de 33,4 m. Les colonnes de 3 m de diamètre reposent chacune sur neuf pieux forés de 1,5 m de diamètre par l'intermédiaire de semelles de 10 x 10 m.

■ LES POINTS PARTICULIERS DU PROJET

La précontrainte du tablier

Pour pouvoir franchir les portées retenues, aussi bien longitudinalement que transversalement, BEG fit largement appel à la précontrainte, ce qui est peu fréquent pour un pont-canal. Les caractéristiques du projet nécessitaient l'utilisation de très fortes unités – principalement des 27 T 15 - et surtout de se prémunir de façon rigoureuse contre la corrosion. La technique des torons gainés graissés, inspirée de celle des haubans, s'imposa donc. Avec cette technique, les torons préprotégés en usine sont enfilés après bétonnage dans des gaines qui sont ensuite injectées afin d'empêcher l'écrasement des torons lors de la mise en tension. Les ancrages sont particulièrement protégés et capotés avec de la cire afin que le remplacement ultérieur et individuel des torons soit possible. Longitudinalement les câbles ont une longueur de trois travées et la reprise des efforts se fait par recouvrement pour éviter l'emploi de trop volumineux coupleurs.

Les impositions esthétiques

Toutes les surfaces extérieures des bajoyers et des piles doivent présenter un aspect voligé avec rainures verticales tous les 20 cm. Aucune reprise de bétonnage ne peut traverser ces surfaces (photo 2). Au-dessus de chaque pile, un chapiteau conique de 4 m de diamètre à sa base est intégré dans la

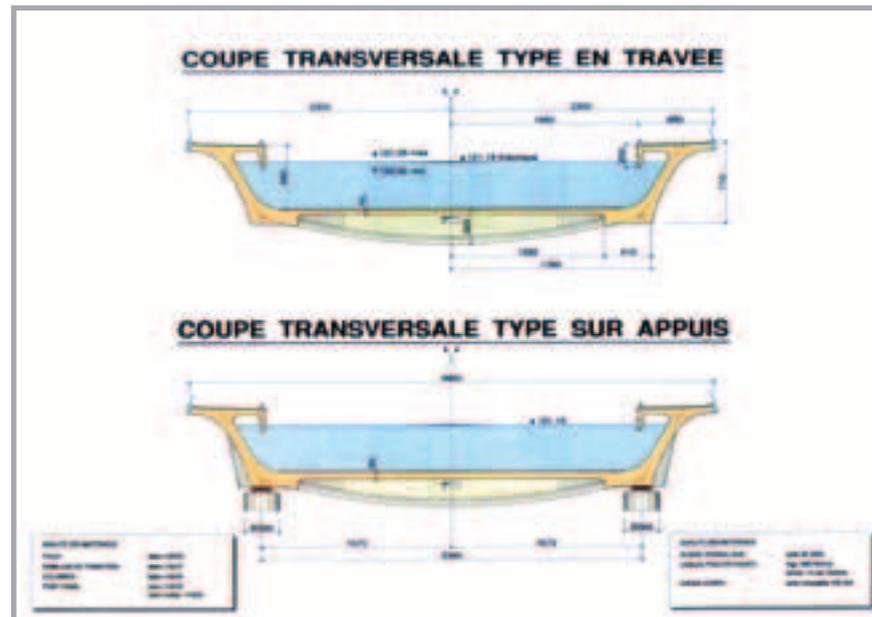


Figure 2
Coupes transversales
Cross sections

forme des bajoyers de façon à rompre la monotonie de l'ensemble.

Les culées d'extrémité

Contrairement à un ouvrage classique, le tablier ne repose pas sur les culées, mais se termine par un porte-à-faux de 15 m au bout duquel se trouve le joint de dilatation et d'étanchéité.

Les culées, non précontraintes, sont constituées de deux caissons longitudinaux de 20 m de longueur ayant la forme extérieure des bajoyers et s'appuyant côté tablier sur des fondations profondes et côté terre sur une grande semelle reposant sur les remblais stabilisés. Une importante poutre transversale, pouvant travailler en torsion, sert de liaison entre ces deux caissons. Ce système permet à l'ouvrage de s'adapter aux tassements des remblais, la culée pouvant pivoter au-dessus des fondations profondes.

Les fondations profondes

Toutes les piles et culées reposent sur des fondations profondes constituées de pieux de 1,5 m de diamètre. Après consultation des spécialistes et réalisation d'une campagne de forages et d'essais pressiométriques préalable, la technique des pieux forés tubés fut retenue.

Notons qu'un essai de faisabilité et un essai de chargement furent décidés au début du chantier pour étayer et affiner les hypothèses retenues.

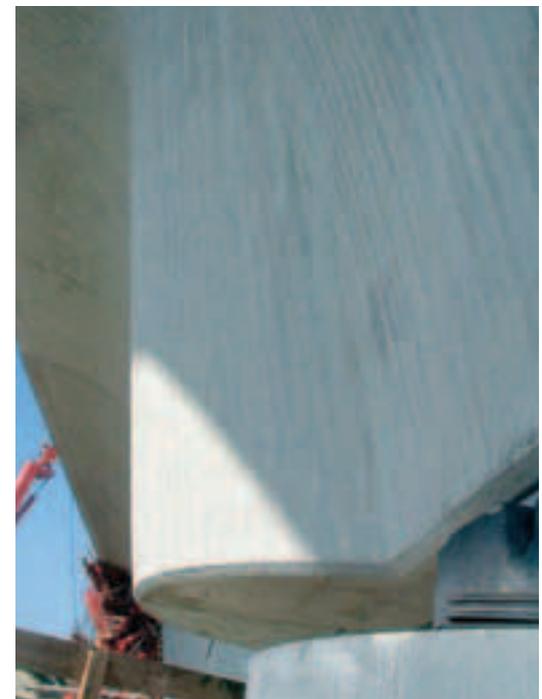


Photo 2
Texture de surface
Surface texture

Photo 3
Appui
Bearing



Photo 4
Injection
d'une baudruche
*Injection
of a bladder*



► La méthode de construction imposée

BEG imposa la méthode du poussage pour la construction du tablier, la section complète devant être poussée par tronçons de 12 m de longueur soit un tiers de travée. Le choix de cette technique impliquait la mise en mouvement de la plus grande masse jamais poussée puisqu'en fin de poussage, le tablier pèserait près de 65000 t. Par ailleurs, l'inertie des bajoyers – environ 100 m² chacun – combinée au faible élancement – rapport hauteur/portée de 1/5 – imposait une précision millimétrique au niveau des appuis de glissement. Un millimètre d'écart différentiel entre appuis successifs se traduit en effet par 100 t de différence de réaction d'appui et le tablier ne supporte que 500 t soit 5 mm au maximum. Le dimensionnement de l'ouvrage tenait bien évidemment compte de la méthode imposée puisque avec celle-ci le tablier subit des sollicitations très différentes entre la phase de construction et la phase de mise en service. Le découpage des tronçons, avec joint de reprise au droit des piles, était également imposé, de même que les unités de précontrainte et le programme de mise en tension.

■ LA MISE AU POINT DES MOYENS DE CONSTRUCTION

La mise au point des moyens d'exécution nécessita une étroite collaboration avec BEG. En effet, pour réaliser un ouvrage de ce type, il est primordial de raisonner en ingénieur et de bien mettre en évidence toutes les étapes et les problèmes qui y seront liés. Ceci est d'autant plus nécessaire lorsqu'il n'est plus possible de se baser sur l'expérience acquise, avec des solutions déjà éprouvées. Si la réalisation de l'ouvrage fut un succès sur le plan technique, c'est principalement parce que toutes les parties ont travaillé dans cet état d'esprit.

Nous ne pouvons pas évoquer ici toutes les mises au point qui furent nécessaires. Nous nous limiterons donc aux principales en développant succinctement les réflexions qui ont conduit aux solutions adoptées.

Les appuis de l'ouvrage

Le poids propre du tablier (65 000 t) ainsi que les charges à reprendre (80 000 t d'eau) impliquaient la mise en œuvre d'appuis de forte capacité. Les piles courantes devaient ainsi être équipées d'appuis de 6 250 t, alors que pour les piles d'extrémité, la capacité était réduite à 5 500 t du fait du porte-à-faux.

Pour des raisons économiques, des appuis à pot de Néoprène, d'un diamètre de l'ordre de 2 m, furent choisis pour effectuer le glissement de l'ouvrage, afin de pouvoir les poser en garantissant un parfait remplissage entre la face supérieure du socle d'appui de la pile et la face inférieure de l'appui, chose illusoire si l'appui était introduit après poussage sous le béton du tablier. Les très faibles rotations attendues en cours de poussage étant compatibles avec les rotations en service, il fut décidé d'utiliser l'appui lui-même en profilant sa plaque supérieure et en la munissant d'un chemin de glissement en acier inoxydable.

Les dimensions de ce chemin de glissement, nécessairement inscrit dans celles de la plaque supérieure de l'appui, furent fixées à 90 cm x 183 cm afin de limiter la pression sur les patins de glissement à 20 N/mm² en cas de surcharge maximale (3 400 t). L'épaisseur de cette plaque supérieure, sollicitée de façon non uniforme puisque le pot de Néoprène avait un diamètre de 163 cm, devait donc être dimensionnée en conséquence (15,6 cm), portant le poids de chaque appui à 7 t (photo 3).

Une fois l'ouvrage poussé et les patins enlevés après vérinage du tablier, il fallait encore imaginer comment remplir complètement un espace de ± 2 cm d'épaisseur et de l'ordre de 2 m de diamètre. Ce remplissage devant également être total pour évi-

ter toute déformation de l'appui en service. Cela a nécessité la mise au point, en collaboration avec Freyssinet Belgium (groupe VINCI), d'un système original qui consistait à remplir une "baudruche" en matière synthétique réalisée aux dimensions de l'appui par un coulis spécial sans retrait et sans ressuage (ciment Superstresscem produit par les Ciments d'Origny) (photo 4). Cette baudruche était préalablement munie sur ses deux faces d'un treillis en acier inoxydable afin d'obtenir le coefficient de frottement nécessaire (15 %) pour les sollicitations en cas de séisme. La mise au point de cette solution nécessita plusieurs essais de faisabilité et de vérification du coefficient de frottement. Autre avantage de cette solution, la possibilité de procéder à un réglage de niveau pendant la mise en charge du tablier en cas de tassement excessif des fondations, ce qui aurait été extrêmement difficile, voire impossible, avec un scellement classique.

Les têtes de piles

La réalisation d'un ouvrage poussé nécessite une attention toute particulière dans les dispositions de tête des piles. C'est en effet là qu'une série d'opérations vont devoir se faire et il est primordial de s'assurer de leur faisabilité. Il s'agit essentiellement des introductions des patins de glissement, des vérinages occasionnels (patins mal introduits) ou obligatoires (mise sur appui), et de l'action sur les guidages latéraux.

Les piles ayant 3 m de diamètre et les appuis environ 2 m de diamètre, la couronne périphérique de 50 cm constituait l'espace sur lequel doivent obligatoirement pouvoir se poser les vérins. Or, les efforts de vérinage étaient de l'ordre de 3500 t avec le différentiel admissible de 5 mm. De plus, l'ouvrage ne pouvait admettre qu'un couple transversal très faible (500 tm). Il fallut donc faire une étude très précise du type de vérins, de leur position, des plaques de répartition et des chandelles, ce qui conduisit à l'utilisation de 24 vérins de 150 t.

La pile devait surtout pouvoir résister à de tels efforts exercés à sa périphérie et entraînant une importante traction horizontale à sa tête. Or, les piles devaient être bétonnées en une seule fois pour éviter toute reprise visible. Mais, la densité des armatures horizontales nécessaires empêchait une telle opération. Aussi, après avoir étudié plusieurs solutions, nous décidâmes de munir les têtes de colonne de cerces en acier pour reprendre la traction exercée.

Le dimensionnement de ces cerces ainsi que le calcul de déformation conduisit à leur donner une hauteur de 40 cm et une épaisseur de 4 cm. On utilisa ces cerces pour y fixer les guidages latéraux ainsi que les ancrages des passerelles devant équiper les têtes des piles et l'ensemble fut pré-assemblé sur un gabarit et monté en une seule fois (photo 5).



Photo 5
Pose
d'un anneau équipé
Installation
of an equipped ring

Le dispositif de poussage

En fin de poussage, le poids de l'ouvrage approche les 65000 t. En considérant classiquement un coefficient de frottement de 5 %, il fallait donc pouvoir mobiliser un effort horizontal de 3250 t.

Le système de poussage des ponts en béton devenu classique est le système Eberspächter, consistant à agripper le pont par frottement (coefficient 50 %) au moyen de vérins verticaux munis d'une tôle gaufrée et de le pousser ensuite par avances successives de 25 cm au moyen de vérins horizontaux poussant les vérins verticaux qui glissent sur une surface inox/Téflon®.

Les plus lourdes unités Eberspächter développent environ 500 t d'effort horizontal en exerçant sur l'ouvrage un effort vertical de 1000 t. Il fallait donc mobiliser au minimum six unités, soit trois par bajoyer. Or d'une part, le tablier ne permettait pas d'exercer des efforts de 3000 t par bajoyer en un seul endroit et d'autre part, nous ne disposions pas, au moment du poussage, de culée pour asseoir les vérins comme dans un pont classique. Cela conduisit à devoir envisager la construction de six culées de poussage de ± 10 m de hauteur et espacées les unes des autres.

De plus, un des avantages importants du système Eberspächter, à savoir un point de blocage quasi gratuit, n'était pas appliqué. En effet, le blocage du tablier après chaque poussage se serait fait à la partie supérieure des culées de poussage. Or, en ramenant cet effort au sol par l'intermédiaire des voiles de ces culées et des pieux de fondation, le déplacement entraîné par le blocage de l'ouvrage était de l'ordre du centimètre, ce qui était évidemment inacceptable pour le joint de reprise avec le tronçon en cours de fabrication. Ceci nous conduisit à abandonner cette solution et à imaginer un tout autre principe.

Plutôt que de bloquer le tablier, il fut imaginé d'ac-

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Superstructure

- Béton : 25800 m³
- Armatures passives : 3350 t
- Précontrainte : 875 t

Infrastructure

- Béton : 9100 m³
- Armatures passives : 850 t

Fondations

- Béton des pieux : 5000 m³
- Armatures passives : 250 t

Terrassements

- Déblais : 370000 m³
- Remblais : 320000 m³

Montant adjudgé

22500000 euros hors TVA prix 1998

Photo 6
Massifs de coffrage
et de poussage
Formwork and pushing
foundation blocks



Photo 7
Poussage
Pushing



Photo 8
Coffrage
d'un bajoyer
Formwork
of a lock wall



crocher le coffrage à celui-ci en le plaçant sur un bâti glissant. Dès lors, la solution Eberspächer perdait une grande partie de son intérêt d'autant plus qu'il s'avérait relativement compliqué de pouvoir synchroniser les différentes unités. La solution de six vérins horizontaux de 600 t et de 2 m de course placés à l'extrémité du tablier fut alors retenue, ces vérins s'appuyant sur la partie verticale d'une grande structure en "L" raidie par deux voiles longitudinaux et lestée par le remblai nécessaire sous la zone du coffrage (photo 6).

Ceci nécessita de porter quelques adaptations à la culée située du côté du poussage de façon à pouvoir intégrer au maximum ces structures provisoires dans l'ouvrage définitif. Les poussages de 12 m seraient alors réalisés en ajoutant après chaque avancement de 2 m, des rallonges de même longueur placées lorsque les vérins seraient refermés (système des tubes foncés) (photo 7).

Tous ces dispositifs furent bien évidemment étudiés et dessinés en détail, de même que celui de l'accrochage – par serrage et frottement – du coffrage au rail de suspente de la nacelle d'inspection du tablier déjà bétonné afin d'éviter tout percement dans celui-ci.

Le dispositif de coffrage du tablier

Compte tenu des exigences esthétiques, l'étude du coffrage et de sa cinématique fut particulièrement poussée et nous n'en esquisserons que les grandes lignes.

Il fallait en effet, que le coffrage de la face extérieure des bajoyers puisse à chaque fois se déplacer longitudinalement pour générer une surface différente du fait de la forme des chapiteaux qui se retrouveraient au droit des colonnes. De plus, étant donné l'interdiction de toute reprise visible, le coffrage extérieur devait résister à une pression de 7,1 m de béton avec deux files de tirants. Enfin, la surface coffrante devait être munie d'une peau reprenant le motif nervuré dessiné par l'auteur du projet.

Le coffrage intérieur était un demi-coffrage tunnel avec contrepoids et la partie verticale du talon était conçue pour s'adapter au pas des entretoises (4,5 m) qui n'était pas un sous-multiple de la longueur des tronçons (12 m). En ce qui concerne les fermes constituant la structure du coffrage, il fut opté pour le système proposé par la firme Alpi (It) qui permettait la réutilisation ultérieure de ces structures (photo 8). Longitudinalement, afin de garantir la rigidité de l'ensemble, le bâti support de coffrage était constitué de quatre importantes poutres en béton : deux poutres pour les descentes de charge du coffrage extérieur, une poutre pour générer la surface de glissement et une poutre pour supporter les entretoises préfabriquées de 80 t. Ce bâti, rigidifié par des poutres métalliques trans-

versales (HEB 600), reposait, par l'intermédiaire de 12 vérins de 150 t, sur trois poutres transversales en béton qui s'appuyaient sur les deux voiles raidissant la culée de poussage.

C'est au-dessus de ces 12 vérins qu'était placé le système (inox/Téflon®) permettant le glissement du coffrage du fait de l'absence de blocage du tablier, les vérins permettant le décoffrage extérieur par abaissement du bâti.

L'ensemble du bâti de poussage et de support du coffrage représentait 600 m³ de béton pour chaque bajoyer. Notons que la dalle du plafond était bétonnée en deuxième phase, après poussage de 12 m, au moyen de prédalles posées sur les entretoises embétonnées dans les talons des bajoyers en première phase.

L'avant-bec

Compte tenu des dimensions de l'ouvrage (7,1 m de hauteur et 36 m de portée), nous étions face à un avant-bec totalement inhabituel puisque court (22 m) et haut (7,1 m). Il était donc impossible d'imaginer la réutilisation d'un avant-bec existant ainsi qu'une réutilisation ultérieure de celui-ci. Dès lors, il fut opté pour la réalisation d'un avant-bec mixte constitué d'une poutre métallique en "I" de hauteur variable munie de deux semelles en béton précontraint qui seraient coulées en place (photo 9). Ce choix résulta d'une étude économique globale, incluant les conditions de montage, de démontage et d'accrochage au tablier par les câbles de précontrainte des semelles.

Le dispositif d'accostage fut étudié pour éviter de charger l'appui de façon excentrée, ce qui aurait provoqué des rotations intolérables pour celui-ci. Plutôt que d'imaginer des vérins d'accostage fixés sur l'avant-bec, il fut choisi de placer un système de vérinage sur la pile permettant de surplomber l'appui sans le charger durant l'accostage. Ce système, coiffé d'un dispositif glissant se butant contre le socle de l'appui, permettait de déveriner l'avant-bec une fois celui-ci suffisamment avancé et, en tout cas, dépassant complètement l'appui à accoster (photo 10).

La zone de préfabrication

Comme dans la plupart des ponts poussés, le respect du cycle constructif hebdomadaire imposait une préfabrication partielle des armatures en dehors du coffrage compte tenu de la charge en temps main d'œuvre qu'elle représentait. Deux gabarits d'assemblage furent donc construits à l'arrière des coffrages dans le prolongement de ceux-ci. Le ferrailage, comprenant les accessoires de la précontrainte et les énormes boîtes d'ancrage, nécessita de minutieuses mises au point sur plans tout d'abord et sur place ensuite. En effet, il fallait que ce ferrailage puisse se placer parfaitement dans le cof-

frage malgré les barres d'attente longitudinales venant du tronçon précédent et les barres d'attente transversales venant des entretoises préfabriquées. De plus, le tracé des câbles de précontrainte, coté en X, Y et Z compte tenu de la forme des bajoyers, devait être compatible non seulement avec le ferrailage lui-même mais également avec les différentes positions des tirants du coffrage. Enfin, l'interdiction de toute reprise visible imposait de positionner le joint de reprise ailleurs qu'en parement et de bétonner le talon avec une face verticale traversant le ferrailage et le câblage transversal, ce qui nécessita de longues mises au point avec les organismes concernés et de nombreuses adaptations au ferrailage pour pouvoir réaliser un travail en respectant les conditions de sécurité exigées pour les travailleurs. En fait, il fallut attendre la réalisation du sixième tronçon pour que toutes ces mises au point puissent être pratiquement achevées.

Les moyens de manutention

Les charges dimensionnant les moyens de manutention étaient d'une part les entretoises préfabriquées (80 t) et d'autre part les ferrillages et



Photo 9
Avant-bec nord
North cutwater



Photo 10
Vérins d'accostage
Berthing jacks

Photo 11
Grues à tour
Tower cranes



Photo 12
Pose du ferrailage
pré-assemblé
*Installation
of pre-assembled
reinforcements*



Photo 13
Vue générale
en novembre 2001
*General view
in November 2001*



leur palonnier de manutention (30 t). Le choix se porta sur deux grues à tour de forte capacité (Liebherr 630) qui prenaient les entretoises en travaillant en tandem et pouvaient les poser à 20 m de leur axe soit un moment de 800 tm pour chaque grue (photo 11).

Pour le ferrailage, les grues travaillaient isolément l'une de l'autre (photo 12). Tant pour la manutention des entretoises que pour celle nécessaire aux

ateliers, ces grues étaient montées sur des chemins de roulement longitudinaux.

Notons simplement que l'utilisation de portiques fut abandonnée pour des raisons économiques (portée de 50 m et chemin de roulement à ± 10 m de hauteur) tandis que l'emploi de grues sur chenilles fut jugé non adéquat principalement pour des raisons de sécurité (visibilité à partir de la cabine, trop de manœuvres avec abaissement de la flèche sous charge).

■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

Les travaux débutèrent en octobre 1998 par la réalisation des importants remblais d'accès aux culées. La construction des massifs de poussage et de support de coffrage débuta au printemps 1999 en même temps que la réalisation des fondations profondes. Après montage des coffrages, la pose de l'avant-bec eut lieu en novembre 1999 et le poussage du premier tronçon fin février 2000 (photo 13). Après sept tronçons, le rythme hebdomadaire fut atteint et le poussage du tablier se termina le 21 mai 2001. La mise sous eau est prévue au printemps 2002, la réalisation des culées, des raccordements aux digues, des opérations de mise sur appui, de seconde précontrainte et d'étanchéité une fois achevés. Il faut signaler que la réalisation des travaux se déroula sans incidents techniques importants, preuve, une fois encore, que la clé de tout succès réside dans une préparation minutieuse et une bonne collaboration de toutes les parties.

Cependant, la très grande sensibilité du tablier à toute déviation millimétrique résultant de l'élançement totalement inhabituel pour un viaduc poussé, obligea à procéder en permanence à toute une série de mesures de niveau et d'efforts afin de ne pas mettre en péril la stabilité de l'ouvrage. Ces mesures concernèrent tant le contrôle de la géométrie des tronçons réalisés que de la variation des niveaux supérieur et inférieur des piles après chaque poussage. Plusieurs opérations de pesage de l'ouvrage au droit de certaines piles furent également nécessaires ainsi que le relèvement de l'ouvrage par l'utilisation de patins plus épais au droit de la pile P3 nord qui tassait exagérément. Il est évident que ces mesures devront être poursuivies durant toute la phase de mise en eau du tablier et les mesures correctives (relèvement et correction de l'épaisseur du scellement des appuis) pourront éventuellement être décidées.

■ CONCLUSION

Si la construction d'un ouvrage aussi exceptionnel par ses dimensions, par le degré de précision nécessaire ou par ses contraintes esthétiques a pu

finalement être réalisé sans incidents sur le plan technique, c'est sans conteste parce que le maître d'œuvre, l'auteur du projet, le bureau de contrôle et l'entrepreneur ont, dès le départ, pris volontairement l'option d'un dialogue total et créatif et ce, indépendamment des conditions contractuelles de chacune des parties. C'est ce dialogue qui a permis une préparation minutieuse du chantier, clé de son succès.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'œuvre

SO.FI.CO. (Société wallonne de financement des infrastructures - Liège)

Maître d'ouvrage

M.E.T. (Ministère wallon de l'Équipement et des Travaux - Direction des voies hydrauliques de Mons)

Bureau d'études

B.E.G. (Bureau d'études Greisch - Liège)

Bureau de contrôle

SECO (Bruxelles)

Entrepreneur général

Association Momentanée Bageci (Namur) - CFE (Bruxelles) - Franki Construct (Liège)

Principaux fournisseurs et sous-traitants

- Précontrainte : Freyssinet Belgium (Machelen B)
- Entretoises : Ergon (Lier B)
- Appuis : CTT Stronghold (Barcelone E)
- Coffrages : Alpi AG (Welzberg It)
- Ferrailage : Armasteel (Wavre B)
- Bétons : Association Interbeton Readymix (B)
- Vérins de poussage : de Boer (Baarn NI)
- Prédalles : Batidal (Battice B)

ABSTRACT

The Sart canal bridge at Houdeng-Aimeries (Belgium). World record for weight of a pushed bridge

M. Dekeyser

The construction of the Sart canal bridge set a world record for the weight of a pushed bridge. At the end of the pushing operation, the weight in movement was 65,000 tonnes. Moreover, due to the very great longitudinal inertia of the deck combined with stringent aesthetic requirements, different technical solutions had to be imagined which are not customary for pushed bridges. The article describes the solutions successfully adopted and recounts the basic thinking behind them.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente canal de Le Sart, en Houdeng-Aimeries (Bélgica). Récord mundial de peso, para un puente construido por empuje

M. Dekeyser

La construcción del puente canal de Le Sart representa un récord mundial en cuanto al peso de un puente construido por empuje. En la fase final de empuje, el peso en movimiento alcanzaba 65000 toneladas. Por otro lado, la inercia longitudinal sumamente importante del tablero en combinación con imposiciones estéticas severas, ha conducido a tener que proyectar diversas soluciones técnicas no habituales para los puentes construidos por empuje. Se describen en el artículo las soluciones adoptadas con todo éxito y se da cuenta de las principales reflexiones que han conducido al proyecto adoptado en este aspecto.

