

# Travaux

n° 770

## EUROPE

• Berlin :  
le chantier  
de Spreebogen  
est réceptionné

• Construction  
d'un centre  
commercial  
à Szczecin  
en Pologne

## AFRIQUE

• Le chantier  
de déstaging  
du collecteur ouest  
de Casablanca

• Aménagement  
de la route  
Bertoua/Garoua/  
Boulai (République  
du Cameroun)

## AMÉRIQUE DU SUD

• Le pont de Santo  
Amaro sur la rivière  
Pinheirosa  
à São Paulo  
(Brésil)

• Constructions  
routières au Chili.  
Le chantier  
Chillan-Collipulli

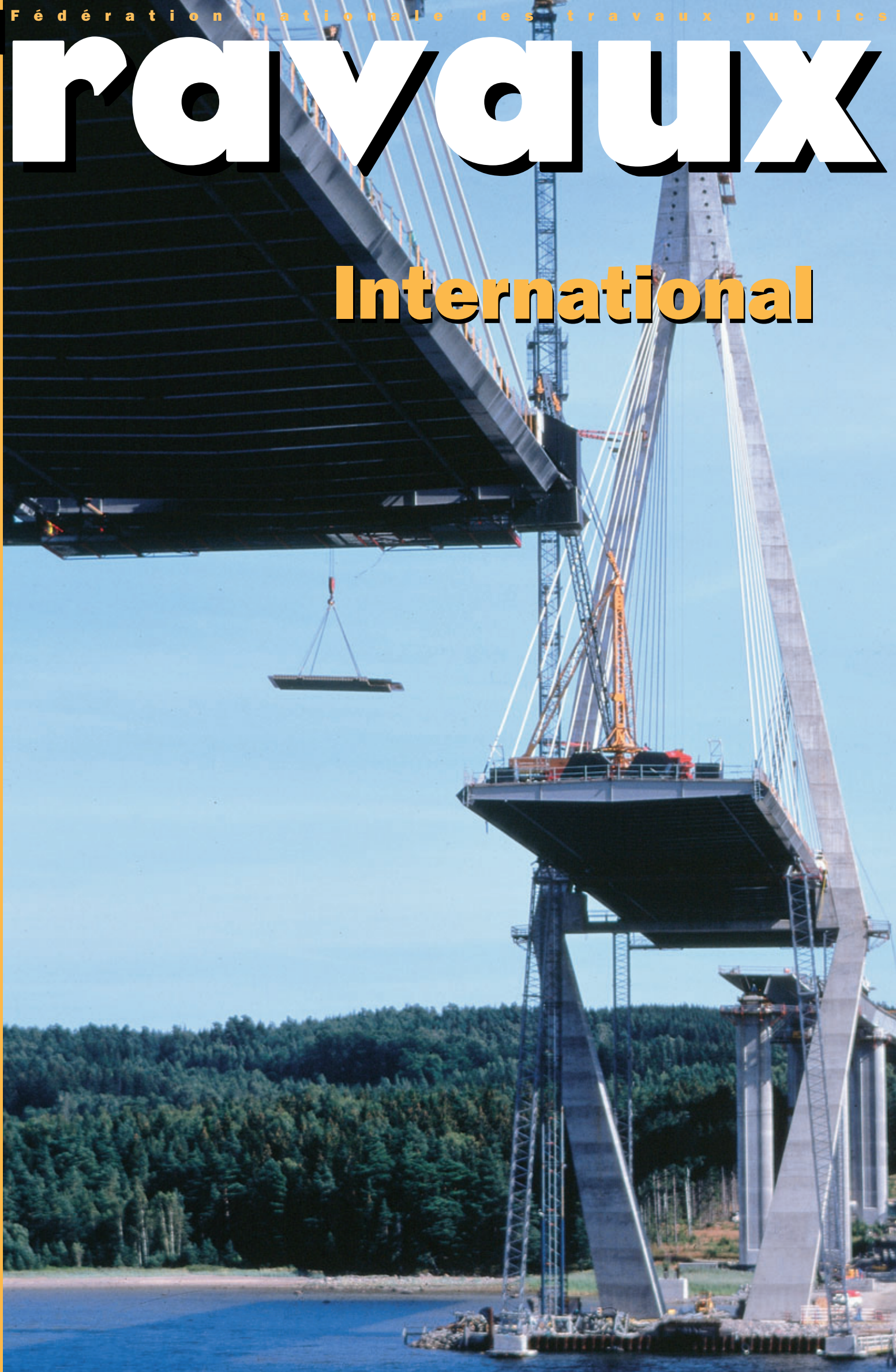
## ASIE

• Le lot 603  
"Black hill Tunnels"  
à Hong Kong

• Réhabilitation  
du barrage  
de Dau Tieng  
(Vietnam)

• Bang Na  
Expressway  
(Thaïlande)

# International





## Notre couverture

### Le viaduc d'Uddevalla en Suède

© Bouygues Construction

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

## RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : (33) 0144133144

## SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart  
Tél. : (33) 024118 11 41  
Fax : (33) 024118 11 51  
E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

## MAQUETTE

T2B & H  
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris  
Tél. : (33) 0144648420

## VENTES ET ABONNEMENTS

Colette Robert  
RGRA  
9, rue Magellan - 75008 Paris  
Tél. : (33) 0140738005  
E mail : revuetravaux@wanadoo.fr  
France : 920 FF TTC  
Etranger : 1100 FF  
Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

## PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle  
61, bd de Picpus - 75012 Paris  
Tél. : (33) 0144748636

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° 57304

## éditorial

Daniel Tardy

# 1

## actualités

# 7

## matériels

# 11

## PRÉFACE

Jean-Yves Perrot

# 15

## EUROPE

◆ Berlin : le plus grand chantier d'Europe. Au cœur de la nouvelle capitale allemande, le chantier de Spreebogen est réceptionné  
- Berlin : Europe's biggest worksite. In the heart of the new German capital, the Spreebogen worksite undergoes acceptance procedures

P. Mutaftschiev

# 16

◆ Construction d'un centre commercial à Szczecin en Pologne

- Construction of a shopping centre in Szczecin, Poland

J.-L. Roy

# 20

## AFRIQUE

◆ Le chantier de délestage du collecteur ouest de Casablanca

- Relief works for Casablanca's west sewer

P. Musquere, M. Belkasseh, J.-P. Becue, H. Gemayel

# 22

◆ Aménagement de la route Bertoua/Garoua/Boulaï (République du Cameroun)

- Works on the Bertoua/Garoua/Boulaï road (Republic of Cameroon)

O. Cuisset

# 26

## AMÉRIQUE

◆ Un pont-station haubané. Le pont de Santo Amaro sur la rivière Pinheirosa São Paulo - Brésil

- A cable-stayed station bridge. The Santo Amaro bridge over the Pinheirosa São Paulo River in Brazil

G. Frémont, M. Carvalho, C.-F. Ribeiro

# 32

◆ Constructions routières au Chili. Le chantier Chillan-Collipulli

- Road constructions in Chile. The Chillan-Collipulli project

M. Pisano, L. Galis

# 37



**Ponts**

**Recherche**

**et Innovation**

**Travaux urbains**

**Terrassements**

**Routes**

**Tunnel**

**de Toulon**

**Sols**

**et fondations**

**Eau**

**Environnement**

**décembre 2000**

## **International**



### **ASIE**

◆ Le lot 603 "Black hill Tunnels" à Hong Kong  
- *The Black Hill Tunnels Project 603 in Hong Kong*  
**F. Belhomme, Fr. Pogu, P. Preumont**

**43**



◆ Réhabilitation du barrage de Dau Tieng (Vietnam).  
Une solution simple pour un problème difficile  
- *Rehabilitation Dau Tieng dam in Vietnam. A simple solution for a difficult problem*  
**D. Mazziari, M. Q. Le Nguyen**

**48**



◆ Autoroute de Bang Na (Thaïlande). Voussoirs préfabriqués pour ouvrage d'art  
- *Bang Na Expressway (Thailand). Precast Elements for Segmental Bridge Construction*  
**Ch. Brockmann**

**53**

**formation**

**64**

**sécurité**

**66**

**économie**

**69**

**répertoire  
des fournisseurs**

**71**

L'activité internationale des entreprises françaises du secteur de la construction a connu une croissance exceptionnelle au cours de cette décennie. En 1999, elle s'est élevée à près de 95 milliards de francs, soit un doublement par rapport aux résultats de 1991. De 1994 à 1997, l'activité a augmenté annuellement de 8 % à 10 %, en 1998 de 6 % et en 1999 de près de 4 %.

La période d'inflexion intervenue en 1997 semble d'ores et déjà révolue. Les premiers chiffres disponibles pour cette année le confirment : au premier trimestre 2000, l'activité dans les travaux publics et le bâtiment ont enregistré une hausse de respectivement 5,2 % et 14,1 % par rapport à la même période de l'année précédente.

Le secteur des travaux publics, avec 75 milliards de francs en 1999, représente toujours plus de 78 % des résultats des entreprises françaises à l'étranger. Il est en grande partie porté par la croissance vigoureuse des travaux maritimes et fluviaux et des travaux liés à l'énergie (pipelines, stockage), avec la signature de très gros contrats en 1999.

De manière plus générale, les entreprises françaises de construction ont largement profité de la conjoncture économique favorable en Europe et de la faiblesse actuelle de l'euro qui favorise les exportations vers les pays d'Europe centrale et orientale et les Etats-Unis. L'accélération des concentrations, ainsi que les capacités de développement par croissance externe ont également largement contribué à la progression de l'activité internationale des groupes français.

L'Union européenne, qui devrait connaître une croissance du PIB de + 3,4 % cette année et ainsi résorber progressivement le différentiel de croissance qui la sépare des Etats-Unis, reste toujours le premier marché pour les entreprises françaises de construction et représente 45 % de leur chiffre d'affaires. La deuxième zone d'activité est l'Amérique, devançant de peu l'Afrique, pour le génie civil et l'Asie pour le bâtiment.

La part des filiales étrangères est largement prépondérante par rapport à l'activité des maisons mères : les trois-quarts de l'activité du secteur de la construction sur les marchés extérieurs relèvent aujourd'hui des filiales locales. En 1988, l'activité hors-métropole se répartissait équitablement entre maisons mères et filiales. Ce phénomène a largement contribué à la consolidation des positions des entreprises françaises dans des secteurs clés, tels que l'entretien routier en Afrique et en Amérique du Nord et à la pénétration de nouveaux marchés, notamment en Afrique australe.

D'un autre côté, l'accroissement de la compétition locale menace

directement les groupes français sur certains marchés de prédilection, Europe et Afrique en tête, dans lesquels ils ont du mal à conserver leurs positions de leader et leurs parts de marché. Les groupes américains ont ainsi pris la tête en Asie, tirant profit du recul des entreprises japonaises de construction, et talonnent les groupes français en Europe.

Cette évolution inévitable du marché de la construction n'est pas le signe d'une compétitivité moindre des entreprises françaises, mais la conséquence directe de la baisse structurelle de l'aide bilatérale liée, partiellement remplacée par celle des banques de développement multilatérales. Dans ce contexte, les entreprises françaises disposent toujours d'une certaine avance sur leurs concurrentes étrangères, qui dépasse largement le champ pur et simple du savoir-faire technique : leur capacité à mettre en place le financement et l'exploitation de grandes infrastructures sous

forme de partenariat public-privé (PPP). A ce titre, un des faits marquants de cette fin de siècle pour les constructeurs français à l'export est sans doute la diffusion progressive dans le monde de l'outil du partenariat public-privé et sa généralisation à de nouveaux champs d'application. Les récents succès des entreprises françaises sont la preuve incontestable de la reconnaissance, à l'étranger, de l'expérience française en la matière : services d'eau et d'assainissement de la ville de Johannesburg, exploitation du métro de Stockholm, construction et exploitation du pont entre Antirion et Rion en Grèce...

Le partenariat public-privé, jusqu'ici cantonné au développement des autoroutes, parkings, stations d'épuration des eaux et de traitement des déchets, s'applique dorénavant parfaitement à un large éventail de projets. Il permet le développement des infrastructures et des services publics au moindre coût pour l'Etat

et assure une répartition équitable de la charge financière entre l'utilisateur-client et le contribuable. Dans le contexte particulier des pays émergents, aux moyens budgétaires limités, il apparaît comme l'un des outils essentiels de développement et de modernisation de la société.

Les leçons tirées du passé ont par ailleurs contribué à améliorer les mécanismes et principes généraux du PPP, notamment en matière de tarification. Les entreprises françaises de construction sauront certainement tirer parti de l'expérience qu'elles ont acquise dans de nombreux pays, quels que soient leur localisation ou leur niveau de développement. L'ouvrage collectif récemment publié sur l'expérience française dans le monde au cours des dix dernières années en matière de PPP peut y contribuer : c'est, en cette fin d'année 2000, le vœu que je forme.



■ **JEAN-YVES PERROT**

**Directeur des Affaires économiques et internationales**

**Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement**

# Berlin : le plus grand

## Au cœur de la nouvelle capitale de Spreebogen est réceptionné

Le premier des cinq lots du projet PVZB, grand axe souterrain de transport routier, métro et ferroviaire traversant le centre de la ville de Berlin, vient d'être achevé. Après un peu plus de cinq années de travaux, le lot 2, comprenant trois tronçons de tunnels et la gare de métro du Reichstag a été réceptionné par le Sénat de Berlin et la Deutsche Bahn AG.

L'ouvrage, d'une longueur de 500 m et d'une largeur atteignant 110 m, réalisé en tranchée couverte, comporte 23 blocs de tunnel ferroviaire, 31 blocs de tunnel autoroutier, 37 blocs de tunnel métro et la gare du Reichstag, ouvrage de prestige dessiné par l'architecte de la chancellerie, Axel Schultes.

Les tunnels et la gare du Reichstag font partie du plus grand chantier de génie civil en site urbain actuellement en cours en Europe.

### ■ INTRODUCTION

Berlin 19 juillet 2000. Spie Batignolles vient d'obtenir, de la part du Sénat de Berlin et de la Deutsche Bahn AG, la réception du lot 2 du projet PVZB (*Verkehrsanlagen im zentralen Bereich von Berlin* - Réseau de transport du centre de Berlin).

Le projet PVZB est la réalisation d'un désir vieux de 80 ans : la traversée souterraine par un axe de transport nord-sud du centre de Berlin, se connectant à l'axe est-ouest du Stadt Bahn (dont la rénovation de la voie a déjà fait l'objet d'un contrat attribué à Spie Batignolles) en passant sous la Spree, le quartier de la chancellerie (ancien quartier des ambassades) et le Tiergarten (photo 1).

Cet axe comprenant trois tunnels, la gare ferroviaire de Lehrter (fin des travaux prévus en 2005) et la gare de métro du Reichstag, est divisé en cinq lots de travaux, dont le lot 2 situé, entre le sud de la gare de Lehrter et la place de la République (place du Reichstag), attribué à Spie Batignolles en 1995.

### ■ LE LOT 2 : SPREEBOGEN

Le lot 2 comprend les études et la réalisation par blocs et en tranchée couverte d'un tunnel à deux fois deux voies pour l'autoroute B96 (320 m), d'un

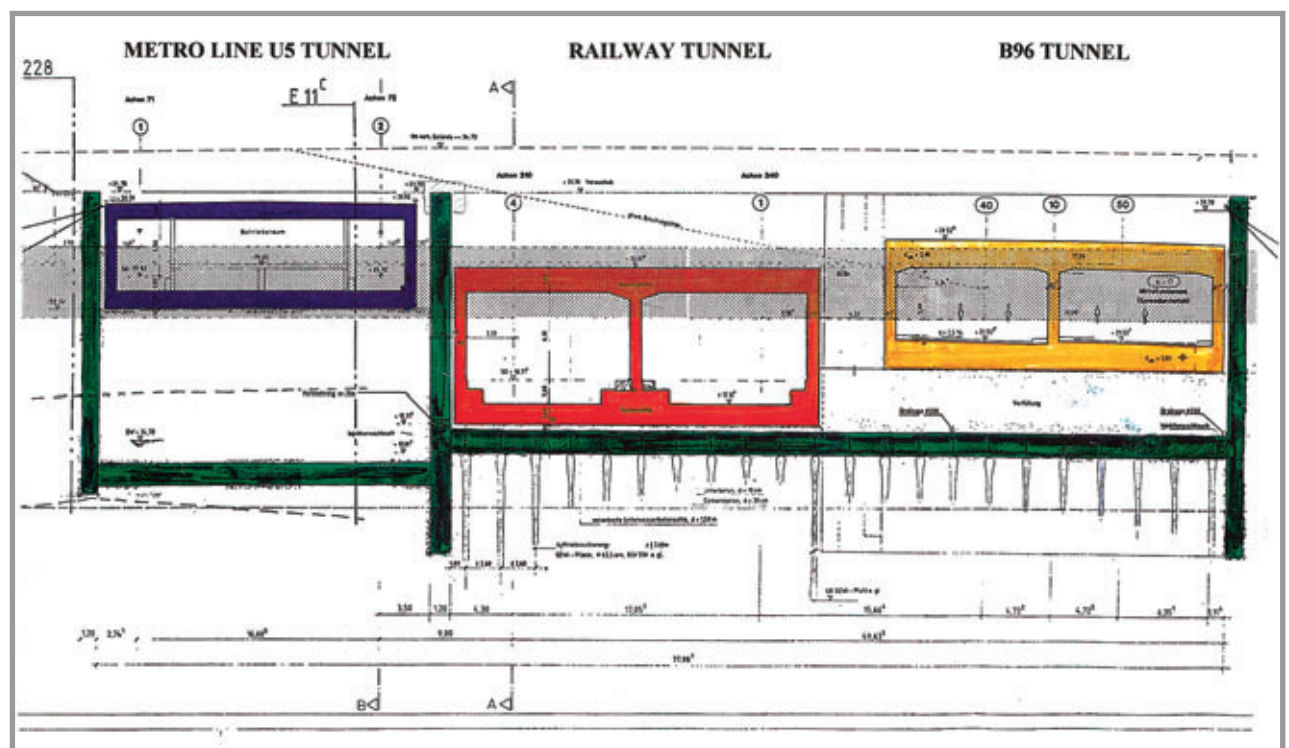
tunnel ferroviaire à quatre voies (500 m) et d'un tunnel à deux voies (500 m) pour la ligne U5 du métro. A cela s'ajoute la gare souterraine du Reichstag, située sous le futur forum de la chancellerie (figure 1).

Les travaux d'un montant de 1 milliard de francs ont commencé en septembre 1995 et ont duré 5 ans. Le chantier, situé en plein centre-ville, à quelques centaines de mètres du Reichstag, se trouve à l'endroit même où les combats, en avril 1945, entre l'Armée Rouge et la Wehrmacht, ont scellé le sort de la ville et mis fin à la bataille de Berlin.

Le tracé des tunnels est situé, dans sa plus grande partie, au sud de la Spree (Spreebogen) mais la traverse dans sa partie nord. Il faut donc dévier la rivière et la repousser plus au nord pour permettre la construction des blocs de tunnel situés sous son lit.

Le lot 2 est divisé en six fouilles adjacentes d'une profondeur maximale de 20 m et d'une surface au sol variant de 1000 à 10000 m<sup>2</sup>. Ces fouilles sont ceinturées en parois moulées maintenues par des ancrages. Les quatre fouilles les plus profondes sont excavées à la drague en maintenant la nappe phréatique à son niveau normal soit environ à 2 m sous le terrain naturel. Le fond de fouille est alors fermé au moyen d'un radier en béton immergé. Après les tests de rigueur, l'eau est pompée et la

Figure 1  
Vue en plan du lot 2  
PVZB  
Overview of PVZB  
Lot 2



# chantier d'Europe allemande, le chantier

**Peter Mutaftschiev**



**DIRECTEUR DE TRAVAUX**  
Spie Batignolles T.P.

fouille livrée à la construction des tunnels. Les deux fouilles les moins profondes sont, quant à elles, fermées à la base au moyen d'un radier en jet grouting. La nappe est rabattue et maintenue sous le fond de fouille jusqu'à la fin de la construction des tunnels. L'excavation est exécutée dans ce cas de manière classique.

Le chantier est réalisé par trois entités opérationnelles sous le pilotage de Spie Batignolles GmbH :

- ◆ Spie Spezialtiefbau (Spie Foundations Allemagne) prend en charge les parois moulées, les radiers en jet grouting et les radiers immergés ;
- ◆ Bunte réalise les travaux de terrassement ;
- ◆ l'Arge Spreebogen – un joint-venture piloté par Spie Batignolles T.P. et partagé, à égalité de parts, avec HMB (Hallesche Mittelstand Bau, entreprise allemande filiale de Tekfen) – exécute les tunnels et la gare du Reichstag.

Le projet se déroule en trois phases principales.

## ■ PHASE 1 : LA DÉVIATION DE LA SPREE ET LES TUNNELS DE LA FOUILLE E

La Spree est d'abord déviée vers le nord et la fouille E est réalisée à l'endroit de l'ancien lit de la rivière entre le pont de Moltke et le Humboldthafen. Spie

Spezialtiefbau y exécute 10 000 m<sup>2</sup> de parois moulées et un radier immergé de 19 000 m<sup>3</sup> de béton en une fois. Ce radier immergé, ancré par des pieux HEB 220 ou 240 d'une longueur maximale de 25 m, est à la date du coulage, le plus grand radier immergé réalisé en Allemagne.

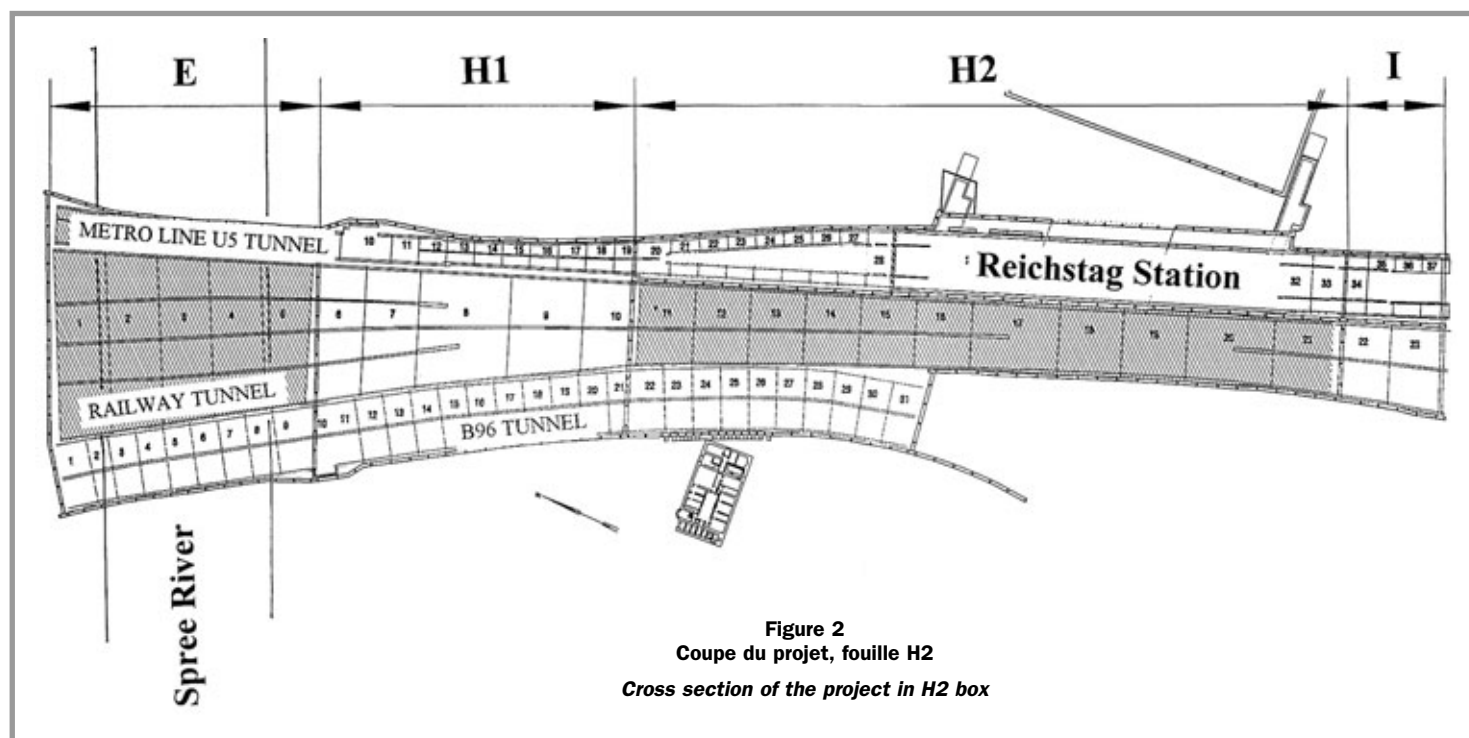
En août 1997, une fois la fouille mise à sec, la construction du tunnel ferroviaire commence. La fouille E comporte cinq blocs successifs de tunnel d'une surface au sol comprise entre 700 m<sup>2</sup> et 1 000 m<sup>2</sup>. Les radiers d'abord, d'une épaisseur moyenne de 1,70 m sont exécutés en "clavant", c'est-à-dire en quinconce, sur une couche de béton drainant d'environ 30 cm d'épaisseur permettant de se retrouver "au sec", en s'affranchissant des problèmes liés à l'eau (pluie, infiltrations, etc.). Les murs d'environ 7 m de haut et 80 cm d'épaisseur, sont coffrés sur deux faces et exécutés de manière à donner la priorité aux dalles qui supporteront les deux futures rives artificielles de la Spree.

Les dalles, d'épaisseur variant entre 1,10 m et 1,70 m sont coffrées sur étaie de type Mills et bétonnées par bloc donnant lieu à des coulages variant entre 900 et 1 400 m<sup>3</sup>.

Après finalisation des murs extérieurs du tunnel ferroviaire, un premier remblai est exécuté entre les parois moulées et les faces latérales du tunnel ferroviaire (figure 2). Ces deux remblais supportent,



**Photo 1**  
Intersection des axes de transport nord-sud (en construction) et est-ouest  
North-South (under construction) and East-West transit links intersection



**Figure 2**  
Coupe du projet, fouille H2  
Cross section of the project in H2 box



**Photo 2**  
Travaux dans H2  
en poste de nuit,  
hiver 1997  
*Works in H2,  
nightshift, winter 97*



**Photo 3**  
Démontage  
de la paroi moulée  
par sciage  
*Dismantling  
of the diaphragm wall  
by concrete sawing*



**Photo 4**  
Les colonnes  
de la gare  
du Reichstag  
*Columns in Reichstag  
subway station*

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### PVZB Lot 2 : "Spreebogen"

- 56 000 m<sup>2</sup> de parois moulées
- 28 000 m<sup>2</sup> de béton immergé
- 650 000 m<sup>3</sup> d'excavation
- 200 000 m<sup>3</sup> de remblais
- 145 000 m<sup>3</sup> de béton tunnels
- 24 500 t d'armatures tunnels et parois moulées

à l'ouest, les neuf blocs du tunnel autoroutier B96, et à l'est, les huit blocs du tunnel du métro U5. Les tunnels B96 et U5, de section beaucoup plus réduite que le tunnel ferroviaire, sont cependant construits selon le même principe.

Le déroulement du chantier, répétitif en apparence, est cependant compliqué par des problèmes d'interfaces entre fronts d'avancement voisins. Les éléments de deux blocs adjacents de B96 et du tunnel ferroviaire, par exemple se gênent et ne peuvent être réalisés simultanément. Le planning, dont presque chaque activité se trouve sur le chemin critique, est donc très sensible aux perturbations techniques et climatiques.

Une fois les tunnels de la fouille E terminés, les deux futures rives qui contiendront la Spree au nord et au sud, sont exécutées au moyen de caissons (10 m x 3 m x 4 m) bétonnés côte à côte sur les dalles de couverture des tunnels. Les dalles situées dans le futur lit de la rivière, soit environ 5 000 m<sup>2</sup>, sont alors habillées d'un blindage en tôle d'acier

de 30 mm et recouvertes d'un enrochement. Enfin, les parois moulées retenant la Spree à l'est et à l'ouest sont sciées sous l'eau et la rivière est rétablie dans son ancien lit, au-dessus des tunnels de la fouille E.

### ■ PHASE 2 : LES TUNNELS DES FOUILLES H2 ET I

Les fouilles de la seconde phase des travaux (fouilles H2 et I) sont livrées par Spie Spezialtiefbau et Bunte à la construction des tunnels en octobre 1997. On notera que les fouilles H2 et I sont divisées, dans le sens nord-sud, en deux parties par une paroi moulée sur une longueur de 250 m. La partie ouest, la plus profonde, est fermée par un radier immergé; elle contiendra treize blocs de tunnels ferroviaires et dix blocs du tunnel autoroutier B96, construits selon le même principe que celui utilisé dans la fouille E. La partie est, la moins profonde, est fermée à sa base par un radier en jet grouting. Elle contiendra quinze blocs de tunnel de métro U5 ainsi que la gare du Reichstag. Là encore, la méthode d'exécution des blocs de tunnels ne se différencie pas de celle utilisée dans la fouille E (photo 2).

### ■ PHASE 2 BIS : LA GARE DU REICHSTAG

La gare du Reichstag constitue un chantier à part. Conçue par l'architecte Axel Schultes, c'est un ouvrage de prestige, à la hauteur de la destination qu'elle dessert.

L'ouvrage mesure 150 m de long, 35 m de large et a une hauteur intérieure sous plafond d'environ 8 m. Divisé en trois blocs, le radier mesure plus de 3 m d'épaisseur par endroit et comprend un ferrailage pouvant atteindre 250 kg au m<sup>3</sup>.

Les faces latérales comprennent un premier niveau de mur, une mezzanine en console et un second niveau de mur. La construction de la console ouest, débordant sur la partie ouest de la fouille H2 et surplombant le tunnel ferroviaire requiert le sciage et l'évacuation, par blocs de 40 tonnes, de 1 000 m<sup>2</sup> de paroi moulée (photo 3).

Le radier et les mezzanines accueillent ensuite 33 colonnes. Pour certaines d'entre elles, les contraintes sont telles qu'un ferrailage normal n'est pas suffisant. Huit colonnes seront donc constituées d'un tube en acier d'une épaisseur de 8 cm et d'un diamètre de 76 cm enrobé de 10 cm de béton. Les autres colonnes, ferrillées de manière classique, seront bétonnées en B45, B85, suivant les cas de charge. Une fois terminées, les colonnes reçoivent les appuis rotules et les têtes pesant 14 tonnes pièce. Le coffrage à double peau de la dalle de toit (4 000 m<sup>2</sup> divisés en trois blocs) est alors monté autour des colonnes. Les exigences de qualité de



**Photo 5**  
**Ferrailage de la dalle de toit de la gare du Reichstag**  
**Reinforcement of the Reichstag subway station roof slab**

parement du client sont telles pour la sous-face de la dalle que des prédalles de 7 cm sont coulées en place (photo 4) afin d'éviter une dégradation de la peau du coffrage pendant le ferrailage.

Le ferrailage principal de la dalle est ensuite exécuté sur ces prédalles et connecté aux têtes de colonnes (photo 5). Chacun des trois bétonnages de dalle représente environ 2 000 m<sup>3</sup>.

Le souci majeur est de garantir un aspect du béton apparent homogène tant en texture qu'en couleur. Les quelques irrégularités sont supprimées grâce à un sablage au sable très fin "gommage" ou à un ponçage à la main.

### ■ PHASE 3 : LES TUNNELS DE LA FOUILLE H1

La troisième phase commence, quant à elle en juin 1999 avec l'achèvement de la fouille H1. Le planning de réalisation est particulièrement tendu puisqu'une voie de circulation définitive doit être construite sur les tunnels de H1 en février 2000. Les parois moulées nord et sud de la fouille H1 qui la séparent des fouilles voisines (E au nord et H2 au sud) sont démontées par sciage et évacuées au moyen de grues à tour installées en fond de fouille. Une fois les parois démontées, les blocs des trois tunnels connectant ceux de E et de H2 sont réalisés suivant la même méthode que celle appliquée dans la fouille E.

