

# Travaux

n° 759

## EUROPE

- L'autoroute A4 en Pologne. La liaison Wrocław - Gliwice
- Varsovie : la tour Telekomunikacja Polska SA
- Le projet Egnatia Odos en Grèce. Un axe d'importance européenne
- Autoroutes d'Istrie. La première concession d'autoroutes en Croatie
- Le canal de l'usine hydroélectrique de Dionysen en Autriche. Rénovation par une membrane Colétanche

## PROCHE-ORIENT

- Le stade d'Istanbul

## AFRIQUE

- Les tunnels routiers EL Azhar au Caire
- Le corridor de Maputo. Réalisation d'une route à péage en Afrique du Sud et au Mozambique

## AMÉRIQUE

- La construction du barrage de Sainte-Marguerite SM3 au Québec

## ASIE

- Le métro de Bangkok en Thaïlande

International

**Daniel Tardy**  
Président  
de la FNTP



**A** l'occasion de ce numéro de *Travaux* consacré à l'international, j'ai le plaisir de constater que, pour la cinquième année consécutive, l'activité Travaux Publics hors métropole a enregistré en 1998 une croissance élevée, de plus 7,5 % en francs constants. Quarante-et-onze entreprises, et leurs 357 filiales implantées dans 80 pays, ont réalisé un chiffre d'affaires de 73,5 milliards de francs. Si l'on tient compte des installations industrielles et de bâtiment, c'est une production totale de 91,2 milliards de francs qu'ont réalisée les groupes français plaçant ainsi notre pays au premier rang des exportateurs mondiaux de la construction.

Voilà qui illustre à la fois le dynamisme de nos entreprises et leur compétitivité, que l'on peut d'ailleurs constater dans toutes les spécialités, avec une forte croissance des travaux routiers, des terrassements, des travaux maritimes et fluviaux. Mais aussi leur capacité à innover, en particulier, comme le souligne dans sa préface Alain Dupont, président du SEFI, dans le domaine des concessions, grâce à une compétence d'opérateur global acquise de longue date en France même.

Nos entreprises exercent leur activité sur tous les continents, et elles affrontent la concurrence des entreprises du monde entier. Leurs performances et leurs succès sont-ils assez connus et reconnus, dans notre pays même, de nos compatriotes : gouvernants, élus, public ? De même les conséquences de cette forte activité de nos entreprises à l'exportation sur la balance des paiements, sur l'emploi ou sur le rayonnement de la France dans le monde, sont-elles assez connues et reconnues ?

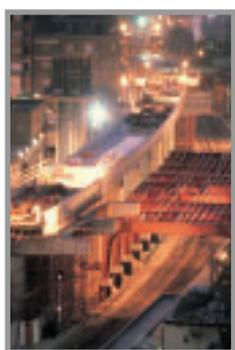
Si les prouesses de nos navigateurs solitaires, de nos footballeurs, rugbymen ou chanteurs de variétés ont le retentissement que l'on sait, avec des répercussions considérées comme bénéfiques sur le moral du pays, il est permis de regretter que celles de nos entreprises, qui constituent parfois de réels records du monde, restent à ce point ignorées.

Plus généralement, et pas seulement pour l'activité à l'exportation, c'est l'ensemble de l'image de notre profession qui a besoin d'être mise en valeur. Jusqu'à présent, nos entreprises n'ont pas osé communiquer vraiment, directement sur leur métier. Nous avons besoin de faire mieux connaître nos réalisations et de nous affirmer en tant que profession des Travaux Publics pour le public en redonnant à notre profession son image d'aménageur du cadre de vie de nos concitoyens. Nous avons aussi à attirer des jeunes vers nos métiers.

Dans tous les cas, une meilleure connaissance de nos métiers, capable de les faire à la fois mieux comprendre et mieux aimer, passe par l'approche concrète des chantiers. Dans cette optique, et dans le cadre des actions de partenariat entreprises avec le ministère de l'Environnement, nous allons organiser pour les collaborateurs du ministère une série de visites de chantiers, véritable découverte des Travaux Publics. Nos lecteurs ont d'ailleurs pu voir, dans le numéro récent consacré à l'autoroute A 51, comment des journées "portes ouvertes" ont permis de passer de la "contestation à l'adoption" d'un projet.

Pour revenir aux grands chantiers à l'étranger, à quand un reportage télévisé sur l'un d'eux ? Cela vaudrait bien nombre de reportages que l'on subit quotidiennement... et intéresserait à coup sûr le public.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. Tardy', written in a cursive style.



## Notre couverture

### Le métro du Caire

© Doc. Bouygues

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

## RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. : (33) 0144 13 31 44

## SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart

Tél. : (33) 0241 35 09 95

Fax : (33) 0241 35 09 96

E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

## MAQUETTE

T2B&H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 0144 64 84 20

## VENTES ET ABBONNEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140 73 80 05

E mail :

revue.generale.des.routes.rgra@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) 0144 74 86 36

Imprimerie Chirat

Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

## Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 57304



## éditorial

Daniel Tardy

# 1

## actualités

# 6

## matériels

# 11

## PRÉFACE

Alain Dupont

# 13

## EUROPE

◆ L'autoroute A4 en Pologne. La liaison Wroclaw - Gliwice

- *The A4 motorway in Poland. The Wroclaw-Gliwice link*

J.-P. Dupuy

# 14

◆ La tour Telekomunikacja Polska SA à Varsovie

- *The Telekomunikacja Polska SA tower in Warsaw*

A. Lewandowska, M. Mitew, J.-B. Kazmierczak, M. Wojnarowicz, B. Skwarlinski

# 18

◆ Le projet Egnatia Odos en Grèce. Un axe d'importance européenne

- *The Egnatia Odos project in Greece. A major European route*

A. Guenoun

# 23

◆ Autoroutes d'Istrie. La première concession d'autoroutes en Croatie

- *Motorways of Istria. The first motorway concession in Croatia*

J. Harnois

# 31

◆ Le canal de l'usine hydroélectrique de Dionysen en Autriche. Rénovation par une membrane Colétanche

- *The canal of the Dionysen hydro plant in Austria. Renovation with Colétanche membrane*

J.-L. Gautier, J. Harb, B. Breul, A. Carrere

# 39

## PROCHE-ORIENT

◆ Le stade d'Istanbul

- *The Istanbul stadium*

G. Rolland, A. Capra, S. Huret

# 44

# Sommaire

décembre 1999  
International

Dans les prochains numéros

**Ponts**

**Routes**

**Travaux urbains**

**Réhabilitation**

**d'ouvrages**

**Sols**

**et fondations**

**Tunnels**

**Terrassements**

**Autoroute A 89**

**Barrages**



## AFRIQUE

- ◆ Les tunnels routiers EL Azhar au Caire  
- *EL Azhar road tunnels in Cairo*

*J. Petit, S. Guillien, P. Ramond, P. Boutigny, E. Bosle*

49



- ◆ Le corridor de Maputo. Réalisation d'une route à péage en Afrique du Sud et au Mozambique  
- *The Maputo Corridor. Construction of a toll highway in South Africa and in Mozambique*