Supervision d'ouvrages exceptionnels sur le TGV coréen

Bernard Fradin
PROJECT MANAGER
DE LA SUPERVISION
Ingérop

Habib Khadivi
RESPONSABLE DE L'AGENCE CORÉE
Ingérop

Sur les travaux de génie civil de la ligne TGV en Corée, Ingérop a supervisé la construction d'un ouvrage métalliques ferroviaire exceptionnel tant par son concept que par ses dimensions; c'est une première en Corée. Il s'agit d'un bow-string de 125 m de portée, et 19,40 m de largeur hors tout et d'un poids de 2 500 t.

Les éléments préfabriqués en usine ont été assemblés sur place par soudage (première en Corée) à l'aide de fil fourré Basic à faible teneur en hydrogène (première en Corée). L'ouvrage a été mis en place par rotation sur une poutre de transfert enjambant l'autoroute, c'est une première mondiale.

■ LA LIGNE DE TGV CORÉE

En 1992 le gouvernement coréen a décidé de se doter d'un système de transport ferroviaire à grande vitesse, le long d'un corridor au trafic très chargé entre la capitale Séoul et la deuxième ville du pays, Pusan, le principal port coréen. Environ 75 % de la population de la Corée vit et travaille le long de ce corridor (figure 1a).

La ligne TGV, longue de 420 km, sera mise en service en deux phases, l'une de 250 km de longueur, début 2004, et le complément, en 2010.

Le gouvernement coréen a créé pour la construction de la ligne une maîtrise d'ouvrage KTX (anciennement Korea High Speed Rail Authority) en charge, dans un premier temps, du design, puis de la construction de la ligne génie civil et équipements ainsi que du suivi de la construction des rames TGV, en France, pour une partie, et, en Corée, après transfert de technologie.

Ingérop a gagné de haute lutte un contrat de supervision (maîtrise d'œuvre travaux) des travaux de génie civil d'un tronçon de 37 km de longueur, dans l'arc montagneux de la Corée, à proximité de la ville de Kimchon. La durée des travaux est de 6 ans. Le coût des travaux de ce tronçon est d'environ 4 000 millions de francs, le contrat de supervision représentant 150 millions de francs dont 75 pour Ingérop. Cinquante personnes ont été mobilisées pour assurer la supervision de tous ces travaux, 13 expatriés, 30 Coréens sous le management de notre sous-traitant/partenaire, plus quatre secrétaires et trois interprètes coréennes.

Ce tronçon comprend environ 20 km de tunnels (dont un de 10 km et un de 6,3 km de longueur) et 12 km de viaducs.

Il comprend, en outre, quelques viaducs métalliques exceptionnels qui n'étaient pas prévus au contrat d'origine, des ponts bipoutres composites métalliques de 50 m de portée, un bow-string de 125 m

de portée et un pont treillis avec dalle béton de 65 m de portée (figure 1b).

Les travaux de ces ouvrages sont réalisés par un groupement des entreprises coréennes Daewoo Construction et SK Construction pour un montant total du lot de 221 000 millions de wons soit 1 300 millions de francs environ.

Dans ce cadre, Ingérop a supervisé les travaux d'un ouvrage métallique exceptionnel tant par son concept que par ses dimensions, le bow-string.

■ LE BOW-STRING

L'ouvrage

Rien, dans le design d'origine, ne laissait présager que l'équipe d'Ingérop aurait à superviser la construction d'un tel ouvrage. En effet, le design d'origine prévoyait le franchissement très biais (68 degrés) de l'autoroute Séoul-Pusan par des portiques métalliques enrobés de béton, le tout précontraint, avec un espacement de 40 m, supportant le tablier standard coulé en place sur cintre auto-lanceur. L'entrepreneur a proposé de remplacer ces portiques et tablier standard par un bow-string métallique de 125 m de longueur avec dalle béton pour enjamber l'obstacle. Cette proposition a été acceptée par le client (KTX) et a été incorporée dans

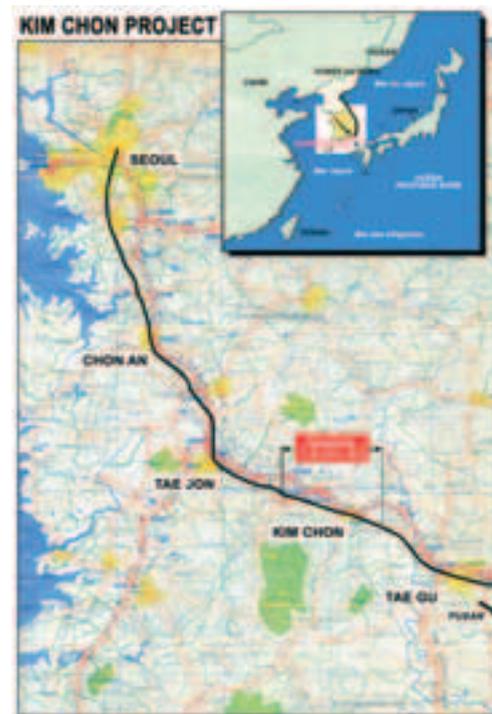


Figure 1a
La ligne TGV de Corée
The Korean high-speed train line

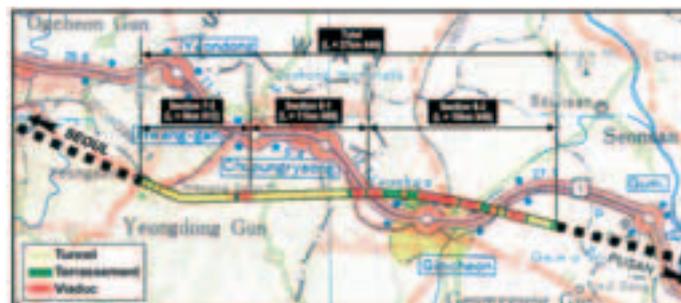


Figure 1b
La ligne dans la zone de Kimchon
The line in the Kimchon region

Photo 1
Le bow-string en place
au-dessus de l'autoroute

*The bow-string in place
above the motorway*

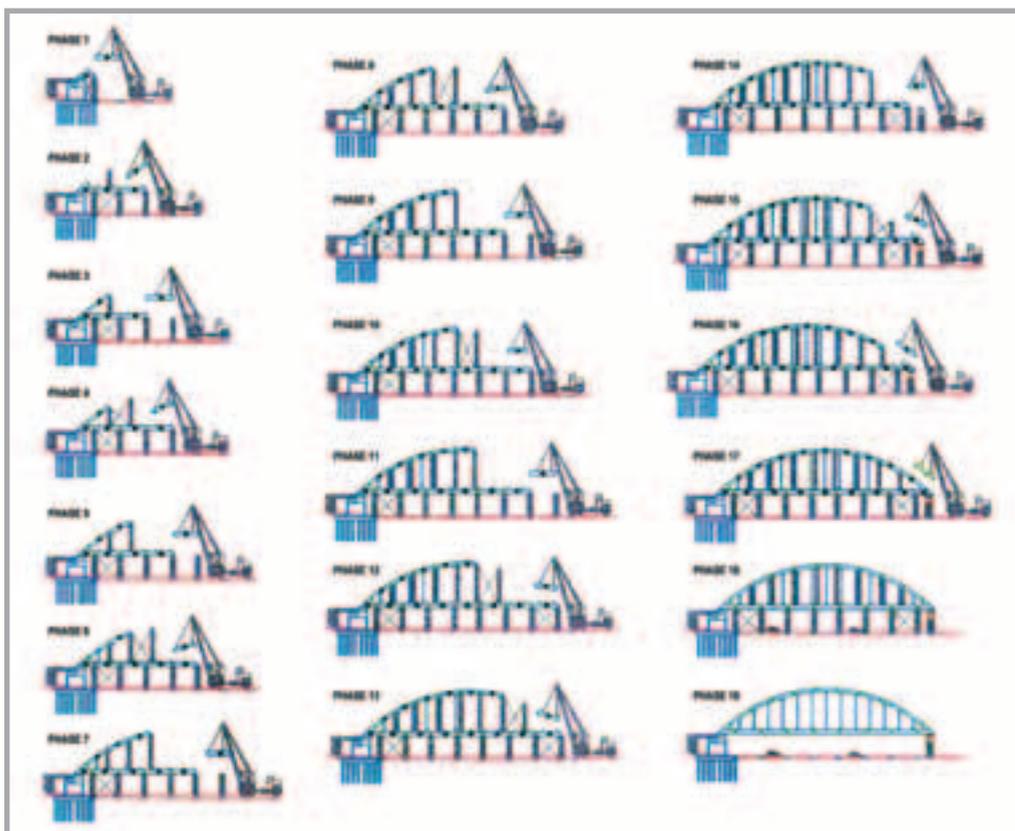


Figure 2
Les phases de montage
du bow-string

*The stages of bow-string
assembly*

Photo 2
Le montage et le soudage
des éléments du bow-string

*Assembly and welding
of bow-string elements*



un avenant au contrat de l'entrepreneur (à coût total constant) en même temps que d'autres changements dans la conception des viaducs (le montant des travaux changés est de 75 % du montant du contrat de travaux).

L'ouvrage, très similaire au pont TGV Méditerranée de Bompas (122 m), a été "designé" en France en utilisant les règles françaises et avec des spécifications françaises pour la construction. Le design a été revu par un spécialiste en mission à Kimchon

pour l'occasion. Après revue par ses services compétents, KTX a approuvé le design. Deux ingénieurs spécialistes en ouvrages métalliques ont été mobilisés pour superviser la construction :

- ◆ l'un qui, dans un premier temps, a vérifié et approuvé les plans d'exécution en s'assurant de leur conformité avec le design, puis a suivi les opérations de montage et de mise en place ;

- ◆ l'autre, spécialiste de contrôle de soudage, qui a suivi la qualification des procédés de soudage, la qualification des soudeurs, les opérations de soudage, aussi bien en usine que sur site, et a enfin suivi les contrôles non destructifs sur soudures, aussi bien en usine que sur site.

L'ouvrage de 125 m de longueur a une largeur de 19,40 m hors tout pour permettre la mise en place du tablier d'une largeur standard de 14 m (photo 1). Il est composé de :

- ◆ deux caissons en forme d'arc (rayon 96 m) de 2 m par 2,30 m de hauteur, en tôle de 35 mm, avec une âme centrale en tôle de 60 mm ;

- ◆ deux poutres tirant en profil reconstitué soudé (PRS) de 2,5 m de hauteur et 1,5 m de largeur, en tôle de 60 mm pour les âmes et 50 mm pour les ailes ;

- ◆ des poutres transversales PRS de 1,8 m de hauteur et 70 cm de largeur tous les 8,65 m, en tôle de 35 pour les âmes, 40 mm pour l'aile supérieure et 70 mm pour l'aile inférieure ;

- ◆ des poutres intermédiaires sous les quatre files de rail en PRS de 1,80 m de hauteur et 82 cm de largeur, en tôle de 45 mm pour les âmes et 18 mm pour les ailes ;

- ◆ deux pièces de pont au droit des lignes d'appuis en caisson à six âmes et entretoises de 2,7 m par 1,2 m, en tôle de 50 mm pour les ailes et 35 mm pour les âmes ;

- ◆ des suspentes (2 x 13) en rond plein de 180 mm de diamètre, accrochées aux âmes des arcs et tirants par des pièces en métal coulé.

L'acier utilisé est du E 36.

L'ouvrage métallique est d'un poids de 2500 t. Il est appuyé sur les piles par des appareils à pot de 2500 t chacun, un appareil fixe, deux unidirectionnels et un multi-directionnel pour permettre les mouvements dus aux variations thermiques.

L'ouvrage est particulièrement fin et élancé. De plus, la couleur sélectionnée (vert céladon métallique) permet une intégration parfaite dans l'environnement périurbain de Kimchon.

Le coût total de l'ouvrage proprement dit, hors piles et fondations, est de 9,4 milliards de wons soit 57 millions de francs dont 74 % pour le métal, 11 % pour la mise en place, y compris poutre de transfert, et 5 % pour la dalle béton.

La construction (figure 2)

Des éléments transportables ont été préfabriqués dans une usine de charpente métallique située à

150 km du site. Ces éléments ont été acheminés sur site sur des camions plateau, l'élément le plus lourd pesait 50 t. Les éléments ont été mis en place à l'aide d'une grue sur chenille de 300 t de capacité, assemblés par soudage sur des tours provisoires (les éléments jaunes sur les photos 2 et 3).

Le vérinage de l'ouvrage côté poutre de rotation a permis de libérer facilement toutes les tours provisoires.

Pour les spécialistes, le procédé de soudage retenu a été le procédé Lincoln avec du fil fourré Basic. Ce procédé de soudage a permis de limiter au minimum les défauts de soudage après un bon entraînement des soudeurs.

Les suspentes ont été pré-tendues pour assurer le parfait contact des "écrous" de fixation avec une force de 5 % de la force des suspentes sous charges permanentes soit 1,5 t.

La durée totale de la construction sur site de cet ouvrage a été de 5 mois ^{1/2}. Ce qui est un exploit quand on sait que les Coréens n'avaient jamais fait d'assemblages soudés sur site, qu'ils n'avaient jamais utilisé du E36 pour des ouvrages et si l'on compare avec le pont de Bompas sur le TGV Méditerranée où la durée de la construction avait été de 7 mois.

La mise en place

L'ouvrage a été construit parallèlement à l'obstacle à franchir (figure 3). Il a été tourné pour sa mise en place définitive.

L'axe de rotation est situé sur la pile amont. Il est constitué d'un axe mâle/femelle pour guidage latéral et de trois appuis en tôle/inox pour support vertical assurant le glissement (coefficient de frottement 8 %).

Le déplacement de l'autre extrémité, de sa position lors de la construction à sa position définitive sur la pile se fait sur un portique qui enjambe l'autoroute. Le portique est constitué de deux poteaux treillis et d'une poutre treillis de 4,3 m de largeur par 5,2 m de hauteur (l'élément de couleur bordeaux sur la photo 3). Elle est encastrée dans la tête de pile par un moyen audacieux : l'effort tranchant est transmis par frottement béton sur béton le tout précontraint par 32 barres Dywidag scellées dans la tête de pile et tendues à 90 t. Cette plaque (comportant des connecteurs) a été installée et les barres mise en tension avant installation de la poutre. La poutre a été soudée sur la plaque.

La poutre elle-même a été préfabriquée en trois éléments de 150 t chacun dont deux enjambent l'autoroute. Pour les éléments enjambant l'autoroute, ils ont été assemblés un de chaque côté de l'autoroute et mis en place à la grue (deux grues dont une de 300 t) avec une coupure de circulation de 15 minutes environ (photo 4). Les assemblages ont été boulonnés la pièce restant suspendue à la



Photo 3
Le montage du bow-string et la poutre de transfert
Assembly of the bow-string and transfer beam

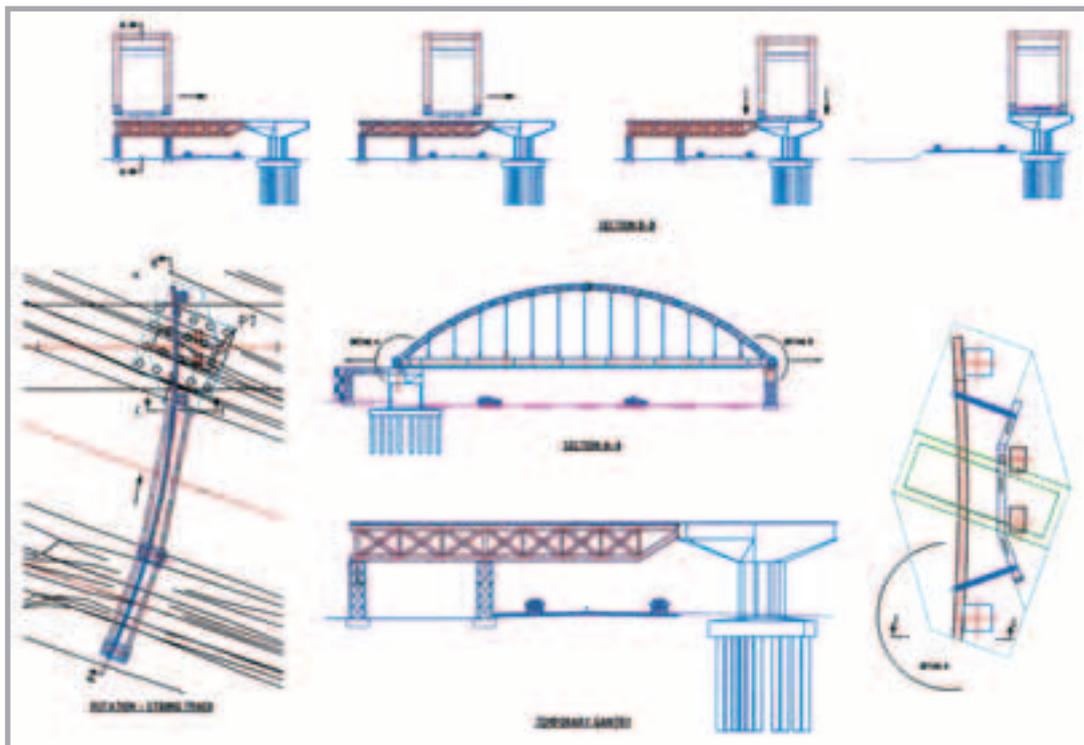


Figure 3
Les principes de rotation du bow-string
Principles of bow-string rotation



Photo 4
La mise en place de la poutre de transfert avec interruption de circulation sur l'autoroute
Setting up the transfer beam with interruption of traffic on the motorway

grue et la circulation rétablie. L'élément en contact avec la tête de pile a été appuyé sur les corbeaux provisoires soudés à la poutre et appuyés sur le béton. Après finition de la poutre et constitution du platelage, deux rails type Burbach MS125 en arc de cercle ont été installés et soudés sur le platelage.

L'ouvrage a été tourné suivant une méthode pas à pas à l'aide d'un vérin de 300 t et de 250 mm de course prenant appuis sur un berceau grippé sur les rails par un vérin vertical de 500 t. Des plaques d'ertalyte fixées sous l'ouvrage glissent sur les rails graissés au préalable. C'est une technique unique au monde comme toute technique de transfert de



Photo 5
La rotation
du bow-string
le 24 août
2001

*Bow-string
rotation
on 24 August
2001*

ce type d'ouvrage. La rotation a duré deux jours, les 23 et 24 août 2001 (photo 5). Après mise en position, l'ouvrage a été vériné pour enlever le chemin de glissement d'un côté et l'axe de l'autre puis descendu sur ses appuis définitifs.

La dalle béton est coulée sur bacs acier non collaborants en deux phases, la zone centrale de 40 m de longueur et une semaine plus tard les zones latérales.

■ L'ACTIVITÉ DE LA SUPERVISION

Elle s'est déroulée sur plusieurs étapes de la construction.

Pendant le design :

- ◆ revue du design ;
- ◆ vérification des plans d'exécution en conformité avec le design.

Préalable aux travaux :

- ◆ préparation de la procédure Qualité de la supervision ;
- ◆ suivi et approbation des procédures de soudage préparées par l'entrepreneur (son sous-traitant) et suivi sur place et approbation finale de la qualification des procédés y compris suivi des tests destructifs et non destructifs ;
- ◆ suivi de la qualification des soudeurs pour les procédures approuvées ;
- ◆ vérification et approbation des procédures d'assemblage, de montage et de mise en place.

Pendant les travaux :

- ◆ vérification et approbation de la géométrie des assemblages aussi bien des premières tôles avant tout soudage que des montages à blanc en usine et des assemblages sur site avant soudage ;
- ◆ suivi du soudage pour s'assurer du respect des procédures de soudage aussi bien dans les usines que sur site ;
- ◆ suivi des essais non destructifs (Magnetic Tests, Ultrasonic Tests) ;
- ◆ suivi de la mise en place des ouvrages par levage, rotation – le cas du bow-string – ou poussage.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Client

- KTX Korea High Speed Rail Authority
- Yong Deuk Bae : directeur de Kimchon Site Office

Entreprise

- Daewoo Engineering and Construction et SK Construction
- Nak Yeon Hwang : Project Manager from Daewoo Construction

Supervision

- Ingérop
- Bernard Fradin : Project Manager

ABSTRACT

Supervision of exceptional structures for the Korean high-speed train system

B. Fradin, H. Khadivi

For the civil works of Korea High Speed rail project Ingérop supervised the construction of one special steel bridge with a special concept and unusual dimensions, the first works of this kind in Korea. It is an Arch bridge 125 m long and 19.4 m wide ; its weight is 2,500 t. Steel pieces were prefabricated in a specific workshop and assembled on site by welding (first time in Korea) using the Flux Core Arc Welding system (FCAW) also first time in Korea. After completion of the structure, the Arch has been turned by sliding along a transfer beam installed over the expressway, a technique initiated world wide in Korea.

RESUMEN ESPAÑOL

Supervisión de estructuras excepcionales en la línea de alta velocidad ferroviaria coreana

B. Fradin, H. Khadivi

Como parte de los trabajos contemplados para el proyecto de tren de alta velocidad TGV en Corea, Ingérop ha supervisado la construcción de un puente metálico con diseño y características muy especiales y con dimensiones poco comunes para Corea, la primera obra de este tipo en este país. Se trata de un puente en arco con 125 m de largo, 19,4 metros de ancho y un peso de 2500 toneladas. Los elementos metálicos se prefabricaron en un taller especial y luego se ensamblaron en el sitio y se solaron (primera vez en Corea). Se utilizó el sistema de soldadura de hilos en arco básico con bajo contenido de hidrogeno (FCAW). Es también la primera vez que dicho sistema se utiliza en Corea. La estructura una vez ensamblada, se transportó en su lugar definitivo, mediante rotación sobre una viga de transferencia, atravesando una autopista existente. Transferencia de esta índole es la primera vez que se realiza a nivel mundial.

Bogota

Un collecteur de transfert d'eaux usées

Un groupement d'entreprises constitué de Soletanche Bachy, de CSM Bessac, sa filiale spécialisée dans la fabrication et la mise en œuvre de tunneliers et de Conconcreto, première entreprise colombienne de BTP, a été désigné adjudicataire le 28 juin 2000 pour la construction de l'Interceptor Rio Bogota, un collecteur d'eaux usées de 2,20 m à 2,75 m de diamètre et de 10700 m de longueur.

Le contrat, initialement prévu pour la construction du collecteur en tranchée, doit aux pressions environnementales d'avoir été changé un mois avant la date de soumission en une construction "sans tranchée", permettant en outre de réduire la durée des travaux de 3 à 2 ans.

LE PROJET

Le projet, dont le client Empresa de Acueducto y Alcantarillo de Bogota (EAAB) assure lui-même le financement, consiste à collecter les eaux usées de la partie nord de Bogota (districts de Usaquen et de Suba) et de les transporter vers une nouvelle station d'épuration, alors qu'à ce jour ces eaux sont envoyées directement vers des zones marécageuses ou à la rivière Bogota.

Le contrat "clé en main" du 28 juin 2000, d'un montant d'environ 35 millions de dollars, comprend les études et l'exécution du système de transport des eaux usées depuis un point situé près de l'autoroute Nord jusqu'à la zone de Juan Amarillo, à 500 m environ de la nouvelle station de traitement d'El Salitre (figure 1).

Le collecteur a un diamètre variable de l'amont (\varnothing 2200 mm) à l'aval (\varnothing 2750 mm); le débit prévu en 2020 est de 3 m³/s au premier puits amont et de plus de 7 m³/s au niveau du canal aval.

Le flux est gravitaire avec une différence de niveau de 5,80 m entre les points extrêmes, soit une pente moyenne de 0,5 %.

La profondeur de l'ouvrage varie de 13 à 15 m. Le collecteur se termine par un canal (*box culvert*) de 385 m de longueur (tableau I).

LA GÉOLOGIE IMPOSE LA TECHNIQUE

Les terrains dans lesquels est creusée la galerie, relativement homogènes, sont constitués d'argiles molles lacustres de la Sabana de Bogota et, seulement par endroits, d'une argile plus sableuse avec présence de galets.