La fin des travaux béton, dans chacune des trois phases, a été suivie d'un remblai et d'une remise en eau permettant de restituer le site à la ville de Berlin dans les conditions nécessaires à la poursuite des aménagements du Spreebogen.

### ■ CONCLUSION

En tout, 31 blocs de tunnel autoroutier B96, 23 blocs de tunnel ferroviaire et 37 blocs de tunnel de métro exécutés par Spie Batignolles constitue le seul lot réceptionné à ce jour. La gare du Reichstag, ouvrage de prestige, ne sera ouverte au public que lors de l'achèvement de la ligne de métro U5.

#### ABSTRACT

**Berlin : Europe's biggest worksite. In the heart of the new German capital, the Spreebogen worksite undergoes acceptance procedures**

*P. Mutaftschiev*

The first of the five sections of the PVZB project, a major underground route for highway, metro and railway transport going through the centre of the city of Berlin, was recently completed. After a little more than 5 years of works, Contract Section 2, comprising three tunnel sections and the Reichstag metro station, was accepted by the Berlin Senate and Deutsche Bahn AG.

The structure, 500 m long and up to 110 m wide, with its cut-and-cover design, includes 23 railway tunnel blocks, 31 motorway tunnel blocks, 37 metro tunnel blocks and the Reichstag Station, a prestigious structure designed by the Chancellor's architect Axel Schultes.

The tunnels and the Reichstag Station represent the largest civil engineering project currently under way in Europe in an urban site.

#### RESUMEN ESPAÑOL

**Berlín : las obras más importantes de Europa. En pleno centro de la nueva capital alemana. Recepción de las obras de Spreebogen**

*P. Mutaftschiev*

Se acaba de terminar el primero de los ocho lotes del proyecto PVZB, gran eje subterráneo de transporte viario, de metro y ferroviario que pasa en pleno centro de la ciudad de Berlín. Tras poco más de cinco años de obras, el lote 2, que incluye tres tramos de túneles y la estación de metro del Reichstag, se ha llevado a cabo la recepción por el Senado de Berlín y la Deutsche Bahn AG.

Estas obras, de una longitud de 500 m y una anchura que alcanza 110 m, ejecutadas en forma de trinchera cubierta, constan de 23 bloques de túnel ferroviario, 31 bloques de túnel de autopista, 37 bloques de túnel de metro y la estación del Reichstag. Se trata de una obra de prestigio proyectada por el arquitecto de la Cancillería Axel Schultes.

Los túneles y la estación del Reichstag forman parte de las obras más importantes ejecutadas en medio urbano actualmente en curso en Europa.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maîtres d'ouvrage

- Tunnel Ferroviaire Fern Bahn : Deutsche Bahn AG (DB AG)
- Tunnel Métro Ligne U5 : Land Berlin/Berliner Verkehr Betrieb (BVG)
- Tunnel routier B96 : Land Berlin (SenBauWohn)

#### Maître d'œuvre

DB Projekt Verkehrsbau

#### Entreprises

- Spie Batignolles GmbH
- Spie Spezialtiefbau GmbH
- Spie Batignolles T.P. GmbH
- Fa. Bunte
- Hallesche Mittelstand Bau GmbH



# Construction d'un centre à Szczecin en Pologne

**Fougerolle Polska, filiale polonaise du groupe français Eiffage Construction est désignée le 16 août 1998 après appel d'offre international, adjudicataire de la construction (lots gros œuvre dans un premier temps, puis charpente métallique ensuite) d'un centre commercial à Szczecin, pour le groupe Géant Casino.**

**Les délais sont courts, les enjeux financiers importants pour le client. Le centre commercial à l enseigne King Cross doit ouvrir ses portes le 20 octobre 1999.**

**Après de nombreuses réalisations en France pour ce même client et malgré une bonne connaissance des problèmes liés à ce type de chantier, le défi de la construction du centre s'engage pour la société Fougerolle Polska fraîchement installée.**

**Le 28 août 1998 commence "l'aventure" de l'équipe envoyée sur place pour y démarrer les travaux.**

**S**zczecin, ville de 500 000 habitants, est située au nord-ouest de la Pologne à 30 km de la frontière allemande.

Le terrain de 13 hectares sur lequel va se construire le centre de 35 000 m<sup>2</sup> est déjà entre les mains de l'entreprise polonaise de terrassements. Le mauvais terrain argileux, sur lequel la réalisation d'une plate-forme en grave (future assise du bâtiment) de qualité médiocre avance avec peine, oblige notre équipe à s'adapter journalièrement pour satisfaire le client soucieux d'un démarrage rapide des fondations.

Les fondations sont lancées deux semaines après l'ordre de service, les cadences sont rapides. La découverte des résultats de portance de sol médiocres oblige à la mise en place de gros bétons complémentaires (700 m<sup>3</sup>).

Toujours soucieuse d'assurer malgré tout la livraison dans les délais prévus, Fougerolle Polska procède à un rapide travail de rephasage des tâches et à l'accélération du lancement de la fabrication de la charpente métallique (environ 1600 tonnes). L'éloignement des trois usines de fabrication (550

km) impose une rigueur sans faille dans la gestion des plans d'exécution. L'hiver rigoureux en Pologne approche à grands pas.

Les conditions climatiques affectent déjà l'ensemble du chantier mais cela n'empêche pas la pose du premier poteau de charpente le 11 novembre 1998 sous la neige, par -10°C de température extérieure (photo 1).

Le froid et la pluie, persistant jusqu'en avril, ont contraint chaque jour les équipes à de multiples adaptations dans le phasage du clos et couvert afin de livrer dans les temps les premières zones aux autres corps d'états.

Le chantier n'enregistra pour autant aucun jour "chômé". Le maître d'ouvrage exigeant ne fera entrevoir sa reconnaissance qu'au jour de l'ouverture...

Un coup de chapeau peut être donné aux ouvriers polonais, certes habitués à la rigueur du climat local, mais pourtant peu encouragés par leur niveau de rémunération.

Le contrôle technique permanent du chantier soumis aux observations du bureau de contrôle Véritas est en fait assuré et supervisé, pour chaque corps d'état, par un directeur de travaux lui-même certifié et sous la tutelle d'un directeur général de travaux certifié Fougerolle Polska. C'est le seul habilité au regard de la loi et des autorités à avaliser les décisions prises et à assurer le contrôle du chantier jusqu'à sa réception finale. Cette personne soigneusement nommée représente l'autorité du chantier, passage obligé pour tous les intervenants.

Les difficultés inhérentes à l'enchaînement des différents corps d'états furent similaires à tout autre chantier avec toutefois une période critique au démarrage des constructions faisant partie des zones "galerie marchande".

En effet, la commercialisation progressive contraint l'ensemble des entreprises intervenantes à plus de souplesse tout en satisfaisant au plus vite les nombreuses modifications réclamées par le maître d'ouvrage (photo 2).

Le contexte particulier du contrat, imposant au titulaire du lot gros œuvre d'assurer la "gestion rapprochée" de la coordination générale jusqu'à la livraison finale, nécessite une connaissance approfondie et une anticipation réelle des équipes tout au long des différentes phases du projet. Cette responsabilité morale que l'entreprise se devait de procurer au maître d'ouvrage, confortait les intérêts et objectifs de chacun.

Dans la déontologie du maître d'œuvre, le titulaire

**Photo 1**  
Pose des premiers poteaux de charpente

*Placing of first structural columns*



**Photo 2**  
Charpente phase I

*Structural steelwork, phase I*



# commercial

du lot gros œuvre se doit d'avoir une place prépondérante dans l'exécution des travaux, dans l'assistance aux autres corps d'état et le respect des délais par l'ensemble des entreprises.

Les équipes de Fougerolle Polska ont su relever le défi de la construction difficile (règles de construction spécifiques, conditions climatiques éprouvantes, nombreuses modifications du projet, Etat bureaucratique...), de ce centre commercial qui été livré sans réserve le 20 octobre 1999 à la plus grande satisfaction du client et de la ville de Szczecin (photo 3).



**Photo 3**  
Vue générale  
du centre commercial  
*General view  
of shopping centre*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitre d'ouvrage et investisseur

DT Casino pour le compte du groupe Casino en Pologne

### Maitre d'œuvre général

C.S.I Avignon (France)

### Architecte

De Deco (Szczecin, Pologne)

### Conception hypermarché

A.U.D.E.O (Saint-Etienne, France)

### Conception galerie

De Deco (Szczecin, Pologne)

### Contrôle technique solidité

Véritas (Varsovie, Pologne)

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Surface du terrain : 13 ha
- Terrassements bâtiment : 9 900 m<sup>3</sup>
- Bétons infrastructure : 2 700 m<sup>3</sup>
- Bétons superstructure (hors planchers et dallages) : 400 m<sup>3</sup>
- Maçonneries intérieures : 18 000 m<sup>2</sup>
- Charpente métallique : 1 600 tonnes
- Dallages hypermarché : 16 000 m<sup>2</sup>
- Dallages galerie marchande : 11 000 m<sup>2</sup>
- Dallages réserves : 6 600 m<sup>2</sup>
- Autres dallages : 1 100 m<sup>2</sup>
- Planchers intermédiaires : 2 800 m<sup>2</sup>
- Maçonneries intérieures : 18 000 m<sup>2</sup>
- Charpente métallique : 1 600 tonnes
- Durée gros œuvre et charpente métallique : 6 mois + finitions gros œuvre
- Durée totale du projet : 14 mois



**Photo 4**  
Ouverture du centre  
commercial  
*Opening  
of shopping centre*

## RESUMEN ESPAÑOL

### Construction of a shopping centre in Szczecin, Poland

J.-L. Roy

On 16 August 1998, after an international call for tenders, Fougerolle Polska, Polish subsidiary of the French Eiffage Construction group, was awarded a contract for the construction (main structure, initially, then structural steelwork) of a shopping center in Szczecin, for the Géant Casino group.

The deadlines were short and the financial stakes significant for the client. The shopping centre bearing the King Cross sign had to open its doors to the public on 20 October 1999.

After many projects completed in France for the same client and despite good knowledge of the problems involved in this type of project, the construction of this shopping centre represented a challenge for the newly installed company Fougerolle Polska.

On 28 August 1999, the "adventure" began for the team sent to work on the spot in order to get the works started.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Construcción de un centro comercial en Szczecin, en Polonia

J.-L. Roy

Fougerolle Polska, filial polaca del grupo francés Eiffage Construction ha sido designada el 16 de agosto de 1998, tras una licitación internacional, adjudicataria de la construcción (lotes de las obras estructurales en una primera etapa, y a continuación de las armaduras metálicas) de un centro comercial en Szczecin por cuenta del grupo Géant Casino. Los plazos son cortos, y lo que está en juego es importante para el cliente, desde el punto de vista financiero. El centro comercial, que llevará la muestra King Cross ha abierto sus puertas el 20 de octubre de 1999. Tras numerosas intervenciones ejecutadas en Francia para este mismo cliente y a pesar de un perfecto conocimiento de los problemas derivados de este género de obras, el reto de la construcción del centro constituye un compromiso aceptado por la sociedad Fougerolle Polska, recientemente instalada en ese país. El 28 de agosto de 1998 dio comienzo la "aventura" del equipo enviado in situ para iniciar las obras.

# Le chantier de délestage de Casablanca

Afin de prévenir les risques d'inondations dans le centre de Casablanca, la Lydec a entrepris la construction d'une galerie permettant de délester le collecteur Ouest aujourd'hui saturé. Cette galerie de longueur 4 300 m et de section utile 12 m<sup>2</sup> a été creusée au moyen de machines à attaque ponctuelle Westfalia.

Le matériel et les modes de creusement et de soutènement utilisés ont permis d'évoluer dans un environnement urbain sensible et très encombré, de s'adapter au tracé comportant des courbes serrées, des chutes et présentant une couverture variable (2 à 12 m) et de pallier les difficultés rencontrées :

- front hétérogène en nature (remblais, calcarénites, quartzites et sables littoraux) ou en fracturation;
- fortes arrivées d'eau;
- évolution en taube sous trente voies ferrées en service.

La mise en place de huit fronts d'attaque a permis de terminer le creusement en un temps record (12 mois) et de mettre l'ouvrage en service à l'hiver 1999-2000.

## ■ OBJET

Le collecteur Ouest de Casablanca constitue l'une des artères essentielles du réseau unitaire d'assainissement de la ville. D'une longueur de 12 km et d'un diamètre de 3 m, il a été construit dans les années cinquante pour recueillir les effluents d'une douzaine de collecteurs secondaires et les transporter jusqu'à la station de traitement d'El Hank, avant leur rejet au large via l'émissaire en mer construit en 1992.

Le collecteur Ouest a été conçu à l'origine pour transiter 60 m<sup>3</sup>/s. En 1996, l'agglomération de Casablanca a connu des inondations catastrophiques. Les quartiers les plus touchés ont été ceux situés aux alentours de la nouvelle médina (boulevard El Fida, boulevard du 2 Mars, route de Médiouna...), où le débordement du collecteur Ouest a eu des conséquences tragiques. En effet, le développement de l'urbanisation a entraîné une imperméabilisation importante de son bassin versant et, aujourd'hui, les débits à évacuer, lors de fortes pluies du type de celle de l'hiver 1996, sont de l'ordre de 90 m<sup>3</sup>/s. Le collecteur Ouest n'est alors plus en mesure de faire face à des pluies de telles intensités.

Dès l'entrée en vigueur de son contrat de concession, pour l'eau, l'assainissement et l'électricité de l'agglomération, la Lyonnaise des Eaux de Casablanca (Lydec) a examiné différentes solutions. C'est celle de la construction d'un collecteur de délestage qui s'est avérée la plus appropriée et la plus économique.

## ■ L'OUVRAGE

Intégré dans le schéma global de lutte contre les inondations, l'ouvrage de délestage est alimenté en trop-plein en cas de fortes pluies et fonctionne en gravitaire.

Son tracé a été établi en tenant compte des contraintes administratives, de circulation et des possibilités de rejet côtier.

A partir du déversoir principal implanté au carrefour entre le boulevard El Fida et le boulevard Mohammed VI, le collecteur dénommé DCO se développe sur 4,65 km en empruntant les rues du Haut Bailly, de l'Ecole Industrielle, d'Ifni et le boulevard Ba Hmad. A l'extrémité nord de la rue Amr Ibnou Al Ass, le tracé quitte les emprises de la voirie, passe sous 30 voies ferrées ONCF et rejoint la côte au lieu-dit Roches Noires, à l'est immédiat du port.

Sur son parcours, le DCO récupère les débits de surverse de quatre déversoirs délestant des collecteurs secondaires et intercepte dans sa partie aval un cinquième collecteur secondaire.

En galerie sur 4,3 km, le DCO présente une section en fer à cheval de largeur 3,95 m et de hauteur 3,60 m avec une pente de cinq pour mille. Sur la partie aval, la section passe en dalot de largeur 4 m et de hauteur 3 m avec une pente de trois pour mille afin de respecter une couverture minimale de 1 m sous les voies ferrées et de limiter l'influence de la marée sur le rejet en mer. Le profil du DCO présente deux chutes intermédiaires de 2,65 m de hauteur chacune. La couverture varie entre 2 et 12 m.

Déversoir principal  
Main spillway



Front d'attaque  
Working face



# du collecteur ouest

La disposition et la longueur du déversoir principal (12 m) sur le collecteur Ouest ont été calées sur modèle physique. Le rejet a également fait l'objet d'une étude sur modèle réduit.

Ainsi conçu, la capacité d'évacuation du DCO est de 45 m<sup>3</sup>/s environ :

- ◆ 35 m<sup>3</sup>/s provenant du déversoir principal sur le collecteur Ouest,
- ◆ 10 m<sup>3</sup>/s correspondant à la somme des débits provenant des collecteurs secondaires.

## ■ GÉOLOGIE ET GÉOTECHNIQUE

Le contexte géologique du sous-sol de Casablanca sur le tracé du DCO a été reconnu au moyen de sondages carottés espacés de 200 m à 250 m environ. L'exécution des regards de visite servant en phase chantier de puits de marinage des déblais et d'approvisionnement de matériaux et réalisés en avance sur le creusement du collecteur a permis d'affiner la connaissance des conditions de sol.



Marinage  
Mucking

La succession lithologique suivante a été mise en évidence :

- ◆ remblais, limons et tufs (épaisseur variable de 0 à 5 m);
- ◆ formation gréseuse dunaire du Quaternaire, appelée "calcarénite", et représentée par des sables grésifiés, des grès coquilliers, avec souvent à la base une couche de conglomérat (épaisseur comprise entre 1,10 et plus de 13 m);
- ◆ marne plus ou moins grésifiée, d'âge Secondaire, présente dans les parties amont et intermédiaire du tracé (épaisseur de l'ordre de 1 à 5 m);
- ◆ schiste psammitique du Primaire (ordovicien - cambrien), usuellement dénommé "quartzite".

La nappe phréatique varie le long du tracé. Elle se situe sensiblement au niveau du toit du collecteur ou entre 1 m à 2 m au-dessus de celui-ci.

Comme il apparaît sur la coupe géologique, la nature des terrains traversés par le nouveau collecteur varie donc très fortement le long du tracé, passant des marnes au grès dunaire, puis à des faciès composites calcarénite/marne ou quartzite/marne, schistes et sable littoral.

Les principales caractéristiques des formations traversées sont reportées sur le tableau I.

## ■ LE CHANTIER

Le creusement a été effectué par des machines à attaque ponctuelle Westfalia sur la quasi totalité du tracé. Il s'agit de fraiseuses à moteur électrique, qui disposent d'une puissance à la tête atteignant 300 kW sur les WAV 170, les plus puissantes. Les fraiseuses permettent une adaptation aisée à des sections hétérogènes composées de

Tableau I  
Principales caractéristiques des formations traversées  
Main characteristics of formations encountered

Couche	Etat général	R.Q.D. (%)	Rc (MPa)	K (m/s)
Grès et calcarénites	Relativement compacts	80 à 100	35 à 90	$> 10^{-4}$
Quartzites	Fracturées	50 à 80	35 à 70	$10^{-6}$
Marnes	Compactes	0 à 10	1 à 3	$10^{-6}$

R.Q.D. : Rock Quality Designation - Indice de récupération de carotte

Rc : Résistance en compression uniaxiale

K : Perméabilité

### Pierre Musquere



DIRECTEUR GÉNÉRAL  
ADJOINT  
Lydec (Lyonnaise des Eaux  
de Casablanca)

### Mustapha Belkasseh



INGÉNIEUR DIRECTION  
DU PATRIMOINE  
Lydec

### Jean-Pierre Becue



DIRECTEUR  
DÉPARTEMENT  
GÉNIE CIVIL  
Safège

### Hadi Gemayel



INGÉNIEUR  
DÉPARTEMENT  
GÉNIE CIVIL  
Safège

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maître d'ouvrage

Lyonnaise des Eaux de Casablanca (Lydec)

### Maître d'œuvre

Safège Ingénieurs Conseils, avec l'assistance d'Expertec

### Entreprise

Gico Costruzioni (Rome), avec l'assistance du BET Virelezier (études d'exécution)

Cintres HEB 120  
HEB 120 arches



Synthèse  
du creusement  
Summary  
of digging

Front n°	Type d'attaque	Machine	Géologie principale	Longueur (ml)	Durée (jours)	Cadence (ml/j) avec arrêts	Arrêts (jours)	Cadence (ml/j) hors arrêts
1	montante	WAV170	schistes	978	295	3.3	75	4.4
2	montante	WAV170	grès	967	245	3.9	66	5.4
3	montante	WAV170	grès, marnes	744	198	3.8	43	4.8
4	montante	WAV170	grès	838	181	4.6	42	6.0
5	descendante	WAV130	schistes	160	134	1.2	56	2.1
6	descendante	WAV130	marnes	295	85	3.5	23	4.8
7	descendante	WAV110	marnes	218	67	3.3	20	4.6
8	descendante	WAV130	schistes	124	62	2.0	14	2.6
				4 324	327	3.4		4.7

Caractéristiques  
des machines  
Characteristics  
of machines

Type	Nombre	Puissance à la tête	hauteur	Longueur	Largeur	Poids
WAV 170	4	300 kw	3,0 m	12,0 ml	4,0 ml	75 t
WAV 130	2	260 kw	1,8 m	12,0 ml	2,8 ml	40 t
WAV 110	2	200 kw	2,0 m	10,0 ml	2,4 ml	25 t



Entrée en galerie par le puits d'attaque  
Entry into tunnel through driving shaft



terrains disparates en nature, en résistance ou en fracturation et une excavation conforme à la section désirée en réduisant les hors profils. Elles offrent aussi l'avantage d'une très grande souplesse puisqu'elles tolèrent des courbes de faible rayon ou des modifications de profil en long. Elles peuvent avec facilité être déplacées d'un front à l'autre en fonction de l'avancement.

Pour permettre la mise en service de l'ouvrage pour l'hiver 1999/2000, il était impératif de terminer le creusement des 4,65 km en 12 mois. Pour ce faire, huit machines ont été employées simultanément sur huit fronts distincts.

Le guidage a été assuré par un suivi topographique permanent et par des lasers d'alignement.

La section théorique de creusement était de 16,3 m<sup>2</sup> pour une section utile de 12 m<sup>2</sup>.

Des mini-chargeurs de type BobCat ont été utilisés pour le marinage horizontal entre les fronts et les puits d'évacuation, le marinage vertical au droit des puits étant assuré par des treuils ou par des grues. La ventilation consistait en l'insufflation d'air au front de taille. L'abattage de la poussière au front était réalisé par aspersion d'eau sous pression. Le soutènement provisoire a été réservé à certaines zones meubles très fracturées. Deux types de cintres

ont été mis en place et abandonnés dans le revêtement : des cintres lourds HEB 120 et des cintres réticulés combinés avec un treillis soudé et du béton projeté.

Le revêtement définitif a été réalisé en béton armé coffré à l'aide de trois coffrages mobiles de 20 ml chacun, avançant simultanément sur trois fronts distincts.

### ■ DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Les travaux ont connu des difficultés liées essentiellement aux aspects suivants :

- ◆ la mise en place de huit fronts d'attaque pour le creusement et l'organisation des chantiers d'extraction des déblais et d'approvisionnement des fronts dans un contexte urbain dense, encombré et hétéroclite ;
- ◆ la traversée en taupe sous 30 voies ferrées sans interruption du trafic ;
- ◆ la construction du déversoir principal et des déversoirs secondaires en maintenant les collecteurs en service ;
- ◆ la nature géologique du sous-sol très variée avec de fortes arrivées d'eau, des terrains très durs et

## ORGANISATION DU CHANTIER

### Creusement

Terrassement mécanisé à l'aide des machines à attaques ponctuelles

### Soutènement

A l'avancement en cas de besoin et selon la nature des terrains avec des cintres réticulés légers ou des cintres lourds HEB 120

### Marinage

Chargeurs de type BobCat et évacuation verticale par des treuils électriques

### Ventilation

Soufflante avec un apport d'air frais au front et abattage des poussières par aspersion

### Revêtement

Béton coffré



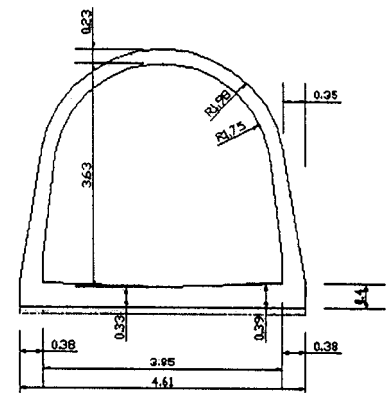
Traversée sous voies ferrées

Crossing under railway tracks

Géotechnique  
Geotechnical engineering

Couche	Etat général	R:Q.D. (%)	Rc (MPa)
Grès	Relativement compacts	80 à 100	35 à 90
Quartzites	Fracturés	50 à 80	35 à 70
Marnes	Compactes	0 à 10	1 à 3

Consommation de pics de l'ordre de 2 / ml.





Revêtement définitif

Final surfacing

la génération au front d'un nuage de poussières important, notamment dans les quartzites ;

◆ la trafficabilité et le contrôle du positionnement des fraiseuses dans les marnes boueuses en présence d'eau.

Le suivi des ouvrages et des bâtiments sensibles a été assuré par des auscultations topométriques précises et fréquentes. Aucun désordre ni dommage n'a été enregistré.

Les plans d'assurance qualité et de sécurité mis en place au démarrage du chantier et suivis au quotidien ont contribué au bon déroulement des travaux dans le respect des exigences requises en termes de qualité et de sécurité pour ce genre d'ouvrage.

Visité par plus de 1500 personnes (élus, dirigeants, professionnels, associations, écoles...), le chantier du délestage du collecteur Ouest a fait l'objet de plusieurs émissions télévisées et de nombreux articles.

## CONCLUSION

Par son caractère multinational, le chantier de délestage du collecteur Ouest a importé au Maroc des connaissances et un savoir-faire qui, associés aux compétences locales, ont permis de mener à bien une opération exemplaire.

La Lydec a ainsi montré qu'un souterrain à Casablanca n'est pas utopique. Désormais, elle dispose d'une connaissance intéressante du sous-sol casablancais et son expérience pourrait être mise au profit d'autres projets d'ouvrages souterrains, dont le futur métro.

## ABSTRACT

### Relief works for Casablanca's west sewer

*P. Musquere, M. Belkasseh, J.-P. Becue, H. Gemayel*

In order to prevent the risk of flooding in the centre of Casablanca, the Lydec undertook the construction of a tunnel designed to allow the relief of the currently saturated west sewer system. This 4,300-m tunnel with a useful section of 12 sq. m was dug by means of Westfalia point-driving machines.

The equipment as well as the digging and bracing methods used made it possible to work in a sensitive, saturated urban environment and to adapt to the alignment with its sharp curves, falls and its variable cover (2 to 12 m), and also to deal with the difficulties encountered :

- working face heterogeneous in nature (fills, calcarenites, quartzites and littoral sand) or in fracturation ;
- heavy water ingress ;
- advancing under 30 railways in service.

The setup of eight working faces allowed the digging to be completed in record time (12 months) and the structure to be put into service in the winter of 1999-2000.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Las obras de desembalse del colector oeste de Casablanca

*P. Musquere, M. Belkasseh, J.-P. Becue y H. Gemayel*

Con objeto de precaverse contra los riesgos de inundaciones en el centro de Casablanca, la Lydec ha emprendido la construcción de una galería que permite descargar el colector oeste, actualmente saturado. Esta galería, de una longitud de 4.300 m y una sección útil de 12 m<sup>2</sup> se ha excavado por medio de máquinas de ataque puntual Westfalia.

La maquinaria y los sistemas de excavación y sostenimiento utilizados han permitido evolucionar en un entorno urbano sensible y sumamente atestado, adaptarse al trazado que incluye curvas cerradas, desniveles y que presentan una cobertura variable (2 a 12 m) y asimismo, contrarrestar las dificultades con que se ha tropezado, a saber :

- frente heterogéneo en cuanto a su propia naturaleza (terraplenes, calcarenitas, cuarcitas y arenas litorales) o en fracturación ;
- fuertes caudales de agua ;
- evolución en topo bajo treinta vías férreas en servicio.

La disposición de ocho frentes de ataque ha permitido terminar la excavación en un lapso de tiempo récord (12 meses) y poner esta estructura en funcionamiento durante el invierno de 1999-2000.

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

### Effectifs

300 personnes en moyenne, avec une pointe de 500 personnes pendant les trois derniers mois de creusement. Travail en deux postes de 10 h, six jours par semaine, les dimanches étant consacrés à l'entretien général des machines

### Terrassements

90 000 m<sup>3</sup> de déblais

### Soutènement

450 cintres HEB 120 et 350 cintres réticulés (3 Ha 16)

### Bétons et armatures

35 500 m<sup>3</sup> et 1 215 t d'armatures

### Délais de réalisation

Creusé en 12 mois, l'ouvrage a été mis en service 16 mois après le démarrage des travaux

### Coût global des travaux

178 MDHS

# Aménagement de la route République du Cameroun

**Dans le cadre de l'amélioration des infrastructures de communication dans la région de l'Afrique centrale, le gouvernement du Cameroun a entrepris avec l'assistance financière de la Commission européenne, l'aménagement de la route Bertoua/Garoua/Boulaï (BGB). Jusqu'alors constituée par une piste sommaire en terre de 258 km, dont certains borbiers étaient quasiment infranchissables en saison des pluies, cette route était le point noir de l'axe Douala/Bangui, déclaré "Itinéraire régional structurant" par l'UDEAC (Union des Etats de l'Afrique centrale) en 1993. Son aménagement au standard route revêtue permettra de favoriser le désenclavement de la République Centrafricaine, ainsi que celui du Nord Cameroun et celui du Sud du Tchad.**

**Jean-Marie Gauthier**

COORDINATEUR

DES PROJETS ROUTIERS RÉGIONAUX

FED (Fond européen de développement)

Afrique Centrale

## ■ SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Bertoua, capitale de la province de l'Est du Cameroun est à 4 heures de Yaoundé en saison sèche. Un tronçon de 200 km (Ayos/Bonis) encore à l'état de piste peut interrompre durablement la liaison en période humide.

Avant les travaux, il fallait 5 heures pour faire Bertoua/Garoua/Boulaï. Mais ce délai pouvait être considérablement rallongé pendant la saison des pluies, jusqu'à durer plusieurs jours voire plusieurs semaines!

En effet, cette zone souffre d'un climat qualifié "d'équatorial à grande saison sèche" caractérisé par des précipitations moyennes de l'ordre de 1600 mm/an, d'une grande saison sèche ( $P < 100$  mm/mois) de novembre à mars et d'une saison des pluies ( $P > 260$  mm/mois) en août, septembre et octobre. La température moyenne annuelle est de 24°C.

La route est presque entièrement située en zone de savanes arborées sillonnées d'un réseau de galeries forestières. Située en ligne de crête à une altitude moyenne de 850 m, elle ne franchit aucun grand cours d'eau mais suit la séparation de deux grands bassins versants : le bassin de la Sanaga à l'ouest et le bassin du Congo à l'est.

## ■ STRUCTURE DE LA ROUTE

Elle se présente de la manière suivante :

- ◆ couche de roulement (7 m de largeur) : 5 cm BBO/10;
- ◆ accotements (1,5 m de largeur) bicouche;

- ◆ couche de base : concassé 20 - 25 cm 0/31, 5 GNT de classe A;
- ◆ couche de fondation 20 - 25 cm grave latéritique (CBR > 30);
- ◆ plate-forme EV2 > 90 MPa.

## ■ CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

Le projet est établi conformément à l'ICTARN 77 et prend en compte une vitesse de référence de 60 km/h. En profil en long, la déclivité maximale en rampe est de 7 %, en tracé en plan le dévers maximal est de 7 %, et le rayon en plan minimal normal est de 240 m.

## ■ GÉOLOGIE - MATÉRIAUX

Les matériaux rencontrés proviennent de l'altération du socle granitique (photo 1). Il s'agit soit de sols fins sablo-argileux sensibles à l'eau, soit de produits de dégradation des sols générant des sols latéritiques allant des sables aux cuirasses latéritiques en passant par les graves latéritiques.

On peut distinguer trois classes de matériaux :

◆ **les sols fins** avec :

- passant à 80  $\mu$  entre 50 et 80 %,
- IP entre 19 et 36,
- teneur en eau *in situ* entre 14 et 35 %.

Les CBR, pour des compacités de 95 % et des teneurs en eau de Wopm + 4, sont de l'ordre de 4 à 8 après une immersion de 4 jours;

◆ **les sols sableux** avec :

- passant à 80  $\mu$  entre 30 et 50 %,
- IP entre 20 et 33,
- teneur en eau *in situ* entre 12 et 25 %.