*L. Messier*

59



## AMERIQUE

- ◆ La construction du barrage de Sainte-Marguerite SM3 au Québec  
- *Construction of the Sainte-Marguerite SM3 dam in Quebec*

*J.-M. Saccone*

63



## ASIE

- ◆ Le métro de Bangkok en Thaïlande  
- *The Bangkok metro in Thailand*

*J.-L. Gobert*

68

**recherche**

73

**répertoire  
des fournisseurs**

75

**E**ncore un mois, et nous atteindrons l'an 2000! Considéré par tous comme l'événement majeur de cette fin d'année, préoccupation pour certains, nouvelle ère pour d'autres, l'approche de ce troisième millénaire devrait surtout être l'occasion de dresser le bilan du parcours des entrepreneurs français et de leurs efforts respectifs à s'imposer sur les marchés du monde entier. En tête devant leurs concurrents européens, japonais ou américains, les français ont une place de leader mondial à assumer<sup>(1)</sup>. Ce niveau de compétences, soutenu par un autre record à l'exportation pour l'exercice 98, les Français le doivent aussi à des qualités acquises au fil des ans, et à une capacité à anticiper les nouveaux besoins par l'emploi de solutions innovantes et adaptées.

Car effectivement l'international demeure un axe majeur de développement pour les entreprises de construction françaises. Les chiffres le prouvent. Au niveau du SEFI (Syndicat des Entrepreneurs Français Internationaux<sup>(2)</sup>) qui rassemble les dix-huit majors français de la construction et des infrastructures à l'international, soit pour ainsi dire la quasi totalité des exportations françaises dans ce secteur, le résultat cumulé de ses membres a atteint 91,2 milliards de francs en 1998. Ce volume exporté (+ 4,3 % par rapport à 1997) est en croissance constante, et confirme année après année que l'internationalisation est une tendance lourde à laquelle adhèrent avec force les entreprises françaises. Si l'Europe reste avec 41 % leur pré carré, le "grand export" n'est pas en reste. Le continent américain enregistre la plus forte progression (Amérique du Nord à + 44 % et l'Amérique du Sud à + 63 %), alors que toutes les autres zones restent à un niveau stable. Seule l'Asie affiche une petite diminution de 7 % de son volume exporté sur 1997, conséquence inévitable de la crise asiatique.

La présence à l'international est une tradition séculaire du BTP français. De grands projets, tel que le canal de Suez en 1869 qui fut mis en œuvre à l'initiative française, donnèrent l'occasion de démontrer un savoir-faire et une maîtrise désormais reconnus, appréciés et recherchés. Ce brillant résultat est une combinaison de plusieurs forces et atouts.

Tout d'abord une forte implantation locale, sur tous les conti-

nents. Bien au-delà de leurs racines historiques et culturelles africaines, les entreprises françaises ont développé depuis quelques années des politiques actives de rachats à l'étranger, aux Etats-Unis notamment. C'est ce réseau, cette toile, qui donne la réactivité nécessaire pour obtenir les marchés ou déceler les enjeux et renseigner sur les contraintes, préoccupations et besoins locaux. Savoir penser globalement et agir localement ("*Think globally, act locally*") devient la pierre angulaire de toute stratégie internationale gagnante.

La diversification de leurs compétences et leur capacité à les imposer auprès de leurs interlocuteurs et clients, notamment sous la forme d'un "guichet unique", constitue un atout sup-

plémentaire pour bon nombre d'elles. De la prise en charge de la conception, de la construction, de l'exploitation-maintenance, en passant par le financement (composante désormais incontournable des grands projets de construction), les entreprises françaises ont développé une palette de compétences complexes, adaptées aux nouveaux besoins. Les métiers de la construction ont donc beaucoup évolué et intègrent une large part de valeur ajoutée en "intelligence" et expertises diverses. Grâce à elles, des procédés et solutions innovantes peuvent d'ailleurs régulièrement voir le jour et faire progresser les méthodes, la sécurité sur les chantiers et la qualité des ouvrages pour le bien des communautés utilisatrices.

C'est sans conteste l'internationalisation de la formule de la concession ou BOT, également appelée "partenariat public-privé", qui est à ce jour sur toutes les lèvres. Très sollicitée,

cette formule de financement peut s'avérer particulièrement bien adaptée aux besoins des économies modernes où la baisse des financements publics se conjugue à une recherche d'efficacité. Cette compétence d'opérateur global est le secteur d'avenir à l'international. La tendance est en outre largement soutenue par les grands organismes multilatéraux qui en découvrent, ou en redécouvrent, les charmes.

Ce siècle qui s'ouvre à nous sera j'en suis sûr à nouveau marqué de l'empreinte d'ouvrages français à travers le monde, et verra la poursuite de leur succès. Nos entreprises disposent pour cela des armes nécessaires.



## ■ ALAIN DUPONT

**Président du SEFI  
(Syndicat  
des entrepreneurs  
français  
internationaux)**

(1) Etude OBSIC 1997, sur le point d'être actualisée pour 1998

(2) SEFI, 10 rue de Washington - [www.seffrance.fr](http://www.seffrance.fr)



# L'autoroute A4 en La liaison Wrocław -

Figure 1  
Plan de situation  
Location

**L'autoroute A4 en Pologne, entre Wrocław et Gliwice est une voie historique, au sud-ouest du pays, dont le tracé est sensiblement parallèle avec la frontière tchèque.**

**Cette section de 50 km de voie neuve ou réhabilitée, est un chantier à forte connotation européenne (six nations représentées). L'ampleur et l'organisation des travaux en font une première à plusieurs titres dans ce pays très ouvert aux influences occidentales. L'importance du chantier se voit dans les quelques chiffres suivants : 94 ponts réhabilités (datant pour la plupart de 1940), 48 ponts neufs de techniques variées, 1 000 000 t d'enrobés, 2 700 000 m<sup>3</sup> de graves – pour un montant de dépenses total de 350 millions d'euros. Les difficultés rencontrées ont, en particulier, été d'adapter les techniques modernes employées à l'Ouest pour travailler avec des entreprises ou des équipes de maîtrise d'œuvre et de contrôle peu préparées aux normes matériaux, à la répartition des tâches et des responsabilités. Malgré cela, le chantier se déroule dans le respect des engagements.**

L'autoroute A4 relie l'Europe du Nord à l'Europe Centrale et Orientale. Une carte politique montre plusieurs liaisons similaires mais, avec l'ouverture des frontières, l'importance de l'autoroute A4 apparaît mieux sur une carte physique : c'est "La" voie naturelle majeure de communication vers l'Est, la Silésie, vers Katowice et Cracovie, mais bientôt vers Lvov, Kiev, Odessa... (figure 1).