Figure 1
Tracé du collecteur
Lay-out of the sewer

Longueurs et diamètres des différents tronçons			
1.	Tronçon 1	\varnothing 2200	910 mètres
	Tronçon 2	\varnothing 2200	990 mètres
	Tronçon 3	\varnothing 2200	331 mètres
2.	Tronçon 5	\varnothing 2450	590 mètres
	Tronçon 4	\varnothing 2450	972 mètres
	Tronçon 6	\varnothing 2450	958 mètres
	Tronçon 7	\varnothing 2450	752 mètres
3.	Tronçon 8	\varnothing 2750	979 mètres avec courbe de rayon 800 m
	Tronçon 9	\varnothing 2750	525 mètres avec courbe de rayon 1200 m)
	Tronçon 10	\varnothing 2750	964 mètres
4.	Tronçon 11	\varnothing 2750	696 mètres
	Tronçon 12	\varnothing 2750	696 mètres
	Tronçon 13	\varnothing 2750	420 mètres
	Tunnel traditionnel (rocher)	\varnothing 2500	380 mètres
5.	Tranchée couverte	1,50 x 4,00 m	385 mètres

Tableau I
Longueurs et diamètres des différents tronçons
Lengths and diameters of the various sections

Photo 1
Tunnelier Herrenknecht
Herrenknecht TBM



Tableau II
Caractéristiques des matériels
Equipment characteristics

		EPB 2200	EPB 2450	EPB 2750
TUNNELIER (Marque : Herrenknecht)				
Longueur tunnelier	mm	7141	7145	10804
Diamètre tunnelier	mm	2680	2970	3320
Diamètre de creusement	mm	2720	3010	3360
Couple de rotation durée gauche/droite	kNm	370		750/370
Couple de rotation intermittent gauche/droite	kNm	440		1100
Vitesse de rotation réglable en continu gauche/droite	min-1	0-2,2		0-3,3/0-6,6
Nombre de moteurs d'entraînement (*électriques, **hydraulique)	u	4*		1**
Puissance d'entraînement par moteur	kW	24		315
Vitesse de rotation	min-1	1760		1560
VIS DE MARINAGE				
Diamètre nominal vis de marinage	mm	DN400		DN500
Couple de rotation durée pour 300 bars	kNm	21		30
Granulométrie maximum	mm	100		100
Ouverture trappe de vis	mm	DN400		DN400
POMPE DE MARINAGE				
Puissance d'entraînement	kW	160		225
Vitesse de rotation	min-1	1760		1785
Course des pistons	mm	1000		1000
Diamètre piston	mm	230		300
Débit maximum de marinage	m ³ /h	88		86
Pression max. de marinage	bar	85		85
Conduite de marinage		8"		8"
BATI DE POUSSÉE				
Hauteur minimum partie basse du puits/axe du tunnel	mm	1544,8	1712,3	1864
Longueur des tubes	mm	5m (2 x 2,5)		5 m (2 x 2,5)
Diamètre extérieur des tuyaux	mm	2636		3296
Nombre de vérins de poussée	u	4		4
Course vérins de poussée	mm	5.500		5.500
Force totale de poussée avec 4 vérins F	to	1400		1400
PUISSANCES INSTALLÉES ENSEMBLE DE LA MACHINE				
Tunnelier				
Puissance entraînement, roue de coupe	kW	90		340
Puissance entraînement pompe hydraulique vis de marinage	kW	30		30
Pompe de marinage				
Puissance entraînement pompe hydraulique	kW	160		225
Groupe hydraulique pour station intermédiaire				
Puissance entraînement pompe hydraulique	kW	36		36
Puissance entraînement pompe hydraulique supplémentaire	kW	26		26
Puissance entraînement pompe de guidage	kW	2,5		2,5
Groupe hydraulique de poussée principale				
Puissance entraînement pompe hydraulique vérins de poussée	kW	36		36
Puissance entraînement pompe supplémentaire	kW	36		26
Puissance entraînement pompe de guidage	kW	22		

Les caractéristiques principales de l'argile molle sont :

- ◆ limite de liquidité de 200 à 300 %;
- ◆ résistance à la compression simple de 0,5 (par endroits jusqu'à 0,2) kg/cm²;
- ◆ résistance au cisaillement de l'ordre de 2 t/m²;
- ◆ valeurs SPT de l'ordre de 1.

Il s'agit donc d'un terrain particulièrement favorable à l'utilisation de tunneliers à pression de terre. Seule exception : une zone de rocher gréseux de 380 m de longueur dans laquelle la galerie sera excavée en traditionnel.

LES MATÉRIELS

La nature des terrains a conduit le groupement d'entreprises à proposer la technique du fonçage horizontal, à l'aide de deux tunneliers à pression de terre avec marinage pâteux. Les tunneliers sont des Herrenknecht de 2970 et 3320 mm de diamètre (photo 1) dont les caractéristiques sont indiquées sur le tableau II.

A noter que les collecteurs Ø 2200 mm et Ø 2450 mm sont réalisés avec le même tunnelier Ø 2200 mm, modifié en cours de chantier avec un kit d'élargissement.

Le fonçage est réalisé à partir de puits de travail de 12 m de diamètre. La longueur maximale de fonçage entre deux puits est de 1300 m.

Le bâti de poussée transmet les efforts de fonçage au radier du puits, lui-même solidaire de la paroi moulée; cela permet de mobiliser la totalité de la structure pour reprendre la poussée du fonçage. Le guidage des tunneliers, délicat sur des longueurs pouvant atteindre 1300 m, est assuré par un système composé d'un théodolite laser motorisé et d'une cible active géré par un programme informatique dont l'ordinateur principal se trouve sur le tunnelier, le tout composant le système SLS-RV fourni par la société VMT GmbH, basé sur l'hypo-

Photo 2
Paroi moulée en cours d'exécution sur un puits d'attaque

Diaphragm-wall under construction on a starting shaft



thèse que les tuyaux suivent exactement la position du tunnelier. Les tolérances à respecter sont de ± 35 mm en vertical et ± 100 mm dans le plan horizontal.

■ LES PUIITS

Les puits, d'une profondeur moyenne de 13 m, sont excavés à l'abri de parois moulées de 25 m de profondeur (photo 2), et se répartissent comme suit :

- ◆ 6 puits de départ de 12 m de diamètre ;
- ◆ 8 puits de sortie de 8 m de diamètre ;
- ◆ 11 puits de 3,75 à 4,25 m de diamètre. Ces puits de faible diamètre sont utilisés pendant les travaux comme puits intermédiaires entre deux puits de forçage puis, en exploitation, ils servent à raccorder à la galerie les collecteurs secondaires. Ils sont excavés à l'abri d'une paroi circulaire en béton maigre.

■ QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS DU PROJET

Evacuation des déblais

Les caractéristiques de l'argile sont telles que les matériaux sont directement marinés sous forme pâteuse vers les bassins extérieurs sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des adjuvants (photo 3). Afin d'économiser une pompe-relais, ce sont des conduites de marinage de 8" qui ont été utilisées à la place des conduites 6" ou 7" initialement prévues.

Bâti de poussée (photo 4)

Au départ d'un "drive", la poussée est exercée par quatre vérins télescopiques de 350 t chacun et de 5,50 m de course.

Les stations de poussée intermédiaires sont équipées de 16 vérins de 85 t et de 70 cm de course (photo 5).

Deux tuyaux sont foncés simultanément ce qui permet de réduire le temps d'ajout des tubes.

Tuyaux (photo 6)

Les tuyaux en béton armé, coulés verticalement, sont produits dans une usine locale aux normes BS 5911 Part 120. La production moyenne est d'environ vingt tuyaux par jour.

■ AVANCEMENT DU PROJET

Après environ 6 mois de travail depuis l'arrivée des deux tunneliers, respectivement en janvier et février 2001, les avancements sont conformes au planning général (fin des travaux en juin 2002) avec



Photo 3
Sortie du marinage pompé
Outflow of the pumped material



Photo 4
Bâti de poussée
Thrust frame



Photo 5
Station de poussée intermédiaire
Intermediate thrust station



Photo 6
Tuyaux en BA
RC pipes

► même un espoir sérieux de terminer en avance sur les délais.

Le chantier travaille six jours par semaine à 24 heures par jour non-stop.

L'équipe "tunnels" proprement dit comprend quatre-vingt personnes dont sept expatriés, presque tous de CSM Bessac.

■ CONCLUSION

Le choix du maître d'ouvrage, Empresa de Acueducto y Alcantarillo de Bogota, de faire appel à la technique "sans tranchée" sur ce projet initialement prévu en traditionnel s'avère à ce jour tout à fait judicieux si l'on en juge par les rendements réalisés et le respect du planning malgré quelques difficultés de démarrage des travaux, liées surtout à l'obtention des autorisations diverses pour les déviations de réseaux.

Ce projet de collecteur, le premier en Colombie utilisant la technique du tunnelier, devrait ouvrir la voie vers de nombreux autres travaux similaires tant à Bogota que dans d'autres capitales d'Amérique du Sud.

ABSTRACT

Bogota - A sewage transfer drain

M. Guillaud, J.-N. Lasfargue, B. Théron

The JV Soletanche Bachy - CSM Bessac - Concreto is currently installing a 10,700 m long - 2 200 to 2 750 mm diameter waste water tunnel at Bogota, Colombia, using two Herrenknecht TBM's.

The scheduled construction time is 18 months; the current production rates allow to hope an even earlier completion date.

The clayey soils are very suitable for the use of EPB shield machines and the excavated material can be easily pumped out without using additives.

A motor-driven laser theodolite is used for the guidance of the two TBM's.

RESUMEN ESPAÑOL

Bogotá - Colector de transferencia de aguas residuales

M. Guillaud, J.-N. Lasfargue y B. Théron

En Bogotá, – capital de Colombia – la agrupación de empresas Soletanche Bachy - CSM Bessac - Concreto, está construyendo un colector de aguas residuales de una longitud de 10,700 m y un diámetro que oscila entre 2,200 a 2,750 mm, mediante dos perforadoras de túneles (tuneleras) de marca Herrenknecht.

El proyecto consideraba una duración efectiva de las obras de 18 meses; los rendimientos actualmente alcanzados en la mitad de trayecto permiten esperar que los plazos serán respetados, e incluso, mejorados.

Efectivamente, la naturaleza arcillosa de los terrenos es sumamente favorable para la utilización de las tuneleras a presión de tierra con un sistema de evacuación de los productos por bombeo de una gran eficacia y sin necesidad de aportación de productos de adición. Un sistema de guiado por teodolito láserico motorizado permite el guiado de las tuneleras.

Agenda

■ 6^e Mondial des Métiers

Le salon de l'Orientation, de la formation et de l'information, aura lieu du 31 janvier au 3 février 2002 à **Lyon-Eurexpo**. Il s'adresse à un large public de jeunes (collégiens, lycéens et étudiants), ainsi qu'aux demandeurs d'emplois. Les métiers du bâtiment et des travaux publics seront représentés. Plus de 300 métiers sont à découvrir et 120 000 visiteurs sont attendus.

Contact :

Tél. : +33 (0) 4 72 59 44 66
Fax : +33 (0) 4 72 59 43 55
e-mail : arom@mondial-metiers.com
Internet : www.mondial-metiers.com

■ 9^e Conférence internationale sur les pieux et les fondations profondes

Celle-ci se tiendra du 3 au 5 juin 2002 à **Nice Acropolis**. Cette conférence est co-organisée par la Fédération européenne des entrepreneurs de fondations, le Comité français de mécanique des sols (CFMS) et la Fédération des entreprises françaises de fondations profondes (Soffons).

Contact : Françoise Bourgain, ENPC

Tél. : +33 (0) 1 44 58 28 22
Fax : +33 (0) 1 44 58 28 30
e-mail : bourgain@mail.enpc.fr

■ Ifat 2002

Le 13^e salon international de l'Environnement et de la dépollution (eaux, eaux usées, déchets et recyclage), aura lieu du 13 au 17 mai 2002 au nouveau parc des expositions de Munich (Allemagne). Deux mille exposants provenant de plus de 40 pays sont attendus sur une surface d'exposition de plus de 160 000 m².

Contact : Messe München GmbH

Tél. : + 4989 949 11358
Fax : + 4989 949 11359
e-mail : info@ifat.de
Internet : www.ifat.de

■ Europlast 2002

Le 12^e salon international des Plastiques, du caoutchouc et des matériaux composites, se tiendra du

3 au 7 juin 2002 au **Parc des expositions de Paris Nord**.

Ce salon est structuré en sept grands secteurs :

- matières,
- machines de première et deuxième transformation,
- moules et outillages,
- équipements et périphériques,
- matériels de laboratoire mesures et essais,
- transformateur produits finis et semi-finis,
- services de transformations et services à l'industrie.

Contact : Europlast

Tél. : +33 (0) 1 55 21 34 38
Fax : +33 (0) 1 55 21 34 29
Internet : www.europlast-paris.com

■ BIBM 2002

Le 17^e congrès international de l'industrie du béton, aura lieu du 1^{er} au 4 mai 2002 à Istanbul (Turquie) et sera organisé par l'Association turque de béton préfabriqué (TPB) sur le thème du développement durable de la préfabrication en béton.

Contact : Bibm

Tél. : +90 212 219 39 39
Fax : +90 212 225 66 23
e-mail : bibmscientific@yem.net

■ Intertraffic 2002

Le congrès du tunnel du rail et du trafic ferroviaire, Intertraffic aura lieu du 15 au 18 avril 2002 à **Amsterdam** (Pays-Bas).

Six cents exposants et 25 000 visiteurs sont attendus.

Contact : Intertraffic

Tél. : +31 (0) 30 6933 489
Fax : +31 (0) 30 6917 394
Internet : www.intertraffic.com

■ Intertraffic 2002 Asia

Ce forum international pour la conception, le management, la maintenance et la construction des infrastructures de transport se déroulera du 12 au 14 juin 2002 à **Bangkok** (Thaïlande).

Contact : Intertraffic Asia 2002

Tél. : +66 (2) 960 0141
Fax : +66 (2) 960 0140
e-mail : intertrafficasia@bkkrai.com

Nominations

• **Xavier Bezançon**, 47 ans, diplômé de l'EIP de Paris, docteur en droit et ès sciences économiques, sera nommé le 1^{er} janvier 2002 au poste de délégué général d'EGF-BTP, et remplacera **Alain Kergall**.

• **Anne Bolliet**, inspecteur général des finances, ancien conseiller auprès de Jean-Claude Gayssot, ministre de l'Équipement, des Transports et du Logement, est nommée directeur général du Syndicat des transports d'Ile-de-France (STIF) par décret du président de la République.

• **François Bordry**, 54 ans, diplômé de l'Institut d'études politiques de Paris, est reconduit à la présidence des Voies navigables de France. Il avait été nommé président de l'établissement public en 1994.

• **Rémy Chardon**, ancien président de la société ATMB (Autoroutes et tunnel du Mont-Blanc) a été nommé p.-d.g. de la SAPN (Société des Autoroutes Paris-Normandie) en remplacement de **Jean Mesqui**.

• **Pierre Chassigneux**, 60 ans, préfet hors cadre, président de l'Association technique de l'importation charbonnière (Atic) s'est vu confier la présidence d'Aéroports de Paris (ADP), en remplacement d'**Yves Coussquer**, ingénieur général des ponts et chaussées et président d'honneur de la Poste.

• **Patrick Leleu**, 46 ans, polytechnicien, directeur général de Bouygues Telecom depuis 1994, vient d'être nommé président directeur général de Noos, marque commerciale de Suez Lyonnaise Telecom. Il succède ainsi à **Gilles Pelisson** qui a pris la direction de Bouygues Telecom.

• **Hubert du Mesnil**, 51 ans, polytechnicien, ingénieur général des ponts et chaussées, directeur des transports terrestres au ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement depuis 1995 a été nommé directeur général des Aéroports de Paris (ADP). Il succède à **Emmanuel Duret**.

• **Philippe de Pins**, président du Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES),

vient d'être nommé p.-d.g. de l'entreprise SEE Si-méoni.

- **Patrice Raulin**, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ancien directeur régional et départemental de l'Equipement de la région Rhône-Alpes a été nommé directeur des transports terrestres au ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports, en remplacement de **Hubert du Mesnil**.

- **Gilbert Santel**, 53 ans, ingénieur général des ponts et chaussées, ancien directeur général de l'Administration et de la fonction publique, président de la société des Autoroutes Rhône-Alpes (Area) et de la Société française du tunnel routier du Fréjus a été nommé président de la Société du tunnel sous le Mont-Blanc. Il remplace à ce poste **Rémy Chardon**.

- **Jacques Wermuth**, 54 ans, directeur de l'entreprise France-Lanord et Bichaton à Nancy, diplômé de l'Ecole nationale des beaux-arts de Nancy, a été élu président de l'Union de la maçonnerie et du gros œuvre de la FFB.

■ Bouygues Construction met en place une nouvelle organisation

Jean-Pierre Combet, président de Bouygues Construction a mis en place une nouvelle organisation du pôle BTP du groupe, au terme de laquelle l'actuel directeur général délégué, **Michel Cote**, dirige désormais l'ensemble des activités de Bâtiment international et Travaux publics.

René Jacquot actuel directeur général des Entreprises France Europe aura également en charge les activités bâtiment du groupe en Ile-de-France.

Hervé Le Bouc, président de Bouygues Offshore supervise également les activités Para Energie et Electricité de Bouygues Construction.

Jacques Leost, actuel Chief Operating Officer de l'entreprise, devient directeur général de Bouygues Offshore.

Gaëtan Desruelles, actuel directeur général de l'ETDE est confirmé dans ses fonctions.

■ Nominations à la direction de GTIE (groupe Vinci)

Le p.-d.g. du groupe GTIE, **Christian Peguet** a procédé aux nominations suivantes :

- **Jean-Yves Le Brouster**, directeur général adjoint du groupe, prend la présidence de Citeos ;

- **Jean-Marie Dayre**, **François-Xavier Hanicotte**, **François Le Moullec** et **Philippe Touyarot** sont nommés directeurs généraux adjoints et accèdent respectivement à la présidence d'Actemium, Gramiou et d'Ommexon, d'Opteor et d'Axians.

Jean-Claude Raymond a été nommé président de Tunzini (génie climatique).



■ Réorganisation au sein du CSTB

Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) établissement public à caractère industriel et commercial (Epic), sous la houlette de son nouveau directeur **Bertrand Delcambre**, se réorganise en départements autour de quatre grands thèmes : enjeux de société, ouvrages et confort, produits et techniques de construction et industries de l'information. Il est créé un service "marketing et actions internationales" pour mieux répondre aux attentes des clients et partenaires privés et publics et s'ouvrir encore plus sur les voisins européens et les pays non européens.

■ Agence de l'eau Adour-Garonne

Le Conseil d'administration de l'Agence de l'eau Adour-Garonne alloue 160 millions d'euros dans le grand Sud-Ouest pour les travaux d'aménagement des ressources en eau et de réduction des pollutions.

■ Saint-Gobain lance son portail internet

Saint-Gobain, fabricant et distributeur de verre, matériaux de construction et emballage, a lancé en France "Build2pro", son portail multiservices internet pour les professionnels du bâtiment. Ce portail se déploiera progressivement dans tous les pays où sont situées les enseignes de Saint-Gobain.

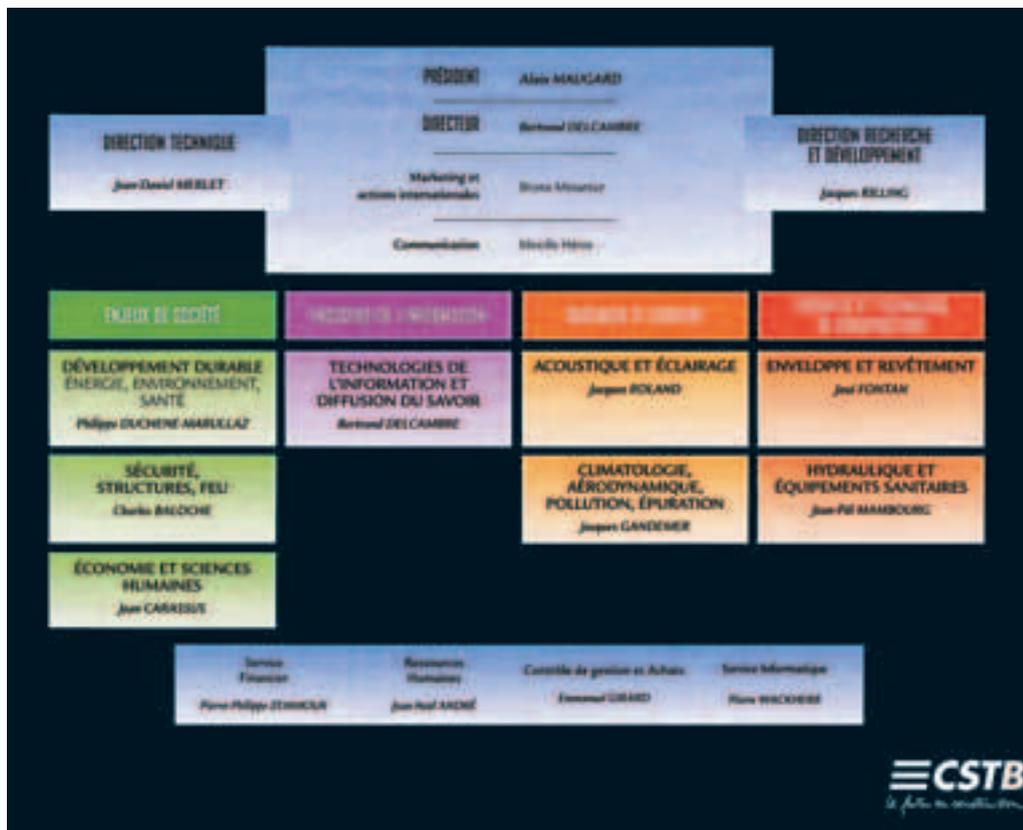
■ Le Port autonome de Paris sécurise ses entrepôts

Le Conseil d'administration du Port autonome de Paris, établissement public de l'Etat, vient d'approuver l'engagement d'un important programme d'équipement en installation d'**extinction automatique à eau (sprinklage)** de ses entrepôts. Au titre de ce programme, 180 000 m² d'entrepôts et de bureaux seront protégés, s'ajoutant aux 65 000 m² déjà équipés ou dont l'équipement est prévu dans les projets en cours de réalisation.

■ Philips réalise l'illumination permanente du Château de Versailles

Cette réalisation a eu lieu le 23 octobre 2001. Ce projet exceptionnel a été possible grâce au mécénat de Philips.

Cette mise en lumière créative privilégie trois séquences majeures au sein de la grande composition du château : l'entrée par la grille d'honneur, la montée par la Cour d'Honneur vers le Château,



Réorganisation au sein du CSTB

avec l'apparition de la Chapelle Royale et le cœur du Palais, depuis la Cour Royale pour centrer l'attention vers la Cour de Marbre.



Illumination de la Chapelle Royale

© J. Evenou

■ Projet de Loi

Jean-Claude Gayssot, ministre de l'Équipement, des Transports et du Logement a présenté en première lecture au sénat un projet de loi relatif à la **sécurité des infrastructures et systèmes de transport** et aux enquêtes techniques après événement de mer, accident ou incident de transport terrestre.

■ Amendement

Les sénateurs ont adopté un amendement du gouvernement visant à **créer un délit de récidive pour le non respect des distances de sécurité dans les tunnels**. La récidive dans le délai d'un an pourra être sanctionnée d'une peine d'emprisonnement de 3 mois et d'une amende de 3 750 euros. Le conducteur sera également passible d'une suspension du permis de conduire de 3 ans et d'un retrait de 6 points du permis de conduire. La première infraction sera sanctionnée par une contravention de 5^e classe (1 500 euros) que le gouvernement va instaurer par décret dans un délai de six mois maximum.

Ce dispositif s'inspire de celui créant le délit de grand excès de vitesse dans la loi sur la sécurité routière du 18 juin 1999.

Ce nouveau texte permettra de sanctionner rapidement et efficacement les manquements à la règle. Les distances à respecter entre les véhicules sont fixées par un décret.

De manière générale, cette distance est d'autant plus grande que la vitesse est élevée et corres-

pond à la distance parcourue par le véhicule dans un délai d'au moins deux secondes (soit 28 m à 50 km/h, 50 m à 90 km/h, 62 m à 110 km/h et 73 m à 130 km/h).

Pour les véhicules de plus de 3,5 tonnes hors agglomération, la distance sera au minimum de 50 m. Enfin pour les ouvrages routiers présentant des risques particuliers comme les tunnels, les distances pourront être augmentées.

A noter que pour les tunnels du Mont-Blanc et de Fréjus, il est déjà prévu une distance de sécurité de 150 m en marche et 100 m à l'arrêt pour les poids lourds. Cette distance sera portée à 1200 m pour deux autocars qui se suivent. Pour les tunnels transfrontaliers, la possibilité sera donnée aux forces de l'ordre d'intercepter et de sanctionner les contrevenants sur toute la longueur des tunnels, de part et d'autre de la frontière française.

■ La Garantie des accidents de la vie (GAV) s'ouvre aux artisans du BTP et à leurs familles

Les mutuelles du bâtiment et des travaux publics (groupe SMABTP, groupe Camacte, l'Auxiliaire) et Pro BTP, le groupe de protection sociale du BTP, ont signé le 24 octobre 2001, un accord portant

sur une nouvelle offre qui vient compléter la gamme actuelle : la Garantie des accidents de la vie qui garantit et assiste l'adhérent, son conjoint ou concubin et ses enfants (fiscalement à charge) contre : les accidents de la vie privée, les attentats et infractions, les catastrophes naturelles et technologiques et les accidents médicaux.