Ces matériaux sableux, bien qu'ayant un CBR immédiat supérieur à 35, voient leurs portances chuter en dessous de 10 après imbibition prolongée;

◆ **les sols graveleux latéritiques** avec :

- passant à 80  $\mu$  entre 10 et 45 %,
- IP entre 20 et 30,
- teneur en eau *in situ* entre 13 et 25 %.

Ces sols graveleux ont des CBR après imbibition qui restent supérieur à 20.

La recherche des gisements de ces graves latéritiques est une phase importante du chantier, car ces matériaux seront utilisés pour la réalisation de la couche de forme et de la couche de fondation. Les affleurements granitiques fourniront les matériaux nécessaires à la chaussée : couche de base

Photo 1  
Les terrassements  
dans les sables  
Earthworks  
in sand



# Bertoua-Garoua-Boulai

**Olivier Cuisset**

CHEF DE DIVISION  
TRAVAUX  
Scetauroute



(0/31,5), couche de roulement (BB0/10) et à la fabrication des bétons. Trois gisements seront ainsi exploités par l'entreprise (photo 2).

## ■ LE MAINTIEN DU TRAFIC PENDANT LES TRAVAUX

L'aménagement de la route emprunte la piste existante sur 95 % du linéaire, et le trafic (essentiellement porte containers, grumiers et camions-citernes) doit être maintenu pendant les travaux. C'est une contrainte non négligeable pour la méthodologie et l'exécution des phases de travaux de l'assainissement transversal, des terrassements, et des chaussées.

Malgré ce risque permanent, on ne déplore jusqu'à présent aucun accident grave, alors que les terrassements se terminent.

Deux dispositions sont sans doute à l'origine de ce succès : la mise en place d'un chargé sécurité (imposé dans le contrat de l'entreprise) et la dextérité et le professionnalisme des conducteurs d'engins.

## ■ PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le contrat impose à l'entreprise des mesures de protection de l'environnement comme :

- ◆ la mise en place d'un responsable environnement ;
  - ◆ l'élaboration avant le démarrage des travaux d'un plan de protection de l'environnement.
- Ces mesures se sont concrétisées par :
- ◆ la limitation du nombre d'arbres abattus, avec le cas échéant tronçonnage et mise à disposition des villageois ;
  - ◆ accord préalable nécessaire pour ouvertures des zones d'installation de chantier des zones d'emprunt et de dépôt ;
  - ◆ remise en état des zones d'emprunt avec végétalisation et plantations ;
  - ◆ récupération des huiles usagées ;
  - ◆ mise en place d'un incinérateur sur les deux sites d'installation de chantier.

La mission de contrôle compte également un ingénieur animateur en environnement qui doit veiller au respect des mesures imposées, assurer le contact avec la population et prévenir ainsi tout contentieux avec les riverains lié à l'exécution des travaux.



**Photo 2**  
Le site d'extraction des matériaux granitiques

*Granite material extraction site*

Des mesures connexes (hors contrat de l'entreprise) ont été engagées :

- ◆ installation d'une mission archéologique pendant les terrassements afin de procéder à des évaluations et des sauvetages le cas échéant. C'est une première sur un projet routier en Afrique centrale ;
- ◆ intervention d'une ONG dans un cadre de prévention des MST et du Sida ;
- ◆ plantations d'arbres dans les villages traversés.

## ■ LIBÉRATION DES EMPRISES

Après avoir délimité les emprises des travaux, une commission préfectorale d'expropriation effectue une évaluation quantitative des cultures et de l'habitat ; les propriétaires devant être, par la suite, indemnisés par l'Etat camerounais. A la suite du passage de cette commission il était acquis que les emprises étaient libérées et que les travaux pouvaient démarrer. Il en a été de même pour le déplacement des tombes qui se trouvaient dans l'assiette des travaux ; l'exhumation a été réalisée en présence d'une commission préfectorale spécifique avec prise en charge du coût par l'Etat camerounais.

## ■ ASSAINISSEMENT

### Assainissement transversal

De par sa topologie "en crête", la route BGB (Bertou/Garoua/Boulai) ne comporte pas d'ouvrages



**Photo 3**  
Construction  
d'un dalot  
*Culvert  
construction*



**Photo 4**  
Fossé longitudinal  
bétonné  
*Longitudinal concrete  
drainage ditch*



**Photo 5**  
Mise en œuvre  
de la couche de base  
*Placing  
the base course*



d'art remarquables. Par contre l'avant-projet prévoyait la réalisation de 312 ouvrages de traversée hydraulique dont 293 étaient constitués de buses béton diamètre 1 000 cm représentant un linéaire de 5457 m, et la pose de 19 dalots de dimensions variables, situés dans les zones à écoulement permanent (photo 3).

Pour réaliser les ouvrages busés l'entreprise a opté pour la préfabrication sur deux sites du chantier. Cette méthode a permis d'obtenir des éléments de qualité.

### **Assainissement longitudinal**

Compte tenu du caractère tropical des averses locales, la longévité de la route réside dans l'efficacité de l'assainissement latéral. Pour y contribuer deux dispositions ont été prises lors du projet d'exécution :

- ◆ relever le profil en long dans les zones rasantes afin que la chaussée soit hors d'eau ;
- ◆ créer des fossés élargis dans les zones où les exutoires naturels étaient problématiques.

Dans les secteurs de déblais importants comportant des pentes supérieures à 1,5 %, l'avant-projet prévoyait la réalisation de fossés bétonnés. Cette disposition a été modulée en fonction de l'impluvium (linéaire des déblais et importance des bassins versants), de la pente et de la nature des matériaux (photo 4).

### **■ STRUCTURE DES CHAUSSÉES**

Une des inconnues du projet concerne le dimensionnement du trafic. Celui-ci se caractérise par le taux élevé de poids lourds parmi lesquels les grumiers et les porte containers ont la réputation d'être en surcharge pour plus d'un tiers d'entre eux, – la charge totale pouvant atteindre 70 t pour 18 t à l'essieu...

Sous l'impulsion du FED, les Autorités camerounaises tentent de remédier à ce problème avec la mise en place de station de pesage et d'amendes dissuasives pour les contrevenants, mais si on observe des progrès, les bonnes habitudes sont longues à acquérir...

### **■ RÉALISATION DES CHAUSSÉES**

La couche de fondation en grave latéritique est mise en œuvre avec des échelons de pelles et camions. Le compactage est assuré par des compacteurs à pneus de 35 t et le réglage se fait à la niveleuse. Recomposé et humidifié dans une centrale de malaxage, le concassé 0/31,5 de la couche de base de 20 cm est ensuite mis en œuvre en deux couches au finisseur. Le réglage se fait au fil et une imprégnation est appliquée dans les 48 heures pour pré-

server l'état de surface avant la réalisation de la couche de roulement (photo 5).

## ■ ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ

Une des particularités de ce projet réside dans l'adaptation des équipements de sécurité. Deux types de dispositifs ont été adoptés : murets béton et glissières mixtes métal-bois (bois d'essence locale). Ces éléments sont plus simples d'entretien que les glissières métalliques (le pays ne possède pas d'usine de fabrication de profilés métalliques). La signalisation verticale de direction et de police se fera en éléments bétonnés afin d'éviter que les panneaux ne soient utilisés ultérieurement à des fins domestiques.

Par ailleurs l'entreprise devra fournir et installer trois stations de pesage et de comptage automatique ainsi que deux pèse-essieux mobiles de type dynamique. Ces éléments de contrôle permettront d'assurer la longévité de l'infrastructure réalisée.

## ■ ORGANISATION DES TRAVAUX

Afin de réaliser les travaux dans les délais impartis, et conformément aux spécifications du contrat, le groupement d'entreprises a mis en place deux fronts de travaux situés à 50 km environ de chaque extrémité du projet. La première tâche sur le terrain a été la réalisation de deux bases vie, deux installations de chantier, à proximité d'affleurements rocheux, futurs sites d'extraction et de concassage. Pendant cette phase l'entreprise a mis au point le projet d'exécution par tronçon de 10 puis 5 km, ce qui a nécessité une mise en place rapide d'équipes topographiques pour les levés du terrain naturel, et de laborantins pour la reconnaissance géotechnique des matériaux. Dès que les premiers dix kilomètres ont été approuvés par la mission de contrôle (mi-juin 1999), les terrassements ont démarré sur un seul front.

## ■ ADAPTATIONS DU PROJET

Une des modifications majeures du projet d'exécution a été d'adapter le profil en long dans certaines zones de déblai/remblai afin de garantir le plus possible un bon fonctionnement de l'assainissement longitudinal et par voie de conséquence de pouvoir assurer une stabilité optimale de la plate-forme tout en contribuant à faire une économie substantielle sur le linéaire de fossés bétonnés à réaliser.

Une autre modification concerne la prise en compte de la nature des matériaux aussi bien pour la phase terrassements que pour la phase chaussées. Lors de la réalisation des terrassements on a ob-

servé que certaines zones de thalwegs devaient être assainies si l'on voulait éviter des désordres ultérieurs ; des matériaux de fond de déblai sont également apparus impropres à une réutilisation en remblai et ont dû être mis en dépôt, soit à cause d'une teneur en eau trop importante, soit à cause de la nature même des matériaux.

De plus, pour tenir compte de la sensibilité à l'eau des matériaux de la plate-forme, il a été décidé de mettre en œuvre une couche de forme systématique de 30 cm d'épaisseur en graves latéritiques.

## ■ AVANCEMENT DES TRAVAUX

Un an avant la fin du délai contractuel, 90 % des terrassements ont été réalisés, 900000 t de concasé ont été produites, la couche de base est placée sur 36 % du linéaire et la couche de roulement doit être appliquée dès le mois de novembre 2000, à

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Financement**

Don du Fond Européen de Développement (FED)

#### **Maître d'ouvrage**

Ministre des Investissements publics et de l'Aménagement du territoire de la République du Cameroun, ordonnateur national du FED, ordonnateur régional du FED pour le présent projet

Le représentant du maître d'ouvrage est le coordonnateur des projets routiers régionaux financés par le FED en Afrique centrale ; il exerce pour le compte du maître d'ouvrage un contrôle technique et financier du projet

#### **Maître d'œuvre**

Directeur des Routes du ministère des Travaux publics du Cameroun

Le représentant du maître d'œuvre est la mission de contrôle : groupement Scetauroute - BCEOM

#### **Entreprise adjudicataire des travaux**

Groupement d'entreprises : Satom - Sogea - Razel

#### **Etudes d'avant-projet**

- Profabril
- Thornburn et Colquoun
- Tractebel



la fin de la saison des pluies, si toutefois le bitume a été approvisionné pendant cette période (photo 6).

## ■ COÛT DES TRAVAUX

360 millions de francs, c'est le montant des travaux hors droits et hors taxes sachant que l'Etat camerounais prend à sa charge les frais d'expropriation. La répartition du coût est la suivante :

- ◆ installations de chantier : 17 % ;
- ◆ dégagement des emprises : 2 % ;
- ◆ terrassements : 19 % ;
- ◆ chaussées : 44 % ;
- ◆ assainissements : 15 % ;
- ◆ ouvrages d'art : < 0,5 % ;
- ◆ signalisation et équipements : 3 %.

## ■ DÉLAIS DES TRAVAUX

Le délai contractuel de réalisation des travaux est de 28 mois. Le contrat a été signé le 18 mars 1999 et l'ordre de service a été donné le 5 avril 1999. La phase des travaux qui comporte deux saisons des pluies s'achèvera le 5 août 2001.



**Photo 6**  
La route bientôt terminée  
*The road, nearing completion*

## ABSTRACT

### Works on the Bertoua/Garoua/Boulai road (Republic of Cameroon)

*O. Cuisset*

The works on the Bertoua-Garoua-Boulai road (247 km long) in Cameroon will help to eliminate the black spot represented by the Douala Bangui route (Central African Republic). Financed by the European Development Fund, the works are to be completed by August 2001. This project, carried out under traffic, will run over 90 % of the existing dirt road; working methods had to take into account this significant constraint while avoiding worksite accidents.

Project optimisation was a constant concern throughout the works, in order to adapt the characteristics of the route to the difficulties encountered (precise setting of longitudinal profile, real nature of materials encountered, unexpected preparation under fills, etc.).

An environmental protection plan was put in place as of the start of the works, the implementation of which was guaranteed by an official from the contracting firm on the site, supervised by an engineer incorporated in the inspection mission.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Acondicionamiento de la carretera Bertoua/Garoua/Boulai (República del Camerún)

*O. Cuisset*

El acondicionamiento de la carretera Bertoua/Garoua/Boulai (247 km) en la República del Camerún, permitirá evitar el punto negro del eje Douala Bangui (Centroáfrica). Estas obras, costeadas por el Fondo Europeo de Desarrollo, se habrán de terminar en agosto de 2001.

Estas obras se realizan sin interrupción del tráfico rodado, ya que el proyecto utiliza a razón de más de un 90 % la pista existente. Los métodos de trabajo han tenido que tener en cuenta este importante imperativo, sin por ello acarrear accidentes de obras.

La optimización del proyecto ha constituido una preocupación permanente durante las obras, con objeto de adaptar las características del trazado a las

dificultades con que se ha tropezado durante el avance (disposición precisa del perfil longitudinal, naturaleza real de los materiales con que se ha tropezado, saneado de terrenos bajo explanada no previstos, etc.).

Finalmente, desde el comienzo de las obras se ha puesto en aplicación un plan de protección del medio ambiente, cuya correcta realización ha estado garantizada por un responsable de la empresa en las propias obras y bajo la supervisión por parte de un ingeniero integrado en la misión de control.

# Un pont-station haubané

## Le pont de Santo Amaro à São Paulo - Brésil

L'ouvrage, situé sur une nouvelle ligne du métro de São Paulo, est un pont ferroviaire haubané à deux voies de circulation qui présente l'originalité de porter une station sur sa travée principale.

Sa longueur totale est de 230 m (35 m - 50 m - 122 m - 23 m), la petite travée de 23 m étant destinée à diminuer les déformations de la structure sous surcharges mobiles.

Le tablier est un caisson unicellulaire de 2,50 m de haut, en béton précontraint, construit par encorbellement pour sa travée principale de 122 m.

Le haubanage est dans un seul plan, situé sur l'axe. Les haubans, sont ancrés sur le plan supérieur dans un pylône unique en béton



Photo 1  
Vue d'ensemble de l'ouvrage  
Overall view of the structure

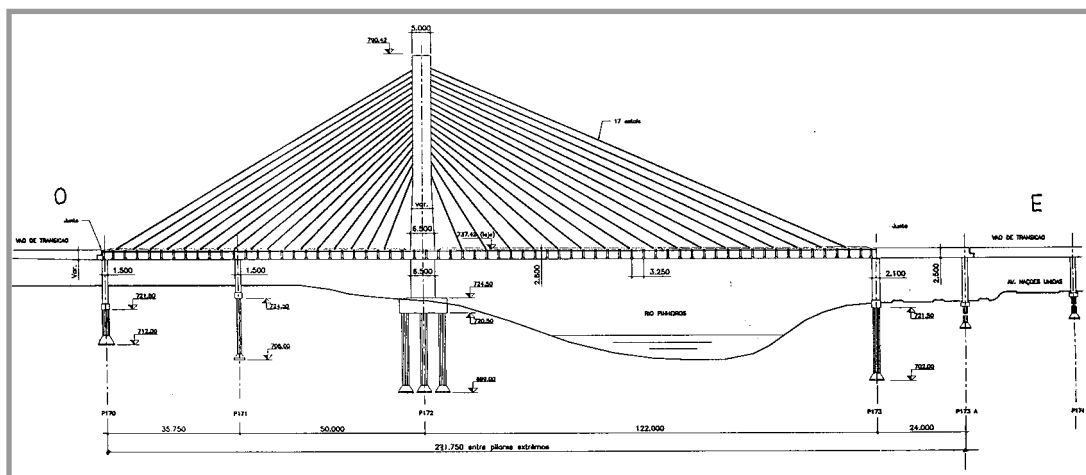


Figure 1  
Section longitudinale  
Longitudinal section

précontraint (horizontalement) et sur le plan inférieur dans une nervure axiale du hourdis supérieur du caisson.

L'équilibrage des travées est réalisé par lestage en gros béton des travées de rives ainsi que par clouage vertical des piles correspondantes.

La réalisation des quais du métro fait largement appel à la préfabrication : fermes latérales en béton armé, connectées au caisson par précontrainte transversale, et planches en béton armé.

### INTRODUCTION

Les maîtres d'ouvrage ferroviaires sont généralement méfiants à l'égard des ouvrages d'art haubanés, en raison de leurs déformations sous surcharges. La Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (C.P.T.M.), à São Paulo (Brésil), a néanmoins opté pour ce type de construction particulièrement adaptée au projet du pont-station Santo Amaro. Aujourd'hui, le génie civil est terminé et n'attend que les rails et la couverture pour une mise en service (photo 1).

### DESCRIPTION FONCTIONNELLE SOMMAIRE

Le pont-station de Santo Amaro s'intègre à la nouvelle ligne dite "Capão Redondo-Largo XIII", aérienne, à double voie, du réseau métropolitain de São Paulo.

Actuellement en cours d'achèvement cette ligne comprendra six nouvelles stations qui seront ouvertes l'an prochain.

L'ouvrage en béton, de longueur totale 230 m, franchit la rivière Pinheiros dans le centre-ville par une travée haubanée de 122 m, équilibrée sur la rive ouest par deux travées également haubanées de 35 m et 50 m et prolongée sur la rive Est par une petite travée de 23 m non haubanée (figure 1).

La station est implantée sur le propre tablier de la travée principale et en partie sur les deux travées d'équilibrage.

Sur la rive Est, l'ouvrage croise la ligne de métro "Linha Sul" qui longe la rivière Pinheiros.

Au croisement des deux lignes se situent la station "Largo XIII" de la "Linha Sul", la nouvelle station de Santo Amaro – le pont – de la "Linha Capão Redondo-Largo XIII" ainsi que la passerelle d'interconnexion.

L'ensemble est complété par les "halles" d'interconnexion métro/autobus ainsi que par les salles de contrôle/opération de la station de Santo Amaro.

### CONCEPTION STRUCTURALE

Le choix, par la C.P.T.M, d'une structure type "pont haubané" est justifié par les contraintes suivantes :

- ◆ la longueur de la travée sur rivière : 122 m environ ;
- ◆ la nécessaire facilité d'accès piétonnier à la station requiert un tablier le plus bas possible ;
- ◆ le maintien du gabarit de navigation (dragage) de la rivière et du gabarit ferroviaire de la "Linha Sul", qui passent sous l'ouvrage ;
- ◆ le raccordement des niveaux des plates-formes d'accès aux deux stations.

En découle l'épaisseur maximale possible de structure de 2,50 m, à comparer à la portée de 122 m. L'idée d'une structure haubanée s'est donc imposée et c'est sur cette base que les entreprises ont été consultées. Après appel d'offres, l'entreprise O.A.S a été retenue (photo 2).

Les choix techniques résultent plus précisément des contraintes complémentaires suivantes :

# sur la rivière Pinheiros

- ◆ la rigidité de la structure vis-à-vis des charges mobiles : le pylône, le tablier et la pile sous pylône constituent un ensemble encastré ;
  - ◆ la surveillance et l'entretien : un hauban doit pouvoir être complètement démonté et remplacé sans interruption de trafic ;
  - ◆ la méthode constructive : l'entreprise a préféré la méthode par encorbellement plutôt qu'une solution "coulée en place" sur cintre appuyé sur palées provisoires en rivière, jugée plus risquée en raison des crues intempestives et des aléas de navigation ;
  - ◆ l'état limite de service ferroviaire de rotation relative des rails au niveau des joints avec les tabliers adjacents : il a fallu prolonger la grande travée par la "petite travée" de 23 m sur la rive Est, prévue initialement comme faisant partie des travées courantes de la ligne aérienne. Le fait de déplacer le joint de 23 m sur la pile suivante, a permis de réduire la rotation de la valeur 1 %, inadmissible, à 0,2 %, admissible.
- De plus, la rigidité de la grande travée s'en est trouvée améliorée ;
- ◆ l'équilibre général du tablier par rapport au pylône : il est assuré grâce à un lestage du caisson des travées de 35 ml et 50 ml par du gros béton, ainsi que par le clouage vertical (précontrainte) jusqu'aux fondations, du tablier sur les piles P170 et P171.

## Les fondations

Les fondations sont des puits diamètre 1,80 ou 2,00 m, élargis à la base en "pattes d'éléphant", précontraints verticalement par des barres  $\varnothing$  40 mm. L'ensemble des puits de chaque pile est couronné par un massif rigide en béton armé où s'ancrent les barres et câbles verticaux de précontrainte.

## Les piles

Hautes de 10 m environ, elles sont de forme classique : rectangulaire plein pour les piles des travées d'équilibrage P170 et P171, rectangulaire creux pour la pile du pylône P172 ou circulaire ( $\varnothing$  2 m) à appareil d'appui unique pour la pile d'extrémité P173A; la grande rigidité à la torsion du tablier autorisant cette conception.

## Le tablier

Le tablier, portant les deux voies, est constitué d'un caisson unicellulaire en béton précontraint de hau-

teur constante 2,50 m. Les plates-formes latérales d'embarquement/débarquement sont posées sur des fermes préfabriquées triangulaires en béton armé. Elles sont appuyées en partie inférieure sur un corbeau filant sur la longueur du caisson du tablier et sont connectées en partie supérieure au caisson par une précontrainte transversale (figure 2).

Le tablier est encastré dans le pylône, ainsi que sur les poteaux, flexibles, des travées d'équilibrage. De l'autre côté de la rive, le tablier est simplement appuyé sur les piles de la petite travée par l'inter-

### Guy Frémont

CHEF DE PROJET  
JMI - France



### Milton Carvalho

RESPONSABLE  
TECHNIQUE  
DES TRAVAUX  
Entreprise OAS - Brésil



### Catão F. Ribeiro

DIRECTEUR  
Bureau d'études Enescil  
(Associé à JMI) - Brésil



Photo 2  
L'ouvrage  
en construction  
Structure  
during construction

Figure 2  
Section transversale  
Cross section

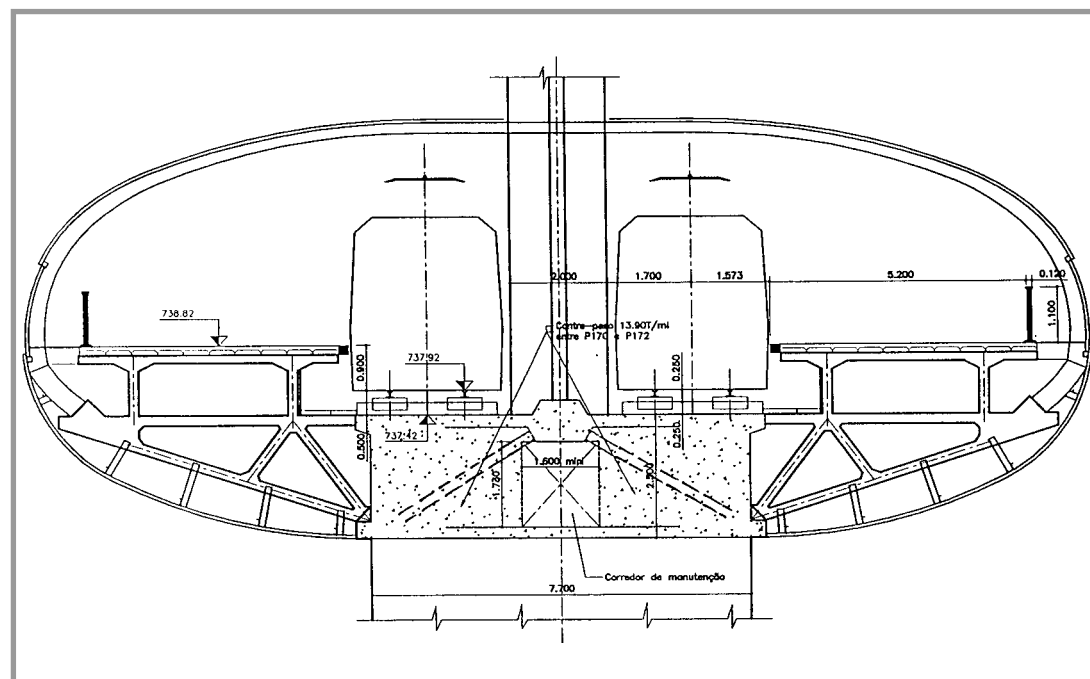


Photo 3  
Le pylône  
The tower



## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

### Tablier

3 500 m<sup>3</sup> avec 620 t d'acier de BA et 110 t d'acier dur

### Pylône

450 m<sup>3</sup> avec 110 t d'acier de BA

### Haubans

120 t d'acier dur

Le délai de réalisation du génie civil a été de un an et demi (d'août 1998 à décembre 1999)

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maître d'ouvrage

C.P.T.M

### Maître d'œuvre

Logos Engenharia

### Entreprise

O.A.S.

### Etudes de structures

Groupement J.M.I./Enescil

### Précontrainte et haubanage

Protende (procédés Tensacciai)

### Contrôle extérieur du projet, pour le compte d'O.A.S

Studio de Miranda Associati

### Assistance technique au chantier

J.M.I



médiaire d'appareils d'appui à pot d'élastomère unidirectionnels.

La nécessaire rigidité de la structure exigée par son utilisation ferroviaire a été obtenue grâce à un dimensionnement "confortable" des sections de béton et les encastremets tablier/piles/pylône; ainsi, la flèche maximale ne dépasse pas 1,2 ‰ de la travée principale sous le chargement maximum de deux convois qui se croisent.

### Le pylône

L'unique pylône situé sur l'axe du pont, est haut de 53 m au-dessus du nu supérieur du tablier (photo 3).

C'est un caisson en béton précontraint horizontalement dans les deux axes compte tenu de la conception d'ancrage des haubans dans le pylône.

Les ancrages supérieurs des haubans sont disposés à l'intérieur.

Une entretoise massive dans le caisson permet de transmettre la charge du pylône à la pile sous-jacente.

### Les haubans

Le haubanage est conçu dans le plan central situé entre les deux voies ferrées selon deux semi-harpes légèrement dissymétriques, ancrées sur les 2/3 supérieurs du pylône.

Il est constitué de 34 haubans, 17 étant ancrés dans les travées d'équilibrage tous les 4,55 m et 17 étant ancrés dans la grande travée tous les

6,50 m. Les ancrages inférieurs sont situés sous une nervure axiale du hourdis supérieur du caisson au croisement de deux diagonales, en béton précontraint du caisson, ancrées à la base des âmes. Les haubans comportent de 33 à 55 torons T15 "super", galvanisés, cirés et gainés (PEHD). L'ensemble est protégé par une gaine générale en PEHD, de couleur gris clair, sur laquelle une spirale en PEHD, destinée à limiter les oscillations sous l'action combinée du vent et de la pluie, est soudée. Ainsi, aussi bien par l'intérieur du caisson du tablier que par l'intérieur du caisson du pylône, les ancrages des haubans furent "aisément" accessibles pendant la construction et le seront en phase de service tant pour l'inspection et le contrôle dynamométrique que pour un hypothétique remplacement.

## ■ MÉTHODES D'EXÉCUTION

### Les fondations

Les fondations sont des puits excavés mécaniquement jusqu'à leur base. L'élargissement en "patte d'éléphant" est ensuite réalisé manuellement, sous air comprimé car il se situe à une dizaine de mètres dans la nappe phréatique.

L'enceinte de havage est une chemise perdue en acier d'épaisseur 12,5 mm.

Après mise en place des aciers, y compris la précontrainte verticale d'accrochage du tablier (barres de 4 m raboutées, plus faciles à introduire dans l'enceinte que des câbles), l'excavation est remplie de béton sous tube plongeur.

### Les piles

Les piles ont été réalisées classiquement par coffrages grimpants de 3,50 m.

### Le tablier

Les travées d'équilibrage de 35 ml et de 50 ml, ainsi que la "petite" travée de 23 ml, ont été exécutées en même temps que le pylône, sur un échafaudage traditionnel appuyé sur le terrain naturel décapé.

Comme elles devaient être décintrées avant mise en tension des haubans, une précontrainte longitudinale provisoire a dû leur être appliquée. Elle a ensuite été retirée à mesure que les haubans ont été tendus.

La surface constituée par le tablier entre les piles P170-P171-P172 a été mise à profit pour les opérations de préparation des câbles et haubans.

La travée principale sur la rivière de 122 ml a été exécutée sur place par encorbellement, en voussoirs de 6,50 ml pesant 100 tonnes environ.

L'équipage, y compris son système "tiroir" né-

cessaire à son avancée entre deux phases, pèse environ 35 tonnes (photos 4 et 5).

La cadence d'avancement a été de 9 jours par voussoir de 6,50 m.

Chaque voussoir, après mise en tension de son hauban, a dû être brêlé au voussoir précédent par des câbles provisoires 19T15 (deux à chaque fois) placés en haut du caisson et régnant sur deux voussoirs. Ce brêlage était destiné à reprendre le poids du voussoir suivant, encore non haubané, et de l'équipage déjà déplacé. A mesure que les haubans étaient tendus, les câbles étaient retirés pour être réutilisés.

Un clavage de 2,65 m a uni le fléau terminé et la travée de 23 m déjà réalisée.

Auparavant, l'équipage a été "encastré" sur cette travée afin d'éviter que la déformation de l'équipage côté fléau n'entraîne un décrochement du profil en long.

La précontrainte longitudinale de clavage 19T15 a ensuite été appliquée à 12 heures.

Le reste des câbles longitudinaux (19T15, rectilignes, internes) ont alors été tendus.

Une fois le caisson terminé, les fermes préfabriquées des plates-formes latérales ont été posées et brêlées en partie supérieure; après clavage et mise en tension des câbles (7T15) supérieurs, les planches préfabriquées en béton armé ont été posées (photo 6).

Un hourdis coulé en place et un mortier de nivellement final ont alors complété la structure des quais, suivant une technique courante en "bâtiment".

### **La mise en tension des haubans**

La mise en tension de haubans a été réalisée en trois phases. La première phase a été précédée par la mise en tension des câbles 6T15 des diagonales et, pour les travées d'équilibrage, par le bétonnage du lest en modules longitudinaux de 4,55 m correspondant à l'espacement des haubans.

Chaque hauban a été mis en tension, toron par toron, par "iso-allongement", méthode utilisable lorsque les torons sont "classés" sur toute leur longueur, ce qui était le cas avec le système de haubanage retenu.

Cette méthode consiste à tirer chaque toron jusqu'à ce que la "marque" du toron en cours de mise en tension s'aligne sur celle du premier toron tendu, étant entendu que tous les torons ont été marqués au préalable (en atelier) "en alignement", c'est-à-dire à la même longueur.

La force théorique donnée au premier toron correspond à la force théorique de mise en tension, augmentée de la force correspondant au raccourcissement théorique total que le toron devra souffrir, sous l'action des rapprochements successifs de ses ancrages, lors des mises en tension de tous les torons qui vont suivre.



**Photo 4**  
**L'équipage en place**  
*The rigging in place*

© OAS



**Photo 5**  
**L'équipage vu de dessus**  
*Top view of formwork*

© OAS



**Photo 6**  
**Les fermes support des quais**  
*Platform support frames*

© JMI

En fin de mise en tension, on mesure, sur le dernier toron, son allongement apparent par rapport au tablier; on en déduit la force réelle dans le toron, donc du hauban puisque tous les torons sont alignés.

Bien entendu, ces calculs sont accompagnés des diverses corrections de température.

Il a donc été possible de comparer la force théorique du hauban à sa force réelle en fin d'opération.

Sur l'ouvrage de Santo Amaro, l'écart n'a jamais dépassé 5 %.

### **Le suivi de nivellement**

Les niveaux mesurés des extrémités de fléau à chaque phase de bétonnage ont été comparés aux niveaux théoriques de calculs, toutes corrections

de température et de poids d'équipage effectuées. Les corrections de nivellement n'ont jamais dépassé 30 mm, montrant ainsi une bonne concordance entre la théorie et la pratique.