Cette route était d'ailleurs déjà très "populaire" depuis la préhistoire. Les Celtes l'ont empruntée et plus tard les armées de Gengis Khan. Hitler a fait réaliser entre Berlin et Katowice, avant 1940, 60 % du projet et 80 % des terrassements. Seul Napoléon est passé plus au Nord. Ce chantier a donc été d'abord un champ archéologique : 9500 objets couvrant 41 000 ans d'histoire ont déjà été découverts.

De Berlin à Cracovie, après la fin des travaux, seuls manqueront deux tronçons, 70 km à la frontière allemande et 62 km avant Katowice.

Un maître d'œuvre polonais, des entrepreneurs portugais, allemands, polonais et autrichiens, il manquait un groupement franco-anglais (Ws Atkins - Scetauroute) en qualité d'assistant à la maîtrise d'ouvrage et de maître d'œuvre délégué, pour finir le tour d'Europe et réussir à coordonner tout ce monde. C'est l'un des premiers projets de cette ampleur réalisé en Pologne avec quelques aspects spécifiques :

- ◆ l'ensemble du projet correspond à un standard moderne d'autoroute à 2 x 2 voies avec extension future possible à 2 x 3 voies ;
- ◆ les travaux consistent à exécuter l'ouvrage complet et à l'ouvrir à la circulation. Dans une deuxième étape, cette section sera mise à péage, et le concessionnaire adjudicataire complétera certains aménagements : gares de péage, aires de services et de repos, centres d'entretien et d'exploitation.

## Le projet ponts

Il prévoit :

- ◆ quatre-vingt-quatorze ponts à réhabiliter, la plupart datant d'avant 1940. Cette opération est toujours pleine de surprises : mines (deux couches!), squelettes, qualité du béton, et souvent un choix difficile entre réhabiliter ou refaire un pont neuf, sachant que de toute façon la majorité des vieux ponts

à réhabiliter sont dimensionnés pour deux voies et devront être démolis d'ici 15 à 20 ans lors de l'extension à trois voies. Il a fallu réparer et renforcer le vieux béton, peindre les vieux ponts, remettre en valeur les parements de pierre naturelle ;

- ◆ quarante-huit ponts neufs : ponts cadres, tabliers à poutres en béton précontraint, pont suspendu à tablier en béton précontraint.

## Le projet route

La chaussée est une structure neuve souple de 29 cm d'enrobés bitumineux en quatre couches et de 62 ou 66 cm, selon les zones, de graves naturelles et concassées. La couche de roulement a été remplacée par un SMA 0/12.8 en 4 cm d'épaisseur. Sur 50 km, les tronçons de chaussée existante ont été fraisés sur 35 cm d'épaisseur, et remplacés par du "MMCE" (Mélange minéral au ciment et à l'émulsion, en polonais), un enrobé à froid à l'émulsion de bitume et au ciment, recyclant les fraisats d'enrobés et de béton avec ajout de grave roulée.

Le drainage des eaux de ruissellement est séparé avec traitement intégral des eaux polluées. Les travaux de drainage, de sécurité et d'environnement représentent environ 70 millions d'euros.

Le profil en travers type comprend :

- ◆ 2 x 2 voies de 3,75 m en première phase, 2 x 3 voies plus tard ;
- ◆ une bande d'arrêt d'urgence de 3 m de chaque côté ;
- ◆ un terre-plein central de 5,50 m.

La structure de la chaussée est représentée sur la figure 2.

Un des caractères particuliers de ce chantier et l'intérêt pour les ingénieurs de Ws Atkins - Scetauroute, est le besoin d'adaptation permanente du projet au niveau qualitatif et aux méthodes de gestion d'Europe de l'Ouest. Scetauroute s'est ainsi impliqué, en particulier pour la partie technique, dans un dialogue permanent – facilité par ailleurs par les origines polonaises de trois expatriés –, avec :

- ◆ le maître d'ouvrage ;
- ◆ le bureau d'études ;
- ◆ IBDIM, laboratoire central de l'administration ;
- ◆ les autorités universitaires qui avaient participé au projet ;
- ◆ les fournisseurs polonais ;
- ◆ les entreprises.

Pour faire évoluer par exemple :

- ◆ le cadre contractuel avec les entreprises ;

# Pologne Gliwice



© Photothèque Scetauroute

Pont métallique suspendu, le tablier en béton précontraint n'est pas encore réalisé

*Steel suspension bridge; the prestressed-concrete deck has not yet been completed*

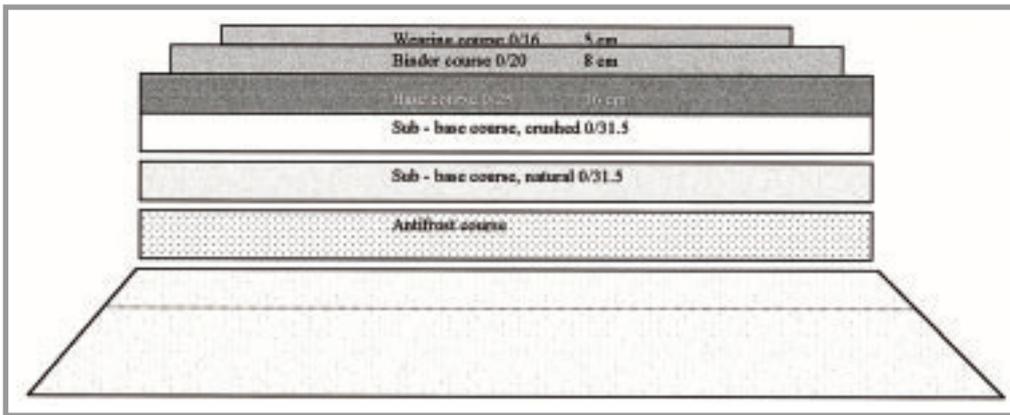


Figure 2  
 Structure de chaussée  
 Pavement structure

- ◆ les méthodes d'exécution des travaux ;
- ◆ les types de centrales d'enrobage ;
- ◆ les spécifications techniques ;
- ◆ les spécifications sur les enrobés bitumineux ;
- ◆ les normes sur le bitume et le type de bitume utilisé, B50 ;
- ◆ les techniques de contrôle des travaux :
  - essais d'orniérage sur enrobés,
  - PCG,
  - NAT,
  - essai immersion/compression sur enrobés,
  - troxler.

Dans ce type de démarche, il faut avant tout s'assurer de bien prendre en compte les spécificités locales, climat, compétence du personnel, matériaux, niveau qualitatif des productions, expérience des entreprises, habitudes... d'où la nécessité vitale de dialogue. Dans une deuxième étape, la voie la plus aisée pour introduire des changements est la référence à des normes (ou projets de normes) européennes.