Contact : Groupe SMABTP
Tél. : +33 (0) 1 40 59 76 55
: +33 (0) 1 40 59 79 59

■ TP tech 2003

Le 2^e salon des technologies de travaux publics se tiendra à **Paris au CNIT de Paris La Défense du 11 au 13 mars 2003.**

Avec plus de 3000 visiteurs, près de 130 exposants et plus de 1000 participants au congrès 2001, la première édition de TP tech a atteint ses objectifs. Les deux principaux partenaires, La FNTP et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ont confirmé leur intérêt à rassembler dans une même manifestation l'ensemble des techniques de travaux publics. Pour 2003, l'objectif reste la promotion de ces techniques au travers d'une exposition et d'un congrès principalement destinés aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre et aux entreprises.

■ ASF lance l'option "Préférence" de Liber-t

Depuis début novembre 2001, Autoroutes du Sud de la France (ASF), avec sa nouvelle option "Préférence" de Liber-t, propose aux particuliers de bénéficier chaque mois de passages gratuits au péage sur son réseau. Le principe est simple : tous les six passages au péage sur un même trajet inférieur à 50 km, le **6^e passage est gratuit.** Cette option est gratuite.

Contact : ASF
Tél. : +33 (0) 810 817 810
Internet : www.asf.fr

■ Still & Saxby

Cette entreprise vient de mettre en place un **système de documentation électronique** novateur et interactif. Baptisé Steds (*Still electronic documentation system*), ce système permet le diagnostic des pannes et la commande des pièces de rechanges.

Il offre aux techniciens la possibilité de vérifier, en ligne et en temps réel, via leur GSM, la disponibilité des pièces de rechange et de passer commande, comme sur Internet grâce à un système de liens hypertextes et de points d'entrée facilitant la recherche. La documentation sur papier

est ainsi considérablement réduite ainsi que les délais d'intervention.

Contact : Still & Saxby
Tel : +33 (0) 1 64 36 33 29
Fax : +33 (0) 1 64 36 33 35

■ Lafarge : Informer, accompagner, rapprocher... 2001 l'année des métiers

En 2001, le groupe Lafarge a lancé la **Place des métiers** qui s'adresse à tous les acteurs de la construction, en proposant une offre globale de services totalement novatrice et en mettant en œuvre de multiples moyens :

- **des sites Internet** propres à chaque métier : www.batissor.com pour les artisans et entrepreneurs ; www.creargos.com pour les prescripteurs, www.maxitel.com pour les négociants ;
- **Allo Lafarge**, une assistance téléphonique pour répondre à toutes les questions ;
- le Forum Lafarge, un lieu privilégié d'information, d'animation et d'échanges ;
- **l'Entrevous**, la magazine des artisans et entrepreneurs adhérents du forum.

Par ailleurs, chaque unité du groupe mène également des actions auprès des différents publics

professionnels (créations de sites Internet, éditions de brochures, CD Rom, logiciels et élaboration d'outils d'aide à la vente).

Contact : Groupe Lafarge
Tél. : +33 (0) 1 44 34 94 14
: +33 (0) 1 44 34 19 47
Fax : +33 (0) 1 44 34 12 23

■ Inventaire eau potable : premiers résultats sur 800 000 km

Fruit d'une collaboration née fin 1999, entre les ministères de l'Aménagement du territoire, de l'Agriculture, l'ADF, les agences de l'Eau et Canaliseurs de France, l'Inventaire des patrimoines des réseaux d'eau potable – 800 000 km en France – vient de s'achever sur huit départements tests (Allier, Aveyron, Hérault, Indre-et-Loire, Manche, Bas-Rhin et Somme).

Une synthèse a été éditée sous forme de plaquette (disponible auprès des canaliseurs de France ; Tél. : +33 (0) 1 45 63 26 08), dont la finalité est de présenter la méthode, les objectifs de l'étude, les coûts de réalisation, les apports... de façon à sensibiliser les départements non encore engagés dans cette démarche sur l'intérêt de la conduire.

■ Elyo

Pour la première fois, cette filiale de Tractebel, pôle énergie de Suez, a mis en service **une microturbine en exploitation industrielle** en France. Cette turbine, installée sur le réseau de la société versaillaise de chauffage urbain, filiale d'Elyo Ile-de-France, fonctionne selon le principe de la cogénération et permet une production d'énergie avec un excellent rendement, réduisant par ailleurs considérablement les émissions de polluants. Alimentée en gaz naturel, la turbine produit conjointement de l'électricité et de la chaleur.

Contact : Elyo
Tél. : +33 (0) 1 41 20 12 92
e-mail : jean-marc.souvre@elyo.fr

■ Liebherr

Des grues spéciales du constructeur allemand ont été utilisées pour remonter le **sous-marin atomique Kursk** marquant ainsi la participation de cette entreprise aux opérations de récupération du sous-marin russe qui avait sombré dans la mer de Barents en août 2000 à la suite d'une explosion à bord.

Deux grues sur chenilles de type HS 883 HD d'une capacité de levage respective de 120 tonnes y ont été installées. Elles ont servi à remonter et à des-

demathieu & bard
TRAVAUX PUBLICS • BATIMENTS

Une tradition de la qualité

17, rue Venizélos • BP 80330 • 57953 Montigny-lès-Metz CEDEX • t. 03 87 66 73 11 • f. 03 87 63 84 06 • e-mail : infos@demathieu-bard.fr • www.demathieu-bard.fr

prendre l'outillage et les équipements pour les travaux au fond de la mer.

Les grues sur chenilles étaient également prêtes au cas où la séparation de la proue au fond de la mer aurait échoué.

■ Groupe Moniteur

Cette entreprise lance un service *on line* consacré aux produits **Batiproducts**.

Il s'agit d'un outil d'aide à la sélection de 50 000 produits de la construction. Batiproducts est constitué d'une **base de donnée** de ces produits et est destiné aux prescripteurs et acheteurs de la construction : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre – avec les architectes comme cœur de cible – bureaux d'études, entreprises et sous-traitants négociants.

C'est aujourd'hui la seule base existante **avec une nomenclature produits** et non pas fabricants, facilitant dès lors le mode de recherche selon cinq axes différents ; ceci pour une meilleure efficacité en fonction des besoins : par bâtiment, nom de produit, corps d'état, produits similaires et produits nouveaux. Les industriels fabricants peuvent également faire valoir leurs produits et services dans le **cadre d'espaces de communication personnalisés**.



Le groupe Moniteur lance un service *on line* consacré aux produits Batiproducts

■ Prosign

Pionnier dans le domaine des peintures routière en phase aqueuse, Prosign vient d'obtenir le **label NF Environnement**, produits de signalisation horizontale, pour l'ensemble de ses produits à l'eau.

Contact : Prosign

Tél. : + 33 (0) 811 90 68 35

Fax : +33 (0) 1 47 85 02 47

e-mail : info@prosign.fr

Internet : www.prosign.fr

■ "Ville sans tranchée" (VST 2001)

Ce salon s'est déroulé du 2 au 4 octobre 2001 à Rosny-sous-Bois, sous le patronage de l'Association des maires d'Ile-de-France, de l'Agence de l'Eau Seine Normandie, du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et du Conseil général de Seine-Saint-Denis. Il a remporté un vif succès, reçu près de 1 800 visiteurs et a favorisé la rencontre de 73 sociétés ou organismes qui ont exprimé leur satisfaction. Les conférences, animées par 26 intervenants,

ont rassemblé 330 auditeurs sur les trois jours. Quant aux démonstrations "in vivo", variées et performantes, elles ont contribué largement au succès de la manifestation.



Pont-basculer Mettler

■ Mettler Tolédo

Ce spécialiste du pesage présente son nouveau **logiciel de pesée OverDrive** version 1.0. Développé sous Java, OverDrive vient compléter et renforcer les solutions de pesage pour ponts-basculer rail/route. Il se caractérise par une très grande puissance de paramétrage et une forte adaptabilité.

Contact : Mettler

Tolédo

Tél. : +33 (0) 1 30 97 16 77

e-mail : Christine.baconnet@mt.com

■ Ciments Calcia : un nouveau système de filtration

L'usine de Cruas de Ciments Calcia a procédé à la levée d'un **nouveau filtre** permettant d'équiper son four de matériel plus moderne et plus performant. Le filtre a été levé par une grue de 300 tonnes avec une flèche longue de 60 mètres, puis déposé sur la ligne de cuisson de la cimenterie après une rotation de 90° au-dessus des ateliers existants.



Ciments Calcia : usine de Cruas

© Cédric Prat

Projets - Chantiers Entreprises

■ Ondéo Dégremont gagne un nouveau contrat

La filiale de Suez a remporté la construction de la station d'épuration de Milan-Sud (Italie) et va permettre de dépolluer les eaux usées de plus de deux millions d'habitants. D'un montant total de 100 millions d'euros, ce contrat comprend également l'exploitation de la station pour une durée de deux ans.

■ Le revêtement du pont des Arts à Paris va être changé

Cet édifice, construit en 1983, sera complètement rénové dans un an. L'ouvrage dont le revêtement est composé de planches de bois présentait de sérieux signes d'usure. Le coût de la rénovation est estimé à près de 600 000 euros.

■ Ciments Calcia certifié Iso 9001, version 2000

Le groupe, seul cimentier français à être certifié Iso 9002 sur l'ensemble de ses activités depuis 1997, poursuit son engagement pour la qualité. En avril 2001, le siège situé à Guerville, l'usine de Gargenville, ainsi que les agences Nord-Est et Ile-de-France ont obtenu la certification Iso 9001, version 2000. Depuis septembre 2001, Socli, filiale Chaux de Ciments Calcia, bénéficie également de cette reconnaissance.

■ Elyo double de taille en Italie

Elyo (Tractebel, pôle énergie de Suez) poursuit son développement en Italie en reprenant les participations majoritaires d'ERG, premier groupe pétrolier privé italien, dans deux sociétés italiennes de services à l'énergie : Restiani et Tre G.

Ces deux entreprises exercent leurs activités dans le nord de l'Italie et devraient respectivement réaliser au cours de l'année 2001, un chiffre d'affaires de 124 millions d'euros et 49 millions d'euros.

■ Bouygues Offshore

L'entreprise vient de remporter l'appel d'offres, partie gros œuvre pour la construction du **pont de l'Approuhage** entre Régina et Saint-Georges au sud de la Guyane. Le montant de l'investissement avoisine les 10 millions d'euros (65 millions de francs).

■ Colas remporte un contrat en Roumanie

Le groupe routier Colas, via sa filiale roumaine a remporté un contrat d'environ 50 millions d'euros pour réaliser un **tronçon de l'autoroute** qui doit relier Bucarest à Constantza.

Ce **chantier de 42 km** va s'accompagner de la construction de **12 ouvrages d'art**. Les travaux ont débuté en novembre 2001 et doivent s'achever en octobre 2004.

■ Berlin

La Ville de Berlin vient de lancer un programme de travaux de 3,6 milliards d'euros pour soutenir le BTP. Le gouvernement allemand va permettre au secteur privé de participer au financement de la construction d'autoroutes. C'est la future vignette autoroute pour les camions qui contribuera à financer pour moitié les dépenses ; ceci pour permettre de **soutenir le secteur du BTP** en grande difficulté en Allemagne et également de réduire les embouteillages souvent très importants. Il ne s'agira pas de créer des sections à péage, mais d'**élargir à 2 x 3 voies entre 6 et 11 sections existantes**, représentant un total de 550 km et d'en assurer la maintenance.

■ Ondéo et Corporation Biolix signent un accord de partenariat

La filiale de Suez et la société canadienne viennent de signer un important accord de partenariat technologique et commercial dans le domaine du traitement des boues d'épuration. Cette convention prévoit l'adaptation au marché français d'un **procédé technologique inédit de traitement des métaux lourds**, dénommé "Metix". Son industrialisation et sa commercialisation seront assurées en France par Lyonnaise des Eaux France (filiale de Ondéo Services).

Contact : Ondéo

Tél. : +33 (0) 1 58 18 43 27

e-mail : pascal.busch@lyonnaise-des-eaux.fr

■ Bouygues Construction : une première concession autoroutière en France

La filiale de Bouygues devient donc concessionnaire dans son propre pays suite à la convention qui a été signée le 12 novembre 2001 par Jean-Claude Gayssot, ministre de l'Équipement, du Logement et des Transports. De ce fait, la convention confie définitivement la concession à Alis, filiale commune de Bouygues Construction (à 65 %), la Caisse des Dépôts (à 35 %) **la réalisation d'une section de 125 km d'autoroute entre Rouen et Alençon**, dernier tronçon de la A 28 qui relie Caen à Boulogne. Le coût de la réalisation est fixé à 793 millions d'euros (5,2 milliards de francs). La durée des travaux est prévue jusqu'à fin 2005.

■ Europipe décroche un contrat en Afrique du Sud

Un contrat de 135 millions d'euros a été attribué fin septembre par Sasol (le géant pétrochimique Sud-Africain) à un consortium formé entre Marubeni-Itochu (Japon) et Europipe (France) pour la fourniture d'environ **865 km de tubes acier revêtus**, pour transporter du gaz naturel depuis le Mozambique jusqu'en Afrique du Sud.

■ Normelec publie un nouveau guide

Le guide **3E Normelec** s'adresse aux professionnels des installations électriques basse tension de l'industrie et du tertiaire (concepteurs, metteurs en œuvre, vérificateurs, ingénieurs, techniciens de maintenance, constructeurs et formateurs).

Ce guide est divisé en deux tomes :

- tome 1 : établissements recevant des travailleurs ;
- tome 2 : établissements recevant du public.

Contact : Normelec
Tél. : +33 (0) 1 44 92 50 50
Fax : +33 (0) 1 44 92 50 51

■ CFTR

Le Comité français pour les techniques routières vient de diffuser deux documents :

- l'Avis technique n° 126 - **Multi-phalte 35/50** (liant d'enrobage) de la société Shell ;
- la note d'information n° 4.3 "**Influence de la couche de roulement**

de la chaussée sur le bruit du trafic routier (dans le but de réduire l'exposition sonore des riverains).

Contact : CFTR
Tél. : +33 (0) 1 46 11 34 12
Fax : +33 (0) 1 46 11 36 92
e-mail : cftr@setra.fr

■ Conduite en sécurité

Le service de prévention des risques professionnels de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (Cramif) a édité un **Guide Pratique** abordant la conduite en sécurité des équipements de travail mobiles automoteurs et de levage (grues à tour, nacelles élévatrices, chariots de manutention...).

Contact : Cramif
Tél. : +33 (0) 1 40 05 37 68
e-mail : marie-odile.cazer@cramif.cnamts.fr

■ Le Setra édite trois notes d'information

Dans la série "**Circulation, sécurité, équipement d'exploitation**" :

- la note d'information n° 121 "Séparateurs modulaires de voies" (référence E 0108);

- la note d'information n° 122 3 "Dispositions particulières pour l'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainants" (référence E 0110). Dans la série "**Chaussées, dépendances**" :
- la note d'information n° 111 "Les produits absorbants destinés à un usage routier" (référence D 0118).

Contact et bureau de vente : Setra
Tél. : +33 (0) 1 46 11 31 53
Fax : +33 (0) 1 46 11 35 55

■ Le Cated publie un nouvel ouvrage technique

Cette publication intitulée "**Sécurité Incendie - Exigences réglementaires**" réunit dans un même ouvrage les références des textes applicables et leurs exigences pour : les bâtiments d'habitation, les établissements recevant du public, les immeubles de grande hauteur, les lieux de travail et les parcs de stationnement. Il est en vente au Cated au prix de 72,41 euros TTC franco de port (475 F).

Contact : Cated
Tél. : +33 (0) 1 30 85 24 64
Fax : +33 (0) 1 30 85 24 79
e-mail : cated@cated.fr
Internet : www.cated.fr

matériels et matériaux

Matériaux

■ Bostik Findley présente ses nouveaux produits

Le fabricant de colles et de mastics a présenté à Batimat deux mastics de collage et d'étanchéité polyvalents **MS 107** et **MS 108** qui conjuguent utilisation simple et excellente adhérence, y compris sur surface humide. Un CD-Rom "Guide de choix" est également proposé et offre aux négociants partenaires un outil sur support numérique, à la fois simple à utiliser et convivial dans son architecture.

Contact : Bostik Findley
Tél. : +33 (0) 5 46 50 15 15 - 6
Fax : +33 (0) 5 46 50 15 19
e-mail : Nicole.Schilling.comm@wanadoo.fr
internet : www.n-schilling.com

■ Advens équipe en train sur pneus le plus grand tunnelier du monde

La société française, sise à Montceau-les-Mines, vient de réaliser et de mettre en service sur site le premier des huit trains sur pneus **TSP 90**, destinés au chantier du **tunnel TGV de Groëne Hart** en Hollande. Les trains sur pneus Advens TSP 90 sont destinés à transporter : les voussoirs, les éléments de galerie, les trémies agitricées de mortier de bourrage, les trémies sable ciment, les toupies de béton, etc.



TSP 90 Advens

■ Alphacan lance un nouveau matériau

Alphacan PE Anti contamination System, est un tube qui protège l'eau potable de la pollution existante ou imprévisible du terrain. Cette innovation garantit, par son transport sécurisé de l'eau, un habitat sain.

Contact : Alphacan
Tél. : +33 (0) 1 30 82 58 00

■ Celloplast

L'entreprise propose des **solutions en mailles pour la construction** signées Intermas. Ces deux sociétés, espagnole et française, l'une spécialisée dans la production de mailles plastiques fa-



Celloplast : protection échafaudage

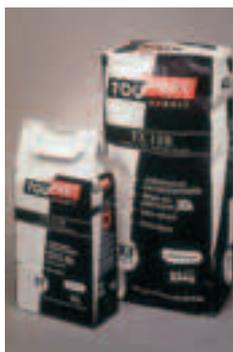
briquées par extrusion, l'autre sur le marché français des matières plastiques pour le jardinage, ont uni leur savoir-faire et leur expérience pour proposer des produits dans le secteur du BTP : grillages de balisage, brise vue, grilles pour enduit fibre de verre, grilles pour enduits, grilles de protection pour échafaudage.

Contact : Celloplast
Tél. : +33 (0) 2 43 64 14 14
Fax : +33 (0) 2 43 98 49 97
Internet : www.celloplast.fr

■ Toupret lance un nouvel enduit de rebouchage intérieur

Spécialement conçu pour reboucher en intérieur, trous et fissures, sur tous supports secs et cohésifs, **le TX 110** est un produit en poudre qui offre aux professionnels l'assurance de passer à la phase de recouvrement ou la mise en peinture en moyenne trois heures après son application. Toupret TX 110 a reçu la médaille d'or au prix de l'innovation Batimat 2001.

Contact : Toupret
Tél. : +33 (0) 1 69 47 20 20
Fax : +33 (0) 1 60 75 87 11
e-mail : toupret@toupret.fr



Toupret TX 110

Celloplast : grillage de balisage



Matériels

■ Haemmerlin propose ses nouvelles brouettes

Le premier producteur mondial de brouettes propose aux professionnels et bricoleurs les brouettes de la **gamme Optimax Confort** qui allient robustesse et confort. Dotées d'un amortisseur exclusif breveté, les chocs et vibrations sont ainsi absorbés ; leur permettant d'accéder sur n'importe quel terrain en toute facilité.

Contact : Haemmerlin SA
Tél. : +33 (0) 3 88 01 85 00
Fax : +33 (0) 3 88 71 18 01
e-mail : haemmerlin-sa@haemmerli.com



Haemmerlin Optimax 4079 XCG

■ Honda présente ses nouveaux groupes électrogènes

Le constructeur japonais vient de lancer ses derniers-nés :

- le **EU 20 I** (poids 21 kg, compact, d'une puissance de 2 000 VA, niveau sonore : 81 dB(A), d'une autonomie de



Groupe électrogène Honda : EU 20 I



Groupe électrogène
Honda :
EC 2100

10 heures à 400 VA) et doté du courant de technologie Inverter;

- le **EC 2100**, spécial jardinage et bricolage.

Contact : Honda
Tél. : +33 (0) 2 38 65 07 66
Fax : +33 (0) 2 38 65 06 05
e-mail : Hamon.sophie@honda-eu.com

■ Proxitherm : un nouveau détecteur de CO

Le spécialiste de l'entretien des équipements de confort thermique propose ce détecteur de monoxyde de carbone qui a la taille d'une cassette musicale et dont la particularité est d'être équipé d'une alarme sonore et d'un écran à affichage numérique. Ce matériel vient en outre d'obtenir le **Grand prix de l'Innovation** au salon de la copropriété.

Contact : Proxitherm
Tél. +33 (01) 41 49 52 00
Fax : +33 (0) 1 47 39 48 29

■ Pinguely-Haulotte élargit encore sa gamme

Le groupe Pinguely-Haulotte, premier constructeur européen et n° 3 mondial de la nacelle élévatrice

de personnes, complète sa gamme en présentant deux nouvelles nacelles télescopiques : la **H 14 TX** et la **H 16 TPX** conçues pour répondre à tous travaux en hauteur de 14 et 16 m et adaptées aux travaux de charpente métallique.

Pinguely-Haulotte : nouvelle nacelle télescopique 4WD H16 TPX



Contact : Pinguely-Haulotte
Tél. : +33 (0) 4 77 29 21 58
e-mail : ilaplume@haulotte.com

UNE GAMME COMPLÈTE DE GÉOMEMBRANES



géomembranes PVC
géomembranes PP



géomembranes polyoléfin
géomembranes PEHD et PEBD



- Travaux hydrauliques
- Travaux souterrains
- Travaux de l'environnement

Photo : Bassin d'irrigation
aux Canaries 250 000 m²



Roissypole - Le Dome - 5 Rue de la Haye - BP 10943 -
TREMBLAY EN FRANCE - 95733 ROISSY CDG CEDEX
Tél. : 01 41 84 30 28 - Télécopie : 01 49 47 04 65

E-mail : alkordraka-géniecivil@solvay.com - Internet : www.enviro-expo.com/exposants/alkordraka

■ Elstar Prévention

La filiale d'Audika lance sa **station de contrôle météorologique** entièrement portable. Elle a présenté **Nomad**, destinée à une cible professionnelle. Cette station a été conçue pour enregistrer la vitesse et l'orientation du vent, la température, l'humidité, la pression atmosphérique, le rayonnement solaire et les précipitations.

Contact : Elstar

Tél. : +33 (0) 1 42 56 89 45

Fax : +33 (0) 1 42 89 58 97

■ Volvo : nouveaux tombereaux articulés

Le fabricant suédois vient de lancer **Volvo A25D** et **A30D**, dont la capacité de chargement a été augmentée respectivement à 24 et 25 tonnes. Ils se caractérisent surtout par leur nouvelle ligne, une nouvelle motorisation, une amélioration de la productivité et de la sécurité.

De plus, Volvo à l'occasion de la Volvo Ocean Race lance une pelle compacte et une chargeuse compacte aux couleurs de la course :

- **Pelle compacte EC 25 Volvo Ocean Race** de 2,8 tonnes qui bénéficie de nombreux équipements : bras long 1500 mm (profondeur de fouille de 3,14 m), attache rapide hydraulique, gyrophare, phare sur flèche, autoradio-cassette avec haut-

parleurs et antenne. Garantie exceptionnelle de 2 ans/2000 heures ;

- **Chargeuse compacte L 30 BZ Volvo Ocean Race** de 5 tonnes qui bénéficie d'une définition multi-fonctions complète : godet 4 en 1, lève-palettes, clapet de sécurité, deux phares de travail arrière, barrette caoutchouc sur garde-boue avant, rétroviseur intérieur, siège ergonomique super-confort avec appuie-tête, autoradio cassette avec haut-parleurs et antenne.

Garantie 2 ans/2000 heures.



Chargeuse compacte Volvo L 30

Pelle compacte Volvo EC 25

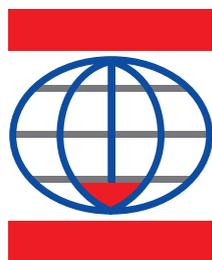


Contact : Volvo

Tél. : +33 (0) 1 30 69 28 01

Fax : +33 (0) 1 30 69 83 39

e-mail : christiane.camus-pardon@volvo.com

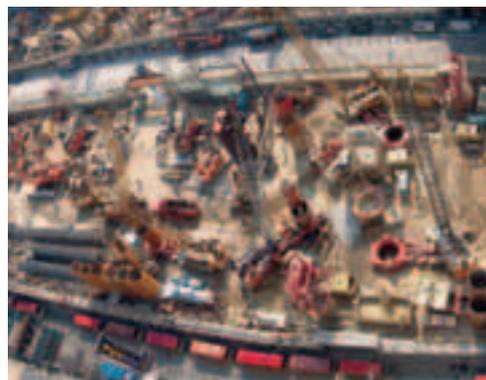


SOLETANCHE BACHY

LES TECHNOLOGIES DU SOL



ROYAUME UNI - Londres - Canary Wharf
1000 pieux Ø 900 à 1 500 mm, profondeur 30 m, avec base élargie injectée



HONG KONG - LDC K2 - Site A
13 000 m² paroi moulée épaisseur 1,20 m et 101 pieux forés Ø 1,50 à 3 m



COLOMBIE - IRC - Bogota
9 km collecteur Ø 2,50 m

Siège Social : 6, rue de Watford - 92000 NANTERRE - Tél. : 01.47.76.42.62 - Télécopie : 01.47.75.99.10
<http://www.soletanche-bachy.com>

Le pont de Seohae

Le pont de Seohae est un élément clé du développement de Pyong T'aek Harbour en Corée du Sud. Situé à 70 km au sud de la capitale Séoul, il porte l'autoroute 11 (de la côte ouest) au-dessus de la Baie d'Asan. Les 7310 m de l'ouvrage évitent le contournement de la baie et en font le plus long pont du pays.