### Le pylône

Le pylône a été réalisé classiquement par coffrages grimpants de 3,50 m.

Un ascenseur et des plates-formes de service en construction ont été montés simultanément pour accéder à tous les niveaux d'opération.

La cadence d'avancement a été de 5 jours par levée.

La précontrainte horizontale de "ceinturage" a été réalisée au fur et à mesure de montée des coffrages, préalablement à la mise en tension des haubans.

### Les superstructures

La station recevra une couverture métallique elliptique en aluminium, portée par une ossature en acier; cette dernière est actuellement en cours de mise en place.

Les rails doivent être posés sur un dallage massif en béton connecté à la structure du tablier par des appuis caoutchoutés.

La date d'intervention n'est pas encore programmée pour cet ensemble représentant 20 % des charges permanentes. L'entreprise a pu toutefois appliquer la totalité de la force prévue dans les haubans en chargeant le tablier d'un poids équivalent en gravier, et achever ainsi son contrat à la date prévue.

## ■ CONTRÔLE INSTRUMENTAL

L'ouvrage a été pourvu d'un Contrôle instrumental en Service.

A cet effet, ont été installés à demeure :

- ◆ des repères topographiques de déplacement vertical sur appuis et à mi-travée;
- ◆ des repères topographiques de déplacement horizontal en tête et en pied de pylône;
- ◆ des comparateurs de déplacement aux joints de dilatation;
- ◆ des cellules dynamométriques sur quelques torons (10 torons) de hauban;
- ◆ des accéléromètres sur deux haubans, placés au quart et aux trois quarts de la longueur, permettront de mesurer les fréquences de vibration et les amplitudes de déplacement.

Un anémomètre en tête de pylône permet d'enregistrer la vitesse du vent; à 100 km/h (moyenne sur 5 secondes), le trafic sera interrompu.

Enfin, l'ouvrage fait l'objet d'un Manuel d'entretien et de surveillance.

## ABSTRACT

**A cable-stayed station bridge. The Santo Amaro bridge over the Pinheirosa São Paulo River in Brazil**

*G. Frémont, M. Carvalhal, C.-F. Ribeiro*

This structure, located over a new metro line in São Paulo, is a cable-stayed railway bridge with two traffic lanes and having the original feature of supporting a station on its main span section. Its total length is 231 m (35 m - 50 m - 122 m - 23 m), the small span of 23 m being designed to reduce deformations in the structure under moving loads.

The deck is a single-cell box girder 2.50 high in prestressed concrete, the main section of 122 m being constructed by cantilevering.

The cable staying is in a single plane located on the centreline. The higher cables are anchored on a single tower in horizontally prestressed concrete, while the lower cables are anchored in an axial ribbing of the box girder's upper decking.

Balanced spans are obtained by coarse concrete ballasting on the bank spans as well as by vertical nailing of the corresponding piers.

The construction of the metro platforms makes extensive use of prefabrication: reinforced concrete lateral frames connected to the box girder by transverse prestressing, and reinforced concrete sections.

## RESUMEN ESPAÑOL

**Un puente-estación atirantado. El puente de Santo Amaro en el río Pinheirosa, Sao Paulo - Brasil**

*G. Frémont, M. Carvalhal y C.-F. Ribeiro*

Esta estructura, ubicada en una nueva línea de metro de Sao Paulo, corresponde a un puente ferroviario atirantado de dos vías de circulación, que presenta la originalidad de soportar una estación en su tramo principal.

Su longitud total es de 231 m (35 m - 50 m - 122 m - 23 m). El más pequeño de los tramos (23 m) está destinado a disminuir las deformaciones de la estructura sometida a sobrecargas en movimiento.

El tablero está formado por un cajón unicelular de 2,50 m de altura, de hor-

migón pretensado, construido en voladizo para el tramo principal de 122 m. El atirantado se ha efectuado según un plano único, situado en su eje. Los tirantes van anclados en el plano superior en un poste único de hormigón pretensado (horizontalmente) y en el plano inferior en un resalte axial del forjado superior del cajón.

El equilibrio de los tramos se ha obtenido por lastre de hormigón grueso de los tramos extremos, así como por enclavado vertical de los pilares correspondientes.

Para la ejecución de los andenes del metro se ha recurrido ampliamente a la prefabricación: cerchas laterales de hormigón armado, conectadas con el cajón por pretensado transversal y forjados de hormigón armado.



# Constructions routières au Chili

## Le chantier Chillan-Collipulli

**Michel Pisano**

DIRECTEUR  
DU CHANTIER  
Constructora DUMEZ-GTM  
Tribasa (Chili) - Groupe Vinci

**Lionel Galis**

COORDINATEUR  
CONTRACTUEL  
Constructora DUMEZ-GTM  
Tribasa (Chili) - Groupe Vinci

Ce chantier de constructions routières, situé à 500 km au sud de Santiago du Chili, dans la huitième région, s'étend sur 164,8 km entre les villes de Chillan et Collipulli (figure 1).

D'un montant total de 178 M US\$ et d'un délai de 28 mois, il consiste au doublement de la route panaméricaine "D Ruta 5 Sur" sur 135,24 km et à la construction de 2 x 2 voies neuves sur 29,56 km. Tout au long du parcours s'échelonnent 29 échangeurs, 36 ponts, 15 passerelles et 600 ouvrages d'assainissement ou d'irrigation.

Les retards d'expropriation, d'approbation de projets, la présence de lignes électriques, de fibres optiques, de réseaux d'eau, de gaz et de pétrole ont morcelé le chantier rendant difficile la programmation et l'optimisation des travaux. A ceci s'ajoute la difficulté et les risques de travailler à proximité d'une route en circulation où transitent tous les jours 25 000 véhicules et camions. Débutés le 10 août 1999, les 90 premiers kilomètres seront livrés à la société concessionnaire dans les délais prévus, soit 15 mois après le démarrage des travaux.

Ces travaux s'inscrivent dans un plan général du Ministerio de Obras Publicas (MOP - Ministère des travaux publics) de doublement et réhabilitation de l'ancienne "Ruta 5 Sur", qui s'étend de La Serena (450 km au nord de Santiago) à Puerto Montt (1 200 km au sud), pour faire face à un état de délabrement avancé de la chaussée béton mais aussi à un trafic sans cesse grandissant de poids lourds qui assurent le transport de toute marchandise depuis l'extrême sud du pays à l'extrême nord du continent (route panaméricaine).

En raison de l'urgence des travaux et la lourdeur des investissements, le gouvernement chilien a décidé de faire des appels d'offre internationaux par le biais de concessions pour le financement, la réalisation et l'exploitation pendant 25 ans de cette autoroute. Groupe GTM (81,25 %) en partenariat avec le groupe mexicain Tribasa (18,75 %) est adjudicataire du tronçon Chillan - Collipulli et a confié à Constructora DUMEZ-GTM Tribasa le soin de réaliser les travaux, avancés à ce jour à 43 %.

### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

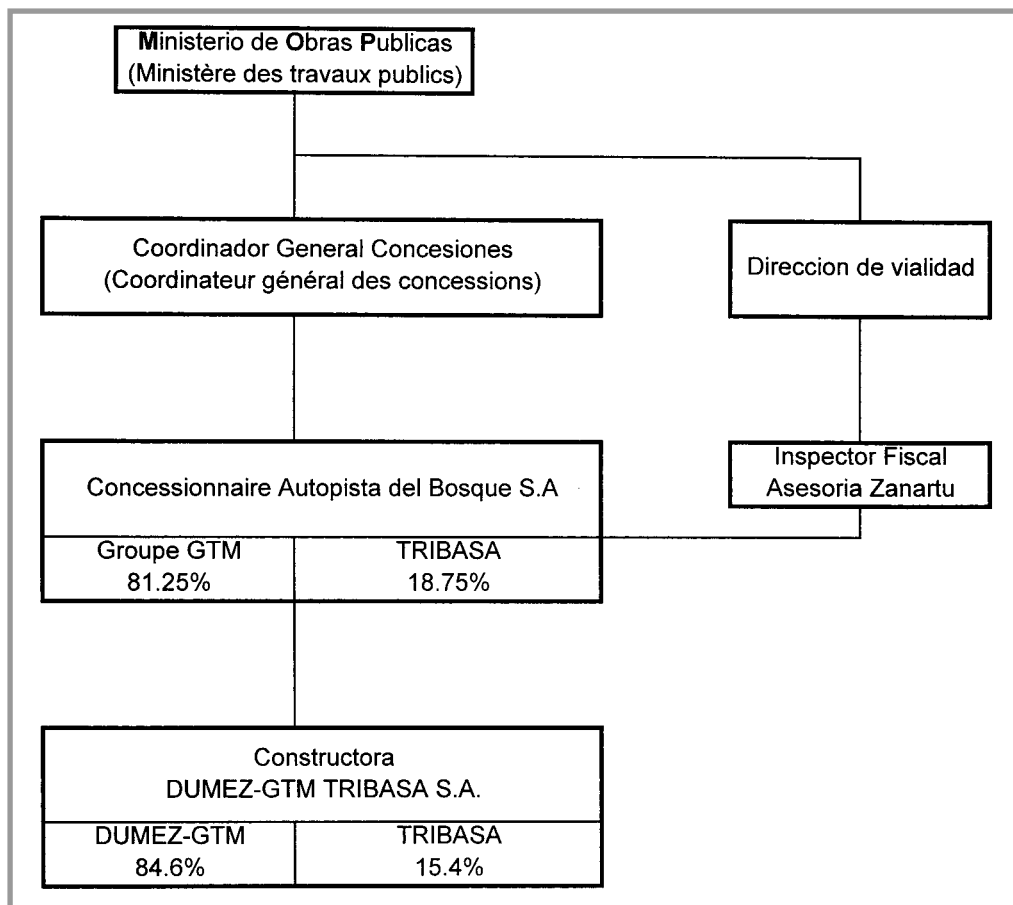
Le chantier se décompose en cinq secteurs qui se distinguent par la nature des travaux à y effectuer. Les secteurs I, III et V, d'une longueur totale de 135,24 km consistent au doublement de la "Ruta 5 Sur" et à la réparation-maintenance de la route existante. Les secteurs II et IV d'une longueur totale de 29,56 km sont des bipsasses entièrement neufs.



Figure 1  
Plan de situation  
Location

Tout au long de ces 164,8 km s'échelonnent des ouvrages particuliers tels que 29 échangeurs pour assurer les liens avec les villes et axes principaux de la région, 36 ponts de longueur variable entre 15 m et 280 m franchissant des rivières aux régimes parfois torrentiels de 2 400 m<sup>3</sup>/s, 15 passerelles piétonnes et 600 ouvrages d'assainissement assurant l'écoulement des eaux de pluie et d'irrigation d'est en ouest.

Deux gares de péage principales et six secondaires sont prévues pour l'exploitation de l'autoroute par la société concessionnaire (encadré "Les principaux intervenants", page 41).



**Figure 2**  
Schéma des relations  
dans le cadre des  
concessions chiliennes.

Asesoría : Conseiller.  
Représentant sur le terrain  
de l'inspection fiscale  
(maître d'œuvre)

**Diagram of relations  
in connection with Chilean  
concessions**

Asesoría : field consultant  
representing financial  
inspection authorities  
(contracting agency)

## CONCEPTION

Cet ouvrage a été entièrement conçu par les services de la Dirección de Vialidad du MOP et le département des ponts du MOP. Le Projet référentiel d'ingénierie (PRID), élaboré par le MOP regroupe des projet définitifs dont seule l'ingénierie d'exécution est développée par le groupement, et des avant-projets (APS) dont nous avons en charge les avant-projets définitifs et les projets d'exécution. Cette ingénierie, développée sur place par le bureau d'études de Constructora a nécessité la collaboration de 25 ingénieurs utilisant les logiciels les plus performants possibles en matière de calculs géométriques et de volumes (CLIP 2000 offre la possibilité de simuler en trois dimensions le profil de l'autoroute) et de calcul de structures et résistance des matériaux (SAP 90). Ils sont assistés par 25 topographes chargés des relevés de terrains et des vérifications des données du PRID (figure 2).

## ENCADREMENT ET MAIN D'ŒUVRE

La direction du chantier se décompose en sept départements distincts : la direction générale, l'ad-

ministration, le projet, la construction, la mécanique, le département technique et le département contractuel.

Vingt-deux expatriés français se partagent les responsabilités et sont assistés de 110 cadres sud-américains, pour la plupart Chiliens.

Sans prendre en compte la partie sous-traitance qui représente 4 M US\$ de facturation mensuelle, soit 35 % de l'activité, la main d'œuvre directe atteint 1 700 personnes soit plus de 2 500 personnes y compris les sous-traitants.

## RÉALISATION

Les expropriations au Chili se font en grande partie au fur et à mesure de l'avancement des travaux et pour des raisons administratives et judiciaires certains lots n'ont pas été expropriés en temps utiles. La présence d'innombrables lignes électriques, câbles téléphoniques, fibre optique, réseaux d'eau potable, oléoduc, gazoduc a aussi généré un grand nombre d'interférences et de retards quant à la libération des terrains.

D'autre part, les délais d'approbation de certains ouvrages d'assainissement et d'irrigation transversaux à l'autoroute et des ponts contribuent au découpage du chantier.

Le problème majeur que l'entreprise rencontre donc aujourd'hui est le morcellement du chantier en parcelles d'à peine 30 m parfois, obligeant à une programmation complexe et partielle des tâches.

### Les terrassements (photo 1)

Les terrassements représentent 51,6 M US\$ soit 29 % du montant total des travaux. Les déblais d'un volume total de 2 640 000 m<sup>3</sup> d'origine argileuse, limoneuse, sableuse – (le chantier traverse d'anciennes plaines de grands fleuves chiliens comme le Bio Bio, qui au sortir de la cordillère des Andes, ralentissent et déposent les éléments les plus fins retrouvés dans les excavations) – n'ont pas pu être réutilisés dans les quelque 6 260 000 m<sup>3</sup> de remblais. Il a donc fallu ouvrir des emprunts, essentiellement de sable pur sans contamination limoneuse, tout au long de la trace, ainsi que des décharges habilitées à recevoir les produits des excavations. A souligner, tout de même, la présence de bancs de roche sédimentaire à haute compacité (350 000 m<sup>3</sup>, 12 % des excavations) contraignant à des tirs de mine à proximité d'habitations, de lignes électriques et de la "Ruta 5 Sur" en service.

Les terrassements ont mobilisé plus de 20 excavatrices (Cat. 235, 320), 15 retro-excavatrices (Cat. 416), 10 chargeurs (Cat. 936,966), 15 bulldozers (Cat. D4, D6, D7, D8, D9), 15 compacteurs (Cat. CS-533, 563), 30 camion-citerne de 10 000 à 25 000 litres de capacité et 150 camions bennes pour des

cadences journalières de 15 000 m<sup>3</sup> de déblais et 20 000 m<sup>3</sup> de remblais.

Le nécessaire arrosage des remblais en sable pour obtenir le compactage requis a entraîné des consommations d'eau journalières de 1 500 000 litres, sachant, qu'en plein été dans cette région agricole, l'utilisation d'eau est strictement contrôlée.

### Les ouvrages en béton armé et précontraint

Les ouvrages d'assainissement – tubes, caissons armés, fossés revêtus ou non, caniveaux de protection de la chaussée – représentent 11,4 M US\$ soit 6,4 % du marché global. Ils sont construits selon les spécifications du *Manuel de Carretera* qui depuis 1974 définit les coupes types des ouvrages, leur géométrie et armatures.

La principale difficulté de réalisation des ouvrages hydrauliques, permettant aux canaux d'irrigation de traverser l'autoroute, est de garantir l'écoulement de l'eau pendant la période d'irrigation qui s'étend de novembre à avril. Dans cette région essentiellement agricole il faut savoir qu'un canal, d'un débit de 2 m<sup>3</sup>/s, approvisionne en eau plus d'un millier d'exploitants regroupés en association de canalisés dont le poids politique et social est incontestable. D'où la difficulté de coordination et conciliation pour pouvoir couper l'eau ne serait-ce qu'une journée et l'obligation de monter des opérations programmées à l'heure prêt. Quant aux ouvrages d'assainissement, c'est en automne-hiver que leur construction se complique.

Cette région du Chili est en effet très pluvieuse et il faut s'attendre à recevoir des précipitations d'avril à novembre pour une moyenne annuelle de 1 100 mm avec un pic en juin; pour cette année de 530 mm.

Ces fortes précipitations et la nature sableuse des remblais, ont conduit à mettre en œuvre rapidement la protection de la chaussée pour canaliser l'écoulement des eaux superficielles et éviter une érosion dévastatrice. Cette protection se matérialise par 150 km de bordures, caniveaux et cunettes diverses que des machines glissantes et hydrauliques, aux coffrages variés, permettent de bétonner au rythme de 600 ml/jour.

Ces fortes précipitations transforment de simples petites rivières l'été, en fleuves aux régimes torrentiels l'hiver, ce qui restreint fortement la période de construction des fondations des ponts. Le montant total des travaux d'ouvrages d'art, y compris les passages inférieurs et supérieurs (échangeurs) est de 35 M US\$ soit 20 % du montant total des travaux. Leur superstructure est composée de poutres préfabriquées et précontraintes (photo 2) dont la portée maximale est de 45 m et le poids de 90 t. Leur mise en œuvre s'effectue à l'aide de grues mobiles (capacité 400 t) ou au lanceur.

A titre d'exemple le pont sur le fleuve Laja (photo 3)



**Photo 1**  
Terrassements dans des terrains rocheux à proximité du pont Laja  
*Earthworks in rocky terrain near the Laja Bridge*



**Photo 2**  
Superstructure du pont Itata, poutres préfabriquées et précontraintes  
*Superstructure of Itata Bridge, precast and prestressed beams*



**Photo 3**  
Pose de poutres sur le pont Laja  
*Placing of beams on Laja Bridge*

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur : 164,8 km
- Echangeurs : 29
- Ponts : 36
- Passerelles : 15
- Ouvrages d'assainissement : 600
- Caniveaux et fossés : 300 km
- Bétons : 50 000 m<sup>3</sup>
- Déblais : 2 640 000 m<sup>3</sup>
- Remblais : 6 260 000 m<sup>3</sup>
- Couche de forme : 1 200 000 m<sup>3</sup>
- Enrobés : 500 000 m<sup>3</sup>
- **Main d'œuvre** : 2 500 personnes
- **Montant du marché** : 178 M US\$
- **Délai** : 28 mois

Figure 3  
Profil longitudinal  
du pont Laja  
Longitudinal  
section  
of the Laja Bridge

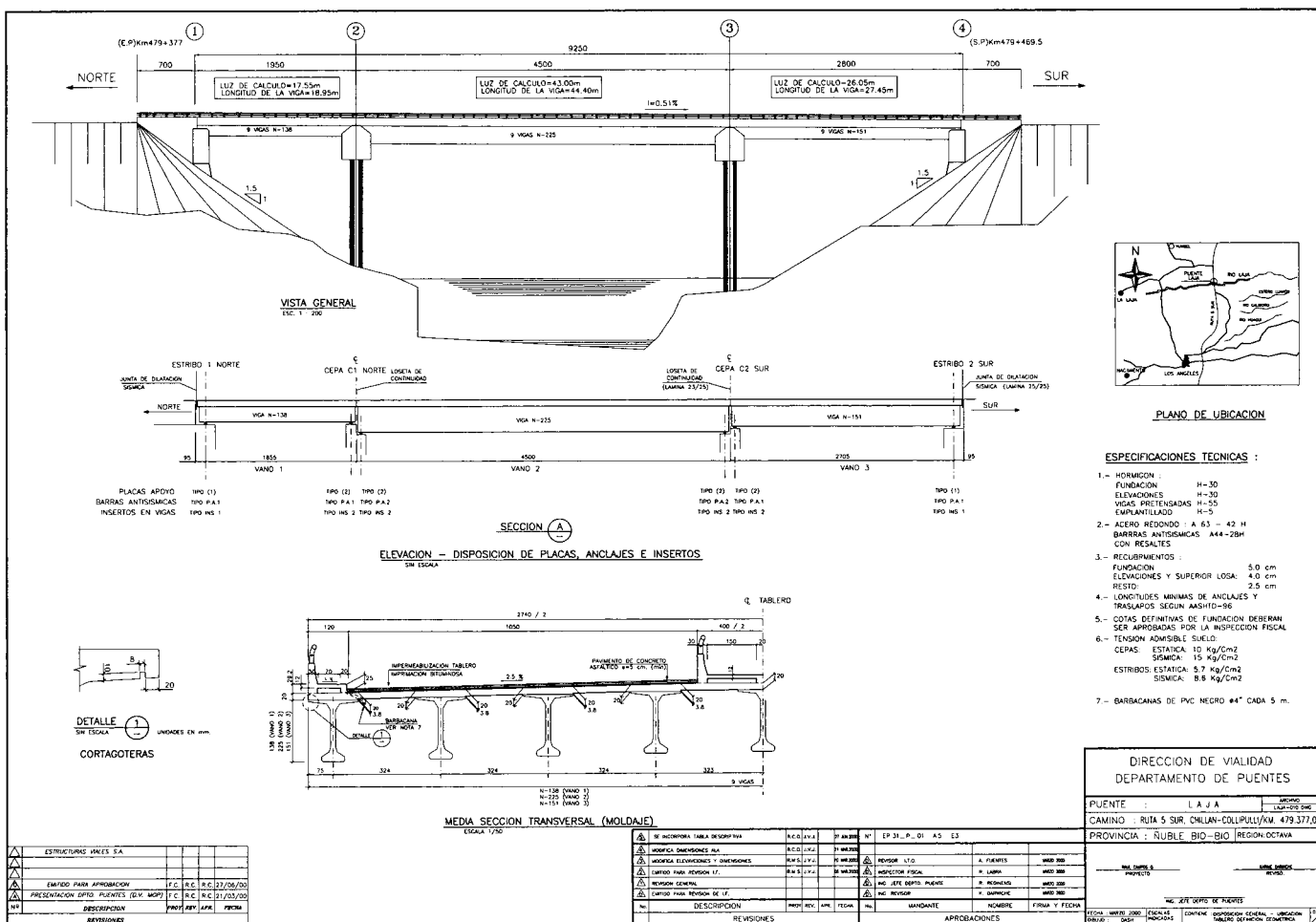
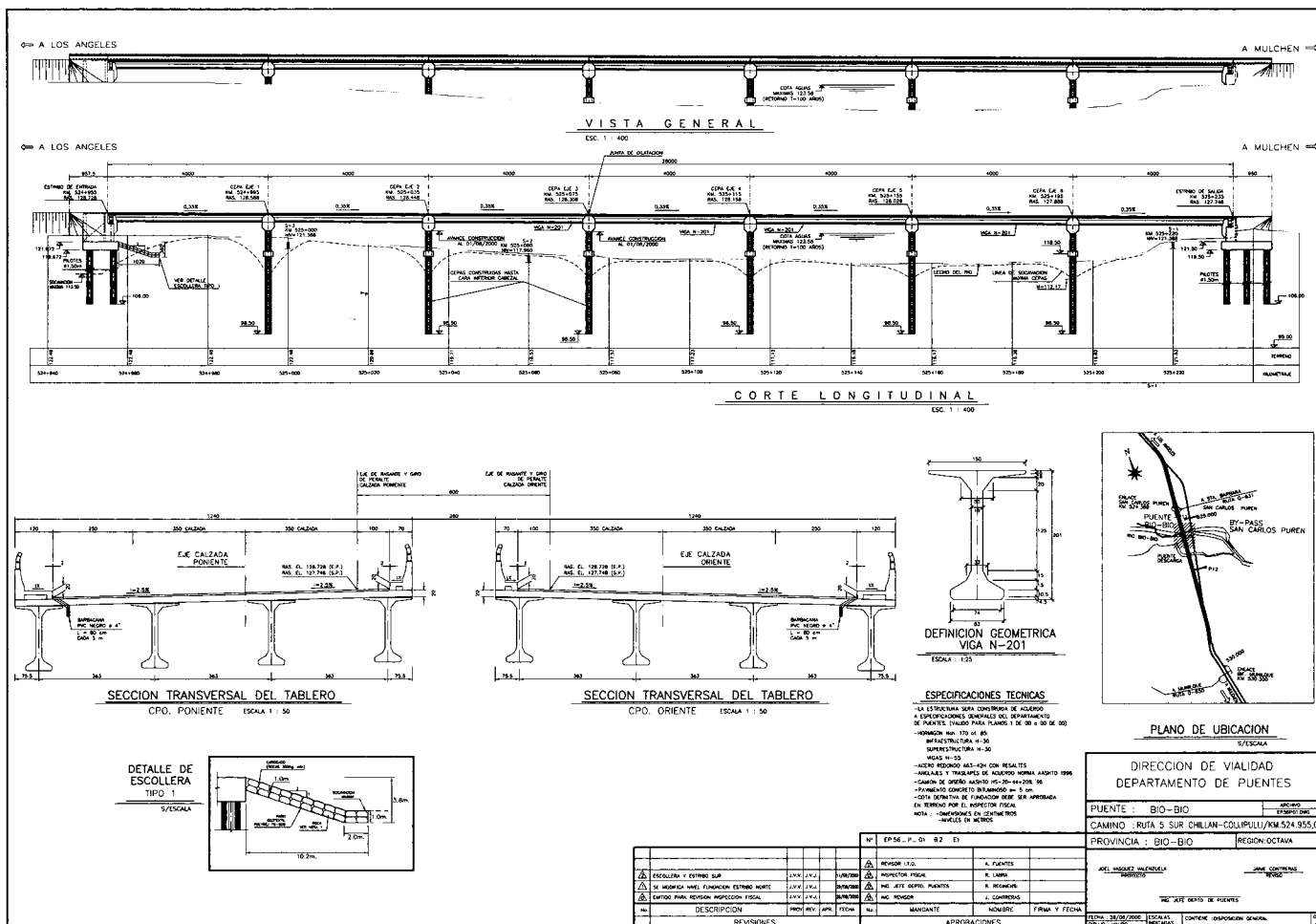


Figure 4  
Profil longitudinal  
du pont Bio Bio  
Longitudinal  
section  
of the Bio Bio  
Bridge



composé de trois travées, d'une longueur totale de 90 m (travée centrale de 45 m) et des hauteurs de piles sur semelles de 20 m, est l'un des ponts les plus encaissés; celui qui enjambe le fleuve Bio Bio est le plus long avec sept travées de 40 m chacune (figures 3 et 4).

La totalité des bétons mis en œuvre représente 55 000 m<sup>3</sup>. Le pic journalier a atteint 1 200 m<sup>3</sup> lors du coulage de la plus grosse semelle du pont Salto del Laja (800 m<sup>3</sup> - 60 m<sup>3</sup>/h - 14 heures de bétonnage).

Le béton le plus couramment utilisé est le H 30 donnant une résistance à 28 jours de 30 MPa. Il nous est fourni par des centrales à béton "prêt à l'emploi" installées dans tout le pays.

### Base et enrobés

Les centrales de production des granulats et des enrobés ont été montées spécialement pour ce projet en différents points du chantier et à proximité d'emprunts fluviaux pour le concassage de galets. La production et la cadence de mise en œuvre de la base atteignent 5 000 m<sup>3</sup>/jour et représentent un montant total de 15 M US\$ soit 8,4 % du montant total du chantier. Des niveleuses à guidage laser ont été spécialement utilisées pour régler les couches de forme.

Les enrobés quant à eux représentent 32,2 M US\$ soit 18 % du marché global et sont mis en œuvre par trois finisseurs de 7,5 m de largeur utile au rythme maximum de 2 000 m<sup>3</sup>/jour (photo 4).

La totalité des camions utilisés pour le transport de la base, des enrobés ou autres matériaux de terrassement sont équipés d'une puce électronique qui permet à la centrale de contrôle de suivre les cycles des camions (heure de chargement, de dé-

chargement, distance de transport...) et d'avoir ainsi un contrôle strict des volumes transportés et mis en place.

### Equipement

L'ensemble des travaux se complète enfin par les équipements autoroutiers, s'élevant à 15 M US\$ soit 8,4 % du marché global et qui comprend l'illumination, les bâtiments administratifs, les gares de péage principales et secondaires, la signalisation et les éléments de sécurité définitifs (glissières, murs antibruit ou anti-éblouissement...).

Il faut de plus signaler que le projet consacre 3,5 M US\$ soit 2 % du montant total dans le *transito expédito* (photo 5) qui oblige contractuellement l'entreprise chargée de la construction à maintenir en état la voie existante, tout en garantissant une vitesse minimum de 70 km/h en tout point de la

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Ministerio de Obras Publicas : ministère des Travaux publics
- Coordinador General de Concesiones : coordinateur général des concessions
- Direccion de Vialidad : équivalent des Ponts et Chaussées
- Inspección Fiscal : **maître d'œuvre**
- Asesoria Zanartu : représentant sur le terrain du maître d'œuvre
- Autopista del Bosque S.A. : **cessionnaire**
- Constructora DUMEZ-GTM Tribasa : **constructeur**

**Photo 4**  
Finisher de largeur utile de 7,5 m  
et son échelon de compacteurs dynamiques

*Paver with useful width of 7.5 m  
and its dynamic compactors*



**Photo 5**  
Signalisation provisoire,  
lignes électriques  
et route en circulation

*Temporary signing,  
electric lights and highway  
in service*



route y compris dans les déviations. Des signalisations et protections provisoires nécessaires à la bonne circulation des usagers et au bon déroulement du chantier ont ainsi été mises en place. Sur une route où le flux des véhicules peut atteindre 25 000 par jour en période de pointe (vacances d'été) et où l'on dénombre statistiquement chaque mois, 20 accidents, il fallait mettre tout en œuvre pour la sécuriser et faciliter les interventions en cas d'urgence. Des équipes d'interventions rapides ont ainsi été mises en place pour dégager les voies, signaler et retirer tout obstacle, assister les équipes de construction ainsi que les usagers et organiser le cas échéant la venue des pompiers et ambulances.

## ■ CONCLUSION

L'ampleur des travaux tout au long des 164 km d'autoroute à réaliser, le délai très tendu de 28 mois et le morcellement du chantier (cf. supra) ont obligé la direction du projet à multiplier chantiers et équipes et à prendre des mesures d'accélération qui ont permis une facturation atteignant 11 M US\$/mois en pointe, et le respect des engagements. De fait, les 90 premiers kilomètres de l'autoroute seront livrés à la société concessionnaire dans les délais, soit 15 mois après le début des travaux.