## Contrôle qualité (figure 3)

Avec 1600000 t d'enrobés, 2700000 m<sup>3</sup> de graves, 90000 m<sup>3</sup> de béton pour les ponts et autant de préfabriqués béton, le groupement a fait travailler toutes les "bonnes" carrières de la région et la majorité des usines de préfabrication. On trouve encore aujourd'hui en Pologne, des produits de moindre qualité correspondant aux vieux standards, mais aussi des matériaux au standard international souvent produits par des joint-venture avec une société d'Europe de l'Ouest, souvent exportatrices : ciment, agrégats, fer à béton, préfabriqués de béton, tuyaux PVC, PE... Définir les règles de sélection a été une première étape indispensable et douloureuse. En fait les normes polonaises, les exigences qualitatives évoluent vite. De nouveaux pro-

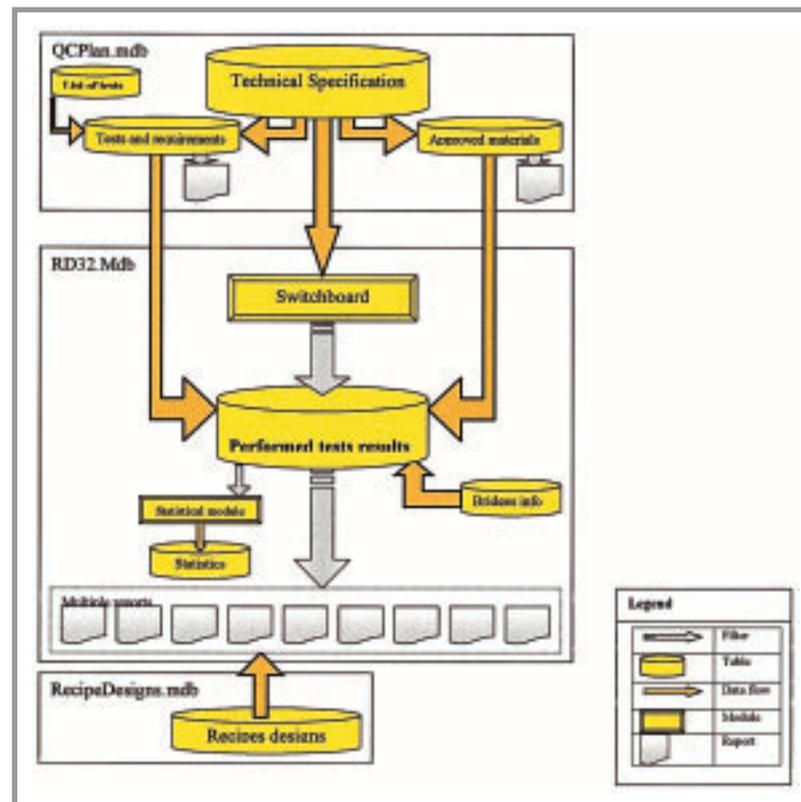


Figure 3  
 Schéma d'organisation du contrôle qualité  
 Quality control organisation chart



© Photothèque Scetauroute

Exemple de réhabilitation de pont

*Example of bridge rehabilitation*

**Passage supérieur en zone forestière, traité en passage pour la faune sauvage**

*Overpass in a forest region, designed with a wildlife passage*



© Photothèque Scetauroute

**Panneau de chantier - Terrassements après décapage**  
*Worksite panel - Earthworks after stripping*



© Photothèque Scetauroute. Th. Petit

**Bassin de drainage - Pont avant remblai**  
*Drainage basin - Bridge before filling*



© Photothèque Scetauroute. Th. Petit

**Doublement de la chaussée existante - Application de l'asphalte**  
*Doubling of existing carriageway - Asphalt application*



© Photothèque Scetauroute. Th. Petit

duits et fournisseurs apparaissent et on peut rarement se baser, comme en France, sur plusieurs années d'expérience accumulée sur des travaux similaires.

L'acceptation des fournisseurs et des formules de matériaux a donc été une première étape importante dans les plans d'assurance qualité.

Les marchés d'entreprises prévoient tous un système d'assurance qualité type C, avec contrôle interne et externe réalisés par l'entreprise. Les moyens du maître d'œuvre ont été dimensionnés en fonction et... toutes les entreprises ont sous-dimensionné leur système "qualité".

S'agissant d'une démarche relativement nouvelle en Pologne, le groupement a été très impliqué dans l'organisation du contrôle qualité du projet. Les entreprises et le maître d'œuvre polonais se sont "renforcés" et ont appris à travailler ensemble. En pratique, pour le contrôle qualité, chaque entreprise s'est organisée avec un laboratoire de chantier bien équipé et un contrôle externe. Le maître d'œuvre

### CONTRATS DE TRAVAUX

- N° 1 MOTA : 78 ponts neufs ou à rénovés (16 millions d'euros)
- N° 2 MOTA : 64 ponts neufs ou à rénovés (22 millions d'euros)
- N° 3 Deutsche Asphalt - Dromex : 40 km chaussée neuve (75 millions d'euros)
- N° 4 Deutsche Asphalt - Dromex : 30 km chaussée neuve (54 millions d'euros)
- N° 5 Ilbau - Kirchner : 56 km chaussée neuve (119 millions d'euros)

### LE PROJET BIELANY – NOGAWCZYCE

#### **Maître d'œuvre**

BBA Opole, Bureau de Construction des Autoroutes

#### **Maître d'œuvre délégué**

Ws Atkins - Scetauroute

#### **Bureau d'études**

Tranprojekt Gdansk, Krakow, Warszawa

#### **Délai d'exécution**

Juin 1997 à juin 2001

#### **Coût total du projet**

350 millions d'euros

#### **Financement**

- Phare (68 millions d'euros)
- Prêt BEI (225 millions d'euros)
- Etat polonais (57 millions d'euros)

dispose de trois laboratoires, dont un très bien équipé et d'une équipe de 30 inspecteurs et 13 laborantins.

Le groupement a défini et imposé un système commun de suivi et d'archivage des données. Celui-ci est basé sur une liste des prix unitaires et leurs spécifications techniques.

Il prend également en compte la liste des fournisseurs, produits et formules de matériaux approuvés.

Actuellement les travaux représentent, par mois, environ 15 millions d'euros et 3 000 personnes sont directement employées sur les 126 km du tracé.

Malgré quelques péripéties, – écologistes dans les arbres pendant deux mois, inondations de juillet 1997 et 700 000 m<sup>3</sup> de sols très sensibles à l'eau à remplacer –, à fin 1999, 70 % des ponts et 40 % des chaussées sont réalisés, et une chaussée complète sera livrée fin 2000. Le calendrier des travaux devrait être globalement respecté.