Vue générale de l'ouvrage
General view of the structure



© Freyssinet / Lim Jeong Eui

L'ouvrage est constitué d'un tablier de 31,4 m de large offrant six voies de 3,60 m à la circulation et deux bandes d'arrêt d'urgence.

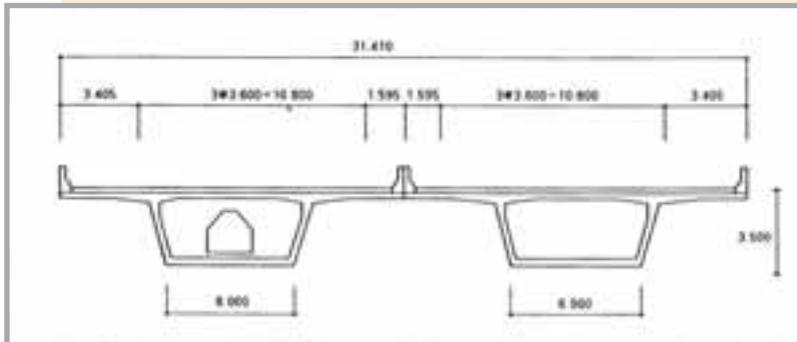
L'ouvrage se décline en plusieurs structures :

- ◆ le viaduc d'accès nord-est comporte 39 travées préfabriquées de 60 m de portée. Chaque travée est composée de deux tabliers parallèles reposant sur une pile commune ;
 - ◆ le viaduc principal haubané franchissant le canal de navigation a une hauteur de 60 m au-dessus de la mer. Cet ouvrage a une longueur totale de 990 m avec une portée centrale de 470 m entre les pylônes ;
 - ◆ un viaduc central de 13 travées du même type que les viaducs d'accès ;
 - ◆ un viaduc construit par encorbellements successifs coulés en place, comportant quatre travées, de longueur totale 500 m ;
 - ◆ le viaduc d'accès sud-ouest de 48 travées identiques aux travées des viaducs nord-est et central.
- Au stade de l'appel d'offres, la conception de l'ouvrage et les méthodes de construction ont été confiés à Samwoo Engineering Co. et Europe Etudes Gecti.

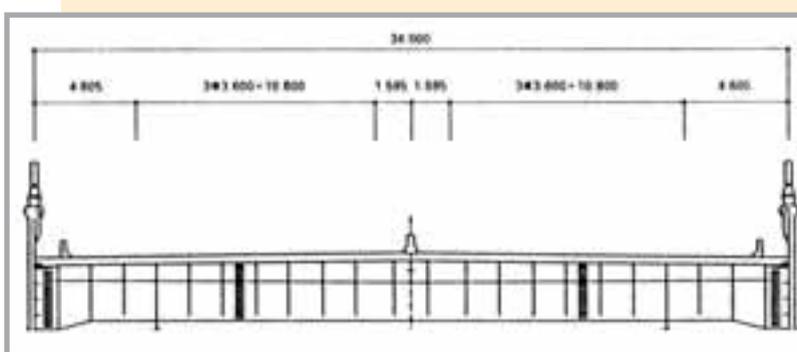
Le Korean Highway Corporation a adjugé à l'entreprise Daelim (Corée) la construction des viaducs nord-est et central ainsi que le pont à haubans. Le viaduc sud-ouest et le pont par encorbellements successifs ont été adjugés à Lucky Goldstar (Corée).

L'entreprise Daelim a confié les études détaillées de l'ouvrage haubané à T.Y. Lin International. La préfabrication et la pose des voussoirs des travées d'approche, la fourniture et la pose des haubans du viaduc principal ont été confiées à Freyssinet. L'entreprise Daelim a confié les études détaillées de l'ouvrage à T.Y. Lin International, la préfabrication et la pose des voussoirs des travées d'approche et la fourniture et la pose des haubans du viaduc principal à Freyssinet.

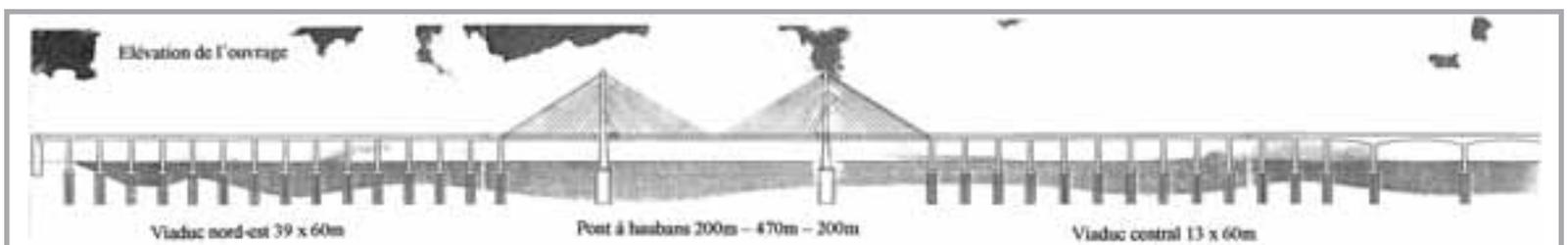
Coupe transversale du tablier d'approche
Cross section of the approach deck



Coupe transversale du pont haubané
Cross section of the cable-stayed bridge



Elévation de l'ouvrage
Elevation view of the structure



en Corée du Sud

Benoît Lecinq

DÉPARTEMENT
TECHNIQUE
Freyssinet international



Paul Hease

DÉPARTEMENT
GRANDS PROJETS
Freyssinet international



■ LES TRAVÉES D'APPROCHE

Description générale

La méthode retenue pour la construction des travées d'approche est celle des voussoirs préfabriqués posés par travée entière sur un cintre auto-lanceur.

L'aire de préfabrication des voussoirs des viaducs nord-est et central se situe à proximité de la culée nord-est. Elle comprend huit cellules de préfabrication étuvées à la vapeur.

Les voussoirs sont transportés par des fardiers automoteurs depuis l'aire de préfabrication et stockage jusqu'à la culée puis sur le tablier construit jusqu'au cintre de pose.

Chaque travée de 60 m est composée de deux caissons parallèles de 19 voussoirs courants de 17 m de large et 3 m de long et de deux voussoirs sur pile.

Un joint coulé en place de 10 cm entre voussoirs sur pile et voussoirs adjacents assure une bonne souplesse de réglage géométrique.

Les voussoirs conjugués - collés sont assemblés par l'application de précontrainte extérieure de type 19C15 avant de libérer le cintre de pose. Une précontrainte de type 3 et 4C15 assure la résistance transversale du tablier et des unités de précontrainte intérieure 7C15 sont installées dans le hourdis inférieur.

La préfabrication des voussoirs

La zone de préfabrication des voussoirs à joints conjugués couvrait environ 70 000 m². L'installation de cette zone, joutant la culée nord-est du projet, a démarré fin 1995.

Les installations comprenaient :

- ◆ 2 cellules pour voussoirs sur pile et voussoirs d'expansion ;
- ◆ 6 cellules pour voussoirs courants ;
- ◆ 1 atelier couvert de coupe et façonnage des aciers passifs ;
- ◆ 1 aire de stockage des aciers passifs ;
- ◆ 18 bancs d'assemblage des cages d'armatures ;
- ◆ 1 laboratoire de contrôle des bétons ;
- ◆ 1 bâtiment abritant les installations d'étuvage des voussoirs ;
- ◆ 1 centrale à béton avec zone de stockage des agrégats ;
- ◆ 3 grues à tour ;
- ◆ 1 portique de stockage des voussoirs ;
- ◆ 2 zones tampon de stockage des voussoirs.



Vue générale du cintre de pose "trimaran"

General view of the "trimaran" installation truss

© Freyssinet / Lim Chung Eui



L'aire de préfabrication des voussoirs

The segment prefabrication area

© Freyssinet / Lim Chung Eui

Cette zone comprend également les dortoirs, cantine et bureaux.

Le premier voussoir fut bétonné fin février 1996 et la production normale se termina fin juillet 1999.

Pendant cette période l'usine a produit :

- ◆ 1 976 voussoirs courants de 63 t ;
- ◆ 180 voussoirs sur pile de 77 t ;
- ◆ 28 voussoirs d'expansion de 87 t.

La construction des travées

Deux cintres de pose différents sont utilisés sur le projet, un par Daelim et l'autre par Lucky Goldstar. L'entreprise Daelim a passé commande d'un cintre en Europe, qu'elle a ensuite mis à la disposition de Freyssinet pour les travaux de construction du viaduc nord-est. Ce cintre était de type trimaran, auto lanceur, par en dessous. Le type trimaran se compose d'une poutre centrale de longueur suffisante pour les opérations de lancement et de deux poutres latérales plus courtes qui s'appuient sur la poutre centrale au moment du lancement.

Le cintre utilisé par Freyssinet se composait d'une

Le cintre en cours de chargement des deux travées simultanément

The truss during loading of the two spans simultaneously



© Freyssinet

Pose d'un voussoir des approches sur le cintre

Placing an approach segment on the truss



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Korean Highway Corporation

Consultants

- Daewoo Engineering
- Cowi Consult

Entreprise générale

Daelim Industrial Co.

Etudes

T. Y. Lin International (pont à haubans)

Préfabrication et pose des voussoirs

Freyssinet

Fourniture et pose des haubans

Freyssinet



poutre centrale en structure treillis de 132 m de long et deux poutres latérales, également en structure treillis, de 85 m de long chacune. La poutre centrale consiste en deux poutres en I de hauteur 4,5 m reliées entre elles au niveau des membrures supérieures et inférieures pour former un ensemble rectangulaire de 7,5 m de large.

Les poutres latérales ont une section triangulaire de 5,5 m de hauteur et 2,5 m de largeur.

Chaque côté de la poutre centrale est équipé de quatre portes articulées encadrant les chevêtres des piles en position de pose. Ces portes, capables de s'ouvrir et de se fermer afin de permettre le passage des piles pendant le lancement, supportent les poutres latérales durant cette phase. Pendant la pose des voussoirs les poutres latérales s'appuient sur des structures métalliques provisoires, brêlées aux piles par des câbles de précontrainte.

La première travée fut posée en janvier 1997 et, après les problèmes de "mise en route" classiques, la dernière travée du viaduc d'approche fut posée en octobre 1999. La meilleure cadence moyenne était de 12 jours par travée.

Dès la fin de la pose des travées du viaduc d'approche Freyssinet a commencé les opérations de démontage et ré-assemblage du cintre dans les travées centrales. Un contrôle complet de la structure et des équipements du cintre a été réalisé par le bureau de contrôle coréen Inkok. Plusieurs défauts ont été décelés, notamment des fissurations dans les soudures, des boulons desserrés, un panneau d'une membrure inférieure flambé, etc. Le contrôle a été effectué dans la travée n-1 de l'approche. Ce type de défaut est quasi inévitable dans un équipement aussi complexe. Cette expérience souligne la nécessité de contrôler régulièrement l'état de ce type de matériel, même en dehors des opérations liées à une fin de chantier.

Un programme ainsi qu'une procédure de démontage, remise en état et de remontage du cintre ont été établis par Freyssinet. Le bureau de contrôle Veritas a été mandaté pour la vérification indépendante de toutes les procédures de travail.

Les deux poutres latérales de 186 t chacune ont été descendues simultanément par Freyssinet à l'aide du système de manutention lourd composé de vérins hydrauliques et de câbles de 19 torons de 18 mm de diamètre. La poutre centrale de 840 t fut divisée en trois parties pour la descente. Toutes ces opérations ont été réalisées à travers le tablier fini, les câbles passant dans des réservations de 200 mm de diamètre et les vérins hydrauliques étant appuyés sur des charpentes de répartition des efforts placées sur le tablier.

Ensuite, tous les modules du cintre ont été désassemblés, vérifiés et remis en état puis transportés vers l'aire de remontage et levage. Les opérations de démontage et remontage du cintre à une hauteur de 60 m se sont déroulées dans un laps de temps très court et dans un contexte différent de celui imaginé au début du chantier. La préparation au démontage a commencé le 11 octobre 1999. La fin du remontage a eu lieu le 22 décembre 1999. Cette opération fut un des points remarquables du chantier.

Il est généralement admis que les travées de 55 - 60 m correspondent au maximum pratique pour la technique de construction travée par travée. L'utilisation d'un cintre de cette taille, capable de poser deux tabliers parallèles simultanément, représente probablement la limite raisonnable dans l'état actuel de nos connaissances.

■ LE PONT À HAUBANS

Avec une portée centrale de 470 m, le pont de Seohae est le plus grand pont haubané coréen. Les dimensions exceptionnelles du projet ont focalisé la fierté nationale, et toutes les précautions ont été prises pour que ce bond en avant soit un succès. La technologie des haubans a fait l'objet d'exigences méticuleuses de la part de la société conces-

sionnaire Korean Highway Corporation (KHC), avec une attention spéciale sur la durabilité et la stabilité aux vibrations.

Description générale

La partie centrale du pont de Seohae est un ouvrage de 990 m de longueur entre joints de dilatation, à trois travées haubanées symétriques de 200 - 470 - 200 m et deux travées de transition de 60 m. Il supporte six voies de trafic et dégage un gabarit de navigation de 62 m. Le tablier a une structure mixte acier-béton constituée d'une part de deux poutres latérales en acier de 2,80 m de hauteur, distantes transversalement de 34,00 m et d'un longeron de montage placé à l'axe du tablier, et d'autre part d'un hourdis en béton de 26 cm d'épaisseur courante. Le hourdis est construit à partir de dalles préfabriquées de 16,30 x 3,70 m supportées par des pièces de pont espacées de 4,10 m. La connexion des dalles préfabriquées est classiquement réalisée par des joints de béton coulé en place.

L'ouvrage est supporté par 144 haubans, disposés en deux nappes parallèles de 18 haubans, régulièrement espacés de 12,30 m sur le tablier, sauf les quatre haubans de rives qui sont regroupés avec un espacement de 4,60 m au niveau des piles intermédiaires munies de câbles de clouage. La longueur des haubans varie de 55 à 230 m et leur tension maximale de service est comprise entre 3 300 et 9 500 kN.

Les deux pylônes de 182 m de hauteur sont en béton précontraint. Leur forme en H avec deux entretoises donne une allure distinctive au pont de Seohae. Dans le pylône, les haubans sont ancrés par des ancrages placés dans les faces avant et arrière du pylône et accessibles depuis l'intérieur des mâts. Des câbles de précontrainte horizontaux en boucle assurent la transmission des efforts horizontaux entre les ancrages de haubans.

Technologie de hauban employée

Les haubans proposés par Freyssinet sur le pont de Seohae sont des câbles constitués d'un faisceau de torons parallèles. Cette technologie, initialement dérivée de la précontrainte, a été employée pour la première fois, en substitution de torons multicouches ou de câbles clos, sur les ponts de Rande en Espagne et Brotonne en France, vers 1975. Depuis, la technologie des haubans multitorons parallèles Freyssinet a bénéficié d'améliorations permanentes, pour satisfaire aux exigences de résistance à la fatigue, protection anticorrosion, stabilité aux vibrations, maintenance et remplaçabilité. Les haubans Freyssinet équipent plus de cinquante ouvrages dans le monde, dont des ouvrages majeurs tels que les ponts sur le Tage (Portugal) et d'Oresund (Danemark). L'utilisation de cette technolo-



Le pont à haubans en cours de construction

The cable-stayed bridge undergoing construction

© Freyssinet / Fr. Vigouroux



Photo 2
Pose d'une dalle préfabriquée du tablier haubané

Installation of a prefabricated slab on the cable-stayed deck



Mise en œuvre des haubans dans le pylône

Placing the cable stays in the tower

© Freyssinet / Fr. Vigouroux

Installation de la gaine de protection anti-vibration

Installation of the anti-vibration protective sleeve



© Freyssinet / Fr. Vigouroux

Mise en œuvre des haubans au niveau du tablier
Placing the cable stays at the deck level



© Freyssinet / Fr. Vigouroux

Vue de l'amorce du tablier avec les deux portiques de levage

View of start of deck with the two hoisting gantries



© Freyssinet

Amorce du tablier tenue par des haubans provisoires et définitifs

Start of the deck held by provisional and definitive cable stays



gie éprouvée était donc un gage de réussite du projet de Seohae.

Les haubans mis en place par Freyssinet sur le pont de Seohae sont constitués de 37 à 91 torons parallèles et sont conçus en vue d'une totale indépendance des torons constituant le câble : chaque toron est installé, tendu, ancré, protégé et éventuellement remplacé individuellement. Le toron élémentaire, parfois appelé monotoron, est un toron T15,7 à sept fils galvanisés, injecté de cire pétrolière et protégé par une gaine individuelle de polyéthylène à haute densité (PEHD) de 1,5 mm d'épaisseur. Ces protections réalisées en usine sont complétées par une seconde gaine extérieure en PEHD qui englobe l'ensemble du faisceau de torons.

La gaine extérieure est en fait constituée de deux couches bi-extrudées, une couche intérieure noire de haute résistance mécanique et une couche extérieure colorée (sur le pont de Seohae, le client a choisi la couleur gris clair) formulée spécialement pour résister au rayonnement ultraviolet. En outre, la surface de la gaine est munie d'une double spirale en relief destinée à prévenir la vibration des haubans sous l'effet combiné de la pluie et du vent.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Approches nord-est et centrale

- 52 travées
- 1976 voussoirs courants
- 208 voussoirs sur pile
- 28 voussoirs d'expansion
- 176 appuis mécaniques Tetron®
- 3712 ancrages de précontrainte longitudinale 19C15
- 1664 ancrages de précontrainte longitudinale 7C15
- 20840 ancrages de précontrainte transversale 3C15
- 672 ancrages de précontrainte transversale 4C15
- 14800 t d'armatures passives
- 3800 t d'armatures de précontrainte
- 55000 m³ de béton

Haubans

- Hauteur des pylônes : 180 m
- Hauteur du tablier : 60 m
- Portée principale de navigation : 470 m
- 144 haubans dont :
 - 37T15 : 8 U
 - 55T15 : 64 U
 - 61T15 : 16 U
 - 73T15 : 24 U
 - 91T15 : 32 U
- 1900 t de toron auto-protégé
- 20000 m de gaine de hauban en PEHD bi-extrudé

Les haubans sont ancrés au moyen de mors dans des ancrages qui sont ultérieurement injectés à la cire pétrolière pour apporter le même niveau de protection anticorrosion aux ancrages qu'en partie courante. Sur le pont de Seohae, les ancrages bas sont reliés à la structure par d'imposants goussets métalliques boulonnés sur la charpente principale. Les ancrages supérieurs sont réglables et appuyés sur le béton des pylônes par l'intermédiaire d'une plaque d'appui et d'un tube coffrant traversant la paroi du pylône.

Construction du tablier

Après réalisation des pylônes, la construction du tablier s'est effectuée de façon classique par encorbellements successifs, selon un cycle régulier comprenant notamment :

- ◆ le hissage au moyen d'une chèvre de levage puis l'éclissage par boulons HR d'un segment de 12,30 m de charpente (deux poutres latérales reliées par trois pièces de pont);
- ◆ l'installation et la mise en tension d'une paire de haubans;
- ◆ la mise en place des dalles préfabriquées, puis le bétonnage des joints;
- ◆ le réglage des haubans à leur tension définitive;
- ◆ l'avancement des chèvres en position pour le hissage du segment suivant.

L'installation des haubans s'est effectuée toron par toron :

- ◆ la gaine extérieure est préfabriquée sur le tablier puis hissée en position avec le premier toron (toron de référence);
- ◆ le toron de référence est tendu à un effort calculé en fonction de la raideur de la structure;
- ◆ les torons suivants sont installés et tendus un par un, à l'aide de la méthode Isotension, brevetée par Freyssinet. Cette méthode est pilotée par un ordinateur et garantit que tous les torons auront la même tension, même si des charges de chantier sont déplacées sur le tablier pendant la mise en tension.

La mise en œuvre des haubans réalisée par Freyssinet fait appel à un matériel spécialisé et léger, ce qui la rend extrêmement rapide (quelques heures seulement pour un hauban de 91 torons). En outre, cette méthode impose très peu de contraintes d'exécution au chantier et s'intègre de façon transparente dans le cycle de construction du tablier : la préparation du hissage des dalles, et l'avancement des chèvres de levage pouvaient démarrer pendant l'enfilage des torons sur le pont de Seohae.

Le cycle de construction a été initié par la mise en place des amorces du tablier, au niveau de chaque pylône. Chaque amorce, d'une longueur de 51,80 m, a été réalisée au sol : assemblage de la charpente et bétonnage du hourdis. Ces amorces, d'une masse de 2100 t chacune, ont ensuite été mises en place à 60 m de hauteur, à l'aide d'une grue

flottante de 3000 t de capacité et 100 m de hauteur sous crochet.

A sa position définitive, l'amorce devait s'appuyer sur l'entretoise inférieure du pylône, mais avec des longueurs asymétriques (38,20 m de longueur en travée centrale et 13,60 m en travée de rive). Une stabilisation complémentaire par des haubans était donc nécessaire. En outre, l'amplitude de marée importante (9,30 m) imposait de suspendre très rapidement l'amorce au pylône pour retirer la grue flottante.



Ancrage permettant la mise en œuvre rapide d'un hauban provisoire

Anchorage allowing rapid setup of a provisional cable stay

Freyssinet a proposé pour cela l'emploi de deux haubans provisoires, ancrés à l'entretoise supérieure du pylône avant l'opération de levage; une fois l'amorce positionnée par la grue flottante, les torons des haubans provisoires furent ancrés dans des ancrages provisoires de dimensions exceptionnelles reliés à l'amorce par l'intermédiaire de quatre barres de précontrainte et un axe d'articulation. Ces haubans provisoires ont ensuite été tendus avec les barres de précontrainte et des vérins creux. L'opération de levage complète a duré moins de 10 heures.

Une autre particularité du cycle de construction tient à l'emploi d'une précontrainte transversale provisoire, pour réduire la fissuration des joints de dalle coulés en place : afin d'introduire une compression transversale permanente dans le hourdis supérieur, une triangulation provisoire était installée sous le segment courant avant bétonnage des joints. Un effort vertical était introduit ensuite au vérin à l'axe du tablier, sous chaque pièce de pont, pour cambrer celle-ci vers le haut pendant le bétonnage, générant ainsi une compression transversale dans le hourdis après décintrage.

Résistance des haubans à la fatigue et aux vibrations

L'attention du client KHC a porté tout particulièrement sur la durabilité des haubans, et notamment

sur leur endurance en fatigue et leur résistance aux vibrations.

Des essais de fatigue sévères furent réalisés sur des ancrages représentatifs à l'université de Munich et au LCPC de Nantes : des échantillons de hauban, strictement conformes à ceux qui étaient proposés sur l'ouvrage, furent soumis à deux millions de cycles de traction ondulée, sans aucune rupture. Des essais de traction ultime ont ensuite permis de démontrer que ces cycles de fatigue n'avaient absolument pas altéré les performances de l'ancrage.

Enfin, une analyse détaillée des vibrations de haubans du pont de Seohae a conduit KHC à spécifier un critère d'amortissement particulièrement sévère : l'amortissement des haubans devait être supérieur à 3,5 % en décrétement logarithmique. Cela a conduit à mettre en place sur la plupart des haubans des amortisseurs hydrauliques internes (IHD). Ces amortisseurs, conçus par Freyssinet, utilisent le frottement visqueux d'une huile de silicone contenue dans un piston annulaire pour absorber l'énergie de vibration des câbles. Grâce à l'emploi combiné d'amortisseurs IHD et de gaines munies de spirales, Freyssinet a pu garantir l'absence de risque de vibration sur les haubans du pont de Seohae.

■ CONCLUSION

Les premiers travaux ont commencé en 1995. Aucun autre ouvrage de cette envergure n'avait été réalisé en Corée du Sud avant le pont de Seohae. Les autorités coréennes ne se sont pas trompées en obligeant leurs entreprises à associer des spécialistes étrangers aux projets d'ouvrages d'art. Grâce à cette collaboration, notamment avec les entreprises françaises Freyssinet et EEG, la construction du pont de Seohae fut un succès et constitue une avancée technologique pour la Corée du Sud dans l'utilisation des techniques de construction modernes. L'ouvrage a été ouvert à la circulation en septembre 2000.

ABSTRACT

Seohae Bridge in South Korea

B. Lecinq, P. Hease

Seohae Bridge is located 70 km south of Seoul on motorway No. 11 running along the west coast of South Korea. This structure, of total length 7310 m, passes through the Bay of Asan and forms part of the infrastructure of the new port of Pyong T'aek. It provides two navigation channels and avoids a long trip around the Bay.

The structure includes three types of deck :

- the approaches of prestressed concrete of 60 m span length, span by span ;
- the cable-stayed main structure with a centre span of 470 m. The deck is a mixed structure with main steel beams and an upper deck of prefabricated concrete slabs ;
- a second prestressed concrete structure cast in place, built by successive cantilevers having 165-metre main spans.