## ABSTRACT

### Road constructions in Chile. The Chillan-Collipulli project

*M. Pisano, L. Galis*

**This highway construction project, located 500 km south of Santiago, in the eighth region, extends along 164.8 km between the towns of Chillan and Collipulli.**

**Valued at US\$ 178 million and scheduled for completion within 28 months, it involves the doubling of the Pan-American highway "D Ruta 5 Sur" along 135.24 km and the construction of dual two-lane carriageways along 29.56 km. Over the entire length, there are 29 interchanges, 36 bridges, 15 foot bridges and 600 drainage or irrigation structures.**

**Delays due to expropriation procedures, project approval, the presence of power lines, optical fibres, as well as water, gas and petroleum networks have fragmented the works, resulting in difficult scheduling and optimisation. To this is added the difficulty and the risks involved in working near a highway that is in service and handles 25,000 vehicles and lorries every day.**

**Begun on 10 August 1999, the first 90 km will be delivered to the operator on schedule, 15 months after the start of the works.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### Construcciones viarias en Chile. Las obras de Chillan-Collipulli

*M. Pisano y L. Galis*

**Estas obras de construcciones viarias, ubicadas a 500 km del sur de Santiago de Chile, en la octava región, se prolongan sobre una distancia de 164,8 km entre las ciudades de Chillan y Collipulli**

**De un importe total de 178 M US\$ y un plazo de 28 meses, las obras tienen por objeto duplicar la carretera panamericana "D Ruta 5 Sur" sobre 135,24 km y la construcción de 2 x 2 nuevas vías sobre 29,56 km. A lo largo del trayecto, existen 29 enlaces, 36 puentes, 15 pasarelas y 600 estructuras de saneamiento o de riegos.**

**Los retrasos derivados de la expropiación, la aprobación de proyectos, la existencia de líneas eléctricas, de fibras**

**ópticas, de redes de agua, de gas y de petróleo han troceado las obras haciendo así difícil la programación y la optimización de las obras. Se añade a todo ello la dificultad y los riesgos de trabajar en las inmediaciones de una carretera abierta al tráfico rodado, por la cual pasan a diario 25.000 vehículos y camiones.**

**Iniciados el 10 de agosto de 1999, los 90 primeros kilómetros serán entregados al concesionario dentro de los plazos proyectados, o sea, 15 meses después de haberse iniciado las obras.**

# Le lot 603 "Black Hill Tunnels" à Hong-Kong

Faisant suite à l'ouverture de la ligne de métro reliant directement le nouvel aéroport de Hong-Kong à l'île de Hong-Kong, M.T.R. Corporation (Mass Transit Railways) s'est concentré, dès novembre 1998, sur la construction de l'extension d'une nouvelle ligne qui desservira la ville nouvelle de Tseung Kwan O (75 000 habitants en décembre 1998, 520 000 prévus en 2002). L'ouverture est prévue à fin 2002 et comptera cinq stations, un dépôt de rames de métro, quatre tronçons en tranchées couvertes et trois tronçons en tunnels forés. Le montant total de l'opération avoisine les 24 milliards de HK\$.

## LE LOT 603 "BLACK HILL TUNNELS"

D'un montant de travaux d'environ 600 MHK\$ à réaliser sur une durée totale de 46 mois (dont 95 % à réaliser en 32 mois seulement), le lot 603 est un des ouvrages majeurs de la nouvelle ligne. Il comporte des travaux de nature très diverse à réaliser, avec ses quatre tunnels d'une section de 30 m<sup>2</sup> d'une longueur moyenne de 1 750 ml, ses ouvrages de sortie en tranchée couverte (70 000 m<sup>3</sup> dont 2 000 m<sup>3</sup> en rocher à excaver - 8 000 m<sup>3</sup> de béton à mettre en place), son puits de ventilation (diamètre de 10 ml - Profondeur 40 ml), son puits de raccordement complètement enterré (section ovale de 35 m<sup>2</sup> - Profondeur 30 ml), 13 niches et stations de pompage (section moyenne 70 m<sup>2</sup> - Longueur moyenne 25 ml) et six ouvrages de liaisons et de communications (1 200 ml sur les 7 100 du contrat).

Le groupement d'entreprises DUMEZ-GTM (pilote 75 %) et Chun Wo (25 %), adjudicataire de ce lot en conception-construction, a su apporter des innovations techniques importantes et les discuter avec un client ouvert et respectueux de mettre en place et d'appliquer les règles de base d'un partenariat réussi, intégrant des solutions propres à convenir à tous (notamment la mise en place d'une couche drainante en première mondiale, la mise en place de béton projeté de revêtement définitif sur membrane dans les niches et les bifurcations...). L'effectif du chantier, à son pic, devrait compter environ 650 ouvriers (emplois directs et sous-traitance), pour une soixantaine de cadres (y compris secrétariat, qualité, équipes topographiques).

Les tunnels traversent un massif de granit sain sur 94 % du tracé, du tuf sur 4,5 % et une zone d'origine hydrothermale sur les 1,5 % restants. Les reconnaissances géologiques préalables n'avaient pas mis en évidence la zone d'origine hydrothermale de 20 à 25 m de long, rencontrée approxi-

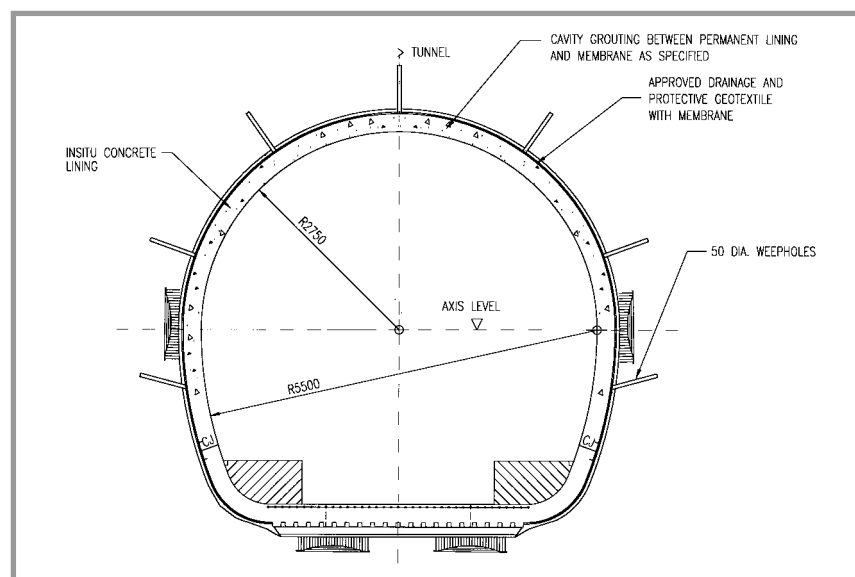


Figure 1  
Section type  
tunnel drainé  
  
Typical  
pressure  
relieved tunnel  
section

mativement au milieu de chaque tunnel. Le granit sain a une résistance variant de 1 000 à 2 500 bars, à comparer à celle du tuf variant de 1 000 à 3 200 bars. Le massif traversé présente un ensemble de trois directions prédominantes de joints. Le RQD (Rock Quality Description) varie de 65 à 100. La Q-value est supérieure à 4 sur 86 % de la longueur. La couverture moyenne de terrain est supérieure à 100 m.

Mis à part les 25 m de zone altérée, le terrain rencontré présentait des conditions proches de celles identifiées lors de l'étude du projet. Cette dernière prévoyait la mise en place de deux types de soutènement, léger et lourd (lourd dans le cas des zones de portail non drainées et léger dans les zones de tunnel drainées), complétés par un revêtement en béton coffré de 0,25 m d'épaisseur fondé sur semelle. Compte tenu de leur longueur et des méthodes d'excavation retenues, toutes les galeries ont été équipées de dispositifs de ventilation.

Géométriquement, les tunnels suivent un tracé général parallèle avec des pentes variant de -3 % à +3 %, et des rayons de courbures (tunnel revêtu) variant de 300 ml à 700 ml.

Le diamètre d'excavation en tunnel est de 6,1 m, soit une section de 30 m<sup>2</sup> (figure 1).

**Fabrice Belhomme**



DIRECTEUR TECHNIQUE  
DUMEZ-GTM - Groupe Vinci

**Francois Pogu**

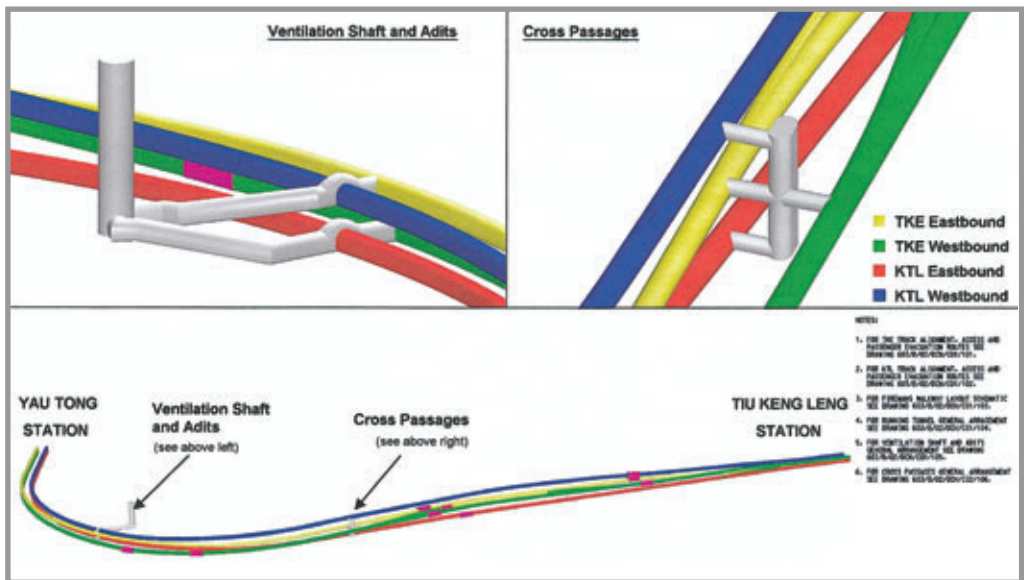
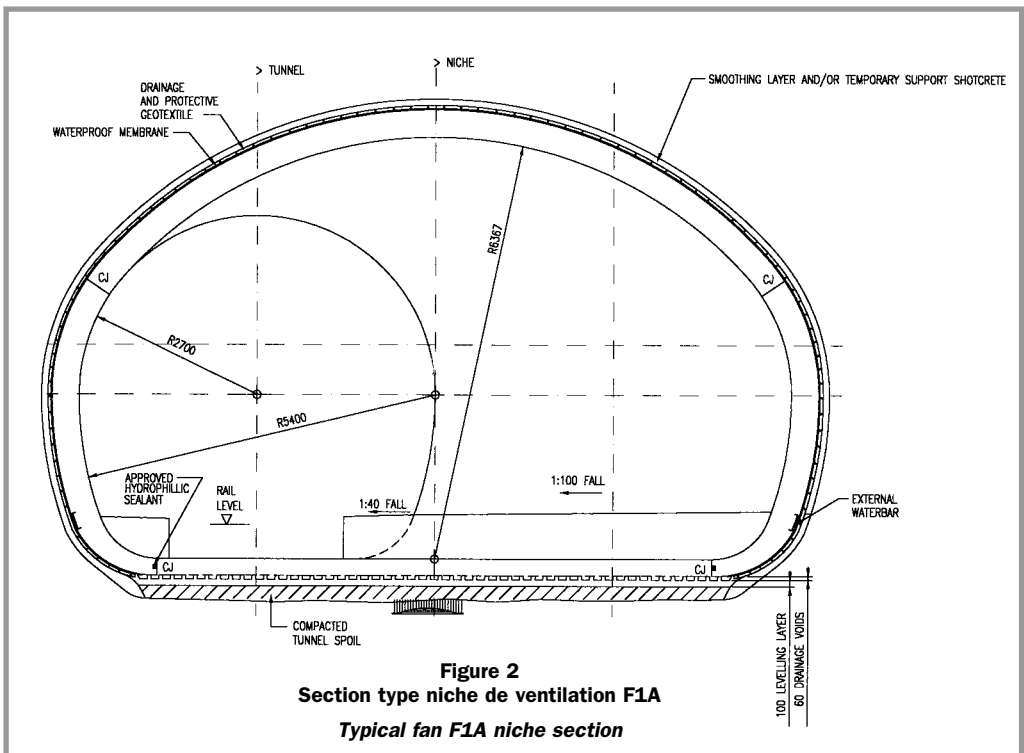


DIRECTEUR TRAVAUX  
DUMEZ-GTM - Groupe Vinci

**Pierre Preumont**



DIRECTEUR DE PROJET  
DUMEZ-GTM - Groupe Vinci



Les niches diverses et les ouvrages de raccordement ont des longueurs variant de 12 à 158 m et des portées variables de 7 à 12 m (figures 2, 3 et photo 1).

## LES TRAVAUX

### Les travaux extérieurs

La tranchée d'accès à la tête ouest, 70000 m<sup>3</sup> d'excavation, dont 25000 m<sup>3</sup> de rocher, située en pleine agglomération a été excavée au moyen de pelles hydrauliques et d'un agent chimique expansif S-Mite utilisé en lieu et place de l'explosif traditionnel. L'ensemble des talus a été bétonné et soutenu pour permettre le démarrage des travaux d'excavation des tunnels.

### Les tunnels

#### Excavation

Les travaux d'excavation à l'explosif ont été menés de front sur l'ensemble des tunnels en partant des têtes ouest et est. La foration s'effectuait pleine face avec un Jumbo L2C (photo 2). Elle comportait 72 trous d'abattage et de découpage de 48 mm de diamètre et trois trous de bouchon de 102 mm. Les longueurs de foration étaient de 4,6 m pour un résultat de 4,2 m en moyenne. Le chargement des trous d'abattage était réalisé avec de l'émulsion pompée, alors que les trous de découpage étaient chargés avec des cartouches traditionnelles reliées par du cordeau détonant 40 gr/ml. Les détonateurs utilisés étaient du type non-électrique avec des retards en millisecondes (numéros de 1 à 30) ou en secondes (de 10 à 14). Les rendements obtenus à l'Est sont de l'ordre de 260 m par mois en moyenne (tous tunnels confondus, soit quatre faces disponibles), excavés par des équipes travaillant 24 heures sur 24 et 6 jours sur 7, dans un environnement favorable, sans site urbain à proximité, donc sans contraintes de bruit et de vibration. L'avancée du meilleur mois, octobre 1999, fut de 680 m

### LES PRINCIPAUX MOYENS MIS EN ŒUVRE

- Jumbo Atlas Copco L2C rocket boomer semi-automatique 2 bras + nacelle
- Jumbo Atlas Copco 282 1 bras + nacelle
- Chargeurs CAT 966 et 936
- Robot à béton projeté pompe Meyco Suprema montée sur porteur Liebherr 901
- Ventilateurs AEC 90 kW et 132 kW
- Grue Comedil 20 t à 25 m
- Grue Kobelco 150 tonnes



avant interception de la faille non reconnue préalablement. A l'ouest, compte tenu des contraintes urbaines importantes et d'un passage sous chaussées et habitations, les tirs ne pouvaient être réalisés qu'en suivant un système de fenêtre de tir très pénalisant, et les longueurs de foration ont été ajustées de 80 cm à 3,2 m.

Malgré tout, grâce à une bonne organisation du site, les rendements moyens obtenus étaient de 210 m par mois, avec une pointe de 299 m en novembre 1999, par des équipes travaillant 12 heures par jour, 5 jours par semaine.

Pour chaque tunnel, le passage de la zone altérée d'origine hydrothermale a été effectué en demi-section supérieure puis inférieure avec pose de cintres lourds (H 250) espacés de un mètre, avec remplissage et soutènement par béton projeté immédiatement après chaque tir. Les travaux d'excavation ont été réalisés avec des équipes spécialement formées travaillant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 sans interruption. Ceci a naturellement requis la mise en place d'une organisation plus lourde ainsi que la mobilisation de mineurs et de chefs mineurs spécialement affectés à cette tâche. La gestion et la logistique des équipements a nécessité par ailleurs une mobilisation des équipes de mécanique et de maintenance, sans pour autant retarder l'avancée des tunnels courants, en cours d'excavation en méthode traditionnelle. Finalement, la zone altérée a été franchie, en moyenne, au rythme de 0,5 m par jour en partie supérieure et de 1 m par jour en partie inférieure.

### Drainage/Etanchéité

Le cahier des charges stipule une étanchéité de type PVC sur le périmètre de l'arche, tout en demandant un drainage en radier afin de limiter les pressions environnantes et ainsi optimiser les sections de béton.

Pour ce faire, un géotextile de 300 g/m<sup>2</sup> et une membrane PVC Sika de 2 mm sont posés entre le béton de remplissage des hors profils et le revêtement béton (photo 3). Dans le béton de remplissage sont installés des drains qui permettent à l'eau de s'infiltrer jusqu'au géotextile.

Celui-ci est maintenu en place au moyen de pointes munies en tête de rondelles PVC. La membrane est ensuite soudée sur ces rondelles. Le géotextile remplit ici deux fonctions : celle de matelas de protection pour la membrane et celle de matériau drainant qui permet à l'eau de couler le long de l'arche, derrière la membrane. Celle-ci est formée de bandes de 2,25 m de large se recouvrant sur environ 10 cm. Elles sont soudées à l'air chaud par une double soudure qui est ensuite testée par une mise en pression (0,3 bar) qui doit être maintenue pendant 5 minutes. En pied d'arche, le cahier des charges demandait des drains transversaux recueillis dans un drain central. Une alternative proposée par le



**Photo 2**  
Excavation  
Jumbo Atlas Copco  
*L2C* Excavation :  
Jumbo Atlas Copco L2C



**Photo 3**  
Pose  
de la membrane  
en tunnel  
*Placing  
the membrane  
in the tunnel*

groupement a finalement été retenue : un système de "boîte à œufs" (*egg-box*) en polyéthylène est installé sous le radier formant ainsi un réseau de tranchées communicant toutes entre elles. Chaque feuille est jointe à la suivante par chevauchement d'une rangée de "dents" et est munie de bavettes de chaque côté, sous lesquelles la membrane et le géotextile périphérique viennent mourir. Le massif environnant le tunnel est ainsi drainé dans la multitude de tranchées drainantes, tant transversales que longitudinales, évitant tout risque de blocage puisque l'eau a alors une infinité de chemins.

### Revêtement

La méthode retenue pour le bétonnage des tunnels est celle dite du double rouleau. Cette méthode consiste à remplir les hors profils des tunnels avec un outil coffrant, avant pose de l'étanchéité et réalisation de l'anneau définitif de revêtement. Cette méthode améliore notablement les rendements de pose du complexe d'étanchéité. Celui-ci est mis en place dans chaque tunnel au moyen d'un portique

► tubes et colliers spécialement dessinés pour respecter le gabarit nécessaire au passage des engins de chantier.

La méthode facilite également le bétonnage des anneaux définitifs. Les seules contraintes répertoriées de cette méthode sont, pour l'essentiel, la nécessité de doubler les jeux de coffrages et donc les équipes y travaillant, ainsi que l'obligation de ne laisser aucun sous-profil, aussi petit soit-il.

Le revêtement est réalisé à l'aide d'outils coffrants Siforms autoportants de 10 à 12 ml suivant les rayons de courbure des tunnels.

Chaque tunnel est équipé d'un coffrage de radier, d'un premier coffrage de revêtement permettant de reconstituer le terrain excavé à la ligne d'excavation théorique et enfin d'un coffrage de revêtement de l'anneau définitif. Les deux derniers coffrages, les plus lourds, approximativement 50 t chacun,

de train sont approvisionnées par camions toupies. Les cadences de bétonnage sont en moyenne de 15 m<sup>3</sup>/h.

Les équipes d'ouvriers sont dédiées à chaque tunnel et à chaque atelier. En moyenne, 20 personnes travaillent dans chaque tunnel en journée, et 12 personnes la nuit. Compte tenu des contraintes environnementales, le bétonnage ne peut avoir lieu entre 23 heures et 7 heures du matin.

Les niches et bifurcations sont traitées différemment. Leur section variant en portée et en longueur de manière progressive, la méthode retenue est celle du revêtement final par béton projeté en calotte, et par béton coffré sur les parois.

Une couche de béton projeté permet d'obtenir une surface propre à la pose de l'étanchéité, avant bétonnage des parois.

La membrane en calotte est équipée d'ancrages



**Photo 4**  
Coffrage type  
en tunnel

*Typical shuttering  
in the tunnel*

sont auto-mobiles roulant sur des rails posés à même le radier (photo 4). La cadence d'avancement est de quatre à cinq plots par semaine. En plus des outils coffrants, chaque tunnel est équipé de portiques. De par la nature même de la méthode retenue, le premier portique est un portique de contrôle des gabarits. Celui-ci est effectué après bétonnage du radier et avant bétonnage du coffrage de reconstitution.

Ces derniers sous-profils sont soit retirés, soit traités au moyen d'un éclateur hydraulique, soit traités au moyen d'un brise-roche monté sur pelle. Le second portique est dédié à la pose de l'étanchéité et à l'injection. Le dernier permet la pose des supports métalliques, les ragréages et réparations diverses ainsi que les travaux d'injection de l'anneau définitif.

Le train ainsi constitué atteint une longueur moyenne de 175 m.

Les pompes à béton électriques placées en queue

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maitre d'ouvrage**

M.T.R. Corporation

### **Maitre d'œuvre**

M.T.R. Corporation

### **Groupeement d'entreprises**

DUMEZ-GTM (pilote 75 %) - Chun Wo (25 %)

### **Principaux consultants**

- Halcrow (design)
- Maunsell (tir à l'explosif)

### **Principaux sous-traitants**

- Atlas Copco
- Harvard
- Up-Right
- Sheung Moon

### **Principaux fournisseurs**

- Orica (explosifs)
- M.B.T (accélérateur pour béton projeté)
- Sika (membranes)
- Ken On (béton)
- Redland (béton projeté)
- Siforms (coffrages métalliques)

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Déblais extérieurs : 70 000 m<sup>3</sup>
- Marinage tunnels : 240 000 m<sup>3</sup>
- Béton de revêtement : 55 000 m<sup>3</sup>

et d'araignées métalliques pour obtenir une surface propre à la mise en œuvre du béton projeté.

## ■ CONCLUSION

Par ses caractéristiques techniques, ses tracés en courbe avec pentes alternées, ses ouvrages annexes variés et les difficultés géologiques rencontrées, la réalisation des travaux des tunnels du lot 603 constitue véritablement le point d'orgue de l'aménagement de la nouvelle ligne de métro vers Tseung Kwan O.

La nature même du contrat en conception-réalisation a permis au groupement d'entreprises DUMEZ-GTM - Chun Wo de faire reconnaître ses capacités en matière de travaux souterrains par la mise en place de systèmes innovants, dans le respect des critères de coûts, de délais et de qualité, et ce dans un esprit de *partnering* tel que mis en place et souhaité par le client, pionnier en la matière.

## ABSTRACT

### The Black Hill Tunnels Project 603 in Hong Kong

*F. Belhomme, Fr. Pogu, P. Preumont*

**Extending over a period of 46 months and amounting to about HK\$ 600 million, the works of the Black Hill Tunnels project section 603 for the new metro line towards Tcheung Kwan O include four tunnels (30 sq. m section, 1,750 m long) excavated by blasting using a pumped emulsion with the setup of conventional bracing. They go through sound granite and tuff, and are paved with cast concrete in place in different phases (double-roller system). Nearing its second year, this project is being activated in order to finish the concreting phase after the successful excavation work completed at the beginning of the summer of 2000.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### El lote 603 "Black hill Tunnels" en Hong Kong

*F. Belhomme, Fr. Pogu y P. Preumont*

**Con una duración de 46 meses y un importe cercano de los 600 MHK\$, las obras del lote 603 "Black Hill Tunnels" de la nueva línea de metro hacia Tcheung Kwan O, corresponden a cuatro túneles (sección : 30 m<sup>2</sup>, longitud : 1.750 ml) excavados con uso de explosivos y por medio de una emulsión bombeada, con implementación de un entibado tradicional. Estas obras atraviesan un terreno de granito y toba y están revestidos de hormigón puesto en obra en diversas etapas (sistema de doble rodillo).**

**Al prepararse para soplar sobre una segunda vela, estas obras se activan para llevar a buen término la fase de hormigonado, tras el éxito de la excavación que ha finalizado a principios del verano de 2000.**

# Réhabilitation du barrage

## Une solution simple pour un

L'article présente la solution employée pour la réhabilitation du barrage de Dau Tieng au Vietnam. Ce barrage a été construit en 1982 entre autres pour réguler le cours de la rivière Saigon en amont d'Ho Chi Minh-Ville connu en effet de nombreux problèmes. En particulier une fuite sérieuse localisée dans la partie principale du réservoir associée à une pression artésienne à l'aval du barrage, provoqua une inquiétude légitime quant à la stabilité du barrage. Afin de résoudre le problème une coupure étanche "courte" (ne descendant pas jusqu'au substratum rocheux) en paroi bentonite ciment fut proposée, tenant compte de la géologie du site et des causes présumées des désordres.

Le comportement hydraulique du barrage a été étudié à l'aide du logiciel PLAXIS développé pour l'étude des écoulements dans les sols et les roches. La paroi au coulis fut réalisée et permit de réduire les débits de manière significative et de résoudre les problèmes de sous-pressions à l'aval du barrage.

Le réservoir de Dau Tieng est situé dans la province de Tay Ninh sur la rivière Saigon à 100 km au nord-ouest de Ho Chi Minh-Ville. Avec une surface de 1350 ha, le réservoir de Dau Tieng constitue le plus grand lac du Vietnam. Construit en 1982 pour réguler la rivière et irriguer les plaines adjacentes, le barrage a connu de nombreux problèmes, en particulier une fuite d'environ 20 l/s dans sa partie principale couvrant environ 185 m depuis le canal d'irrigation n° 1.

Les travaux de réparation consistèrent d'abord à réaliser des injections de façon épisodique, mais avec un succès limité étant donné que le noyau sablo-argileux du barrage et les terrains de fondation n'étaient pas adaptés à ce type de traitement. Devant l'inquiétude croissante sur la stabilité à long terme de l'ouvrage et les conséquences d'une rupture risquant de provoquer une inondation de la capitale Ho Chi Minh-Ville, il a fallu rechercher une solution définitive à ces problèmes.

### LE BARRAGE

Le barrage de Dau Tieng fut construit pour créer un réservoir d'environ 1350 ha pour une capacité de 1450 millions de m<sup>3</sup>, afin de fournir l'irrigation né-

cessaire à la culture intensive de canne à sucre. Le barrage régule en outre, le cours de la rivière Saigon, protégeant ainsi Ho Chi Minh-Ville contre les crues soudaines qui survenaient régulièrement avant sa construction.

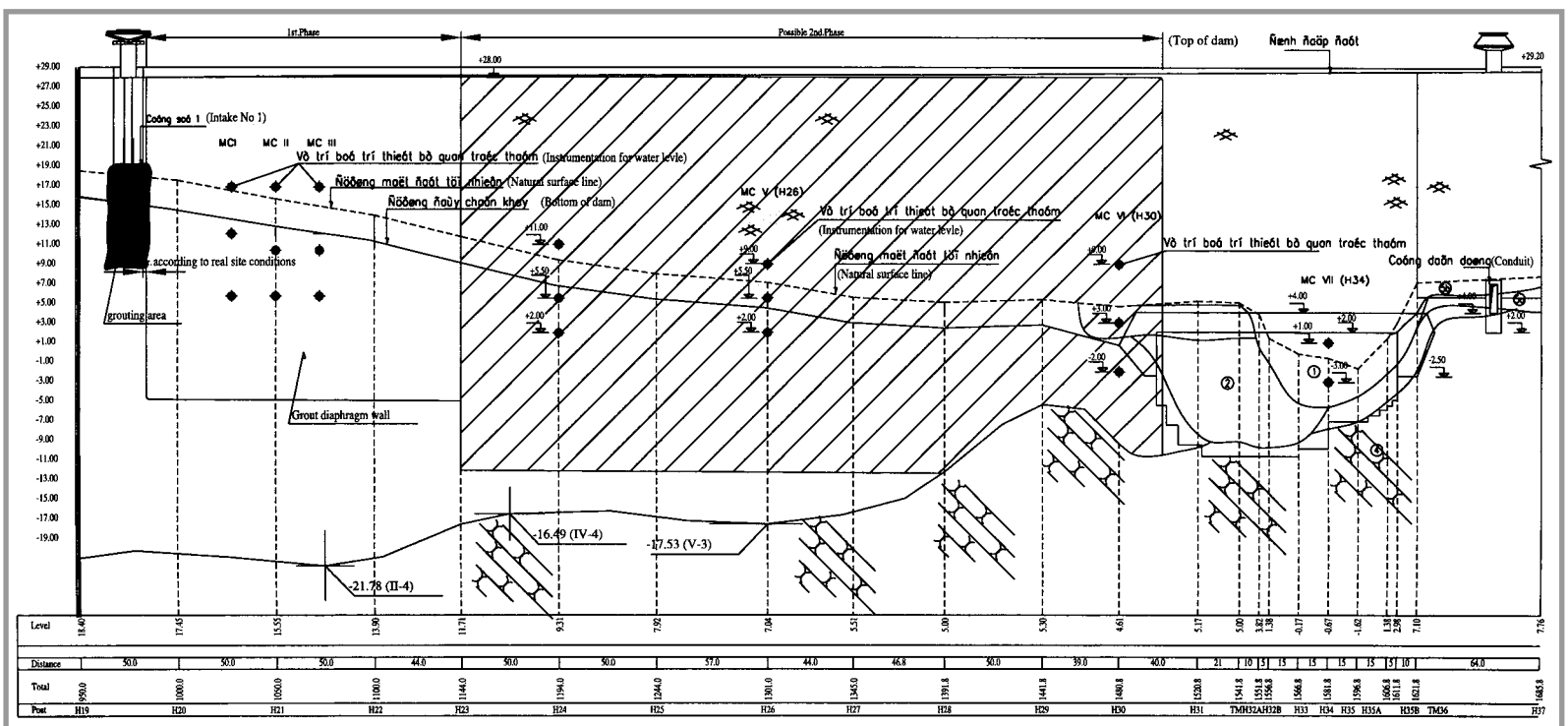
Accessoirement le lac créé par le barrage de Dau Tieng constitue aussi un lieu touristique appelé à un développement important grâce à sa proximité de la Capitale et son réseau de routes de bonne qualité.

La construction du barrage de Dau Tieng, et celle de plusieurs petits barrages collinaires adjacents, furent achevées en 1982 (figures 1 et 2).

### LES PROBLÈMES COMMENCENT

Immédiatement après la mise en eau, un certain nombre de problèmes majeurs furent identifiés avec l'apparition de fuites importantes à travers le barrage principal et quelques fuites plus réduites en plusieurs points sur les barrages secondaires. Les fuites les plus sérieuses étaient situées à l'extrémité Est du barrage principal à proximité du canal d'irrigation n° 1. Cette situation exigeait de procéder, de manière urgente, à des travaux de réparation qui commencèrent en 1984.

Figure 1  
Coupe longitudinale du barrage - Longitudinal section of the dam



# de Dau Tieng ( Vietnam) problème difficile

## Premiers essais

En 1984, une longueur de barrage de 381 m fut traitée par injection avec une seule ligne de forages, espacés de 2 m environ jusqu'à une profondeur de 5-10 m sous la base du noyau. Il est probable que cette première injection ait été faite avec un coulis base ciment qui, après traitement, améliora sensiblement le comportement du barrage; mais l'embellie fut de courte durée car avec le temps les fuites augmentèrent de façon importante. Une deuxième campagne d'injections fut alors entreprise.

## Deuxièmes essais

La deuxième campagne d'injections, lancée en 1995 face au risque croissant de dommages au barrage, fut réalisée en deux étapes.

Tout d'abord, l'injection fut réalisée entre les sections H22 et H22 + 27 m. Cette première phase qui débuta le 1<sup>er</sup> juin 1995 fut conduite comme un essai et se termina le 30 septembre de la même année.

La deuxième phase fut réalisée l'année suivante entre les sections H22 + 27 m et H30; commencée le 20 août 1996, elle fut terminée le 10 octobre 1996.