## ABSTRACT

### **Th A4 motorway in Poland. The Wrocław-Gliwice link**

*J.-P. Dupuy*

**The A4 in Poland, between Wrocław and Gliwice is an historic facility in the country's southwest, whose route is roughly parallel to the Czech border. This 50-km section of new or rehabilitated motorway is a project with a strong European flavour (six nations represented). The scope and organisation of the works make this a first in several respects in these countries that are very open to Western influences. The extent of the project can be seen in the following figures : 94 bridges rehabilitated (dating for the most part back to 1940), 48 new bridges of varied designs, 1 million t of bituminous mix, 2.7 million m<sup>3</sup> of cement-treated bases - for a total expenditure of eu 350 million.**

**The difficulties had to do in particular with the adaptation of modern techniques used in the West in order to work with companies or contracting and inspection teams not very familiar with material standards, with allocation of tasks and responsibilities. Despite this, the project was completed in full compliance with commitments.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### **La autopista A4 en Polonia. Enlace Wrocław - Gliwice**

*J.-P. Dupuy*

**La autopista A4 en Polonia, entre Wrocław y Gliwice es una vía de comunicaciones histórica, ubicada en el suroeste del país, y cuyo trazado es prácticamente, paralelo a la frontera checa. Esta sección, de 50 km de calzada nueva o rehabilitada, es una obra de destacada connotación europea (6 naciones representadas). La amplitud y la organización de las obras hacen de ella una primicia por diversos conceptos en este país ampliamente abierto a las influencias occidentales. La importancia de las obras se puede resumir en algunas cifras : 94 puentes rehabilitados (cuya mayor parte ascendía a 1940), 48 puentes nuevos construidos según diversos procedimientos, 1 000 000 de toneladas de aglomerados, 2 700 000 m<sup>3</sup> de gravas por un importe de gastos total equivalente a 350 millones de Euros.**

**Las dificultades con que se ha tropezado han consistido, fundamentalmente, en adaptar las técnicas modernas aplicadas en los países del Oeste, para trabajar con empresas o equipos de dirección de obras y de control, poco preparados para la aplicación de las normas de materiales, así como de la distribución de tareas y responsabilidades. Pese a todo ello, las obras se desarrollan respetando siempre los compromisos contraídos.**

# Varsovie :

## La tour Telekomunikacja

La réalisation d'une tour de 122 m de haut avec une aire d'atterrissage pour les hélicoptères, un ascenseur extérieur et cinq niveaux en sous-sol, destinée à abriter les bureaux des télécommunications polonaises, est l'un des ouvrages les plus profonds de Pologne, exécuté dans des conditions géologiques et géotechniques très complexes. Cette tour de 32 étages et d'une superficie au sol de 4 700 m<sup>2</sup> est construite selon la technique *Top and Down*. Cette nouvelle technique en Pologne a été entièrement exécutée par l'entreprise générale polonaise Pia Piasecki SA et son sous-traitant en fondation spéciale Spie Fondations pour la paroi moulée et les poteaux profonds. Le projet architectural a été élaboré par le cabinet d'architectes polonais Apar, associé pour la superstructure au bureau d'études TMJ et pour la paroi moulée et l'infrastructure au bureau d'études Geokonstrukcja.

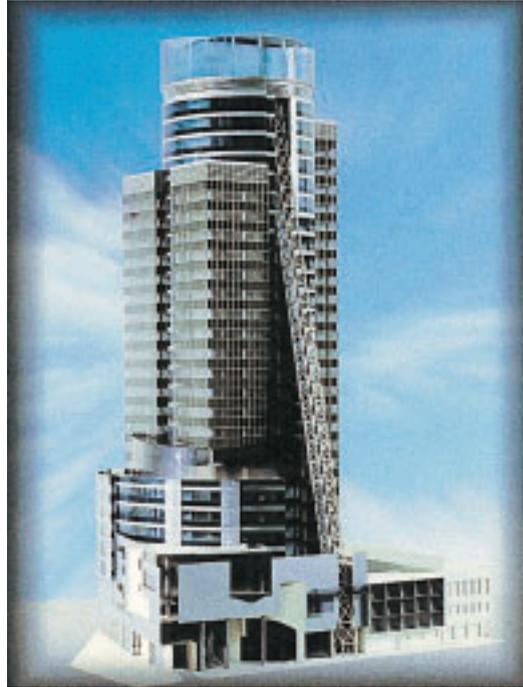


Photo 1  
Images de synthèse montrant le projet architectural de la tour Telekomunikacja Polska SA  
*Synthetic images showing the architectural design of the Telekomunikacja Polska SA tower*

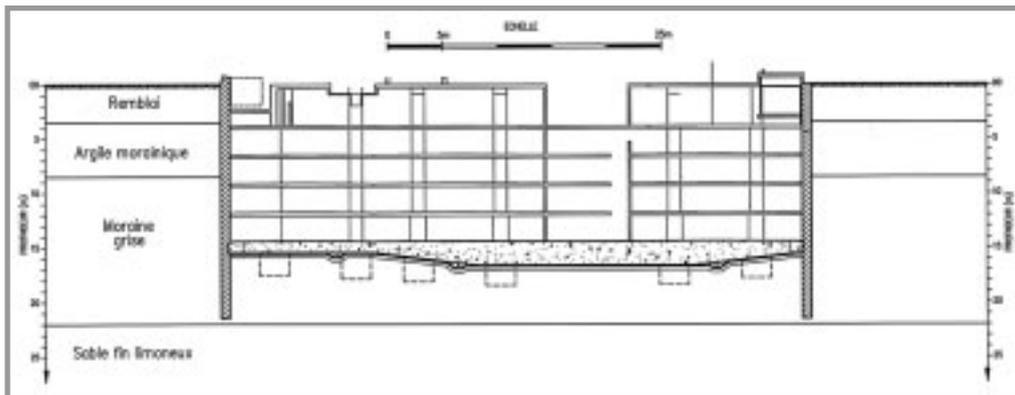
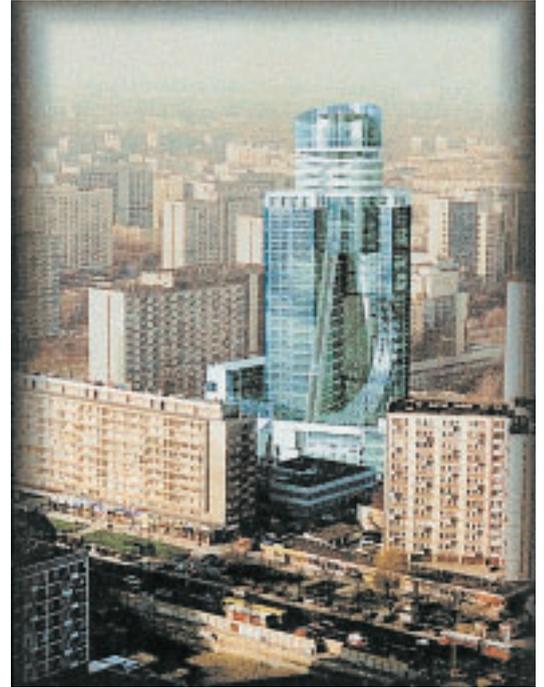


Figure 1  
Profil géologique interprétatif  
avec la coupe de la paroi moulée  
*Interpretative geological profile  
with the section of the diaphragm  
wall*