This structure was built by Korean contractors with the help of foreign firms, especially French firms. It is the largest structure of this type built in South Korea to date.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente de Seohae, en Corea del Sur

B. Lecinq y P. Hease

El puente de Seohae se encuentra a 70 km al sur de Seúl en la autopista 11 que sigue la costa oeste de Corea del Sur. Esta estructura, de una longitud total de 7.310 m, atraviesa la Bahía de Asan y forma parte de las infraestructuras del nuevo puerto de Pyong T'aek. Permite obtener dos canales de navegación y evita dar un largo rodeo de la Bahía.

La estructura consta de tres tipos de tablero :

- los accesos de hormigón pretensado de 60 m de luz, tramo por tramo ;
- la estructura principal atirantada de 470 m de luz en su parte central. El tablero consiste en una estructura mixta de vigas principales de acero con una plataforma superior formada por losas prefabricadas de hormigón ;
- una segunda estructura de hormigón pretensado, colado in situ, construida

por tramos sucesivos y cuyas luces principales se elevan a 165 m

Este puente fue construido por empresas coreanas con la colaboración de empresas extranjeras y, fundamentalmente, francesas. Se trata de la estructura más importante de este tipo ejecutada hasta la fecha en Corea del Sur.

CTRL : liaison ferroviaire à entre Londres et le tunnel

Lot 350/410 : le viaduc

La construction du viaduc sur la rivière Medway a débuté fin 1998 dans le cadre de la section 1 de la liaison ferroviaire à grande vitesse entre Londres et le tunnel sous la Manche. A son achèvement fin 2001 ce viaduc sera l'ouvrage d'art marquant de la section 1 de la ligne à grande vitesse entre le tunnel sous la Manche et Londres et détiendra en outre le record de portée pour un viaduc TGV. Les trains franchiront cet ouvrage à 300 km par heure au-dessus de la rivière Medway. Cet article donne le contexte du projet, retrace les diverses étapes de la construction du viaduc et enfin décrit les méthodes retenues pour l'exécution des travaux dans le cadre d'un contrat en "partnering".

Le projet du CTRL (Channel Tunnel Rail Link) est le plus important projet de construction d'infrastructures ferroviaires au Royaume-Uni depuis la construction du tunnel sous la Manche. Une fois réalisée cette nouvelle ligne permettra de relier le centre de Londres au tunnel sous la Manche à Folkestone. 85 % des 108 km de son tracé suit des corridors de transport existants ou empruntera des nouveaux tunnels. L'initiateur du projet "London & Continental Railways" a conclu un accord avec "Railtrack plc", le futur propriétaire de l'infrastructure, pour construire la ligne en deux phases. La première phase appelée "section 1" reliera le tunnel sous la Manche à Fawkham juste avant la future traversée de la Tamise. Tandis que la seconde phase ou "section 2" reliera Fawkham au nouveau terminal international de la gare de Saint-Pancras en plein cœur de Londres. Le projet comprend aussi deux nouvelles gares à Ebbsfleet et Stratford dans la banlieue de Londres.

La maîtrise d'œuvre pour la conception et la construction des sections 1 et 2 a été confiée à RLE (Rail Link Engineering) société en participation regroupant des sociétés d'ingénierie telles que Bechtel (E.U.A.), OVE Arup & Partners (R.U.), Sir William Halcrow & Partners (R.U.) et Systra (SNCF/France). La "section 1" est actuellement en cours d'achèvement et devrait être ouverte à la circulation des premiers trains en 2003.

Cette section suit d'une part, l'autoroute A2/M2 et d'autre part l'autoroute M20, le lien entre les deux étant réalisé par un tunnel à travers les collines des "North Downs". Enfin le franchissement de la rivière Medway à proximité de Rochester dans le Kent est assuré par un viaduc dont la situation ainsi que le tracé des sections 1 et 2 sont indiquées sur la figure 1.

■ L'ATTRIBUTION DES TRAVAUX

Pour l'appel d'offres, le viaduc sur la rivière Medway faisait partie du lot 350 qui comprenait en outre un petit pont pour le franchissement d'une voie ferrée existante. En septembre 1998 quand le marché a été attribué au groupement d'entreprises Eurolink, le lot 350 a été regroupé avec le lot 410 adjacent, qui avait aussi été attribué au même groupement, pour constituer un seul lot appelé 350/410. Le lot 410 est d'une nature toute différente puisqu'il consiste à réaliser le tunnel des North Downs ainsi que 4 km de section courante (essentiellement constituée de gros terrassements).

Eurolink est un groupement d'entreprises composé d'une entreprise britannique Miller Civil Engineering (groupe Morgan Sindall), d'une entreprise française VINCI Construction Grands Projets et d'une entreprise autrichienne Beton-und-Monierbau.

RLE tirant partie de son expérience et en particulier de celle de Bechtel en matière de gestion de grands projets décida de consulter puis d'attribuer les marchés suivant l'option C du contrat NEC (New Engineering Contract). C'est un type de contrat qui est basé sur le "partnering" et sur un coût objectif avec partage des gains (ou pertes) entre le client et l'entreprise entre le coût réel (suivi en transparence par le client) et l'objectif.

■ LE VIADUC SUR LA RIVIÈRE MEDWAY

Le viaduc sur la rivière Medway, en extrémité ouest du lot 350/410, avec une longueur totale de 1256 m est un ouvrage en béton précontraint. Il est constitué de deux viaducs d'approche réalisés suivant la

Figure 1
Localisation du viaduc sur la rivière Medway

Location of viaduct
over the Medway River



grande vitesse sous la Manche sur la Medway

technique du pont poussé et d'un ouvrage central réalisé par encorbellements successifs. Il faut noter d'ailleurs que la portée centrale de 152 m constitue un record en matière de franchissement TGV. Le viaduc sera livré au client fin novembre 2001. L'ensemble des 24 piles est fondé sur pieux béton avec en particulier pour chacune des deux piles en rivière 19 pieux de 2 m de diamètre et de 33 m de long. Enfin localement pour forer les 48 pieux qui traversent les sols contaminés d'une ancienne décharge, une méthode originale qui évite d'extraire des matériaux a été développée avec Bachy-Solétanche UK (photo 1).

■ LES PONTS POUSSÉS

Le pont sur la Medway comprend deux ouvrages d'approche situés de part et d'autre du pont en encorbellement traversant la rivière. Il s'agit de deux ponts poussés en béton précontraint. Leurs longueurs respectives sont de 384 m (9 travées) et 554 m (13 travées). Les portées varient de 37 m à 44,5 m. Les piles les plus hautes de l'ouvrage mesurent 30 m de haut et sont fondées sur des semelles reposant sur des pieux béton. En plan, les deux ouvrages sont rectilignes. En élévation, l'un a une pente longitudinale de 0,35 % et l'autre se situe sur un arc de cercle de rayon 25 500 m avec une pente longitudinale variant de 0,35 % à 1,90 %.

Construction des piles

Les piles courantes ont une section de 5,00 m x 2,00 m. Pour chaque pont poussé, deux piles ont des sections plus importantes (5,00 m x 3,10 m) pour accommoder des joints de chaussée créant une travée inerte. Toutes les piles sont de section pleine. Elles ont été construites par levées de 4 m à l'exception de la première levée dite "fausse levée" de hauteur inférieure. Le ferrailage était entièrement préfabriqué par cages de 4 m plus longueurs d'attentes. Les zones de préfabrifications étant fixes, les cages étaient levées, déplacées et mises en place à l'aide d'une grue sur chenille. Un jeu de coffrage métallique a été utilisé pour leur construction. En revanche, deux jeux de plate-forme ont été acquis afin de pouvoir assurer quatre à cinq levées par semaines (construction simultanée de deux piles voisines). Une grue sur chenille affectée à la construction des piles assurait tous les levages y compris les approvisionnements béton.

Construction des tabliers précontraints

Le tablier caisson de section constante mesure 12,25 m de large (hourdis supérieur) et 3,23 m de haut. L'épaisseur du hourdis supérieur est de 280 mm à l'axe, celle du hourdis inférieur de 250 mm. L'épaisseur des âmes est de 400 mm. Le béton est un B60 testé sur cubes de 100 mm. La quantité totale de béton pour les deux tabliers d'approche est de 8 600 m³ pour 2 033 t de ferrailage. La précontrainte est composée de 220 t de précontrainte de poussage (intérieure) et 369 t de précontrainte de continuité (extérieure) mise en place après les opérations de poussage achevées.



Méthode de construction

Le principe de construction a consisté à réaliser sur l'air de poussage derrière la culée une travée complète de tablier (longueur standard = 40,50 m) puis à la pousser avant de réaliser la travée suivante. La travée était construite sur deux poutres de glissement en béton armé sur lesquelles elle venait glisser lors du poussage. Aussi la réalisation de ces longrines de glissement fut-elle particulièrement soignée (tolérances géométriques très faibles). Pour l'un des ponts poussés, les longrines étaient recouvertes de tôle métallique, et de résine époxy pour le second. Après chaque poussage, les longrines étaient recouvertes de graisse sur laquelle étaient posées des plaques métalliques (dites plaques de glissement) servant de fond de moule pour le hourdis inférieur du tablier. Lors du

Thierry Portafaix
DIRECTEUR DE PROJET ADJOINT
Eurolink (Vinci Construction Grands Projets)

Cédric Roude
RESPONSABLE SECTION
PONT À ENCORBELLEMENTS
Eurolink (Vinci Construction Grands Projets)

Laurent Rosset
INGÉNIEUR TRAVAUX
SECTION
PONTS POUSSÉS
Eurolink (Vinci Construction
Grands Projets)



Photo 1
Le viaduc
sur la rivière Medway
*The viaduct
over the Medway River*

Photo 2
Les pousseurs,
les coffrages,
l'aire de préfabrication
Pushers, formwork,
prefabrication area



► poussage, ces plaques glissaient sur les longrines et étaient récupérées en extrémité derrière la culée. Elles étaient réutilisées après nettoyage.

Chaque travée est décomposée en un VSP (voussoir sur pile) de 10,50 m et trois voussoirs standards de 10 m de long. Chaque voussoir a été bétonné en deux phases : hourdis inférieur et âmes tout d'abord puis hourdis supérieur. De par sa complexité, la construction du VSP était sur le chemin critique du cycle de chaque poussage. Afin d'optimiser les cycles de construction, le VSP de la travée n + 1 était réalisé en temps masqué avec les voussoirs courants de la travée n, à l'arrière du banc de préfabrication. Une fois la travée n poussée, le VSP n + 1 terminé était alors placé en position sur les longrines de poussage. La construction des voussoirs standards n + 1 commençait alors, en même temps que débutait la réalisation du VSP n + 2 à l'arrière. Le déplacement du VSP était assuré à l'aide des mêmes pousseurs utilisés pour les poussages de travées. Cette méthode n'a pu être retenue que sur un seul des deux ponts poussés. En effet, pour l'un des ouvrages la taille des emprises de chantier ne permettait pas d'adopter ce système. Aussi, le VSP était-il construit en même temps que les voussoirs courants, engendrant des cycles plus importants.

Le fond de moule, permettant de coffrer le hourdis inférieur situé entre les longrines de glissement, était monté sur un système de bielles permettant de couler le plateau au ras du sol. Ceci était nécessaire pour pouvoir faire passer les vérins de poussage du tablier lors des opérations de lancement. Ce fond de moule permettait de coffrer une travée complète (longueur de plus de 42 m). Sa montée/descente était assurée par des vérins hy-

drauliques. Le coffrage du hourdis supérieur était lui aussi équipé de vérins hydrauliques. Ils permettaient de "plier" le coffrage afin de pouvoir passer au travers des déviateurs des VSP une fois chaque travée terminée.

Le ferrailage de l'ouvrage a été complètement préfabriqué à l'exception du VSP dont le hourdis supérieur devait être ferrillé en place (complexité due aux gaines, trompettes et tubes déviateurs de précontrainte). Le poids des cages mises en place variait de 6 t à 18 t pour les premières phases de VSP. La mise en place dans le ferrailage des gaines de précontrainte ainsi que des tubes déviateurs était assurée directement par l'équipe de précontrainte. Le bétonnage était assuré à la pompe pour les volumes supérieurs à 60 m³ (deux opérations par travée). Sinon le bétonnage se faisait à la grue à tour (cinq opérations de 31 m³/46 m³ par travée). La maturométrie a été largement utilisée pour les résistances nécessaires au décoffrage mais aussi à la mise en précontrainte et au lancement de chaque travée. Une fois achevée et les résistances béton suffisantes, la travée était précontrainte par quatre câbles de précontrainte interne (deux de 27T15 dans le hourdis supérieur et deux câbles de 13T15 dans le hourdis inférieur). Ces câbles couraient sur les deux dernières travées réalisées (environ 81 m). A noter qu'aux joints de dilatation, des câbles temporaires de précontrainte ont été mis en place pour assurer la continuité du tablier lors de sa construction. Dix-neuf câbles de 4,2 m à 14,3 m ont été nécessaires pour chaque joint de dilatation (19T15 et 13T15). Une fois les opérations de précontrainte achevées, le poussage pouvait commencer à l'aide des deux pousseurs de 600 t. Chaque pousseur est à cheval sur une longrine de glissement. Il est connecté au dernier voussoir réalisé par deux vérins de 300 t et de 1200 mm de course. Pour ne pas "reculer", les pousseurs sont munis également de vérins plats venant enserrer les longrines de glissement. Après une phase de poussage (1200 mm de course), les vérins plats sont relâchés et les vérins de 300 t sont rentrés. Ces derniers étant fixés sur le dernier voussoir, le corps du pousseur est "ramené". Les vérins plats peuvent alors être mis sous pression avant de réitérer un cycle de poussage. Chaque travée était poussée de 40,50 m environ (longueur d'une travée standard). Chaque poussage a duré environ 4 à 5 heures. A l'avant du tablier, un avant-bec métallique de 34,50 m et de 75 t était fixé. Il était composé de trois éléments connectés entre eux par des barres de précontrainte (diamètre 40 mm) et des boulons précontraints. Il était connecté au tablier par 44 bars de précontrainte de 40 mm. En tête de chaque pile, le tablier glissait sur des appareils d'appuis provisoires en inox. Des patins élastomère/Téflon® insérés entre le tablier béton et l'appareil d'appuis permettaient de réduire les coefficients de frottement et donc la puissance à

mettre en œuvre pour le poussage. La déflexion des piles de l'ouvrage était contrôlée en temps réel par des inclinomètres. Ces inclinomètres sont des accéléromètres connectés à une unité centrale disposée dans la culée de l'ouvrage. Un programme informatique permettait lors des poussages de connaître à tout instant la déflexion de chaque pile. De plus, le programme intégrait la déflexion maximale admissible pour chaque pile. Si une pile venait à dépasser cette valeur paramétrée, l'opérateur des pousseurs en était informé immédiatement par l'intermédiaire d'une alarme. En vitesse de croisière, la construction et le poussage d'une travée complète se faisait en 10 jours. Une fois l'ouvrage complètement poussé, les finitions ainsi que les opérations de précontrainte de continuité (extérieure) et de changement d'appuis pouvaient commencer. Démarrés sur l'ouvrage Ouest en janvier 2000 les poussages se sont achevés sur l'ouvrage Est en mars 2001 (photos 2 et 3).

■ LE PONT À ENCORBELLEMENT

La partie centrale de l'ouvrage sur la Medway est composée de deux encorbellements permettant le franchissement de la rivière avec une travée centrale de 152 m.

Chaque encorbellement repose sur des piles en V situées en rivière et reposant elles-mêmes sur des semelles circulaires de diamètre 20 m et de hauteur 5 m. Un étaielement constitué de tubes d'échafaudages a été nécessaire afin de supporter le ferrailage de ces semelles. Elles ont été bétonnées en une phase de 1500 m³. Des études spécifiques ont été menées sur la formule de béton afin de contrôler l'effet de masse sans recourir à des solutions de tubes de refroidissement ou des séquences de bétonnage de plus petits volumes.

Pour la construction des piles, voussoirs sur pile et encorbellements, une jetée d'accès a été réalisée afin d'avoir un accès permanent au poste de travail. La conception de cette jetée a permis de monter une grue à tour sur rails de hauteur sous crochet 54,40 m permettant de couvrir l'ensemble des travaux.

Les piles dont les colonnes sont inclinées de 10 degrés par rapport à la verticale, ont été construites à l'aide de deux jeux de coffrages grimpants équipés de rails de guidage afin de permettre la pose des cages de ferrailage préfabriquées. Les coffrages ont permis la réalisation par levées de 4 m de haut. Les piles ont une section de 6 m x 2 m, les faces de 6 m étant circulaires avec un rayon de courbure de 11 m. A partir de la deuxième levée, chaque colonne se sépare en deux en son milieu. Cette ouverture augmente linéairement de telle sorte que les colonnes viennent mourir de part et d'autre du voussoir sur pile nommé "Hammerhead". La particularité de ces piles réside dans



Photo 3
L'avant-bec
The cutwater

leur densité de ferrailage. Cette densité est liée à la conception des appuis du tablier puisque le "Hammerhead" est encastré dans les colonnes, elle est également due à la géométrie complexe en V fendu. La densité moyenne du ferrailage est de 500 kg/m³ atteignant 600 kg/m³ dans les zones de connexion avec le "Hammerhead".

Le "Hammerhead" fait 18 m de long et 12,50 m de haut à l'axe. La dalle supérieure fait 12,25 m de large, les âmes 600 mm d'épaisseur et le hourdis inférieur est un V plein dont l'angle diminue au fur et à mesure que l'on s'écarte du centre. L'entreaxe des colonnes au sommet de chaque pile est de 14 m.

Le "Hammerhead" a été réalisé en cinq phases de bétonnage :

- ◆ le hourdis inférieur en une longueur de 18 m et de 4,40 m de haut, le coffrage étant un coffrage autoportant s'appuyant en deux points seulement sur une plate-forme de travail. Cette plate-forme repose elle-même sur une structure verticale qui s'appuie sur les semelles. Ce système a permis de ne pas transmettre d'efforts horizontaux sur les colonnes ;

- ◆ les âmes et diaphragmes en deux phases de 9 m de long et de 6,40 m de haut. Pour ces deux phases, le coffrage de première phase était laissé en place servant d'appuis pour les coffrages de deuxième et troisième phases ;

- ◆ la dalle supérieure ainsi que la partie haute des diaphragmes (zone des tubes déviateurs pour la précontrainte de continuité) ont été réalisées en deux phases de longueur 9 m et de hauteur 1,70 m. Les coffrages de réalisation étaient indépendants des autres phases, venant s'ancrer sur les bétons de deuxième et troisième phase (principe des banches barrage).

Les coffrages restant systématiquement en place pendant de longues durées avant bétonnage, une peinture époxy a été appliquée sur les peaux afin de minimiser les finitions de surface.

► L'ensemble du ferrailage a été préfabriqué par phase hormis les zones de connections entre colonnes et "Hammerhead" ou diaphragme et "Hammerhead". Les encorbellements d'une longueur de 156,50 m, y compris voussoir sur pile, sont constitués de 17 voussoirs de longueur 4,10 m sur la demi-travée arrière et de 16 voussoirs de longueur 4,10 m sur la demi-travée centrale. La section varie de 11,50 m de hauteur sur le premier voussoir à 3,30 m au clavage arrière et 5,50 m au clavage central. Les âmes varient de 600 mm sur le premier voussoir à 400 mm aux clavages. La dalle supérieure fait 12,25 m de large et le hourdis inférieur est un V plein suivant le même principe que pour le "Hammerhead". Cette forme de V s'aplatit au fur et à mesure que

l'on s'éloigne du voussoir sur pile finissant en hourdis horizontal afin de faire la jonction avec les ponts poussés. Hormis pour le hourdis inférieur, la géométrie extérieure de l'ouvrage était constante (écartement et inclinaison constante des âmes, profil constant de la sous-face des ailes). Le voussoir le plus lourd pèse 200 t.

Les voussoirs ont été réalisés à l'aide d'équipages mobiles dits "par en dessous" pesant chacun 70 t. La longueur importante des voussoirs sur pile (18 m) a permis de réaliser des treillis principaux de grande longueur avec un appui arrière à 8,70 m en arrière du joint de construction. Les déplacements d'équipages se faisaient à l'aide de deux vérins longue course de 4,10 m prenant appui sur le coffrage intérieur et poussant sur la poutre transversale avant. Le fond de moule était la partie la plus délicate du point de vue conception et utilisation en raison de la géométrie en V variable du hourdis inférieur. En effet, le coffrage devait être suffisamment souple pour former des surfaces gauches en plus des efforts verticaux de poids de béton du hourdis inférieur et des âmes à reprendre. Chaque équipage a été équipé d'une passerelle de finition permettant de réaliser les finitions sur la totalité du voussoir précédent.

Après construction de la paire de voussoirs n° 08, une grue à tour a été montée sur le voussoir 06 côté rivière. Cette grue était nécessaire afin d'assurer les manutentions sur la demi-travée côté rivière jusqu'au dernier voussoir, et en particulier pour la manutention des cages de ferrailage préfabriquées au sol. Pendant la phase de montage de la grue, le voussoir n° 09 a été bétonné sur la demi-travée de rive. La construction s'est ensuite poursuivie par paires décalées jusqu'à la dernière paire de voussoirs 16 côté rivière et 17 côté rive. Les armatures de chaque voussoir étaient préfabriquées en deux éléments : le U d'une part était posé après ajustement des coffrages extérieurs, puis la dalle supérieure posée après ajustement du coffrage intérieur.

Chaque paire de voussoirs une fois coulée, est précontrainte par une paire de câbles 17T15 une fois la résistance de 30 MPa sur éprouvettes cubiques atteinte. Pour trois paires de voussoirs seulement, une deuxième paire de câbles 17T15 était tendue après une résistance de 50 MPa. L'ensemble de la précontrainte est situé dans la dalle supérieure. Les clavages d'une longueur de 3,20 m ont été réalisés avec les équipages mobiles. La conception prévoyait un vérinage des clavages avec un effort de 1,500 kN environ en travée de rive et de 10,500 kN en travée centrale. Juste après vérinage une charpente de bridage était installée afin de solidariser les deux côtés du clavage. Chaque clavage recevait une précontrainte d'éclisse intérieure au béton constituée de câbles de 19T15 et 27T15.

Après clavage et en séquence avec les charges de

Photo 4
Estacade
et pile en rivière
*Jetty
and pier in river*



Photo 5
Equipages mobiles
Mobile rigs



l'ouvrage (poids des grues, poids des équipages, poids des équipements sur le tablier), les opérations de précontrainte de continuité ont pris place. La précontrainte de continuité était essentiellement constituée de câbles 19T15 et 27T15. L'ensemble de la précontrainte de l'ouvrage, qu'elle soit interne au béton ou externe, est la précontrainte GTM du procédé SEEE avec assistance technique de GTM précontrainte sur le chantier.

Le démontage des équipages a été réalisé avec quatre palans à chaînes pneumatiques de capacités 12 t et quatre tirfors hydrauliques de 3 t. Le démontage s'est fait en quatre colis : la passerelle de finition, le hourdis inférieur et les deux structures latérales (colis le plus lourd : 20 t). En travées de rives les équipages étaient descendus au sol puis démantelés à la grue, en rivière ils étaient descendus sur une barge puis transportés à quai le long des jetées à portée de grue.

La première paire de voussoirs a été bétonnée en novembre 2000 et le chantier a réalisé le clavage de la travée centrale en août 2001. Les derniers travaux de finitions se poursuivent maintenant pour une livraison au client fin novembre 2001 (photos 4 et 5).

ABSTRACT

**Channel Tunnel Rail Link (CTRL) : High-speed rail link between London and the channel tunnel
Work section 350/410 : the viaduct over the Medway**

Th. Portafaix, C. Roude, L. Rosset

Construction of the viaduct over the Medway River began at the end of 1998 within the framework of section 1 of the high-speed railway link between London and the channel tunnel. When completed at the end of 2001, this viaduct will be the outstanding road structure on section 1 of the high-speed line between the channel tunnel and London, and will also hold the record for the span of a high-speed train viaduct. Trains will pass at 300 km/h over this structure above the Medway River. This article presents the project context, outlines the various stages in construction of the viaduct and, finally, describes the methods adopted for performing work within the framework of a partnership contract.

RESUMEN ESPAÑOL

**CTRL : enlace ferroviario de alta velocidad entre Londres y el túnel bajo el Canal de la Mancha
Lote 350/410 : el viaducto que franquea el río Medway**

Th. Portafaix, C. Roude y L. Rosset

La construcción del viaducto sobre el río Medway ha dado comienzo en 1998, en el contexto de la sección 1 del enlace ferroviario de alta velocidad entre Londres y el túnel bajo el Canal de la Mancha. Una vez terminado a finales de 2001, este viaducto será la estructura de ingeniería más destacada de la sección 1 de la línea de alta velocidad entre el túnel bajo el canal de la Mancha y Londres y ostentará el récord de distancia entre apoyos para un viaducto de alta velocidad. Los trenes salvarán esta estructura a 300 km por hora, por encima del río Medway. Se describe en este artículo el contexto del proyecto, mencionando las diversas etapas de la construcción del viaducto y, finalmente, se describen los métodos adoptados para la ejecución de las obras en el marco de un contrato en coparticipación.

Deep foundations in Hong Kong

Sur une superficie de 1 000 km² pour moins de 8 millions d'habitants, Hong Kong réalise un chiffre annuel de travaux de construction de plus de 100 milliards de francs! Les conditions géotechniques y étant particulièrement difficiles (par exemple arènes granitiques avec blocs ou remblais sableux gagnés sur la mer), le marché des fondations spéciales à Hong Kong est du même ordre de grandeur qu'en France; c'est dire l'intérêt de cet article présenté par un groupe mixte d'ingénieurs d'entreprise et de bureau d'études, qui décrit les principaux types de fondations utilisées au cours des trente dernières années et leur évolution actuelle.