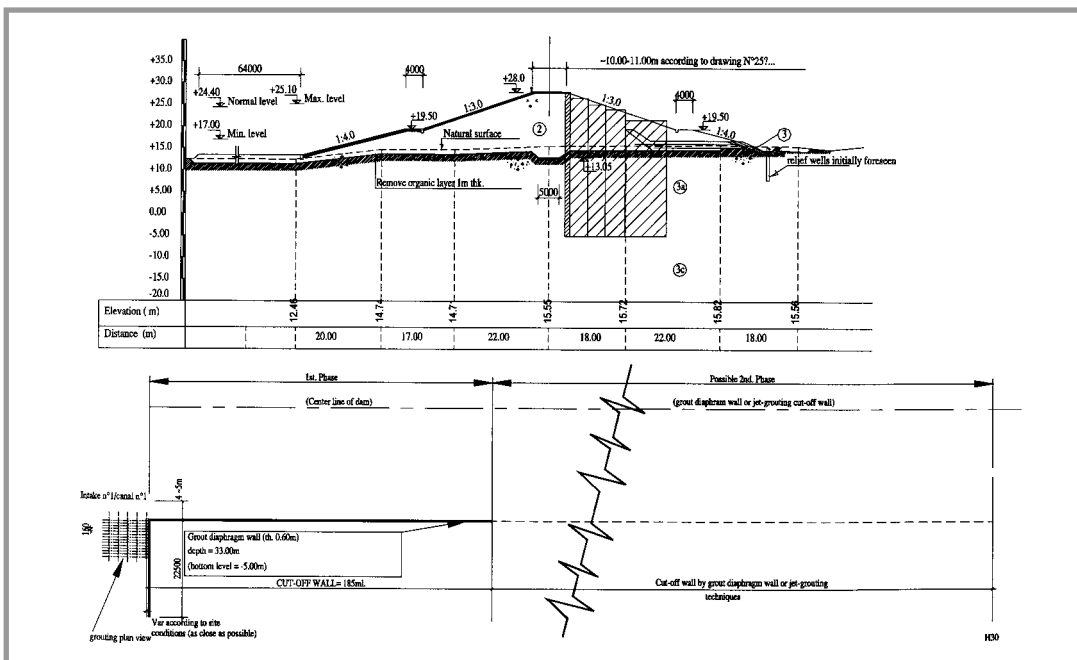
Les forages d'injections furent disposés sur deux lignes, distantes entre elles de 1,5 m et parallèles à l'axe longitudinal du barrage : ces forages étaient

espacés entre eux de 2 m et disposés en quinconce d'une ligne par rapport à l'autre. L'injection fut réalisée jusqu'à une profondeur de 7-10 m sous la base du noyau du barrage avec un coulis argile/ciment (rapport pondéral ciment/argile de 0,5). Le rapport C/E (ciment/eau) fut adapté en permanence en fonction des résultats des essais d'eau, dans le but d'adapter au mieux la viscosité du coulis à la perméabilité des sols. C'est ainsi que le C/E varia entre 0,33 et 1,33. Les ratios d'injection furent limités à 0,25 MPa pour la partie supérieure au niveau -1,58 et à 0,3 MPa pour les zones inférieures. Les résultats obtenus après injection des 18 premiers forages de cette deuxième phase démontrèrent une amélioration significative du comportement du barrage; ce qui fut confirmé par les essais d'eau. Toutefois, ce traitement effectué à titre de mesure temporaire ne fut pas considéré comme satisfaisant à long terme.

## ■ LES PROBLÈMES SUBSISTENT

Malgré le traitement ci-dessus les fuites persistèrent sur le versant aval du barrage principal. Les fuites les plus sérieuses furent constatées au niveau du filtre situé à la base de la digue et à proximité de la structure en béton du canal d'irrigation n° 1. Ces fuites furent localisées entre le canal et le repère H30.

**Figure 2**  
Coupe transversale  
et vue en plan  
Cross section  
and plan view





L'écoulement principal s'étendait jusqu'à la section H23 (figures 1 et 2). Le débit mesuré était de l'ordre de 20 l/s pour un niveau de réservoir à 24,4 m ce qui, compte tenu de la pression artésienne en aval, provoqua une inquiétude légitime quant à la stabilité du barrage.



**Photo 1**  
Excavation  
de la paroi au coulis  
*Excavation  
of diaphragm wall*

### ■ LA GÉOLOGIE DU SITE ET LES CAUSES SUPPOSÉES DES PROBLÈMES

Sous le versant aval du barrage, le sol de fondation est constitué d'une couche mince d'argile (couche repère # 3), de l'ordre de 1 à 3 m d'épaisseur et

de perméabilité  $k_h$  d'environ  $1,5 \times 10^{-6}$  m/s; sous cette couche d'argile, se trouve une couche de sable argileux (repères # 3a et 3b) qui descend entre 22 et 38 m de profondeur, de perméabilité  $k_h$  d'environ  $7,5 \times 10^{-5}$  m/s (coupe H 21, figure 2).

Un relevé des niveaux piézométriques à l'aval du barrage, pour une retenue à 24,2 m a permis de relever deux points très importants :

- ◆ la présence d'une nappe artésienne de 1,5 à 2,5 m de hauteur piézométrique située à l'aval du barrage ;

- ◆ une divergence des courbes piézométriques amont/aval au niveau du canal, indiquant un écoulement important autour de cette structure.

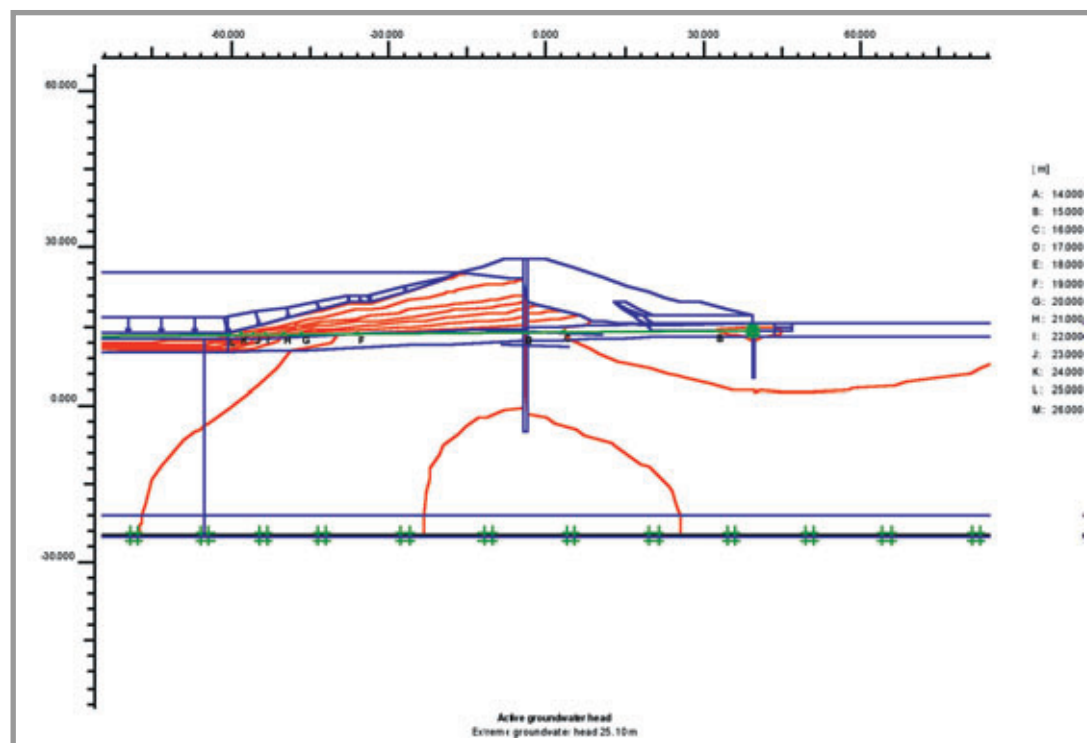
Des ces deux observations on en conclut que, très probablement, les problèmes étaient dus à une érosion à l'interface entre le corps du barrage et la structure béton du canal ainsi qu'à une instabilité du barrage en partie aval due à l'artésianisme ; ce dernier phénomène est d'ailleurs amplifié par le facteur d'érosion.

La sous-pression à l'aval est certainement due à la présence de la couche d'argile repère # 3 qui empêche le drainage naturel des couches # 3a et 3b. Tout se passe comme si l'on était en présence d'un équilibre précaire entre les sous-pressions et le poids de la couche d'argile et de fissures localisées de la couche d'argile permettant aux sous-pressions de se développer en écoulements.

Cet état de pseudo-équilibre, sous un gradient de l'ordre de 1, aurait pu alors évoluer vers un état de rupture sous l'effet de deux facteurs :

- ◆ une érosion régressive ;
- ◆ un colmatage à l'aval.

**Figure 3**  
Modélisation du barrage  
avec la paroi  
et les puits de décharge  
*Modelling of dam  
with diaphragm wall  
and relief well*



## ■ LA SOLUTION PROPOSÉE ET SA JUSTIFICATION

### La solution

L'entreprise Soletanche Bachy proposa de réaliser une coupure étanche en paroi bentonite-ciment d'épaisseur 0,60 m seulement sur la partie la plus critique du barrage, entre le canal et la section H23, considérant que le reste du barrage, moins instable, pourrait être traité à un stade ultérieur. Le ministère de l'Agriculture et du Développement Rural du Vietnam accepta le projet et les travaux de réhabilitation commencèrent le 4 juin 1999.

La paroi au coulis se développe sur 185 m à partir du canal n° 1 ; perpendiculairement, un retour vers l'aval est réalisé à proximité immédiate du canal, complété par des injections de contact autour de la structure en béton du canal. Il avait été aussi envisagé d'injecter sous le canal, mais des raisons opérationnelles (impossibilité de fermer le canal) ne permirent pas de réaliser ces injections. Cependant, il a été proposé d'instrumenter cette zone afin que des injections puissent être réalisées ultérieurement si cela devait s'avérer nécessaire. La profondeur de la paroi est de 33 m (entre le niveau +28 – crête du barrage – et le niveau -5). Le projet prévoit d'associer à cette coupure étanche un système de puits de décharge aval.

### Justification de la solution

Le comportement hydraulique de l'ouvrage au niveau de la section H 21 fut étudié avec le logiciel de calcul aux éléments finis PLAXIS développé pour l'étude des écoulements dans les sols et les roches. Le premier exercice a consisté à faire un calage sur la situation réelle.

Pour ce faire, la modélisation de cette situation a été faite sur la base des deux paramètres suivants :

- ◆ les niveaux piézométriques mesurés ;
- ◆ les valeurs de perméabilités des terrains, compte tenu de leur nature (cf. supra).

Le débit théorique obtenu à partir du modèle (0,04 l/s/m) n'était pas compatible avec le débit réel mesuré de 0,10 l/s/m.

Deux raisons ont pu être avancées pour justifier une telle divergence :

- ◆ les couches 3a et 3b ont une perméabilité globale de l'ordre de  $2 \times 10^{-4}$  m/s ( $7,5 \times 10^{-5}$  m/s x 0,10/0,04) ;
- ◆ la présence de zones ouvertes ou décomprimées (écoulements francs) dues à une érosion régressive sous la couche n° 3 dans la zone des fuites. Au vu des données géologiques, la première hypothèse paraissait irréaliste. En revanche, la seconde hypothèse semblait plus probable et c'est donc sur la base de celle-ci qu'a été retenue la solution d'une paroi courte permettant de bloquer les fuites en provenance de ces zones.

Il fallait associer à la paroi un système de puits de décharge afin d'éliminer le risque de sous-pression aval.

Le second exercice était une modélisation du barrage en tenant compte de la paroi et des puits de décharge (figure 3). Il a permis d'obtenir le comportement hydraulique du barrage après réparation et d'estimer le nouveau débit de fuite. Ce débit calculé de 0,05 l/s/m correspondait à une réduction de 50 % par rapport au débit réel d'origine (photo 1).

## ■ CONSTRUCTION

S'agissant de la première coupure en paroi au coulis sous un barrage au Vietnam, le chantier fut suivi avec intérêt par les médias et, à travers eux, par la population tout entière. La télévision nationale couvrit l'événement en "prime time" et le ministre de l'Agriculture en personne suivit l'avancement des travaux.

La filiale locale de Soletanche Bachy, BSV, commença à s'installer en septembre et les travaux de paroi furent achevés en novembre. Le matériel local fut complété par quelques machines provenant de Singapour et un spécialiste français fut détaché sur le site pour le démarrage du chantier et la mise au point des coulis.

Le camp fut installé sur les bords du lac Dau Tieng, assez loin de la crête du barrage où se situait le chantier qui travaillait 24 heures sur 24.

La réalisation de la paroi, à l'aide d'une grue équipée d'une benne mécanique comme outil d'excavation, ne posa aucun problème majeur. L'excavation s'est déroulée selon une séquence de pieux unitaires primaires et secondaires de dimensions 2,80 m x 0,60 m. Les panneaux secondaires recoupaient chaque panneau primaire de 0,40 m.

On observa sur certains panneaux des éboulements et des pertes de bentonite au passage de la couche de latérite n° 3a (sous la couche n° 3).

La qualité du coulis fut en permanence conforme aux spécifications et aux critères de qualité définis. C'est une composition classique du coulis qui a été retenue :

- ◆ ciment Portland PCB 30 : 250 kg/m<sup>3</sup> ;
- ◆ bentonite Trugel 100 : 32,0 kg ;
- ◆ eau : 918,0 l.

La paroi achevée, commencèrent les travaux de forage et d'injection le long du canal afin d'assurer le collage de la paroi au béton du canal. Les forages et la mise en place de tubes-à-manchettes furent sous-traités à une entreprise locale mais l'injection proprement dit fut réalisée par BSV. Ces travaux d'injection se déroulèrent normalement sans problème particulier.

Au début des travaux, des repères de niveau avaient été mis en place à l'aval du barrage, à l'endroit des écoulements directement reliés aux fuites à travers

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage**

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR)

### **Maître d'œuvre**

Compagnie d'Irrigation de Dau Tieng

### **Bureau de contrôle**

Institut de recherche de l'Agriculture

### **Entreprise générale**

Soletanche Bachy Vietnam



Exécution de la paroi au coulis le long du canal de fuite  
*Construction of diaphragm wall along the discharge channel*

► le barrage. Le suivi de ces repères tout au long des travaux de réhabilitation permet de suivre l'efficacité du traitement. A la fin des travaux, il apparut clairement à l'entreprise et au client que le traitement s'avérait efficace, ce résultat étant par ailleurs corroboré par les données du suivi piézométrique.

## ■ LES RÉSULTATS

La paroi au coulis fut donc réalisée comme prévu et l'étude des relevés des piézomètres démontra une réduction des problèmes de sous-pressions existants à l'aval du barrage (diminution d'environ 1 m des niveaux piézométriques à l'aval du barrage).

Cependant, cette situation n'apportant toujours qu'un coefficient de sécurité insuffisant quant à la stabilité du pied de l'ouvrage, le client décida de réaliser une surcharge supplémentaire constituée d'une banquette de terre de quelques mètres de hauteur (environ 3 m) à l'aval du barrage. Cette solution a donc été préférée aux puits de décharge initialement prévus.

Le débit de fuite mesuré avec un niveau de réservoir à 24,3 m s'avéra être d'environ 50 % du débit avant travaux, correspondant à ce qui avait été prévu dans l'hypothèse que l'essentiel des fuites provenait de zones ouvertes ou décomprimées; les pertes de bentonite survenues lors de la réalisation de la paroi laissaient déjà présager de la justesse de l'hypothèse.

Ces bons résultats conduisirent le ministère de l'Agriculture à décider de procéder à la seconde phase de travaux de réhabilitation consistant à réaliser un nouveau tronçon de paroi au coulis sur une longueur supplémentaire d'environ 450 m.

## ABSTRACT

### Rehabilitation Dau Tieng dam in Vietnam. A simple solution for a difficult problem

*D. Mazziери, M. Q. Le Nguyen*

The article describes the solution used for the rehabilitation of the Dau Tieng dam in Vietnam. This dam was built in 1982, among other reasons in order to regulate the Saigon River upstream of Ho Chi Minh-City on which many problems had been encountered. In particular, a serious leak located in the main part of the reservoir associated with artesian pressure downstream of the dam caused legitimate concern with regard to the structure's stability. In order to solve the problem, a "short" waterproof break (not descending into the rocky substratum) consisting of a cement bentonite diaphragm wall was proposed, taking into account the geology of the site and the presumed causes of the problems.

The hydraulic behaviour of the dam was studied using the PLAXIS software developed for the study of flows in soils and rocks.

The bentonite wall was completed and allows flows to be reduced significantly while providing a solution to the problems of under-pressure downstream of the dam.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Rehabilitación de la presa de Dau Tieng (Vietnam). Una solución sencilla para resolver un problema difícil

*D. Mazziери y M.Q. Le Nguyen*

Se presenta en este artículo la solución aplicada para la rehabilitación de la presa de Dau Tieng, en Vietnam. Esta presa fue construida en 1982, y entre otras cosas, para regularizar el caudal del río Saigón, aguas arriba de Ho Chi Minh-Ville, habiéndose presentado numerosos problemas. En particular, una fuga importante localizada en la parte principal del embalse en combinación con una presión artesisiana aguas abajo de la presa, que vino a provocar una inquietud legítima por lo que respecta a la estabilidad de la presa. Con objeto de resolver el problema se propuso un rastrillo de protección de los cimientos de tipo "corto" (o sea,

sin alcanzar el substrato rocoso) en pared de bentonita-cemento, habida cuenta de la geología del emplazamiento y de las causas presuntas de los desórdenes.

El comportamiento hidráulico de la presa se ha analizado por medio del software PLAXIS, desarrollado para el estudio de las circulaciones en los suelos y las rocas.

La pared de lechada de cemento fue realizada y permitió reducir los caudales en proporciones significativas y resolver los problemas de subpresiones aguas abajo de la presa.



# Bang Na Expressway Precast Elements for Segmental Bridge Construction

**Christian Brockmann**



PROFESSOR  
OF CONSTRUCTION  
MANAGEMENT  
University of Applied Sciences  
Bremen (Germany)

**The Bang Na Expressway is a 55 km long viaduct in Bangkok, Thailand. With its recent completion in March 2000 it became the longest bridge in the world. The superstructure is entirely composed of precast concrete segments with external post-tensioning. The following text describes the conception and operation of the precast yard as well as special construction problems.**

## ■ INTRODUCTION

There are few projects in the world that can match the Bang Na Expressway with regard to size, time constraints and innovative construction techniques. There are even fewer projects which have been more widely publicized. Various technical papers in English, French and German describe many of its aspects (see bibliography for English and French language references). This paper specializes in the description of the production of the precast elements.

## ■ THE BANG NA EXPRESSWAY PROJECT

The Bang Na Expressway (BNE) was constructed by Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Germany, and Ch. Karnchang Plc, Thailand, which formed the Joint Venture BBCD (JV BBCD) for this project. The BNE extends to the southeast of Bangkok, Thailand and comprises a mainline of 55 km at a deck height of 18,60 m and typical span lengths of 41,85 m. It also includes an additional 40 km of ramps and intersections. The expressway connects the Second International Airport of Bangkok as well as the deep water harbor Laem Chabang and the industrial region of the Eastern Seaboard with the city (see also figure 5).

Limited logistics and the congestion of operations within the confines of a very frequented highway as well as a contractual completion period of 42 months left JV BBCD with few options. It became apparent that only the construction methods and quick assembly of a segmental solution would work. Due to the soft upper clay layers of the subsoil, the bridge is founded on driven piles connected by pile caps. The mainline piers are 16 m high and have an H-shape. The overall structure is described more detailed in references [1], [2], [3].

It was decided to prefabricate as much of the project as possible not only due to the short construc-



**Figure 1**  
**D6 segment**  
**on a trailer**  
*Voussoir D6*  
*sur une remorque*

tion period but also to ensure better product quality. As a result, the complete superstructure is composed of precast elements. Roughly 60 % of the overall quantities of the project are made up of segments which can be categorized into three basic types : D6 segments, D2/D3 segments, and portal segments.

The superstructure of the mainline with three directional lanes each is composed of D6 segments (figure 1). These segments are designated D6 to identify them as deck elements with a total of six traffic lanes. They are 27,20 m wide with a weight of up to 100 t and form the core component of the very innovative design. They feature highly inclined webs and two diagonal struts to support the deck. Since there existed no prior experience with these segments, the contractor decided to test a full scale bridge span [1], [6]. The resulting test span developed excellent load-bearing capacity and exceeded the theoretical design. The test span also demonstrated excellent transfer of forces between segments ; a capability not immediately obvious in considering the cross-section.

The deck of the ramps and intersections as well as in the widenings is composed of D2 or D3 segments with a width for two or three traffic lanes, respectively. The main features of the two types are similar with the notable exception of the deck width which is a maximum at 15,60 m (D3) weighing

**Figure 2**  
D2/D3  
during erection  
*D2/D3*  
*pendant le montage*



**Figure 3**  
Portal segments  
in the storage area  
*Voussoirs portiques*  
*au stockage*



**Table I**  
Quantities  
of Major Segment  
Types  
*Quantités*  
*des voussoirs*  
*majeurs types*

	D6	D2/D3	Portals	Total
No. Of Segments	21 320	18 250	3 200	—
Concrete [m <sup>3</sup> ]	733 200	337 400	84 800	1 155 400
Rebar [t]	86 150	53 200	10 500	149 850
Transversal p/t [t]	13 950	4 750	—	18 700

**Figure 4**  
Erection of D6, D2/D3  
and portal segments  
*Montage des voussoirs*  
*D6, D2/D3 et portiques*



65 t. They are treated as one type and called D2/D3 segments (figure 2).

These segments have been used extensively on other projects in Bangkok by the partner companies of the joint venture. For the BNE, however, more D2/D3 segments were used than on prior projects even though 75 % of the 1 900 000 m<sup>2</sup> deck area is formed by D6 segments. In areas where the bridge deck is widened to provide for exit ramps or elevated toll plazas, the segments were placed on special portal structures in order to provide the necessary clearance for the highway underneath. The beams for these portals are assembled using precast elements (figure 3). All segments were assembled by steel girders which were placed on top of the columns so as not to interfere with the traffic flow below. First, all segments were moved into the correct position and then post-tensioned by external tendons. Finally the full span was lowered onto the bearings. The joints were not treated. Instead, the segments were assembled using dry joints. The requirement for a very exacting fit were, therefore, particularly demanding. For the D6 segments underslung girders with an integrated swivel crane were used, while the D2/D3 and the portal segments were erected with overhead trusses [2].

Figure 4 shows all described elements as employed at an intersection. In the foreground the portal girder can be seen erecting a portal beam. In the background, a multitude of completed portals. Again, the function of these structures was to provide clearance for the at-grade highway. In the center background an underslung D6 girder is erecting the mainline segments. Note that only the swivel crane is visible. To the left and right, two D2/D3 girders are placing segments on the portal beams. The figure highlights the complexity and the high degree of prefabrication of the project.

Once the design was determined, the question arose how to fabricate the huge amounts of segments required. A synopsis of the quantities of the major segment types is shown in table I.

It is evident from the quantities that special attention was warranted to the smallest details in the design of the segments, the production procedures and the overall organization of the precast operations. JV BBCD would benefit from the experience of the partners who already had completed projects of a similar nature in Bangkok.

## ■ THE PRECAST YARD IN BANG PO

The precast yard is located 4 km north of the center of all construction activities in an area called Bang Po. Figure 5 shows the location of the precast yard as well as the eight sub-phases into which the project was divided and eventually handed over to the client as they were completed at intervals of two

to four months. Also depicted is the traffic function of the BNE.

The yard encompasses an area of 650 000 m<sup>2</sup> in a marshy terrain. Due to site conditions, it was necessary to fill the the area with 900 000 m<sup>3</sup> of sand in order to raise the surface above flood level during the rainy season and to place all major installations on pile supported footings (figure 6).

The yard is connected with the construction area by a local road which was strengthened by a 20 cm thick layer of reinforced concrete in order to with-stand the weight of the transports (up to 130 t, D6 pier segment plus transport unit). Two smaller bridges had to be reconstructed along this road for geometrical reasons. These improvements were indispensable during transport operations. To grasp the size of the logistical task : in addition to more than the 50 000 segments (see figures of table I plus I-beams and 40 km of traffic barriers) that were hauled out of the yard over the course of the project, more than 200 trucks entered the yard daily for the supply of sand, aggregates, cement and rebar steel. All this in addition to other deliveries and construction traffic.

The capacity of the precast yard was primarily determined by the production quantities required each month. The time available for the fabrication of the segments was roughly 25 months. This required the facilities for placing 2 300 m<sup>3</sup> of concrete and 200 t of rebar steel per day. More than 2 000 people worked 26 days per month in the yard. The majority of these were housed in facilities on the property. A small village developed at the yard entrance with restaurants, markets and small shops.

## MATCH-CASTING

As already mentioned, the fit of the segments was of primary importance considering the dry joint requirement of matching the segments. The basic idea for solving this problem is to cast them against each other. This is commonly referred to as match-casting [7]. In this method, a previously cast element serves as bulkhead for the next element to be cast. With such a casting method all joints will fit perfectly when the segments are stripped. The disadvantage of this method is the reduction in flexibility : each segment has an assigned location in the span and cannot be interchanged. Damage of one segment in a span means reproduction of the full span. There are two different technologies : long-bed and short-bed match casting (figure 7). In the case of simple geometric features and small dimensions of elements making up the span, the long bed is most advantageous. In this method, the full soffit formwork of the span is laid out. The side and inner forms slide along the bed as the elements are cast. This technology was employed to produce the portal segments.

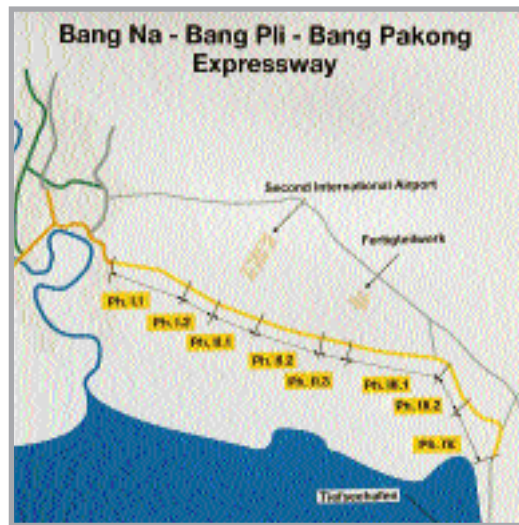


Figure 5  
The Bang Na Expressway and the location of the precast yard

*La voie expresse Bang Na et situation de la zone de préfabrication*



Figure 6  
Precast yard Bang Po

*Bang Po zone de préfabrication*

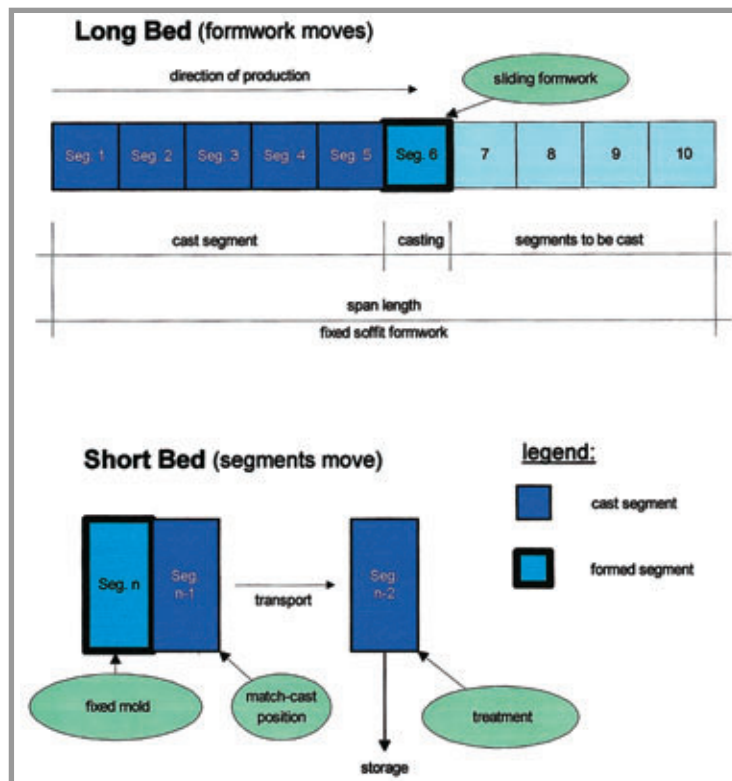


Figure 7  
Match-casting technologies

*Technologies de moulage "Match"*

Figure 8  
Superstructure options  
Options superstructure

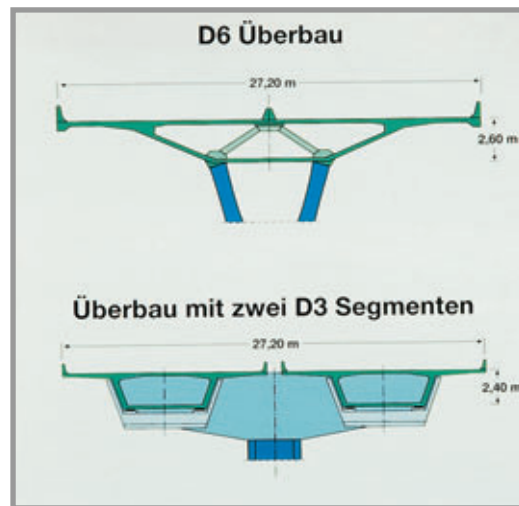
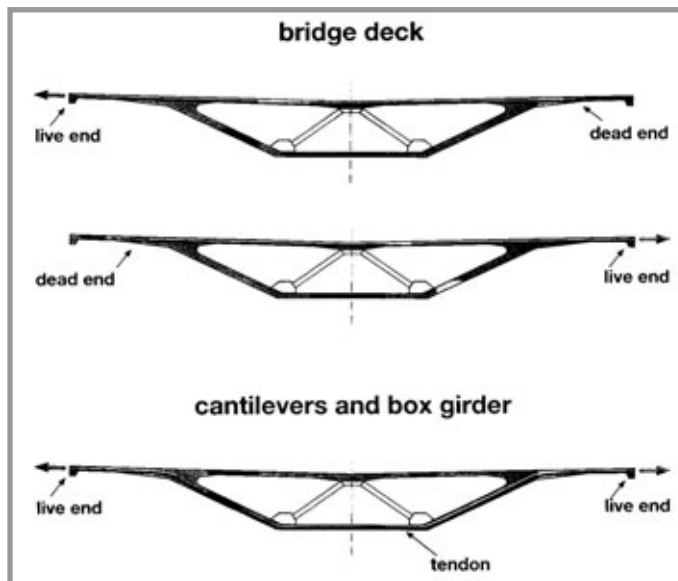


Figure 9  
D6 cross-section and transversal post-tensioning  
Profil en travers des voussoirs D6 et post-contrainte transversale



► If the geometry is more complex and the dimensions of the span large, the short-bed technology gives more flexibility. In this case only two segments are in production simultaneously.

### ■ DESIGN OF THE D6 SEGMENTS

The entire superstructure for this project is comprised of three precast segment types :

- ◆ D6 segments ;
- ◆ D2/D3 segments ;
- ◆ portal segments.

The following text addresses the production of more interesting D6 precast segments. Notes explaining the production of D2/D3 segments may be found in [1], [4].

The design for the bridge was developed by the engineering offices of Jean Muller International (JMI) in San Diego, USA. Jean Muller is a French engineer who has been key in the development of precast segmental bridge construction. He was personally involved in the planning for BNE. There are few companies in the world which can match the experience of Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft in segmental bridge construction. With these two resources, various construction options for BNE

were explored. From these discussions the following superstructure options evolved :

- ◆ two D3 segments arranged side by side ;
- ◆ a multi-cell box girder for six lanes with two inner webs ;
- ◆ a segment with one inner web ;
- ◆ a D6 segment with only two internal supporting struts.

It was determined that the D6 segment with internal struts not only minimized the overall quantities for the structure but also allowed for a more straightforward execution of the work (figure 8). Additionally, the "open" hollow-box design made installation of the external tendons easy [5], [6].

A precast segment having a transverse span of 27,20 m had been used just once prior to this project. That job was the Sunshine Skyway Bridge in Tampa, Florida. However, the deck slab of the Sunshine Skyway Bridge was cast in-situ because of concerns that time-dependent deformations between match-cast segments would make it difficult in mating adjacent segments during the erection process. As the BNE project did not allow major casting operations at the site, this procedure was not a viable option. Due to constraints by the specifications no pier column could exceed a 5 m width at grade. This resulted in a bearing spacing of 7 m and dictated a relatively flat inclination for the outside webs of the segments (27,5° from the horizontal). The internal diagonal struts, the webs and the deck and bottom slabs of the segment form a transverse truss. The inclination of the outer webs permitted internal post-tensioning tendons to run from the deck slab down through one web, the bottom slab and back up the other web to the deck again. This design increased the load-bearing capacity of the truss (figure 9) which resulted in a very stiff segment.