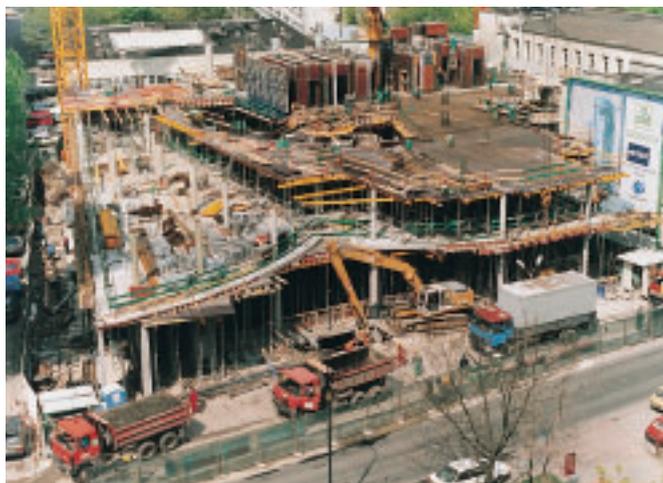


Photo 2  
Vue aérienne montrant  
l'emprise du chantier  
*Aerial view showing  
the project area*

### ■ INTRODUCTION

Le challenge de l'entreprise polonaise, de ses architectes et des ingénieurs a été de construire selon la méthode *Top and Down* simultanément les cinq niveaux en sous-sol et les quatre premiers étages de la superstructure. L'emplacement et le peu de place disponible sur le chantier a imposé à l'entreprise une organisation et des méthodes de construction particulièrement strictes (photos 1 et 2).

### ■ CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

La reconnaissance géotechnique a consisté en la réalisation de six sondages carottés à 25-30 m avec prélèvement d'échantillons intacts pour des essais en laboratoire, deux sondages pressiométriques de 25 m ainsi qu'un essai de pompage de 72 heures dans la nappe profonde des formations préglaciaires (figure 1).

#### Nature des sols

La stratigraphie est caractérisée par la présence des formations quaternaires suivantes :

- ◆ la formation la plus profonde intéressant le projet appartient à l'horizon préglaciaire rencontré dans

# Polska SA

les sondages vers 22 à 25 m de profondeur et composé d'un faciès très hétérogène de sables fins limoneux localement argileux ou bien de lentilles de sables graveleux. Cette formation est très fortement surconsolidée par le passage successif des glaciers ;

◆ l'horizon sous-jacent appartient à la glaciation de Cracovie, composé d'argiles morainiques sableuses grises très surconsolidées avec localement des blocs de roches charriés de Scandinavie ;

◆ le toit de moraine grise a été rencontré dans les reconnaissances à partir de 8 à 11 m de profondeur ;

◆ le niveau d'argiles morainiques surmontant la moraine grise est composé d'argiles localement très sableuses et silteuses bariolées avec des passées jaunes brunâtre. L'épaisseur de cet horizon sur le site n'excède pas 5 à 6 m ;

◆ le terrain en place est recouvert par des remblais hétérogènes à débris de construction sur une épaisseur de l'ordre de 3 à 4 m.

## Contexte hydrogéologique

Les piézomètres sélectifs installés sur le site ont permis de confirmer la présence de trois niveaux d'eaux souterraines :

◆ le premier niveau d'eau a été rencontré à la base des remblais vers 4 m de profondeur, son alimentation dépend directement de la pluviométrie ;

◆ le deuxième niveau aquifère légèrement en charge, a été observé dans les dépôts sableux interglaciaires de la moraine grise et bariolée à la profondeur d'environ 8 m ; ce sont des niveaux suspendus ou bien lenticulaires sans grande importance pour l'exécution de la paroi moulée ;

◆ le troisième niveau aquifère est localisé dans la formation préglaciaire. Cette nappe puissante à Varsovie est fortement en charge par rapport au fond de fouille de l'ouvrage.

## Caractéristiques géotechniques

Les caractéristiques géotechniques des sols (très hétérogènes), issues de la campagne de reconnaissance, sont les suivantes :

◆ remblai :

$$\varphi' = 25^\circ \quad c' = 0 \quad \gamma = 18 \text{ kN/m}^3;$$

$$p_1 = 0,5 \text{ MPa} \quad E_M = 4,5 \text{ MPa};$$

$$K_a = 0,406 \quad K_p = 3,545 \quad k_h = 1900 \text{ t/m}^3;$$

◆ moraine supérieure bariolée :

$$\varphi' = 28 \text{ à } 30^\circ \quad c' = 10 \text{ à } 20 \text{ kPa} \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$p_1 = 2,0 \text{ MPa} \quad E_M = 60 \text{ MPa};$$

$$K_a = 0,361 = K_p = 4,358 \quad K_o = 0,8 \quad k_h = 2800 \text{ à } 3000 \text{ t/m}^3;$$

◆ moraine inférieure grise :

$$\varphi' = 30^\circ \quad c' = 25 \quad \gamma = 22 \text{ kN/m}^3;$$

$$p_1 = 4,5 \text{ MPa} \quad E_M = 80 \text{ MPa};$$

$$K_a = 0,333 \quad K_p = 4,980 \quad K_o = 0,8$$

$$k_h = 3500 \text{ t/m}^3.$$

## Phasage des travaux de terrassement et réalisation de structure interne

(figure 2 et photo 3)

Le phasage de travaux retenu pour la réalisation des sous-sols est :

- ◆ exécution de la paroi moulée avec prise en compte de la surcharge extérieure ;
- ◆ pré Terrassement jusqu'au niveau - 1 ;
- ◆ exécution du plancher - 1 ;
- ◆ excavation en taube jusqu'au niveau - 2 ;
- ◆ exécution du plancher - 2 ;
- ◆ excavation en taube jusqu'au niveau - 4 ;
- ◆ exécution du plancher - 4 ;