Ce texte est publié en anglais pour mieux en respecter l'esprit, sachant que – s'agissant d'un article technique – la plupart des lecteurs sauront le comprendre sans problème.

This paper is an overview of deep foundation engineering in Hong Kong past, present and future. The enormity of the subject compared with the space available makes brevity inevitable. Issues of construction and design are covered and some examples of recent challenging projects are given. The content is aimed at those with an interest in foundations generally, but with limited knowledge of the Hong Kong scene. Reference is made to informative publications for further reading on specific topics.

The Hong Kong Special Administrative Region (SAR) is one of the most densely populated locations in the world. At the same time, much of its precious land resource is mountainous which limits the areas available for development without expensive site formation. The SAR is regularly hit by heavy rain and typhoons which have often triggered landslides in the many natural and manmade slopes in tropical soils. Despite these difficulties, the industry and resilience of the population has made Hong Kong a brilliantly vibrant, modern economy. The spectacular Victoria Harbour skyline is renowned with many of the world's tallest buildings vying for position on the waterfront. It is little wonder that this pitting of the forces of nature against mankind's boldness and ingenuity has led to the greatest concentration in the world of geotechnical brainpower.

■ GROUND CONDITIONS

When the British established their colony in the early 19th century it was described by pessimists as nothing more than a barren rock. Whilst meant to be derogatory in political terms this is an apt metaphor for the geomorphology of Hong Kong. It has steep, rocky slopes formed from hard igneous bedrocks which have weathered to varying degrees. Figure 1 is a highly simplified geological plan of

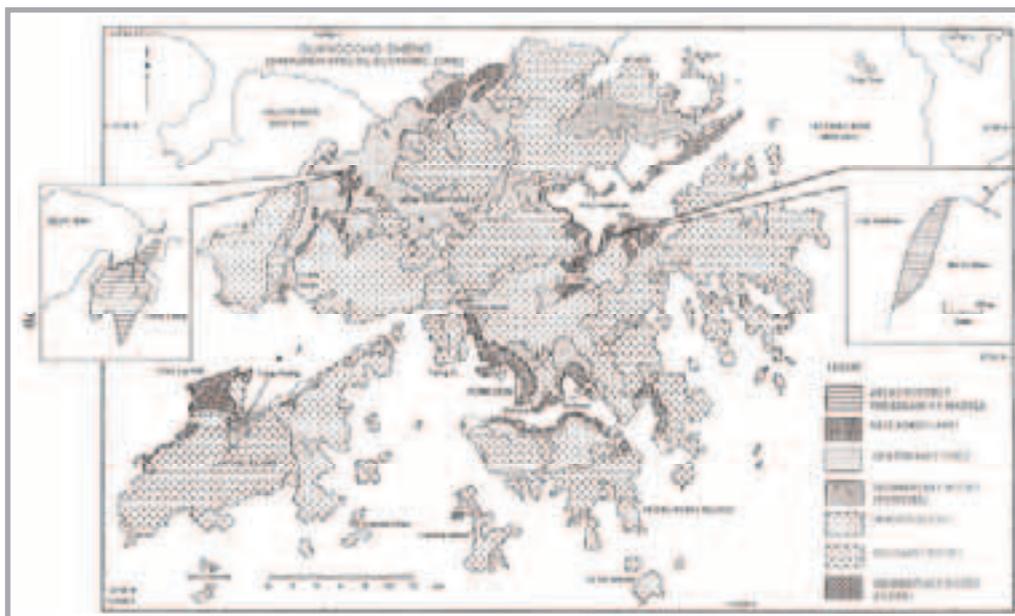
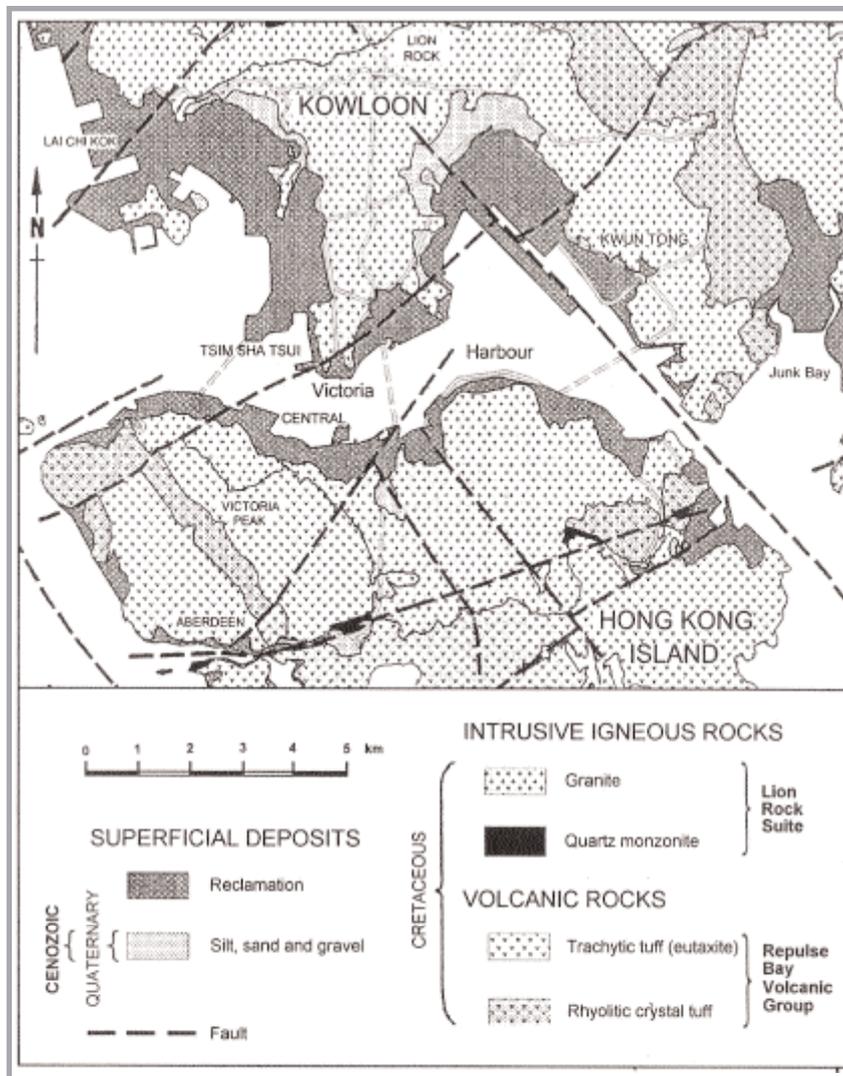


Figure 1
Simplified geological Map of Hong Kong
[(Modified from GEO (1996) and CHAN (1996)]

Carte géologique simplifiée
de Hong Kong [(modifiée sur la base
de GEO (1996) et CHAN (1996)]

Hong Kong island, Kowloon, The New Territories and Lantau island. In broad terms, the principal rock types are granites and volcanics. Smaller outcrops of sedimentary rocks occur of which the most significant to the foundation engineer are marble formations containing cavities in the North West and the East New Territories. Also shown on Figure 1 are areas of reclaimed land. Traditionally, the weathered rocks were used as reclamation fill. More recently, however, marine sands have been extensively used for large reclamations such as for the new airport at Chek Lap Kok and in West Kowloon. Soft marine clay and silt strata, sometimes of considerable thickness, overlying alluvial clays, silts and sands are present offshore and beneath many fills. Over half of the population occupy the hillsides and reclamations to the north and south of Victoria Harbour. Figure 2 is an enlargement of this area. The predominantly granitic soils and rocks in this area are excellent for the heavy foundations so often re-

Figure 2
Geology
of the centre
of Hong Kong
[From GEO
(2000)]
Géologie
du centre
de Hong Kong
[sur la base
de GEO (2000)]



required although the presence of obstructions such as corestones, buried boulders, old sea walls etc. are a common hazard to be overcome. The depth of weathering is highly variable. For instance, to the east of Central, moderately or slightly weathered granite is found within about 50 m of the ground surface favouring end bearing foundations, such as bored piles, for heavy structures. To the west, however, the depth to rock increases rapidly in areas to more than 100 m and friction foundations such as driven H piles and barrettes are more economical.

Malone et al. (1990, 1992) describe the geology of Hong Kong in particular relation to the piling industry.

COMMON TYPES OF FOUNDATIONS

The Past

Deep foundations available in the past, but no longer or rarely used today include :

Wood

Natural poles with round tapering sections with diameters to 430 mm at the butt and sawn timbers to 470 mm square driven into the ground.

Concrete

Hand-dug caissons typically 1.5 m to 3 m diameter, but sometimes larger for very tall buildings.

Precast reinforced or prestressed driven concrete piles up to 500 mm square.

Driven cast-in-situ piles up to 600 mm dia. Several proprietary systems such as Franki, Vibro and Zeissl piles were available.

Pressure piles up to 470 mm diameter.

Steel

H piles formed of Grade 43 (mild) and Grade 50 (high yield) steels (Grade 55 steel is now used).

Composite

Proprietary systems such as those developed by Gammon (precast conc./grout composite) and Franki (in situ conc./steel composite) up to 610 mm diameter.

All of the above foundation types were successful in their day, but were superseded by the advent of superior materials, construction equipment and/or concerns over health and safety, as well as the need for ever higher load carrying capacities. Other piling systems, such as large diameter bored piles, continuous flight auger (abbreviated as CFA and also locally known as pakt-in-place or PIP) piles, minipiles and driven pipe piles were available then and are still in use today albeit in improved forms. These and newer methods are described below.

A snapshot of the state of the foundations industry twenty years ago may be found in the Symposium On Piling (1981). Specific historical information regarding hand dug caissons is contained in Mak (1993) and Mak et al (1994). Similarly, Bruce and Yeung (1984) includes further reading on the introduction of minipiles to Hong Kong.

The Present

Changing regulations and requirements have had a significant effect on foundation construction in recent years. Hand dug caissons have recently been banned from use except in exceptional circumstances. They were generally used in areas where corestones were prevalent or where a very high load capacity was required. Larger diameter bored piles of up to 3 m diameter are now commonly used to take heavy loads with bellouts in rock to form toe areas up to about 4.5 m in diameter and allowable loads up to about 120 MN. Stricter controls have led to the exclusion of the use of bellings chisels. Mechanical bell out tools are now obligatory.

Down the hole hammers are widely used for pre-boring for installation of steel piles through corestones and rock material. The steel piles are either driven to a set in soil or grouted to transfer load by shaft resistance and occasionally also toe resistance in rock, sometimes with additional reinforcement to give allowable loads to about 6.5 MN.

Where vertical loads are to be carried on the alignment of deep basement retaining walls, diaphragm walls are often used. Barrettes are sometimes used as end bearing foundations but in this mode bored piles are generally more efficient due to the increase in bored pile capacity afforded by the use of bell outs. Where there is a significant depth of decomposed soil above bedrock, the use of barrettes to take loads by shaft resistance has become relatively common over the last ten years. The use of shaft resistance where rock is deep can allow barrettes to be founded many metres above rock head. Bored piles are sometimes designed to carry load in shaft resistance, but load tests have shown less consistent results. Where rock is very deep the capacity of friction barrettes is limited by the allowable concrete stress. Continuous flight auger piles are sometimes used and can take loads to about 2MN, but in most situations the depth required to achieve acceptable founding levels and/or the presence of obstructions renders the method impractical. For relatively small loads (< 1500 kN) and where access is difficult, minipiles are often used, either socketted into rock or pressure grouted in soil.

Precast, prestressed very high strength, spun concrete driven piles have been used extensively for building foundations since the early 1980's [Evans (1987)]. The most commonly used size of pile has a 500 mm outside diameter and 300 mm internal diameter and can carry an allowable load of 2.3 MN. In recent years the use of spun concrete piles has diminished in favour of driven steel H piles. One reason for this is that steel piles are generally considered to have a superior performance in ground where hard driving is necessary.

The most commonly used H piles are manufactured from very high strength Grade 55 steel. Typical sizes are 305 x 305 x 180 kg/m and 305 x 305 x 223 kg/m which can carry allowable loads of 2.96 MN and 3.55 MN respectively. Open-ended tubular steel piles are often used in marine structures. Pile sizes are usually 800 mm to 1500 mm in diameter, but piles up to 2000 mm diameter which carry allowable loads of up to 7.0 MN have been used. Tubular piles are usually manufactured from Grade 50 steel.

The desire to reduce the time needed for construction of projects with basements has led to greater use of top down construction, with steel columns placed in bored piles or barrettes to allow superstructure construction to proceed during basement excavation. The method sometimes has limitations due to the superstructure design, particularly in the case of very tall buildings, where adequate capacity to carry a significant proportion of the total load within a practical top down column arrangement is difficult to achieve. In such cases the foundations can be isolated within a shaft, allowing excavation of the area of the tall part of the structure to proceed as bottom up construction ahead of the

rest of the basement. In exceptional circumstances shafts have been excavated to rock to provide very high load bearing areas.

■ CONSTRUCTION METHODS

Some practitioners classify deep foundations into two broad categories which relate to their method of construction [see for example GEO (1996)] :

- ◆ displacement : these involve pile driving;
- ◆ replacement : these involve forming a hole and replacing the spoil with concrete, grout, steel etc.

The Past

Methods used at least fifteen or twenty years ago, but which are seldom if ever used nowadays include the following.

Displacement

Steam and pneumatic hammers which can be either single-acting or double-acting types.

Diesel hammers were by far the most common pile driving equipment until very recently since the SAR Government restricted their use.

Drop hammers are still used occasionally where hard driving or reduced vibrations are required.

Replacement

Hand dug caissons were excavated using hand tools in stages of up to about 1 m. Each stage of excavation was lined with in situ concrete rings. Dewatering by pumping from sumps in the excavation floor or by deep wells outside the caisson kept the excavation dry. Construction was a hazardous business in all, but the largest of caissons. They are now banned except where there is no practical alternative.

Pressure piles were excavated using a tripod and shell-and-auger equipment with the sides of the bore supported by a steel casing. After placement the concrete was forced down using compressed air.

Bellouts for bored piles were traditionally constructed using inclined chisels and inspected by divers. Nowadays they are formed with special bellout tool attachments to reverse circulation drills and inspected by geophysical techniques.

The Present

Construction methods have evolved in recent years to meet the requirements for foundations to be constructed more quickly and to carry ever increasing loads.

Larger reverse circulation piling equipment has been introduced to allow an increase in bored pile diameter from 2.5 m to 3 m. Rotators are now used by some contractors to penetrate through cores-

Table 1 - Geotechnical Design Parameters

Material Description (granite and volcanic rocks)	r' (kN/m ²)	r_s (kN/m ²)	E (MN/m ²)
1. Fresh to slightly decomposed strong rock of material weathering grade II or better, with a total core recovery of more than 95% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material (UCS) not less than 50 MPa (equivalent point load index strength PLI ₅₀ not less than 2 MPa).	7500 (PR)	>700 (PR)	+
2. Slightly to moderately decomposed moderately strong rock of material weathering grade III or better, with a total core recovery of more than 85% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material (UCS) not less than 25MPa (equivalent point load index strength PLI ₅₀ not less than 2 MPa).	5000 (PR)	>500 (GA)	+
3. Moderately decomposed, moderately strong to moderately weak rock of material weathering grade III or IV or better, with a total core recovery of more than 50% of the grade.	3000 (PR)	300 (GA)	+
4. Highly decomposed rock with SPT N value greater than 200 blows/300mm.	1000 (GA)	50 to 100* (GA)	0.8N to 1.4N [@] (GA)
5. Completely to highly decomposed rock with SPT N value less than 200 blows/300mm.	5N (GA)	0.4N to 0.6N [†] (GA)	0.8N to 1.4N(GA)

(PR)	Prescribed values (as prescribed in PNAP 141 (1995))
(GA)	Generally accepted values (full scale load tests may be required/imposed to verify)
N	Standard penetration test "N" value in blows/300mm
+	The Young's modulus of moderately decomposed to fresh rock is not usually considered
*	Value depends on construction method
†	Value depends on construction method and subject to maximum values limited by *
@	Extrapolated N values used as SPT's are usually terminated at 200 blows/300mm
Notes:	Under wind loading the above capacities are increased by 25%

Table 1
Geotechnical Design
Parameters

Paramètres d'études
géotechniques

tones and other hard material. Reverse circulation cutters (otherwise known as hydrofraise or mills) allow barrettes and diaphragm wall panels to be excavated very efficiently through deep layers of hard material where penetration with mechanical grabs would be very slow. The introduction of improved joints (such as the CWS joint) has permitted an increase in the practical thickness of diaphragm wall panels and 1.5 m thick diaphragm walls are now common. Down the hole hammers are much more widely used than in the past. The size of these hammers is generally limited to 500-600 mm diameter but larger diameters are now becoming available. For many years driven piles were installed mainly by diesel hammer. Where piles were too heavy or long for the heaviest diesel hammers available (often a ten ton hammer for land piles) then a final set was often achieved using a large drop hammer. Since 1998, the SAR Government has been actively phasing out the use of diesel hammers due to the high noise level and pollutant exhaust gases associated with them. They have now been largely replaced by hydraulic hammers.

DESIGN

The foundation industry in Hong Kong is highly regulated and the plethora of rules are confusing to the newcomer and perplexing to the old hand. It is fair to say that with regard to construction methods, many contractors who operate in the SAR use equipment which is state-of-the-art. Unfortunately, the

same cannot be said for the design process. Developments like the use of limit state design (eg. the Eurocode) have yet to touch the local industry. The following are quotations from two publications :

◆ *Faber* (1981) : "The design of piled foundations has hardly developed at all in the last 20 years in Hong Kong in spite of the large volume of practical experience and research from other places which is evident from the extent of the literature."

◆ *Li et al.* (2000) : "There has been relatively little change in the design practice of deep foundations in Hong Kong since the early 80's, although significant advancement has been made in the construction techniques."

One wonders what has been happening for the past forty years. Why has all that brainpower mentioned in the introduction not resulted in corresponding advancement of the art of foundation design? The answer lies not in the ability of designers to carry out sophisticated analysis which is as good as anywhere in the world. It is also not due to any shortcoming in research facilities and testing techniques. Furthermore, it is not a lack of willingness in government and private industry to invest in research and development. What, then is it?

Approvals

All foundation works are regulated by the Government of the Hong Kong Special Administrative Region (GHKSAR). Private works are subject to the statutory requirements given in the Buildings Ordinance (BO) which are administered by the Buildings Department (BD) of the GHKSAR. Public sector works are controlled by other government departments which include :

- ◆ Architectural Services (ASD);
- ◆ Civil Engineering (CED);
- ◆ Drainage Services (DSD);
- ◆ Highways (HyD);
- ◆ Housing (HD);
- ◆ Port Works (PWD);
- ◆ Territory Development (TDD);
- ◆ Water Supplies (WSD).

All private and public sector foundation works which have a significant geotechnical content are vetted by the Geotechnical Engineering Office (GEO) which is part of the CED and which acts as advisor to all other departments.

Public sector works are generally undertaken following similar standards as required by the BO. However, there is no one document which specifies the requirements of the GHKSAR with regard to foundation design. The BO is supplemented by Practice Notes for Authorized Persons and Registered Structural Engineers (PNAP's). Those PNAP's which have relevance to foundation design are listed in the references. Every other department has its own specification or manual. Although each department has rules which have apparently minor

differences in matters of detail, these differences can have crucial impacts on the acceptance or otherwise of foundation designs (For example, the Housing Department and the Architectural Services Department stipulate a minimum spacing of bored piles end bearing on rock of twice the pile toe diameter whilst the Buildings Department allows the designer to exercise his or her judgement as to a reasonable spacing.).

The role of the BD in the control of foundation works is described by Choy and Pang (2000). The relationships between various parties for typical construction contracts is described by Walsh (1996).

Accepted Practice

Nearly all designs, both private and public, are carried out using a surprisingly small number of prescribed or generally accepted parameters which are conservative. There is provision under the BO for "rational" designs, using parameters determined by sound engineering principles, to be submitted and accepted.

However, in practice, the justification of the "rational" design to the BD's satisfaction takes so long and is so expensive (usually involving the performance of preliminary full scale pile tests at every site where the design method is to be adopted) that the benefits of less conservative design are usually outweighed by the time and cost to justify it. In the SAR, land is scarce and its cost is very high. Fast track construction is therefore a primary objective of all development in order to turn the land into a revenue earning asset. Any time lost in construction therefore translates immediately to a large financial burden. Notwithstanding these comments, "rational" designs have been done for a few projects, see for example Arup (1999).

The most important parameters for deep foundation design in the SAR are allowable (or prescribed) toe resistance values (r_t), allowable shaft resistance values (r_s) and Young's moduli (E) of the soils. As described above, most foundations are constructed in areas where granites or volcanics are present. The prescribed (PR) and generally accepted (GA) values of parameters for these rocks as usually applied to large diameter bored piles and barrettes are summarised in Table 1. The symbol "N" used in the table and in the following represents the standard penetration test N value in blows/300 mm.

Continuous flight auger (CFA) piles are usually designed to carry load in a combination of shaft and toe resistances in soil. Parameters for these piles which are generally accepted by BD are :-

- ◆ $r_s = 1.6 \text{ N kN/m}^2$ (max value = 64 kN/m^2);
- ◆ $r_t = 5 \text{ N kN/m}^2$ (max value = 1000 kN/m^2).

Minipiles and prebored H piles constructed using down-the-hole-hammer equipment are normally designed as rock socketted piles where only shaft re-

sistance within the socket is considered (shaft resistance in soil and toe resistance is ignored). Generally accepted shaft resistance values are 700 and 500 kN/m^2 for material types 1 and 2 respectively in Table 1. Pressure grouted soil friction minipiles have occasionally been used. The example described by Lui et al. (1993) used $r_s = 1.67 \text{ N kN/m}^2$ with a maximum value of 167 kN/m^2 in completely decomposed granite.

Under wind loading, all of the above capacities may be increased by 25 %.

Driven piles are usually designed on the basis of their structural capacity and then hammered to an adequate set (As a rough guide, steel H sections found where the N value reaches 200 blows/300 mm or more). The pile capacities are therefore governed by the pile material strength and not the bearing capacity of the ground. The pile set must be determined using the Hiley formula under local regulations.

This often causes difficulties, particularly for long piles, due to the inaccuracy of the method.

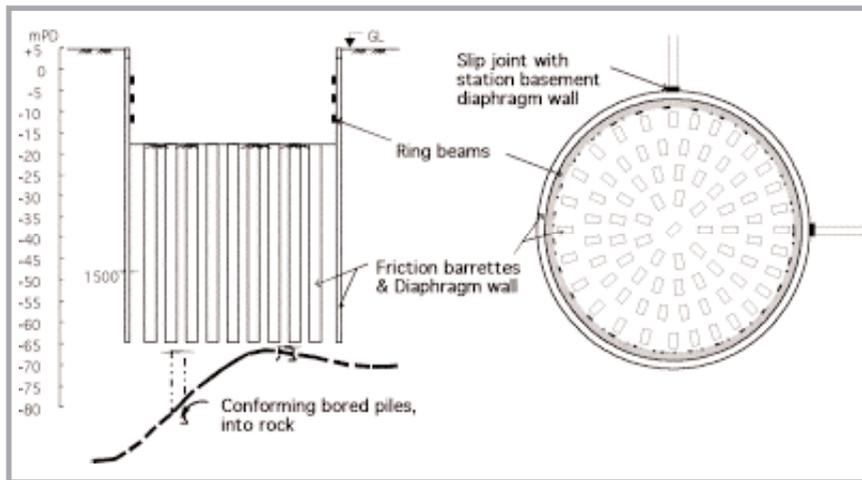
Those areas which have been found to be underlain by buried marble in Yuen Long and Ma On Shan (see Figure 1) present particular problems. The impact of solution features on foundation design was first investigated about fifteen years ago [Pascal (1987)] and eventually became a specific aspect of control by the GEO. Chan (1996) and Kwong et al. (2000) provide overviews of much of the experience gained in these karstic regions and the regulatory framework which is in place to control development in them. Nowadays, tower blocks of forty storeys are routinely designed and built on the marble.

Analysis

The slow progress in the use of more realistic design parameters is offset to some degree by greater sophistication in methods of analysis. The availability of complex computer modeling techniques for both the ground and the structure enables full soil-structure interaction analyses to be performed. The common practice of separation of the analysis of the superstructure from that of the foundation with a relatively arbitrary assumption of movement compatibility at the interface is being replaced by more realistic all embracing structural models with the ground response calibrated into them.

This has benefited the overall cost effectiveness of some projects by reducing the tendency to design for a minimum of three or four piles beneath a column or pier in order to provide a "rigid" base for the superstructure. Allowance for the additional flexibility of a pair of piles or a single pile permits considerable savings to be made, but requires greater skill in the prediction of foundation movements and their effects on the structure and surroundings.