The pier segments were designed to transfer the considerable superstructure forces into the columns as well as provide the anchorages for the longitudinal tendons. For this reason the pier segments were more massive than that shown in figure 9 for the typical segments.

### ■ MOLDS FOR TYPICAL D6 SEGMENTS

To best coordinate between design and execution of the work and due to schedule constraints, JMI was awarded, in addition to the design of the segments, the design of the D6 molds and the fabrication of the first six molds out of a total of 48. The remaining 42 were later produced in Thailand. JMI subcontracted the fabrication of the molds to EFCO of the United States. Utilizing the construction experience of the JV BBCD, the design and fabrication of the molds were jointly developed with JMI and closely monitored.

Each mold system for a typical D6 segment consisted of the following parts :

- ◆ track-mounted transportation sled with four vertical jacks ;
- ◆ three base forms ;
- ◆ two web and cantilever forms ;
- ◆ two inner forms for the webs ;
- ◆ two-part inner forms for the deck slab ;
- ◆ two deviator block forms ;
- ◆ one bulkhead form.

A typical D6 segment form system is shown in figure 10. All internal forms for the segment were controlled by hydraulics. The diagonal struts, unlike a center web which requires additional forms and complicate form erection, were prefabricated and installed with the reinforcement cage of the segment before casting. The struts with a cross section of 25 cm by 30 cm were easily accommodated in the forming system by blockouts in the upper deck and deviator forms.

Because of match-casting the segments, formwork for the common bulkhead was not required. Three base forms were necessary so that segments could be transported by the track mounted sleds into the various positions (casting, match-casting, and curing).

Some forms had adjustable cantilever forms to accommodate the geometrical requirements of the segments. The profile of the deck slabs changed from side slopes in the straight sections to left – or right – hand slopes in curves along the bridge alignment of the BNE.

The deviator forms were also integrated in the rebar cage together with the struts. The deviator blocks connected the struts with the the web and bottom slab. The purpose of the deviator blocks was to create fixation points for the longitudinal tendons, deviating them from the straight line according to the structural layout of the tendons.

## ■ PRODUCTION FLOW FOR TYPICAL D6 SEGMENTS

The schedule and the number of forms used determined the production for D6 segments as well as D2/D3 segments from the very beginning. In order to meet scheduled milestones, one typical segment had to be completed every 24 hours for each of 26 work days a month. Since the amount of work for the pier segments was considerably more extensive, a 48 hour work cycle was required.

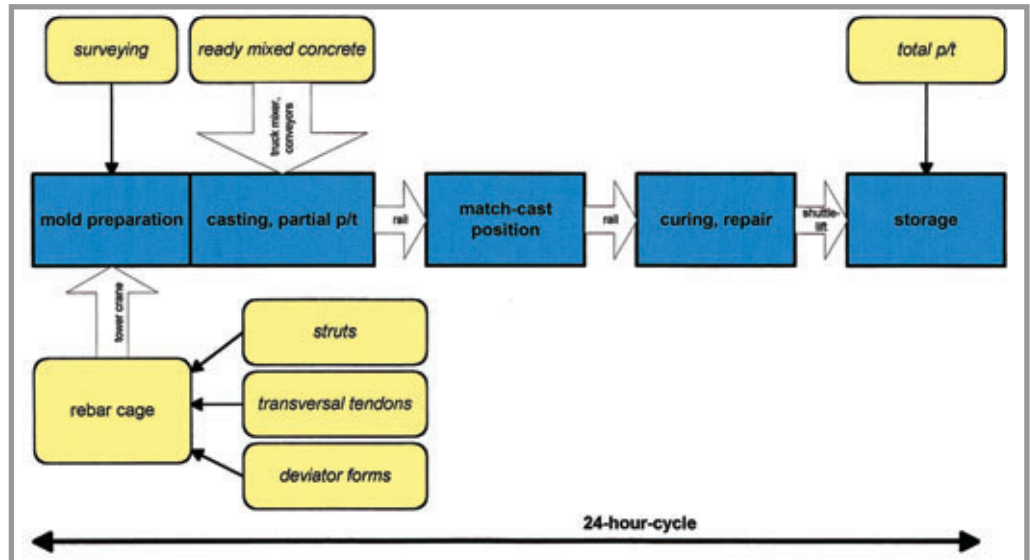
Using 38 forms for typical D6 segments and 10 forms for pier segments 988 typical and 130 pier segments could be manufactured each month. This production rate was only possible if the rebar cage was prefabricated outside of the form and installed in its entirety (table II) before casting the segments. The figures of table II take into account that the diagonal struts and the transverse tendons were



**Figure 10**  
**D6 molds**  
**Moules**  
**voussoirs D6**

**Table II**  
**D6 cycle times**  
**Temps**  
**de cycle D6**

Rebar cage	Mold preparation, casting
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebar placing 4,1 t per segment 20 h/t 7 workers = 11,5 h</li> <li>• Placing of struts = 0,5 h</li> <li>• Placing of transversal tendons = 0,5 h</li> <li>• Placing of deviator forms = 1,0 h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partial post-tensioning = 1,0 h</li> <li>• Shifting to match-cast Position = 1,0 h</li> <li>• Surveying = 1,0 h</li> <li>• Mold preparation = 2,0 h</li> <li>• Concrete casting 35 m<sup>3</sup>, 0,6 h/m<sup>3</sup> 7 workers = 3,0 h</li> <li>• Hardening = 10,0 h</li> </ul>
<b>Sum = 13,5 h</b>	<b>Sum = 18,0 h</b>

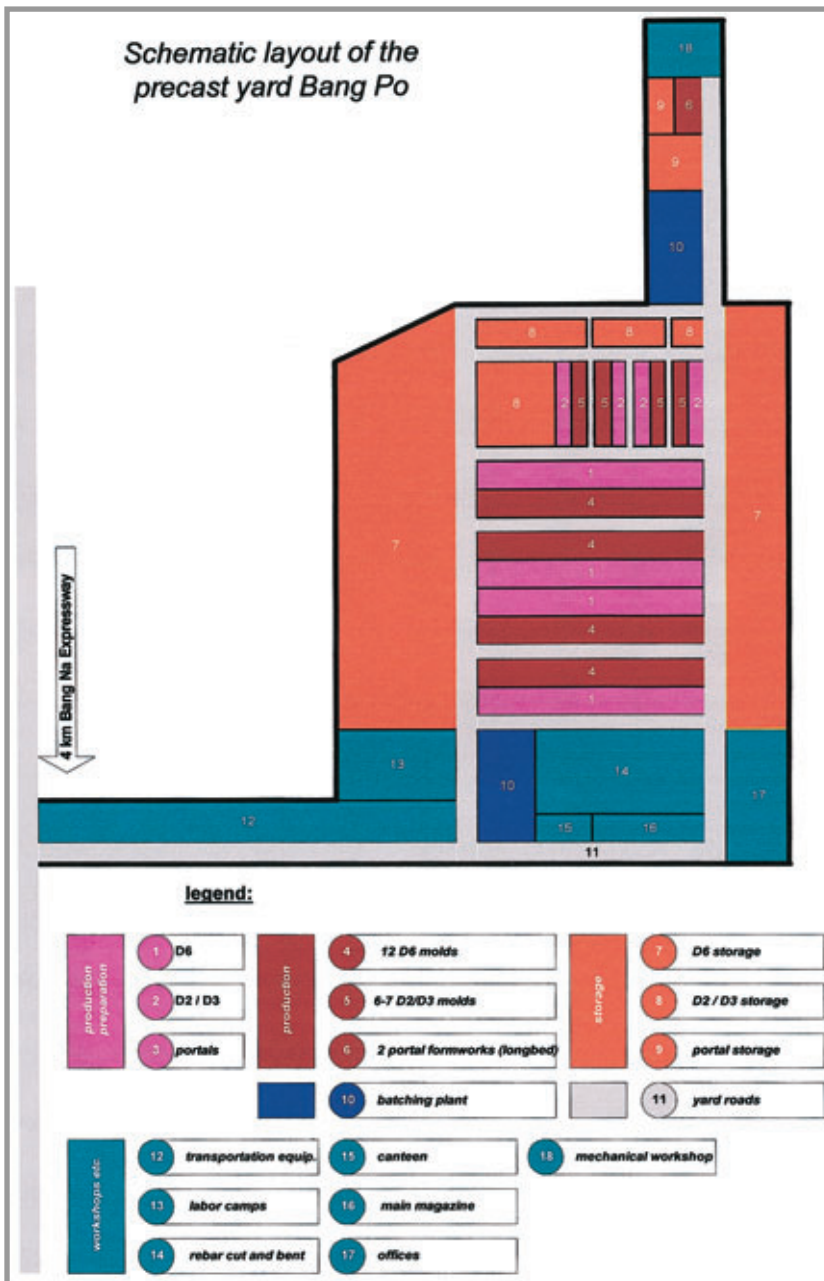


**Figure 11**  
**Production flow**  
**for a typical D6 segment**  
**Production**  
**pour un voussoir D6 type**

prepared in another location and integrated into the rebar cage together with the two forms for the deviator blocks.

To facilitate the fabrication of the rebar cage, a jig was located adjacent to the forms. Two Liebherr tower cranes were used in each of the four production lines for all lifting operations. Once cast, it took about ten hours for the concrete to develop the required strength to allow for the partial post-tensioning of the transverse tendons. Partial post-tensioning was required to shift the segment out of the forming system. The subsequent transfer from the casting to the match-cast and then into the curing position was done by means of the track-mounted sleds (figure 11).

Figure 12  
Precast Yard,  
layout  
of facilities  
  
Zone  
de préfabrication,  
disposition  
des ressources



The production of D2/D3 and portal segments was similar to the above D6 segments.

### OVERALL ARRANGEMENT OF THE PRODUCTION FACILITIES

A layout of the facilities depicting the arrangement of the individual production areas and their relationship to each other is shown in figure 12. In general it is not often one can find a site with the exact required area for setting up a casting yard. More likely, it is necessary to make the optimum use of a given site. Since the D6 segments were the core elements of the bridge, it was with these that the planning started. Four production lines with 12 molds each (No. 4 in figure 12) were located in the center of the site. A concrete road was placed between two opposite lines which was used for transports and which provided space for the match-cast and curing locations of the segments (figure 13). The mirror image of the molds to the left and the right of this road is also visible in this figure. On the edge of this area the tracks for the tower cranes serving each line can be seen. The survey towers and the areas for the preparation of the rebar cages (No. 1 in figure 12) are also shown. The reinforcement was cut and bent in a workshop (No. 14). There were two concrete mixing plants (No. 10), one to the north with the other to the south of the production lines. Storage areas (No. 7) were located at the end of the production lines. Separate rebar cage prefabrication, segment casting and storage area for the D2/D3 segments make up a self contained complex as well as the production area for fabrication of the portal segments.

### SURVEYING - INTERFACE FOR CASTING AND MOLD SET-UP

Geometric control during production of the segments is extremely important in the match-casting method to assure that the final alignment of the superstructure after erection will be in compliance with design. To accomplish this three dimensional control points for each segment were established. In anticipation of slight dimensional inaccuracies during casting of an element it was necessary to correct the deviations from nominal geometry of the cast segment aligning it in the match-cast position. This procedure allowed the correction of deficiencies from segment to segment before they accumulated over the length of a span. Survey control was augmented with the help of a specialized computer program. First the "as cast" control points of the segment in the match-cast position were recorded. Then the form for the segment to be cast was set up in such a way that the

Figure 13  
D6 production  
line  
  
Ligne  
de production  
des voussoirs D6



coordinates for the opposite joint coincided with its nominal values. All surveying was accomplished with two opposing survey towers.

## ■ CUT AND BEND OF REINFORCEMENT

The reinforcement for the entire structure (i.e. for the cast-in-place substructure as well as the prefabricated superstructure) was cut and bent in the yard. Optimal quantity and quality control was obtained by concentrating these operations at one location within the casting yard.

Reinforcement fabrication was subcontracted. The subcontractor was also responsible for placing all the rebars of the substructure. Since the whole workforce had to be hired specifically for the project and then trained for the special work by JV BBCCD, it proved to be a great help to rely on the subcontractor's labor force for the reinforcement. The average diameter of the rebars was less than 16 mm despite the large dimensions of the elements to be reinforced. The satisfactory placement and tolerances obtained during casting operations reinforced the decision to prefabricate as much as possible. With the repetitious nature of prefabrication it was possible to quickly train the unskilled workers (figure 14). Productivity never suffered from the monotony of the operation.

## ■ PLACING AND CURING THE CONCRETE

An average of 1500 m<sup>3</sup> concrete were needed each day for the D6 segments, 600 m<sup>3</sup> for the D2/D3 segments and 200 m<sup>3</sup> for the portal segments and miscellaneous small parts. Therefore, a daily concrete total of 2300 m<sup>3</sup> was required with casting operations running at full speed.

To accomplish the production requirements two Liebherr vertical shaft mixers were installed with a capacity of 3 m<sup>3</sup> each. An hourly production capacity of 100 m<sup>3</sup> was obtained. At this rate, it was necessary for the daily concrete production to take place over a 24-hour-period. Supplies to meet demand was appropriately scheduled.

The concrete was transported from the mixing systems to the molds with 25 truck mixers to keep it from segregating. It was then placed in the molds with a conveyor system. The use of a conveyor system was necessary as the tower cranes had no time for this operation while the use of concrete pumps would have been too costly (figure 15).

Proper concrete consolidation was accomplished with internal as well as external vibrators. Despite the relative density of web reinforcement and their relatively flat slope, no significant concrete placement problems evolved once initial casting experience had been obtained.



**Figure 14**  
D6 rebar cage  
*Cage d'armatures voussoirs D6*



**Figure 15**  
Placing of concrete for D6 segments  
*Mise en œuvre du béton pour voussoirs D6*

had been obtained. The specified final design strength for the concrete was 55 MPa. To meet production requirements, partial post-tensioning strength of approximately 20 MPa had to be obtained within ten hours. Both, concrete workability and minimized segregation during placement operations were very important. To that end, a concrete mix design was developed which also addressed the anticipated placement temperature of the mixed concrete of 33 to 35° C. The concrete placement temperature was also affected by the ambient air which is usually between 30 and 35 °C in Bangkok. To reduce shrinkage, exposed concrete surfaces were covered with PVC sheeting during curing. Additional protection from direct sunlight as well as rainfall was accomplished with shelters that could be moved into position as required. Each forming system had its own shelter (figures 13 and 15).

## ► ■ TRANSVERSAL POST-TENSIONING

Transversal post-tensioning within a segment was comprised of six tendons each with three or four strands of 15 mm diameter of grade 1670/1860 steel. Four of these tendons were placed in the deck slab. The dead end of these tendons is embedded in the concrete and the live end is consisted of flat anchors. The other two tendons were installed through the cantilever/web/bottom slab, reinforcing the bottom cord of the internal truss of the segment. Only these tendons were simultaneously stressed at both ends (figure 16). A partial post-tensioning stress of 50 % was applied to prevent shrinkage cracks and before the cantilever forms could be removed. The tendons were later fully stressed in the segment storage area. Since the cantilevers are only 20 cm thick, accurate placement of the tendons was necessary to avoid warping which would have adversely affected the fit between segments during erection.

**Figure 16**  
**D6 storage**  
**Stockage D6**



## ■ STORAGE OF THE D6 SEGMENTS

The size of the storage areas was considerable due to the D6 segment size (27,20 meters wide - 2,55 meters long - 2,60 meters high). Additionally, the schedule required a production rate of 1 100 D6 segments per month while the design dictated a cure period of 28 days before erection.

There were no storage areas available along the construction site. So, all necessary space had to be provided within the confines of the precast yard. The logistic consequences from a production rate of 1 100 D6 segments per month required a decision concerning the interrelationship between the number of molds and the number of transports. In light of this relationship it was decided to base the resulting procurements of the two equipment types on "zero slack" due to the costs involved. To help ensure a consistent flow of segments out of the storage yard it was necessary to provide a buffer. The buffer was accomplished by designating sto-

rage space equal to one and one half times the average monthly production.

The strength of the subsoil in the precast yard was not sufficient to carry the load of the segments directly. Therefore it became necessary to install strip foundations on driven piles for each storage place. All segments were placed on three sand bags, one at each of three support points, to avoid strains in the segments during storage.

In order to reduce the cost for development of the storage area, as well as maximize efficient use of allotted area, it was decided to double-stack the segments. Direct storage on top of each other was not possible because approximate seven meter width at the segment's bottom slab would have transferred point loads of up to 43 tons. The resulting concentrated loads between the web and diagonal supports of the lower segment would have exceeded the live loads by which the segments were designed. There were two solutions to the problem. Either, place a distribution frame on top of the lower segment or install three temporary props within the lower segment box area corresponding to the three transfer points on its upper surface. The decision for the temporary props was taken because of the lower costs involved. In this instance special care had to be taken to install them correctly. No additional stresses could be introduced on the upper surface of the deck slab by securing the props too tightly. Figure 16 shows a section of the double stacked D6 segments (also, refer to figure 22). In the foreground D2/D3 segments can be seen and in the background a shuttle-lift transporting a D6 segment to the storage area.

Due to the match-casting method, all segments of a span had to be cast in their planned sequence for erection. They were also stored in the same way on top and beside of each other. Transportation out of the storage area was done span by span, following a first in, first out sequence. Fortunately, there were only three span lengths : 44,40, 41,85 and 39,30 meters, each consisting of 18, 17 and 16 segments, respectively. This limited set of variables made the storage logistics quite simple.

## ■ TRANSPORTATION

Transportation of segments was divided into four operations, each with separate means of shipment and optimized for the specific task.

- ◆ production area : rails (see above);
- ◆ storage area : shuttle-lifts;
- ◆ yard to construction site : trucks and trailers;
- ◆ construction site : shuttle-lifts.

The transportation of the D6 segments within the storage area and at the construction sites was accomplished with the use of 12 shuttle-lifts. These units were built by Paolo di Niccola of Italy according to design criteria established by Bilfinger + Ber-



ger. Seven shuttle-lifts were used in the precast yard. They were equipped with eight tires and had a load carrying capacity of 115 tons. The rigging was designed for a load of 100 tons and equipped with hydraulic clamps. At the installation points on the construction site the remaining five shuttle-lifts were used on the erected bridge deck. These units had 16 tires each to reduce the points loads on the D6 segments (figure 17).

The local department of transportation had very specific requirements for transporting the segments to the construction site. As such, they reviewed and approved all contractor designs and transportation plans. The axle load of the trailers was limited to 8,1 tons due to the condition of existing roads and bridges. The width of the trailers was not allowed to exceed 2,5 meters as some areas of the route were as narrow as three meters. A structural survey and resulting report was prepared for all existing bridges to establish their minimum load rating for the anticipated 130 ton load of a D6 pier segment plus transport unit. Additionally, the department of transportation allowed only one transport on a bridge at any given time.

There were only six hours per night available for hauling the segments to the site. Using very detailed schedules JV BBCD determined that two transportation cycles were possible during this time. Twenty-two trailers were required to accommodate the anticipated cycle. In allowance of breakdowns and maintenance, a 96 % utilization rate was planned into the operation. Therefore, 21 trailers were planned for use each evening. The high utilization rate was a function of high costs involved in hauling. As a result, the trailers became the bottle neck in the transportation sequence.

The trailers for the 85 ton typical segments had 14 axles while those for the 100 ton pier segments had 16 axles. A hydraulic suspension system equalized loads to all axles. The height of the trailer deck was 1,40 meters but could be adjusted +/- 0,30 meters for irregularities in the traveling surface. This limitation required adjustments to the vertical curve of the road where necessary. Each trailer was equipped with two steerable dollies. The trailers were designed by Doll of Germany while the trucks came from Volvo (figures 18 and 19).

Loading of the trailers was done in the afternoon before the transport in such a way that a half span was transported in a convoy to the erection site in the first cycle of the night. The transports used the ramps of the bridge to deliver the segments on deck where they were unloaded by a shuttle-lift. An open deck area was used for interim storage. Erecting the segments directly from the trailers would have taken too long as it took the erection swivel crane half an hour to unload and place a single segment. In order to assure two transport cycles each evening the trailers had to be unloaded within 15 minutes each. During the second transport cycle



**Figure 17**  
Shuttle-lift  
for the transportation  
of D6 segments  
*Navette-ascenseur  
pour le transport  
des voussoirs D6*



**Figure 18**  
22 trucks  
for hauling  
the D6 segments  
*22 camions  
pour le transport  
des voussoirs D6*



**Figure 19**  
16-axles trailer  
for D6 pier segments  
*Remorques 16 ponts  
pour VSP D6*

the trailers did not form convoys but maintained the transport spacing created by the first unloading times.

## ■ DEFORMATIONS

The impressive 27,20 meter wing span of the D6 segments created deflection problems for each unerected segment. By match-casting the segments an exact fit after casting was assured. However, experience with precast segments shows that interim storage and the resulting time-dependent deflec-

Figure 20  
D6 pier segment  
VSP D6



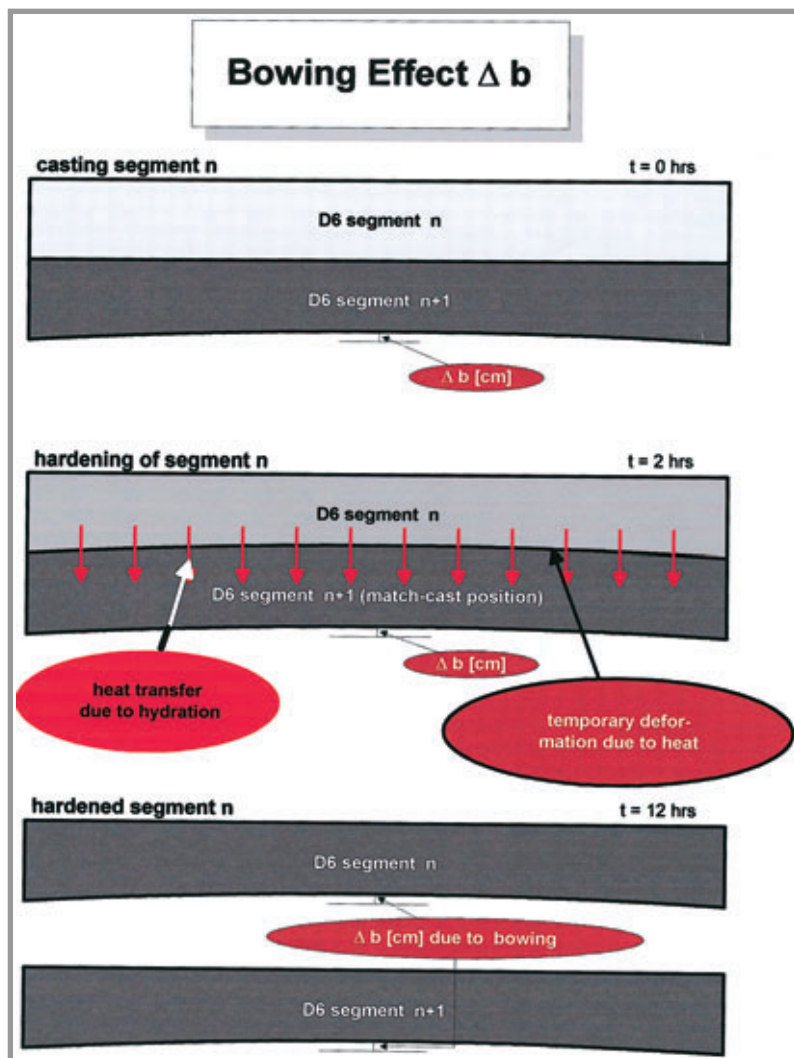
tions can result in major erection problems. This is particularly true at the joint between the pier and the first typical D6 segment. Figure 20 depicts a pier segment carried by a shuttle-lift. In comparison to the typical D6 segment shown in figure 17, the difference in cross sections becomes apparent. To evaluate the potential problem, prototypes of D6 segments for a test span revealed deflections of four centimeters making the match-up of segments a challenge. Therefore, it was extremely important to monitor the time-dependent deformations between adjoining segments while in the storage area. An analysis of possible causes creating the diffe-

rent deflections resulted in a slight change of the transversal post-tensioning layout and ensuring their correct placement according to the plans prior to casting operations. With this procedure it was possible to assure conformance between adjacent segments at the time of erection. Later differences were in the tolerable magnitude of less than one centimeter. When stressing the longitudinal tendons during the erection procedure, the shear keys between segments slipped together without damaging the concrete.

Temperature induced deformations occur during match-casting and are known as "bowing-effect". An explanation of the "bowing effect" can be found in figure 21.

When casting a segment a part of the hydration heat flows into the adjacent match-cast segment. The match-cast segment expands by warming up and bulges into the fresh concrete before it begins to set. After setting both segments cool down. The newly cast segment retains the deformation at the joint while previously cast segment regains its former shape. A gap between the segments has developed from the bowing effect at this time. According to research by Roberts, Breen, and Kreger [8] this influence can become definitely critical when the length-to-width ratio exceeds a value of 9. The ratio for a D6 segment is 10,7 (27,20/2,55) and thereby exceeds the critical limits substantially. The influence of the bowing-effect on the stresses in the joints and on the longitudinal tendons was then considered depending on the magnitude of the gap. The sum of the gaps for an one span never exceeded one centimeter. For a single segment it was impossible to measure the theoretical curvature of the joint. These issues were carefully considered when evaluating the test span. It was not possible in either the test span [6] or during erection of the final structure to detect an important influence of the bowing effect. It should be mentioned, however, that special care was taken with regard to the concrete mix design and the cure of the segments. The bowing effect was detectable but nonetheless a negligible factor in construction of the Bang Na Expressway.

Figure 21  
Bowling effect  
during match-casting  
Déflexion  
pendant moulage



## JOINTS

The results of the test span showed that load transfer between segments was primarily obtained by friction. The shear keys provided additional mechanical interlock capacity. When stripping the segments these shear keys were naturally a weak point, so it was necessary to work with care to assure their integrity. A mixture of liquid soap and talcum powder was used as a stripping agent. The results were satisfactory. The structural design allowed for a destruction of 20 % of the shear key surface. This value was never reached. However, when a shear



**Figure 22**  
**Joint**  
**arrangement**  
**Configuration**  
**des joints**

key was accidentally broken of, it was repaired on site by casting a shear key in situ. Figure 22 depicts the normal quality of the joint. The upper part of the segment shows the female shear keys while the lower side contains the male keys. The figure also makes clear the quality of the precast segments that can be achieved in countries with a different historical, cultural and technological background than in the western world.

## ■ BIBLIOGRAPHY

- [1] Borkenstein, Dieter/Brockmann, Christian/Fischer, Oliver : The Bang Na - Bang Pli - Bang Pakong Expressway Design and Test Loading of a Precast Segmental Bridge Structure, in : Taiwan Construction Research Institute (Ed.) : 1999 *Bridge Construction Automation Seminar*, Taipei, Taiwan 1999, pp. 37-59.
- [2] Brockmann, Christian : A segmental approach to infrastructure ; in : *Asian Infrastructure Research Review*, Vol. 2 (2000), No. 1, pp. 23-29.
- [3] Brockmann, Christian : Conception et construction de la voie express Bang Na - Bang Pli - Bang Pakong, in : *Travaux* No. 739, Février 1998, S. 81 - 86 and No. 752, Avril 1999, S. 11.
- [4] Brockmann, Christian/Rogenhofer, Horst : Bang Na Expressway, Bangkok, Thailand - World's Longest Bridge and Largest Precasting Operation, in : *PCI-Journal*, Vol. 45, January/February 2000, No. 1, pp. 26-38.
- [5] Brockmann, Christian/Shafer, Greg : Design and Construction of the Bang Na - Bang Pli - Bang Pakong Expressway, in : Stoelhorst, D. et al. (Ed.) : *Challenges for Concrete in the Next Millenium*, Rotterdam 1998, Vol. 1, pp. 275-280.
- [6] Fischer, Oliver/Krill, Alfred : The Bang Na Expressway, Bangkok : A Full Scale Loading Test of a Precast Segmental Box Girder Bridge for 6 Lanes of Traffic, in : Stoelhorst, D. et al. (Ed.) : *Challenges for Concrete in the Next Millenium*, Rotterdam 1998, Vol. 2, pp. 503-506.
- [7] Podolny, Walter/Muller, Jean : Construction and Design of Prestressed Segmental Bridges, New York, John Wiley, 1982.
- [8] Roberts-Wollmann, C. L./Breen, J. E./Kreger, M. : Temperature Induced Deformations in Match Cast Segments, in : *PCI-Journal*, Vol. 40, July/August 1995, pp. 62-71.

## RÉSUMÉ

### Autoroute de Bang Na Voussoirs préfabriqués pour ouvrage d'art

Ch. Brockmann

La voie express Bang Na a été ouverte au public thaïlandais en mars 2000. C'est le viaduc le plus long du monde. Le tablier est entièrement composé de voussoirs types D6 au *design* très innovant. Il est remarquable par sa largeur de 27,20 m, une section transversale très mince, des âmes à forte inclinaison et deux bracons au milieu des voussoirs pour étayer le tablier. Les problèmes liés à la conception, la production, le transport et les déformations sont expliqués en détail dans cet article.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Autopista Bang Na Dovelas prefabricadas para grandes estructuras

Ch. Brockmann

La vía rápida Bang Na fue abierta al tráfico en marzo de 2000. Se trata del viaducto más largo del mundo. El tablero está formado en su totalidad por dovelas tipo D6 de diseño sumamente innovador. Se destaca por su anchura de 27,20 m, una sección transversal de muy bajo espesor, almas de fuerte inclinación y dos jabalcones en el centro de las dovelas para arriostrar el tablero. Los problemas relacionados con el concepto, la producción, el transporte y las deformaciones son objeto de amplias descripciones detalladas en el presente artículo.

## La formation des cadres et des ETAM des entreprises de travaux publics

**Les entreprises de Travaux Publics emploient environ 53 000 ETAM (employés, techniciens, agents de maîtrise) et 25 500 cadres (IAC). Ces deux catégories de personnels représentent le tiers des salariés de notre secteur d'activité.**

**Qui sont-ils ?**

**Quelles sont leurs principales fonctions ?**

**Quels diplômes détiennent-ils ?**

**Pour répondre à ces questions, Travaux vous livre les principaux enseignements de l'enquête réalisée, à ce sujet, par la FNTP avec le concours de l'IREQ.**

### ■ LE PROFIL DES ETAM ET DES CADRES

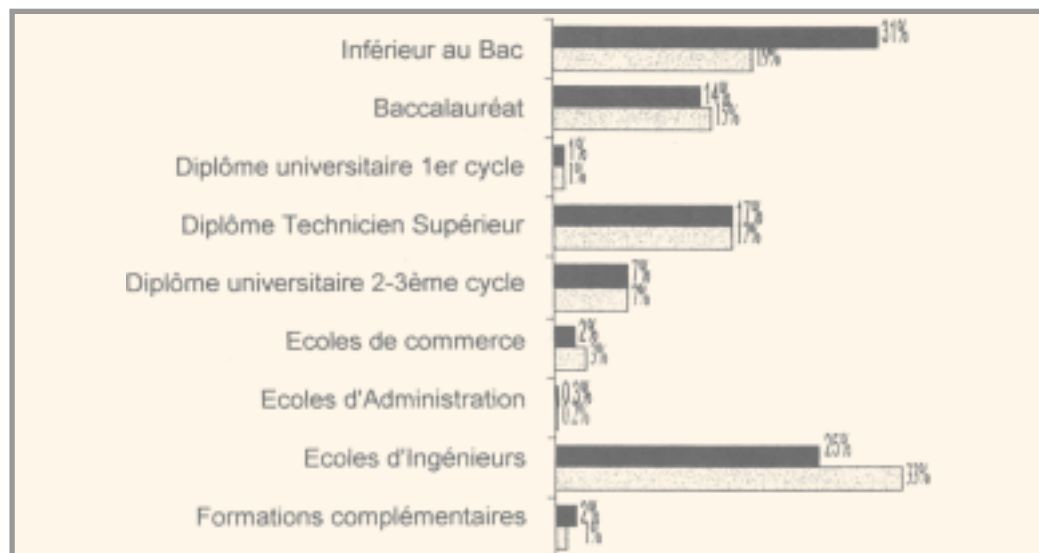
Ces catégories de salariés sont composées principalement d'hommes (72 % chez les ETAM et 89 % chez les cadres). La présence de femmes est plus importante dans les petites entreprises. En moyenne, les ETAM et les cadres ont sensiblement le même âge ; ils ont, en grande majorité, entre 30 et 49 ans. Mais, il y a davantage de moins de 30 ans parmi les ETAM et plus de 40/49 ans parmi les cadres.