### Anna Lewandowska



PROFESSEUR ADJOINT  
Ecole Polytechnique de Varsovie,  
Pologne

### Monika Mitew



INGÉNIEUR D'ÉTUDE  
Geokonstrukcja, Pologne

### Jean-Bernard



Kazmierczak  
INGÉNIEUR D'ÉTUDE  
Terrasol, France

### Michel Wojnarowicz

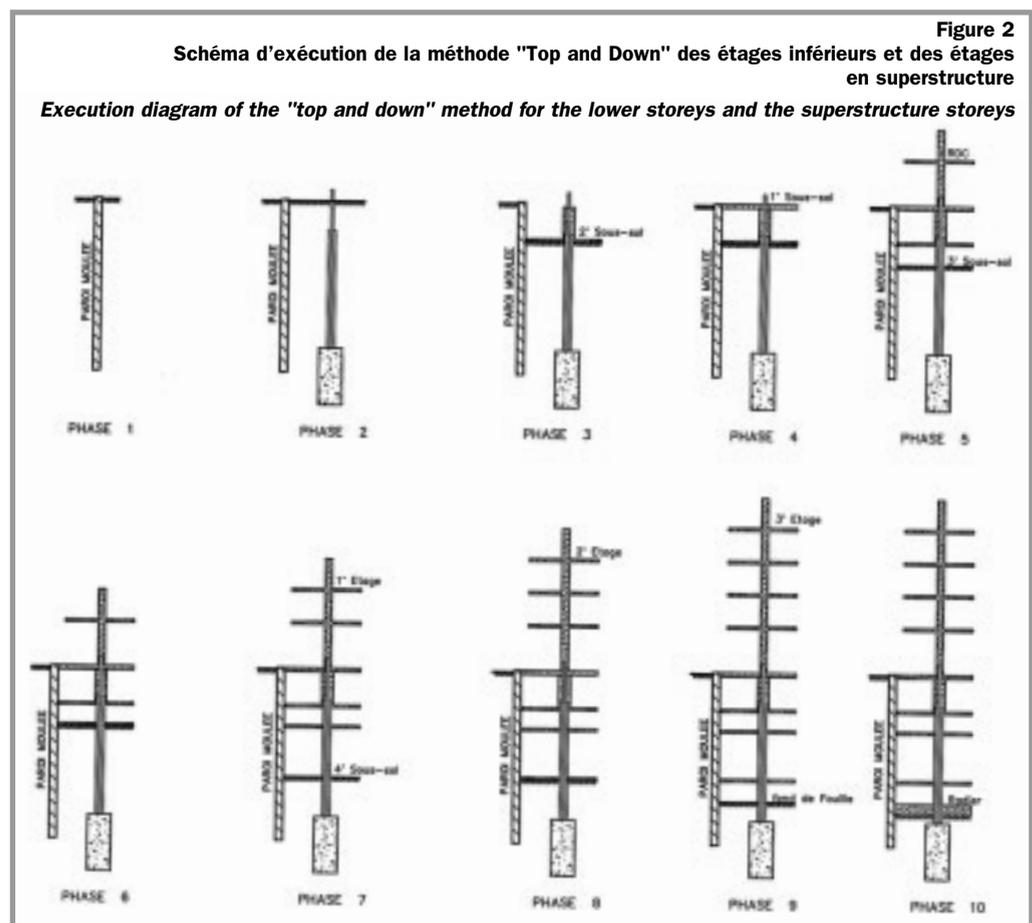


DIRECTEUR  
Terrasol-Geokonstrukcja, France-  
Pologne

### Boleslaw Skwarlinski



DIRECTEUR  
Pia Piasecki SA, Kielce, Pologne





© W. Kamkowski

**Photo 3**  
Terrassements du premier niveau  
entre les poteaux préfondés  
*Earthworks for the first level  
between pre-founded columns*

**Photo 4**  
Excavation de la paroi moulée contiguë  
au central téléphonique  
*Excavation of diaphragm wall  
contiguous with the telephone  
exchange*



- ◆ exécution de la dalle supérieure du niveau 0 ;
- ◆ excavation en taube du niveau - 5 ;
- ◆ exécution du radier ;
- ◆ exécution du plancher du niveau - 3 ;
- ◆ phase finale avec fluage du béton.

### ■ LA PAROI MOULÉE ET LES POTEAUX PRÉFONDÉS

Le calcul de dimensionnement de la paroi moulée a été effectué à l'aide des logiciels RIDO v.4 et PLAXIS v.7. Le calcul des ferrillages et le dessin des cages ont pris en compte les "errements" de la norme polonaise du béton armé.

Le moment maximal dans la paroi moulée est de 50 mt/m et le déplacement maximal calculé de 9 mm, pour des déplacements réels maximaux de

l'ordre de 4 mm. L'effort maximal transmis au plancher du quatrième sous-sol était de 54 t/ml. L'épaisseur de la paroi excavée est de 0,82 m, sur une profondeur de 21,5 m avec une fiche de l'ordre de 4,5 m dans les argiles morainiques grises. Le fond de fouille se situe à la profondeur de 17 m environ. La superficie de la paroi réalisée est de 4900 m<sup>2</sup>. L'exécution de la paroi et des poteaux préfondés dans les terrains consistants a été réalisée à l'aide de deux ateliers Sennobogen 655 et NCK 605 constitués de bennes à câbles et n'a pas posé de problèmes particuliers. La présence de quelques blocs de granit a toutefois nécessité l'utilisation de trépan et l'adaptation de la méthodologie d'excavation des segments (photo 4).

Les poteaux préfondés ont été excavés en 2,80 m par 0,82 m sur 23 m de profondeur en moyenne – profondeur variable en fonction des charges et du critère de tassement. L'objectif des soixante-et-un poteaux préfondés provisoires était de reprendre des charges de l'ordre de 300 à 460 t représentant les quatre étages de la superstructure et des quatre planchers du parking souterrain. En phase d'exploitation, une fois le radier épais coulé, ce dernier reprendra l'ensemble des charges de l'ouvrage (photos 5 et 6).

Cette technologie a été retenue par le client Telekomunikacja Polska SA du fait de l'impossibilité de réaliser des tirants provisoires hors de l'emprise du terrain et de la difficulté de mise en place des butons (forme de la fouille et distance entre les pa-

**Récapitulatif  
du chantier.  
Les principales  
quantités**  
*Project summary.  
The main quantities*

Paroi moulée	Poteau préfondé
<u>Quantités :</u>	<u>Quantités :</u>
Epaisseur 0,80 m	Barrettes 0,80 m par 2,80 m, 36 unités
Périmètre 218 ml	Barrettes 1.0 par 2,85 m, 25 unités
Profondeur 21,50 m	Profondeur de 20,10 m à 24,60 m
Surface forée 4700 m <sup>2</sup>	Surface forée 3600 m <sup>2</sup>
Poids armatures 325 m <sup>3</sup>	Poids armatures 31 tonnes
Volume béton 4000 m <sup>3</sup>	Poids poteaux métalliques 293 tonnes
Poids volumique acier 80 kg/m <sup>3</sup> de béton	Volume béton 1200 m <sup>3</sup>
	Volume moyen injecté en pied de barrette en coulis ciment dosé à 1200 kg/m <sup>3</sup> : 200 l
<u>Réalisation en première phase :</u>	<u>Réalisation en première phase :</u>
Nombre de poste : 2	Nombre de postes : 2
Grue forage : 1 de 55 t et 1 de 45 t	Grue de forage : 1 de 55t et 1 de 45t
Outil de forage : benne à câbles	Outil de forage : benne à câbles
Grue de manutention : 1 de 70 t	Grue manutention : 1 de 70 t
Délai de réalisation : 12 jours	Délai de réalisation : 12 jours
Cadence/poste : 85 m <sup>2</sup> /jour	Cadence poste : 1.4 barrette/jour
<u>Réalisation en deuxième phase :</u>	<u>Réalisation en deuxième phase :</u>
Nombre de postes : 1	Nombre de postes : 1
Grue de forage : 1 de 55 t	Grue de forage : 1 de 55 t
Outil de foration : benne à câbles	Outil de foration : benne à câbles
Grue de manutention : 1 de 70 t	Grue de manutention : 1 de 70 t
Délai de réalisation : 30 jours	Délai de réalisation : 26 jours
Cadence/poste : 90 m <sup>2</sup> /jour	Cadence/poste : 1,7 barrette/jour

**Photo 5**  
Réalisation et mise en place des poteaux préfondés  
*Foundations prepared for pre-founded columns*



rois de l'ordre de 50 m). En outre, la présence d'un bâtiment "sensible" contenant des installations de télécommunications polonaises (fibres optiques, etc.) a orienté ce choix. Cette solution a, par ailleurs, permis un gain de temps de l'ordre de quelques mois sur les travaux. Les poteaux préfondés, simples ou doubles en fonction de leur descente de charge, sont constitués de profilés HEB 260 à 300 renforcés par des fers entrecroisés soudés.