Figure 3
Case Study 1
Etude
de cas 1



► FUTURE TRENDS IN THE HONG KONG FOUNDATIONS INDUSTRY

The face of Hong Kong rises ever taller. The SAR's tallest building (Wanchai's Central Plaza) has seventy eight storeys, but soon this will be eclipsed by others with eighty to ninety storeys and more. Hong Kong also has one of the world's largest bridges (The Tsing Ma suspension bridge) and again more are planned. As the structures grow so their foundation loads increase. At the same time, development is taking place in more and more areas of difficult ground such as the marble in Yuen Long and Ma On Shan, the complex geology in Tung Chung and in steeply sloping sites with limited access. Environmental considerations are now given much greater priority than in the past. Construction methods must therefore be adapted to meet much more stringent regulations. There is therefore a continuing need to develop stronger, more flexible, cost effective and environmentally friendly construction methods and also to improve the efficiency of designs. A few areas of potential development are outlined in the following.

Methods of Construction

Shaft grouted foundations

Shaft grouting is a technique which improves the shaft resistance of deep foundations by injection of cement grout between the freshly cast in-situ foundation and the surrounding ground. It is carried out as follows :

- ◆ small diameter sleeved grouting pipes (known as tube-a-manchettes) are attached to the reinforcement cage and placed within the excavated hole prior to concreting;
- ◆ the sleeves are opened by a process known as 'water cracking' within 24 hours after concreting by pumping a small quantity of water at high pressure into each sleeve;
- ◆ once the concrete of the foundation has gained sufficient strength, the grouting process is carried out wherein about 20-40 l/m² (of the developed perimeter of the foundation) of cement grout, having a 7-day strength of 25 MN/m², is injected through the sleeves.

Foundations using this technique were recently tes-

ted in Hong Kong as part of a large scale deep foundation load testing programme with applied loads of up to 35 MN using kentledge and Osterberg cells. The first major project to use the method is currently under construction.

Improvements in down the hole hammer (DTHH) techniques

To overcome the environmental concerns of dust and pollution from cuttings being blasted into the air, reverse circulation (RC) systems are likely to become more important. The cuttings are brought to the ground surface inside the drill string and can be deposited in a controlled manner. RC systems also require less air to operate and lift the cuttings from the base of the hole, which minimises disturbance to the ground and has the added benefit of reducing the number of air compressors, thereby saving both cost and space. As foundation elements are extending deeper in response to the marginalisation of Hong Kong's urban development, RC systems can overcome the need for very high air pressures associated with direct circulation methods in areas of high ground water table. Closed loop hammers have recently been developed in conjunction with reverse or direct circulation methods and casings filled with fluid at all times. These methods cause least disturbance and are likely to become more common. See Buckell (2000) for further information.

Another trend in the DTHH market is the increase in socket diameters, with 762 mm and 850 mm or larger being considered for H-pile foundations. Even larger diameter sockets have been formed at the toes of bored piles using cluster drills (multiple DTHH) instead of the conventional reverse circulation drilling with rock roller bits.

High Strength Concrete

The use of high strength concrete is well established in many countries. It is gaining credence in the SAR with several building superstructures already constructed using concrete grades of 60 MPa and more. At present, the highest grade of concrete permitted under the Building Ordinance is 45 MPa which is becoming an increasingly important limitation as foundation loads increase. Too often one finds examples where two and three rows of steel cages are required in bored cast in situ piles to enable 3 or 4 % of compression steel to be installed to make up for the shortfall in capacity of the concrete. An increase in the concrete strength is the next logical step.

Design

The most widely used deep foundation type in Hong Kong is the large diameter bored pile. The prescribed (PR) allowable bearing pressures tabulated in Table 1 are adopted for nearly all large diameter bored piles which, with few exceptions, are designed

as end bearing on rock with no account taken of shaft resistance in either rock or soil. The advantages of the prescribed values are firstly that they are simple to apply in designs and hence approval to construct is achieved quickly. A second reason is that they have been used with little modification for many years and therefore local practitioners feel comfortable with them. In a fast track environment, these advantages should not be underestimated. A principal disadvantage of the prescribed values is that the art of foundation design has fallen behind international practice. There is little scope for the exercise of geotechnical engineering judgement. As a result the industry has concentrated on the development of machinery which will remove rock which is "not quite good enough" and replace it with concrete which is perhaps no better. Improvements would include :

- ◆ 1) Better definitions of rock characteristics which include the degree of fracturing ;
- ◆ 2) The use of both shaft and toe resistance for deep foundations founded on rock ;
- ◆ 3) The estimation of rock stiffness and its inclusion in settlement analyses ;
- ◆ Higher allowable bearing pressures where the rock is sufficiently competent.

Where bedrock is deep, friction barrettes and driven H piles are generally more efficient than large diameter bored piles.

For friction barrettes, the most important parameter is the generally accepted (GA) shaft resistance values (r_s) given in Table 1. As described above, shaft grouted barrettes have begun to replace plain friction barrettes since the grouting process has been shown to enhance the shaft resistance by two to three times or more. The value of r_s which is currently accepted by BD for shaft grouted barrettes in completely decomposed granite is $1.25 N_{SPT}$ kN/m² up to a maximum value of 100 kN/m².

The driving of piles has been controlled by means of the Hiley formula for many years probably for similar reasons as those given for the longevity of the prescribed end bearing values for foundations on rock. More realistic methods, particularly for long piles, incorporating wave equation analyses have yet to make a significant impact on local practice. Young's modulus (E) of soils is an important parameter in the estimation of movements. There is a growing body of evidence which suggests that the generally accepted values of E given in Table 1 are overconservative particularly for lateral loading. Littlechild et al. (2000)^{a, b} and HKIE (2000) describe work to advance some of these issues.

■ INNOVATIVE SOLUTIONS

The relative lack of sophistication in design principles and parameters does not preclude the development of ingenious foundation schemes.

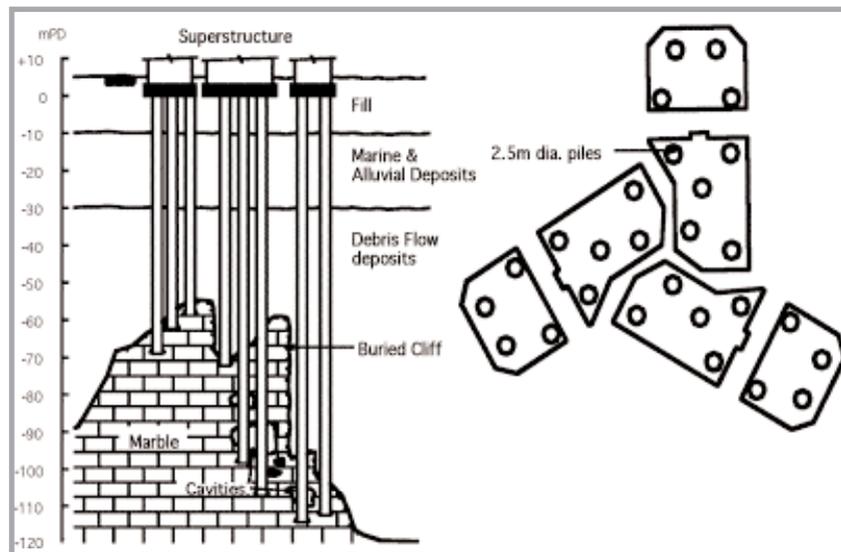


Figure 4
Case Study 2
Etude de cas 2

Increasing site and geological constraints and competition to win work requires ever greater innovation. Three examples of recent projects which demonstrate this trend are described.

Case Study 1 (figure 3)

The site is near the waterfront in Central. The conforming scheme had consisted of a circular diaphragm wall shaft, 50 m in diameter, within which 2.8 metres diameter bored piles were to be constructed to depths of some 90 to 100 metres in order to be end bearing on rock. The alternative solution involved replacement of the bored piles with 74 barrettes and deepening the diaphragm wall to act as a friction foundation.

The alternative had three major advantages over the conforming scheme. Firstly, the time for construction was greatly reduced (excavation for a bored pile would have taken more than 3 weeks while one barrette could be excavated in a day). Secondly, the bored pile construction would have needed a larger working area than the barrettes. Thirdly there was a considerable cost saving.

The location of this site did not allow for full advantage to be taken of the advances in accuracy of diaphragm wall construction now available with modern methods and equipment. One quadrant of the 50 metre diameter diaphragm wall cofferdam was incorporated into the basement of the adjacent station which thus precluded the mobilising of uniform hoop stress as the main support element. As a consequence three massive reinforced concrete ring beams were required to be constructed as excavation to basement level proceeded. Not only did these restrict the excavation, but they required even more time and effort to demolish them as construction rose from the basement slab to ground level.

Case Study 2 (figure 4)

A recent project in Ma On Shan involved the construction of foundations for a number of 39 storey tower blocks on reclaimed land underlain by marble with cavities at great depth. A previous attempt at constructing foundations at the site had failed. Large dia-

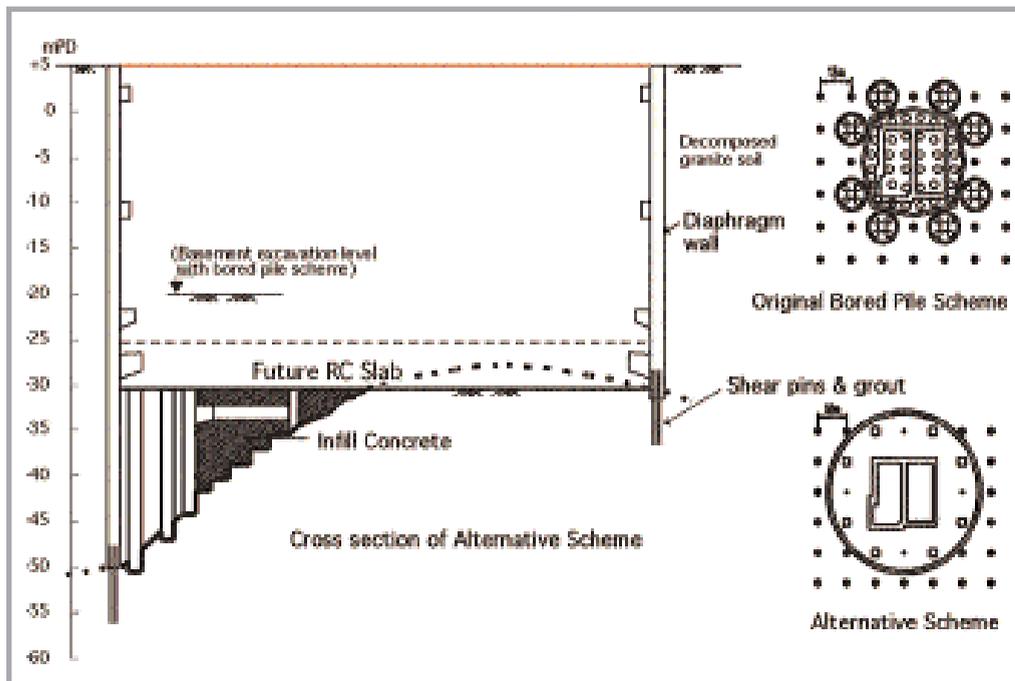


Figure 5
Case Study 3
Etude de cas 3

meter bored piles, 2.5 metres in diameter, were selected as an alternative foundation type and the deepest of these was drilled to some 120 metres below ground level.

Many of the piles were designed to penetrate the worst of the karstic solution features, but to attempt to go through them all would have been prohibitively expensive. Instead, a very comprehensive site investigation was carried out to reveal the extent and nature of the cavities so that a model of the ground could be built up in great detail. The pile founding levels were then adjusted within the model and fixed where the computed net increases in stress from the foundation loads at all the cavities beneath the pile toes were less than acceptable values.

The piles were excavated under water using hammer grabs, heavy chisels and reverse circulation drills. The sides of the pile bores were supported using steel casings which were installed by rotator. Up to three casings were telescoped concentrically from a maximum diameter of 3 metres for the deepest piles. This was to minimise the depth over which soil friction acted on the outside of a casing and hence reduce the torque required from the rotator.

Case Study 3 (figure 5)

This particular site is close to Case Study 1, but was clear of all other foundations and thus allowed for the accuracy of diaphragm wall construction to be utilised to enable the support of the foundation excavation to be taken principally by hoop stresses within the diaphragm walls. The conforming solution for the foundation of the 88 storey

tower required 72 no. 3 m diameter end bearing bored piles with 4.2 m diameter bellouts in rock. A cofferdam was also required around these to enable pile caps to be constructed some 30 m below ground level, the details of this being left to the contractor's choice.

The alternative proposal consisted of a large diameter circular diaphragm wall shaft, within which the excavation was carried down to rock. The piles and pile caps were thus eliminated, with the tower founded on a 6 m thick reinforced concrete base slab founded directly on rock. Where the rock was lower than the underside of this base, mass concrete was used to fill up to the base level. The cofferdam, required anyway for the base construction, became an integral part of the design and construction.

The diaphragm wall shaft had an internal diameter of 61.5 m, a thickness of 1.5 m and was designed to resist soil and water pressure by hoop compressive stress. The hoop stress can only be mobilised if the effective wall thickness is maintained, which is a function of the accuracy with which the diaphragm wall panels can be constructed. The use of hydraulic cutters with built in inclinometers enabled the required verticality tolerance of 1/500 to be achieved. The diaphragm wall was toe grouted to control seepage.

Additional site investigation carried out after mobilisation to site showed that the rock level was some 10 m deeper than expected in one area. This meant that, in order to keep hoop stresses and vertical bending moments in the deep rock area within allowable limits, internal ring beams were required to carry part of the load. To limit the problem caused by the construction and removal of these, the lowest beam, much larger than those above, was designed to remain, and to become part of the base slab.

In the area of deep rock, an additional diaphragm wall was constructed and braced against the rock in order to maintain the passive pressure on the inside of the circular diaphragm wall, with barrettes and connections to the outer wall taking the load down to the rock between the walls.

Further information about this project may be found in Sunderland et al. (1999).

■ TYPICAL FOUNDATION CAPACITIES

This paper has described a number of different aspects of design and construction. In order to give a guide to areas of present and future application of common foundation types, the range of allowable loads under dead and live loading for different types of deep foundations in Hong Kong is summarised in Figure 6. The allowable loads may be increased by 25 % under wind loading.

■ PROBLEMS WITH BORED PILES

No contemporary paper on foundations in Hong Kong should ignore the recent highly publicised cases of short piles.

The first of the recent cases came to light in November 1997 on a foundations contract for a development adjacent to a railway site when the bored piling was about two thirds complete. Investigations, by coring all the bored piles constructed at that date, found few that had been sunk to the correct depth. Remedial measures were proposed by the contractors, were accepted by all concerned and were expedited simultaneously with the remaining work under the original contract. The remedial measures included addition of one, two, three or four H piles prebored into rock, both internal through the pile stem or externally, coring out the middle of the pile and extending it down and out into a bellout, jetting out and grouting the toes of the piles and replacing the load carrying capacity with two adjacent bored piles or barrettes to carry the loads from top down construction.

Investigations by Hong Kong's Independent Commission Against Corruption (ICAC) into the above case resulted in the conviction of eleven persons and revealed the details by which the conspiracy had concealed the extent of the deception. Methods used included the falsification of documents such as tremie records and concrete delivery notes, the use of shortened tapes, false sonic logs, introduction of lengths of concrete cores from other sources and the unsuccessful attempt to bribe the inspector. However, despite the publicity, evidence of defective piling being deliberately concealed continued. The most recent case concerned a Housing Department contract which was investigated by an independent investigation panel. It is to be hoped that the results of this, together with the continued efforts of all parties in the foundations business, will ensure that this problem is a thing of the past. Further discussion of these issues may be found in Wong (2000) and Nunn & Choy (2000).

■ CONCLUDING REMARKS

During the last century the size of buildings in Hong Kong has increased from a few storeys to over eighty storeys. Over the same period foundations have progressed from shallow driven timber piles to very large reinforced concrete foundations, sometimes over one hundred metres deep. At the same time the requirement for land has led to the need to build structures on sites with difficult/sloping ground conditions and with strict programme, safety and environmental constraints. The desire to build larger and/or taller structures and the fiercely competitive nature of the industry will ensure ongoing development and innovation.

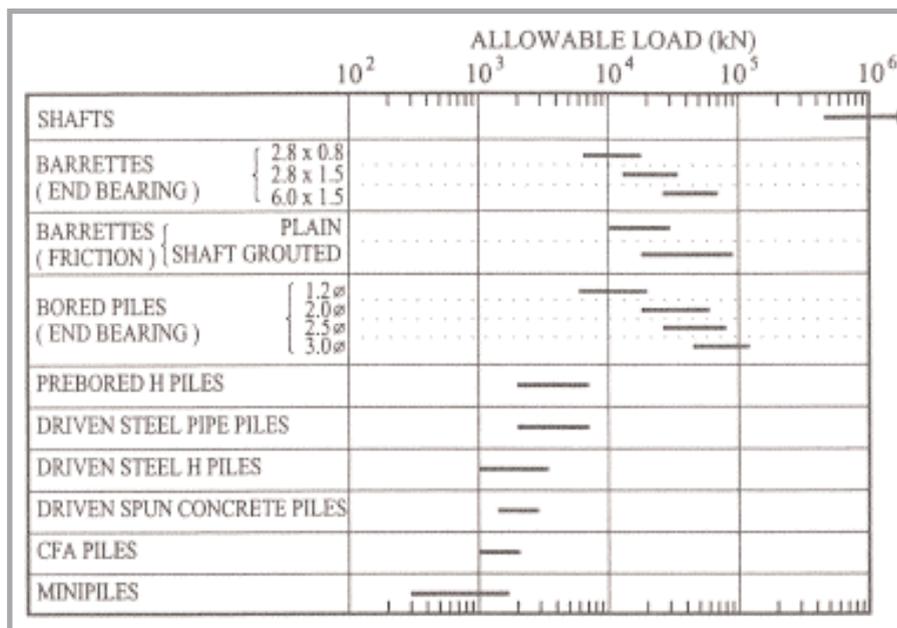


Figure 6
Typical Deep foundation Capacities

Capacités types en fondations profondes

Advances in deep foundation types and construction methods have been significant, particularly over the last twenty to thirty years. The Hong Kong foundations industry is arguably the world leader in the use of hydraulic cutters, reverse circulation drilling and down-the-hole hammers. Much of the plant used for bored piling is developed or modified locally. Such equipment and methods are not extensively used in many urban hubs such as Manhattan, San Francisco and Kuala Lumpur where the built environments have many similarities to Hong Kong. The technology is, however, readily exportable and once sufficient knowledge is transferred to other marketplaces it will be possible to compete with the already established local industries.

There has been relatively slow development of design methods. The general approach to foundation design has not changed significantly over the last twenty years. There has been some recent progress with efforts to promote new techniques allowing greater shaft resistance to be mobilised and to demonstrate that allowable toe resistances can be increased. There is room for further progress and wider acceptance of less conservative parameters at the same time as more careful and controlled construction.

With improvements in design, more innovation and further development in construction the Hong Kong foundation industry will no doubt be able to meet the demands of the new century.

■ REFERENCES

- ◆ Arup (1999), "Technical memorandum for bored piles and barrettes on West Rail Project Phase 1", *Kowloon Canton Railway Corporation*, 8 th October 1999.
- ◆ Bruce, D.A. & Yeung, C.K. (1984), "A review of

Construction site
in Hong Kong

Hong Kong
en chantier



minipiling with particular regard to Hong Kong applications", *Hong Kong Engineer*, vol. 12, no. 6, pp 31-54.

◆ Buckell, R. (2000), "New techniques for large diameter bored pile drilling operations in rock", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 127-133.

◆ Buildings Ordinance, Cap 123, Government of the Hong Kong Special Administrative Region.

◆ Chan, Y.C. (1996), "Foundations in karst marble in Hong Kong", *Twelfth Southeast Asian Geotechnical Conference*, Kuala Lumpur, pp 1-32.

◆ Choy, K.K. & Pang, P. (2000), "Control on foundation works by the Buildings Department", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 221-227.

◆ Evans; G.L. (1987), "The performance of driven prestressed concrete piles". *Hong Kong Engineer*, vol, 15, no.2, pp 9-16.

◆ Faber, J.C. (1981), "Piling types in Hong Kong", *Hong Kong Engineer*, vol. 9, no. 3, pp 9-16.

◆ GEO (1996), "Pile design and construction", *GEO Publication No. 1/96*, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong Government.

◆ GEO (2000), "Geological Map of Hong Kong - Millennium Edition", Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Government of the Hong Kong Special Administrative Region, January.

◆ Hill, S.J., Littlechild, B.D., Plumbridge, G.D. & Lee, S.C. (2000), "End bearing and socket design for foundations in Hong Kong", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 169-177.

◆ HKIE (2000), "Foundations", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers* (Papers by Hope et al., Hill et al., Littlechild et al., Ng et al. and Plumbridge et al.).

◆ Kwong, J.S.M., Lee, M.K. & Tse, S.H. (2000), "Foundation design and construction aspects in marble (Ma On Shan) – An overview of geotechnical control", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 231-237.

◆ Littlechild, B.D., Hill S., Statham, I., Plumbridge, G. & Lee, S-C (2000) a, "Determination of rock mass modulus for foundation design", *GEO Denver 2000*.

◆ Littlechild, B.D., Hill S., Plumbridge, G. & Lee, S-C (2000) b, "Load capacity of foundations on rock", *GEO Denver 2000*.

◆ Li, K.S., Lo, S-C.R., Lam J. (2000), "Design of deep foundations in Hong Kong – Time for change?", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 77-86.

◆ Lui, J.Y.H., Cheung, S.P.Y. & Chan, A.K.C. (1993), "Pressure grouted minipiles for a 12-storey residential building at the mid-levels scheduled area in Hong Kong", *Proceedings of the International Conference on Soft Clay Engineering*, Guangzhou, pp419-424.

◆ Mak, Y.W. (1993), "Hand-dug caissons in Hong Kong", *The Structural Engineer*, vol. 71, pp 204-205.

◆ Mak, S.H., Ho, K.K.S. & Lam, C.H. (1994), "Hand-dug caissons in Hong Kong", *Proceedings of the Third International Conference on Deep Foundation Practice*, Singapore, pp 169-175.

◆ Malone, A.W. (1990), "Geotechnical phenomena associated with piling in Hong Kong.", *Quarter-*

ly *Journal of Engineering Geology*, vol. 23, pp 289-305.

◆ Malone, A.W., Ho, K.K.S. & Lam, T.S.K. (1992), "Piling in tropically weathered granite – Keynote Paper.", *Proceedings of the International Conference in Geotechnical Engineering – GEOTROPIKA'92*, Kuala Lumpur.

◆ Nunn, P. & Choy, C.Y. (2000), "Piling problems – Legal and regulatory issues", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 245-254.

◆ Pascal, D. (1987), "Cavernous ground in Yuen Long, Hong Kong", *Geotechnical Engineering*, vol. 18.

◆ Practice Notes for Authorised Persons and Registered Structural Engineers (PNAP's) 66, 77, 79, 85, 104, 121, 122, 131, 132, 141, 145, 158, 161, 165, 186, 187, 215, Buildings Department, Government of the Hong Kong Special Administrative Region.

◆ Symposium on piling (1981), *Hong Kong Engineer*, vol. 9, nos. 3 and 4. (Including papers by Faber, Davies & Chan, Morton et al., Wong, Rawcliffe and Dorman.).

◆ Sunderland, P., Chan, K.M., & Lau, C.P. (1999), "The big hole in Central", *Hong Kong Institution of Engineers Civil Division web site* :

www.hkiecvd.org/Feature/Articles/P9899GO/.htm.

◆ Walsh, N.M. (1996), "Geotechnical personnel and the design-and-construct contractor in Hong Kong", *Proceedings of the Workshop on Human Resources in Geotechnical Engineering*, Hong Kong Institution of Engineers.

◆ Wong, D. (2000), "Corruption prevention in foundation works", *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division of the Hong Kong Institution of Engineers*, Hong Kong, pp 239-243.

ABSTRACT

Deep foundations in Hong Kong

M. Pratt, N.-M. Walsh, S. Arunachalam, S. Young, P. Sunderland

This article describes the special foundation techniques used in Hong Kong over the past thirty years and their current development.

The difficulty of obtaining acceptance of variants by the authorities held up for a long time the application of modern processes, but for some years now, with the development of projects for construction of increasingly heavy structures (high-rise buildings, industrial buildings, underground railway stations) and attention being paid to environmental considerations, several new techniques have come into use in Hong Kong (injected-shaft piles, more efficient pile-driving hammers, high-strength concrete); at the same time, it has become possible to propose and implement variants, as attested by the three examples described by the authors of the article.

RESUMEN ESPAÑOL

Cimentaciones especiales en Hong Kong

M. Pratt, N.-M. Walsh, S. Arunachalam, S. Young y P. Sunderland

En este artículo se presentan los procedimientos técnicos especiales de cimentaciones que se han aplicado en Hong Kong durante el transcurso de estos últimos treinta años y su evolución actual.

La dificultad consistente en hacer aceptar variantes por parte de las autoridades, ha frenado durante largo tiempo la aplicación de procedimientos modernos, pero, desde hace algunos años, debido al desarrollo de proyectos de construcción de estructuras cada vez de mayor peso (inmuebles de gran altura, edificios industriales, estaciones de metro) y la integración de consideraciones medioambientales, han visto la luz ciertas técnicas de nuevo cuño en Hong Kong (pilotes de fuste inyectado, martillos para agujeros largos de elevadas características, hormigón de alta resistencia); al mismo tiempo ha llegado a ser posible proponer y demostrar la pertinencia de variantes, como así se demuestra por los tres ejemplos descritos por los autores del artículo.