Pourtant, en 5 ans, la population des cadres s'est rajeunie. En effet, les moins de 40 ans représentent actuellement 40 % des cadres au lieu de 33 %, en 1994.

AGE	ETAM	IAC
20 à 29 ans	18 %	11 %
30 à 39 ans	35 %	29 %
40 à 49 ans	26 %	32 %
50 à 59 ans	20 %	26 %
≥ 60 ans	1 %	2 %

1994 : trait noir  
1999 : trait grisé

S'agissant de l'ancienneté, en moyenne, les ETAM



et les cadres travaillent dans leur entreprise depuis 11-12 ans, les 2/3 y sont depuis plus de 5 ans et 5 % ont été embauchés dans l'année.

### ■ LES PRINCIPALES FONCTIONS OCCUPÉES PAR LES ETAM ET LES IAC

La quasi totalité des ETAM et 85 % des cadres occupent une seule fonction. Arrivent en tête les fonctions d'exploitation et de travaux ; cependant, les cadres occupent davantage que les ETAM des fonctions techniques et commerciales qui sont des fonctions à responsabilités.

### ■ LES DIPLÔMES DES ETAM ET DES CADRES

#### Les ETAM

55 % des ETAM ont un niveau d'études inférieur au baccalauréat (24 % n'ont aucun diplôme et 31 % un CAP ou un BEP), la plupart des autres ont un diplôme du niveau du baccalauréat (20 %) ou de technicien supérieur (BTS – DUT : 21 %).

Cette situation résulte de la place importante laissée à la promotion interne dans les entreprises de travaux publics : 22 % des ETAM sont en effet issus, au sein de leur entreprise, du niveau ouvrier.

### ■ QUE DEVIENNENT LES DIPLÔMÉS DES IUT "GÉNIE CIVIL" ?

Une enquête réalisée par la Commission Pédagogique Nationale " Génie Civil " avec le soutien

## FORMATION PROFESSIONNELLE DANS LES TRAVAUX PUBLICS : UNE NOUVELLE ÉTAPE

de la FFB et de la FNTP, auprès des anciens étudiants d'IUT ayant obtenu leur diplôme entre 1992 et 1997, a permis d'établir que 61 % des étudiants ont poursuivi leurs études immédiatement après l'obtention du diplôme universitaire de technologie (DUT), 93 % d'entre eux ont obtenu le diplôme sanctionnant cette poursuite d'études. 28 % de ces étudiants ont une formation d'un an post-DUT. 23 % ont intégré une école d'ingénieurs, 17 % ont préparé une licence ou une maîtrise et 13 % une formation de type Institut Universitaire Professionnalisé (IUP). 73 % ont trouvé un emploi dans les 3 mois.

### Les cadres

Les deux tiers des cadres ont un niveau d'études supérieur au baccalauréat, la moitié un diplôme d'école d'ingénieurs ou de techniciens supérieurs. A noter qu'un cadre sur 5 n'a pas le baccalauréat. Comme pour les ETAM, la promotion interne joue son rôle; c'est ainsi que 17 % des cadres sont issus du niveau ETAM.

Cependant, entre 1994 et 1999, le niveau des études des cadres des Travaux Publics s'est sensiblement élevé : le taux de cadres ayant un diplôme inférieur au BAC a chuté de 31 % à 19 %, et les diplômés d'écoles d'ingénieurs représentent désormais un tiers des cadres contre un quart en 1994.

Cette forte évolution s'explique par le remplacement de cadres plus âgés et peu diplômés par d'autres, plus jeunes et d'un niveau d'études supérieures.

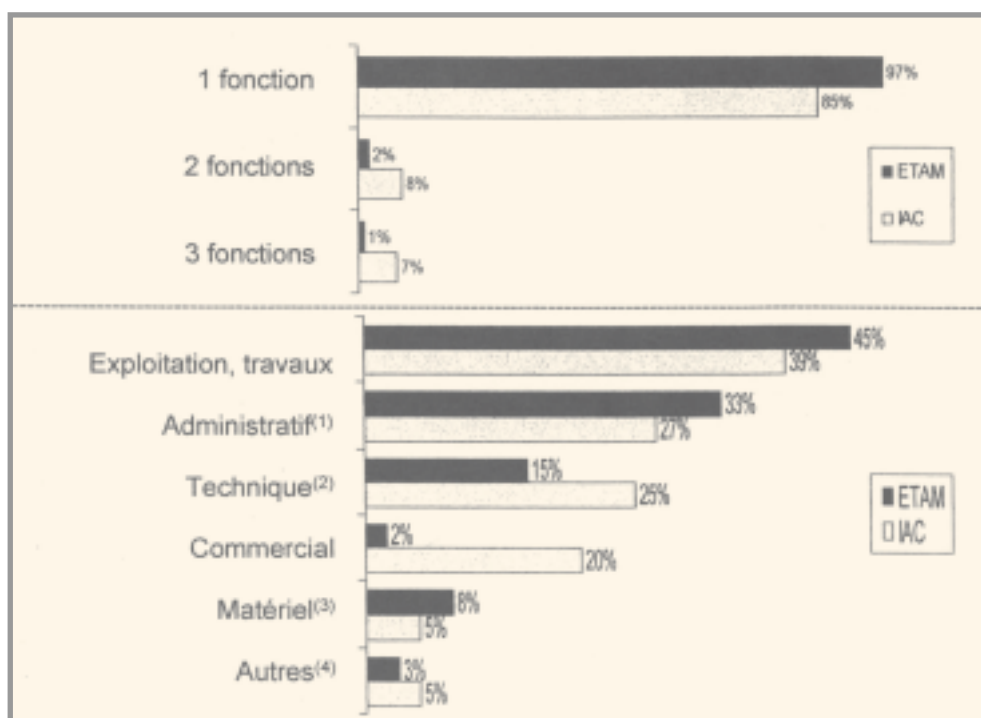
L'observation du niveau d'études des cadres selon leur âge montre que le phénomène d'élévation du niveau général devrait se poursuivre, quelle que soit la taille de l'entreprise.

Il convient d'observer que 7 écoles ou groupes d'écoles alimentent les deux tiers des emplois d'ingénieurs des entreprises de Travaux Publics. Ainsi, 21 % des ingénieurs des Travaux Publics sont issus de l'ESTP, 13 % de l'ENSAM Arts et Métiers,

9,6 % de l'INA, 7,3 % de l'ENSTIM Nîmes, Alès, Douai, 7 % des écoles centrales de Paris, Lyon et Nantes, 6,1 % de l'ENPC Ponts et Chaussées et 3,5 % de l'ENSAIS de Strasbourg.

Afin, d'une part, de sensibiliser les élèves de terminale et de classes préparatoires au secteur des Travaux Publics et d'autre part de mieux faire connaître aux entreprises l'offre de formation existante, la FNTP publiera en décembre prochain un guide des formations supérieures préparant au secteur des Travaux Publics élaboré avec le concours du Centre d'études des formations d'ingénieurs (CEFI).

1994 : trait noir  
1999 : trait grisé



Le ministère de l'Education Nationale et la Fédération Nationale des Travaux Publics ont signé le jeudi 23 novembre, au Salon de l'Education\*, une convention générale de coopération.

Pour répondre au besoin des entreprises de Travaux Publics de recruter des salariés jeunes et qualifiés, cette convention prévoit la mise en place, sur l'ensemble du territoire, de filières de formation préparant un plus grand nombre de jeunes aux métiers du secteur, en milieu scolaire ou dans le cadre de l'apprentissage.

Ses dispositions concernent aussi le développement de l'information des jeunes, des familles et des enseignants sur les métiers des Travaux Publics et prévoient la réalisation de nombreuses actions à mener conjointement par la Profession et l'Education Nationale :

- ◆ création et actualisation de diplôme;
- ◆ ouverture de nouvelles sections dans les lycées professionnels;
- ◆ accueil d'élèves et de professeurs en stage dans les entreprises;
- ◆ participation de professionnels à l'enseignement et aux jurys d'examens;
- ◆ parcours d'insertion pour les aides éducateurs et les jeunes en difficulté;
- ◆...

Fruit d'une volonté commune, cette convention est une nouvelle étape dans le partenariat existant depuis plusieurs années entre la Fédération Nationale des Travaux Publics et l'Education Nationale.

Elle vient en appui de la campagne de communication de la FNTP : **"ça bouge, ça te change"**

Initiée en mars 2000 :

- ◆ pour renouveler les effectifs, les années de crise traversées par le secteur s'étant conclues, à défaut de recrutement, par un vieillissement des salariés;
  - ◆ pour orienter davantage de jeunes vers les formations aux métiers des Travaux Publics qui demandent des qualifications adaptées aux progrès très rapides des méthodes et procédés de construction,
- la campagne de communication de la FNTP se poursuivra en 2001.

Entre diverses actions, cette campagne donnera lieu à des réunions d'information, organisées par les Fédérations Régionales des Travaux Publics, rassemblant professeurs et entrepreneurs autour d'un exemple concret, le chantier, pour faire connaître les métiers et inciter les professeurs à être des relais pour une orientation de leurs élèves.

Compte tenu des besoins de la nouvelle économie dont ils constituent le socle, les Travaux Publics devraient connaître le développement de leurs capacités de production maîtrisées par le savoir-faire de salariés qualifiés.

\* du 22 au 26 novembre 2000

## Concours Sécurité FNTTP 2000

### COMPOSITION DU JURY

Le jury est présidé par monsieur :

**Daniel Tardy**

*Président de la FNTTP*

Les personnalités qui composent également le jury sont messieurs :

**Jacques Blancard**

*Directeur général de la FNTTP*

**André Clappier**

*Président de la Commission sociale de la FNTTP*

**Gilles Evrard**

*Directeur de la Caisse nationale d'Assurance maladie*

**Alain Gaillon**

*Direction des Affaires Sociales de la FNTTP*

**Jean-Claude Macé**

*Administrateur de l'OPPBTB*

**Robert Piccoli**

*Chef du Bureau CT6 à la direction des Relations du travail*

**Jean-Charles Savignac**

*Directeur des Affaires Sociales de la FNTTP*

**Jean-Pierre Stasi**

*Secrétaire général de l'OPPBTB*

La remise des prix sécurité de la FNTTP a eu lieu le 17 octobre 2000 à la FNTTP en présence de Daniel Tardy, président de la FNTTP, Robert Piccoli, chargé des questions de sécurité dans le BTP à la Direction du travail du ministère de l'emploi et de la solidarité, Gilles Evrard, directeur du service prévention de la CNAM-TS, Pierre Legleye et Jean-Michel Giffard, président et vice-président de l'OPPBTB, Pierre Stasi, secrétaire général de l'OPPBTB et Jacques Guy, président directeur général du groupe Moniteur.

Contrairement aux idées reçues, les entreprises de Travaux Publics s'impliquent de plus en plus dans des "démarches sécurité" et amplifient leurs efforts pour aboutir à une diminution sensible des accidents du travail pour l'objectif ultime "Accident TP = Zéro". La diminution quantitative des accidents, vérifiée par les statistiques, ne procède pas de la réduction des effectifs générée par la récession, mais de la politique menée par les entreprises pour juguler le fléau des accidents du travail.

Le concours Sécurité distingue les entreprises qui consacrent un effort particulier à la sécurité et qui obtiennent des résultats sensibles dans leur lutte quotidienne pour la prévention des risques professionnels.

### ■ CHRONOLOGIE

La prévention des risques professionnels dans le BTP est un souci majeur de la profession. La création de l'OPPBTB en 1947, la publication en janvier 1965 d'un décret spécifique au BTP, la loi de 1976 et les décrets de 1977 instituant les plans d'hygiène et de sécurité (PHS), les collèges et comités interentreprises (CIHS, CPHS), plus récemment la loi sur la coordination de la sécurité en décembre 1993 jalonnent ce parcours dans le domaine de la prévention. Les progrès réalisés dans la conception des matériels, des engins de travaux publics, améliorent les conditions de travail et l'utilisation en sécurité.

De 1955 à 1987 le nombre d'accidents du travail dans les Travaux Publics avait été divisé par

deux et le nombre de décès par trois. Toutefois entre 1988 et 1990, la recrudescence des accidents alarma les professionnels et les pouvoirs publics et des études conduites par M. Max Quérien pour le ministère du Travail, par M. François Ceyrac et la FNTTP permirent de définir une politique globale de lutte contre ce fléau.

Parmi les actions proposées, la FNTTP qui mettait en place un comité de Sécurité, décidait de valoriser les démarches "Sécurité en entreprise" en démontrant qu'elles sont possibles (quelle que soit la taille de l'entreprise), qu'elles permettent une réduction remarquable des accidents du travail et, enfin, qu'il n'y a pas de fatalité de l'accident dans les métiers des Travaux Publics.

En octobre 1993, la FNTTP décidait d'organiser un concours Sécurité annuel. Ouvert à toute entreprise de Travaux Publics adhérant à la FNTTP, il permet aussi à un groupe et une ou plusieurs de ses filiales, une agence ou une direction régionale, de concourir simultanément.

Sept ans plus tard, plus de 700 entreprises, agences, filiales ont répondu au concours. Le niveau de réponse des candidats est élevé puisque le taux de fréquence des entreprises candidates est passé de 28 en 1994 à 18 en 2000, et le taux de gravité de ces mêmes entreprises de 1,42 à 0,90 soit près de 40 % de moins. Rappelons que les moyennes nationales dans les T.P. du Taux de Fréquence sont de 51 et de 2,75 pour le taux de gravité.

Enfin, les lauréats 2000 ont dans leur ensemble, un taux de fréquence plus de trois fois inférieur à la moyenne nationale et un taux de gravité plus de cinq fois inférieur à la moyenne nationale.

### ■ LES RÉSULTATS (tableau I, page 68)

Ces résultats sont le fruit :

◆ de la convergence des volontés et des efforts de tous ceux qui, de près ou de loin, sont concernés par la sécurité des personnes : le Législateur, l'Administration, la puissance publique en sa qualité de client donneur d'ordres, et l'entreprise, ou l'ensemble des entreprises, participant

## Liste des lauréats

CATEGORIE A Entreprises = 1 à 149 salariés			
Prix	Entreprise lauréate	Activité principale	Dept
1er prix	SN - ERT	Electricité	07
2e prix	EITF	Electricité	59
<i>Prix Spécial Jury</i>	PAILLOGUE & MOLDAN	Canalisation	76

Catégorie A - Entreprises de 1 à 149 salariés

CATEGORIE B Filiales = 1 à 149 salariés			
Prix	Entreprise lauréate	Activité principale	Dept
Prix sécurité	MERSCH	VRD	38
Prix sécurité	SN SEGO TP	VRD	70
Prix sécurité	COZZI	Route	04
<i>Prix Spécial Jury</i>	SNEL	Route	21

Catégorie B - Filiales de 1 à 149 salariés

CATEGORIE B Agences = 1 à 149 salariés			
Prix	Entreprise lauréate	Activité principale	Dept
Prix sécurité	GTM CONSTRUCTION - Seine et Marne	Génie civil	77
Prix sécurité	COLAS CENTRE OUEST - Bourges	Route	18
Prix sécurité	SCREG SUD EST - Sète	Route	34
Prix sécurité	SCREG NORD PICARDIE - Petite Synthe	Route	59
<i>Prix Spécial Jury</i>	SADE Champigny	Canalisation	94
<i>Prix Spécial Jury</i>	EUROVIA Aquitaine - Bergerac	Route	24

Catégorie B - Agences de 1 à 149 salariés

CATEGORIE C = 150 à 499 salariés			
Prix	Entreprise lauréate	Activité principale	Dept
1er prix	SNPR - Ile St Denis	VRD	93
2e prix	INTRAFOR	Fondations Spéciales	78

Catégorie C - 150 à 499 salariés

CATEGORIE D = 500 salariés ou plus			
Prix	Entreprise lauréate	Activité principale	Dept
Prix sécurité	COLAS NORD PICARDIE	VRD	59

Catégorie D - 500 salariés ou plus

	Travaux Publics Effectif hors bureau		BTP Effectif hors bureau		Activités secteur marchand Effectif bureau inclus	
1980	282 000	167	1 599 000	150	14 075 000	69
1985	212 000	143	1 242 000	131	13 536 000	54
1990	215 000	125	1 286 000	131	14 414 000	53
1995	200 000	100	1 140 000	117	14 499 000	46
1996	191 000	94	1 094 000	114	14 474 000	45
1997	180 000	92	1 055 000	113	14 504 000	45
1998	185 000	87	1 098 000	108	15 162 000	45
<b>1998 // 1980</b>	<b>- 48 %</b>		<b>- 28 %</b>		<b>- 35 %</b>	
<b>1998 // 1990</b>	<b>- 30 %</b>		<b>- 18 %</b>		<b>- 15 %</b>	

**Tableau I**  
Evolution comparée entre TP - BTP - Ensemble des activités du secteur marchand.  
Indice de fréquence des accidents du travail (AT) avec arrêt\* (nombre d'accidents pour 1000 salariés)  
\* Chiffres de la Sécurité sociale

à la conception et à la bonne exécution d'un chantier;

- ◆ du progrès technique qui a su prendre en compte la sécurité et le confort des hommes dans la conception des engins et techniques, dans la fabrication des matériaux et la définition des modes opératoires;
- ◆ des avancées de la recherche médicale qui permet de mieux déceler des liens de causalité entre une pathologie et l'activité au travail d'un patient;

- ◆ du rôle nouveau des maîtres d'ouvrages : un décret du 31/12/93 instaure la création de la fonction de "coordonnateur de sécurité" sur les chantiers. Sa désignation par le maître d'ouvrage témoigne désormais de la reconnaissance de la responsabilité du client des entreprises de Travaux Publics en matière de sécurité;
- ◆ et de la mobilisation des entreprises de Travaux Publics qui ont inscrit dans leurs priorités l'éradication des accidents du travail.

En posant le respect des principes de :

- ◆ l'évaluation des risques;
  - ◆ la sécurité intégrée;
  - ◆ la protection de la santé;
  - ◆ la prise en compte des risques pour soi et pour autrui;
  - ◆ l'interactivité, source de risques,
- les entreprises de Travaux Publics se sont engagées dans une démarche de prévention globale et cohérente conduisant à la définition de moyens adaptés à la nature des travaux et à la culture de l'entreprise :
- sensibilisation des salariés et campagnes d'information,
  - formations à la sécurité,
  - innovation technique,
  - chartes "sécurité",
  - appel à des consultants extérieurs,

- motivation des fournisseurs de matériels et de matériaux,
- mise en place de la coordination sécurité sur les chantiers,
- contrats de prévention entre les CRAM et les entreprises,
- accueil du personnel intérimaire,
- stimulation des salariés (concours "sécurité" internes).

## ■ DES ACTIONS

Afin de fédérer les entreprises de Travaux Publics :

- ◆ autour du message "La sécurité, un état d'esprit";
  - ◆ et de l'objectif que veulent atteindre les entreprises : Travaux Publics = zéro accident
- la FNTP a initié un prix Sécurité. Lancé en 1994, ce prix, remis chaque année depuis, distingue les entreprises de Travaux Publics qui consacrent un effort particulier à la sécurité et qui obtiennent les meilleurs résultats concrets dans leur lutte quotidienne pour la prévention des risques professionnels. Les entreprises lauréates ont dans leur ensemble, un taux de fréquence plus de trois fois inférieur à la moyenne nationale et un taux de gravité plus de cinq fois inférieur à cette même moyenne. La FNTP a estimé que cette opération ponctuelle devait s'inscrire dans la continuité pour renforcer les actions de la profession.

### La FNTP crée un Club des lauréats"

Le 6 juillet 2000 un Club des lauréats des prix Sécurité de la FNTP a été mis en place. Appelé

à se réunir deux fois par an, sa mission consiste en :

- ◆ l'échange d'expériences,
- ◆ la réflexion sur des sujets communs à toutes les entreprises,
- ◆ le développement de la communication auprès des petites entreprises qui ont besoin souvent d'une information suffisante en matière de sécurité et sont à la recherche d'interlocuteurs compétents.

Fortes des bons résultats acquis dans la décennie des années 1990, la FNTP entend intensifier :

- ◆ la mobilisation des entreprises autour d'une priorité commune : la sécurité sur les chantiers;
- ◆ la communication auprès de ses interlocuteurs, pour que les idées reçues se gomment au service d'une meilleure image du secteur.

Une pénurie de main d'œuvre est observée aujourd'hui dans ce secteur, qui a pourtant renoué avec la croissance depuis deux ans.

Les jeunes, contrairement aux vieux clichés, peuvent s'orienter vers les métiers des Travaux Publics de plus en plus qualifiés et spécialisés et où l'esprit de sécurité s'accroît sans cesse, d'autant plus que de nombreux projets d'équipements se concrétisent.

## La FNTP publie :

*Les Travaux Publics  
1998-1999*



Cette brochure abondamment illustrée de graphiques, cartes et photos présentant les grandes caractéristiques économiques

du secteur des Travaux publics et les principaux chiffres, analyse la conjoncture et les déterminants du niveau d'activité et alimente la réflexion concernant l'actualité économique de la Profession. 32 pages - Gratuit

**FNTP - 3, rue de Berri - 75008 Paris**  
Tél. : 01 44 13 31 44



## Les enquêtes de la FNTP

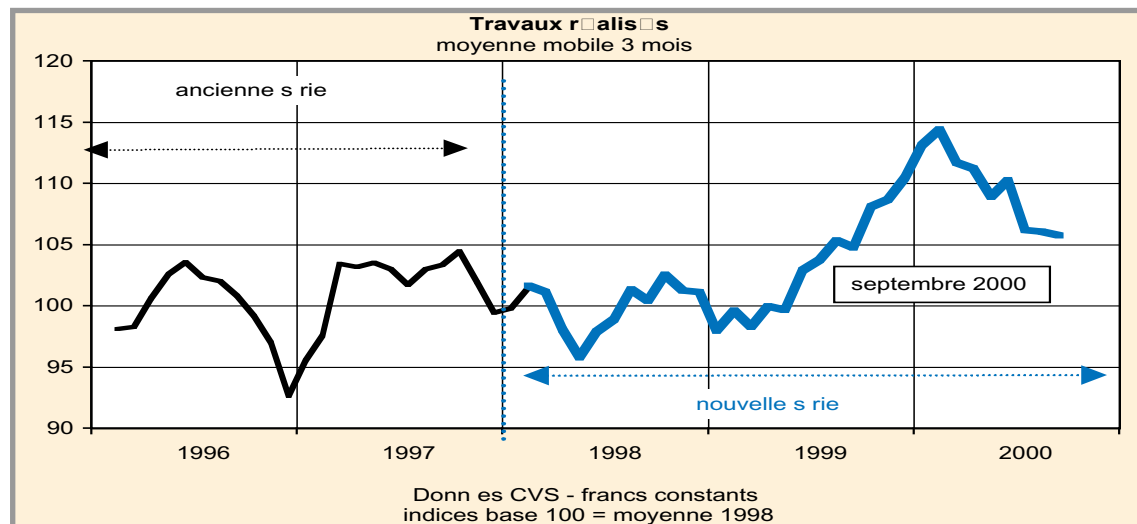
### Une source d'informations indispensables à la profession et au système statistique public...



Le dispositif statistique d'observation du marché intérieur de la Fédération Nationale des Travaux Publics est constitué de trois enquêtes :

- l'enquête mensuelle sur l'activité Travaux Publics en métropole ;
- l'enquête trimestrielle d'opinion des chefs d'entreprise ;
- l'enquête annuelle d'activité en métropole.

Les deux enquêtes infra-annuelles sont réalisées auprès d'un échantillon d'entreprises, 2 200 pour la mensuelle et 1 600 pour l'enquête d'opinion. Elles permettent à la profession de disposer d'outils d'observation conjoncturelle du marché des Travaux Publics. Elles sont également parties intégrantes du système statistique public, fournissant notamment les données économiques du secteur nécessaires à la constitution de l'indice de production industrielle publié par l'INSEE et transmises à Eurostat dans le cadre de ses indicateurs à court terme.



L'enquête annuelle, exhaustive, fournit depuis une trentaine d'années les données structurelles de la profession.

#### ■ QUI A FAIT L'OBJET D'UNE PROFONDE RÉNOVATION EN 1999 - 2000

Les travaux de l'Observatoire du BTP, dans le cadre du groupe de travail "référents statistiques communs" piloté par la DAEL avaient mis en évidence des écarts importants entre les différentes sources statistiques concernant les Travaux Publics. Partant de ce constat, la FNTP a décidé de réexaminer l'ensemble de son dispositif d'enquête.

Le premier axe de travail a concerné l'enquête mensuelle d'activité qui, à l'automne 1999 est passée en Comité du Label à la demande du Conseil National de l'Informatique Statistique et a obtenu le label d'intérêt général et la confirmation du caractère obligatoire. Les choix méthodologiques retenus et les premiers résultats test de l'enquête mensuelle ont été présentés

au groupe de travail "référents statistiques" le 21 avril. La nouvelle méthodologie a ensuite été appliquée à l'enquête annuelle d'activité 1999 qui s'est déroulée au premier semestre 2000. Jusqu'en 1999, la base d'exploitation des enquêtes était composée des seules entreprises dont on connaissait le chiffre d'affaires à partir de leurs réponses aux enquêtes annuelles précédentes. C'est ainsi que les résultats de l'enquête annuelle reposaient sur une population de base de 5 600 entreprises environ.

La nouvelle méthodologie repose sur des critères connus pour chaque entreprise, en particulier sa masse salariale ce qui permet de prendre en compte l'ensemble de la population des entreprises qui réalisent des Travaux Publics à titre principal ou à titre secondaire.

Ont été exclues du fichier les holdings, bureaux d'études, fabricants de matériaux et les entreprises dont l'activité quasi exclusive est le bâtiment. Une table de correspondance entre les codes APE et l'activité Travaux Publics a été établie en fonction des résultats de l'enquête annuelle 1998 et des Identifications Professionnelles des entreprises.



La population de référence au 1<sup>er</sup> janvier 2000 est ainsi de 7 400 entreprises ce qui permet d'être totalement représentatif du niveau d'activité du secteur.

Cette population est stratifiée selon quatre critères : la taille de l'entreprise (masse salariale TP annuelle), la région, l'activité et l'appartenance à un groupe. Ces critères servent au redressement des non-répondants : ainsi, on affecte aux répondants des poids qui assurent le calage de la structure des répondants sur la structure théorique de la population selon chacun des critères.

Pour pallier la rupture de série due à la nouvelle chaîne de traitement, une reconstitution de l'historique a été réalisée pour les années 1998 et 1999.

Dans le cadre de l'enquête mensuelle, elle permet de situer l'activité de 1999 par rapport à

ouvelle méthodologie débouche sur une estimation du chiffre d'affaires TP 1998 (en cumul sur les données mensuelles) de 153,5 milliards de francs contre 134 estimés selon l'ancienne méthodologie.

Cela découle directement de l'élargissement de la population de référence qui a permis une meilleure prise en compte de l'ensemble des entreprises de Travaux Publics, en particulier les plus petites dont le taux de réponse à l'enquête annuelle était très faible et qui donc étaient hors champ de l'ancienne exploitation.

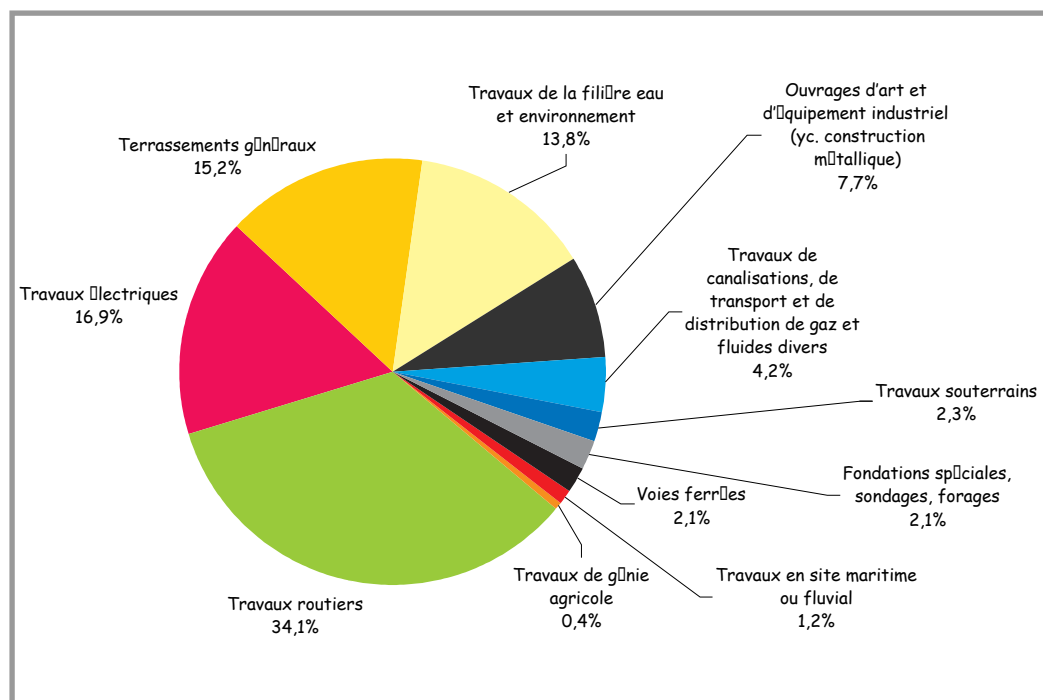
## ■ LES CHIFFRES CLÉS

Les résultats de l'enquête annuelle d'activité 1999 sont actuellement disponibles et seront publiés prochainement dans la revue et la pla-

quette Travaux Publics ainsi que dans le recueil de statistiques de la FNTP.

7 397 entreprises ont réalisé des Travaux publics en 1999. Leur chiffre d'affaires en Métropole s'est élevé à 163,3 milliards de francs en 1999 pour plus d'un tiers dans les travaux routiers, de 15 à 18 % dans les travaux de canalisations, électriques et de terrassement, 8 % pour le génie civil et moins de 2,5 % pour les autres spécialités.

Si l'on enlève les travaux de génie agricole\*, on note une progression du chiffre d'affaires de + 5,9 % en francs courants par rapport à 1998, dont le chiffre d'affaires, nouvelle méthodologie est estimé à 153,6 milliards.



Répartition de l'activité sur le marché intérieur selon la nature des travaux

1998 et offre à l'analyse conjoncturelle une série sur une trentaine de mois.

D'autre part l'ancien et le nouveau traitements conduisent à des résultats cohérents en terme d'évolution ce qui facilitera le raccordement des séries. Les nouvelles séries de référence ont été publiées dans la note de conjoncture de juillet 2000 disponible sur le site Internet de la FNTP : [www.fntp.fr](http://www.fntp.fr).

Les enquêtes annuelles 1998 et 1999 ont été exploitées en parallèle avec comme double objectif de comparer les niveaux d'activité et leurs différentes composantes mais également de vérifier la cohérence de l'ensemble des traitements. En ce qui concerne les niveaux atteints, la nou-

\* Les travaux de génie agricole sont répertoriés dans la nomenclature d'activités Travaux Publics dans le groupe 9. Ils étaient cependant exclus du champ de l'enquête jusqu'en 1998. Ils ont été enquêtés en 1999.