Afin d'améliorer la diffusion des contraintes sur le sol d'assise, ils ont reçu à leur base, une cage d'armature. A la base des poteaux profonds une injection par tubes à manchette horizontale a été exécutée afin d'éviter le risque de tassement lié au mauvais contact possible entre le sol et le béton. Le bétonnage des barrettes s'effectue sur 6 à 7 m sous le radier et, le haut de la barrette est rempli de graviers (photo 7).

Quarante-et-un des soixante-et-un poteaux réalisés ont été utilisés en phase définitive comme poteaux coffrés en élément de 0,5 par 1,0 m du parc de stationnement souterrain.

La mise en place des cages et des poteaux a été réalisée par longueur totale de 21,3 m. Le poids des cages de 3 à 8 t a nécessité des moyens de levage relativement importants (photo 8).

Les parois et les barrettes des poteaux préfondés ont été bétonnées avec un béton B30 dosé à 400 kg/m<sup>3</sup> de ciment spécial résistant aux agressions d'eaux souterraines. Le poids volumique d'acier de la paroi moulée était de l'ordre de 80 kg/m<sup>3</sup> de béton.

## ■ RABATTEMENT DES NAPPES EN COURS DE TRAVAUX

Les deux nappes superficielles dans les remblais et celle contenue dans la moraine supérieure ont été isolées par la paroi moulée périmétrale. L'épuisement à partir du fond de fouille par puisard s'est avéré suffisant pour le terrassement à sec jusqu'au niveau - 5. Pour des raisons de stabilité du fond de fouille, en complément de l'épuisement par puisards, il a été mis en œuvre - à partir du niveau - 3 de terrassement -, un rabattement profond dans la nappe captive.

La nappe captive du préglaciaire a été rabattue d'environ 1,5 m sous le fond de fouille par l'intermédiaire de quatre puits de rabattement crépinés toute hauteur dans la formation préglaciaire. Le débit de rabattement était de 180 m<sup>3</sup>/heure. Cette valeur a bien confirmé les résultats des essais de pompage préalable (photo 9).

## ■ CONCLUSION

L'excavation des parkings du bâtiment de la société de télécommunication polonaise est la plus



**Photo 6**  
Réalisation et mise en place des poteaux préfondés

*Foundations prepared for pre-founded columns*



**Photo 7**  
Dispositif d'injection sous les poteaux préfondés  
*Grouting under the pre-founded columns*



**Photo 8**  
Mise en place des cages de ferrailage  
*Setup of reinforcement cages*



**Photo 9**  
Terrassement sous dalle  
*Earthworks under slab*



importante excavation de Varsovie, exécutée dans des conditions géologiques complexes sur le plan de l'hétérogénéité des faciès, avec la présence de blocs de granit. Le contexte hydraulique était également complexe avec trois niveaux de nappes souterraines et une multitude de niveaux d'eau perchés en charge à différentes profondeurs.

L'exécution du chantier en *Top and Down* est une première, en tant que réalisation d'une entreprise polonaise collaborant avec un sous-traitant et un bureau d'études français dans des conditions de site particulièrement difficiles.

**LES PRINCIPAUX INTERVENANTS**

**Maitre d'ouvrage**

Telekomunikacja Polska SA

**Architectes**

Apar Projekt et Arca associés aux bureaux d'études :

- TMJ Projekt
- Geokonstrukcja

**Entreprises**

- Spie Foundations
- Pia Piasecki SA

**ABSTRACT**

**The Telekomunikacja Polska SA tower in Warsaw**

*A. Lewandowska, M. Mitew, J.-B. Kazmierczak, M. Wojnarowicz, B. Skwarlinski*

The construction of a 122-m tower with a helicopter landing pad, an outside lift and five underground levels, designed to house the offices of the Polish telecommunications services, is one of the deepest structures in Poland, carried out under very complex geological and geotechnical conditions. This 32-storey tower with a floor area of 4,700 m<sup>2</sup> is built according to the "top and down" technique.

This new technique in Poland was carried out entirely by the Polish general contractor Pia Piasecki SA and its special foundation subcontractor Spie Foundations for the diaphragm wall and pre-founded columns.

The architectural design was prepared by the Polish architectural office Apar, associated for the superstructure with the engineering office TMJ and, for the diaphragm wall and infrastructure, with the engineering office Geokonstrukcja.

**RESUMEN ESPAÑOL**

**La torre Telekomunikacja Polska S.A. de Varsovia**

*A. Lewandowska, M. Mitew, J.-B. Kazmierczak, M. Wojnarowicz y B. Skwarlinski*

La construcción de una torre de 122 m de altura, con un área de aterrizaje para los helicópteros, un ascensor exterior y cinco sótanos, destinada a alojar los servicios de telecomunicaciones polacos, es una de las estructuras ejecutadas a mayor profundidad en Polonia, en cuya construcción se ha tropezado con condiciones geológicas y geotécnicas sumamente complejas.

Esta torre de 32 niveles y una superficie exterior de 4700 m<sup>2</sup> se ha construido según la técnica "Top and Down". Esta nueva técnica en Polonia ha sido ejecutada en su totalidad por la empresa polaca de contratación general de obras Pia Piasecki S.A. y su subcontratista para cimentaciones especiales Spie Foundations para la pantalla continua, y los pilares precimentados.

El proyecto arquitectónico ha sido elaborado por el gabinete de arquitectos

**Apar, en asociación para la superestructura con el gabinete de estudios Geokonstrukcja.**

# Le projet Egnatia Odos en Grèce

## Un axe d'importance européenne

La Grèce est le pays le plus au sud et le plus à l'Est de la Communauté européenne. Le développement de son réseau autoroutier est devenu une nécessité vitale pour assurer à la fois les grandes liaisons intérieures et les communications avec les pays voisins. Avec l'aide de la Communauté européenne, le projet Egnatia Odos a pu voir le jour en 1995. Ce projet, d'une longueur de 680 km est remarquable à plusieurs titres. Tout d'abord par sa longueur, c'est en effet le plus grand axe autoroutier jamais construit dans le pays.

Il dépasse en longueur la liaison autoroutière Patras-Athènes-Thessaloniki, débutée il y a plus de 20 ans. C'est ensuite la première expérience grecque en matière de concession autoroutière, de maîtrise d'ouvrage privée et de maîtrise d'œuvre privée avec un financement à hauteur de 60 % par la Communauté européenne et 40 % par l'Etat grec. Ce projet vital pour l'économie du nord de la Grèce permettra de relier l'ouest à l'Est du pays et d'assurer des communications rapides entre la Grèce, l'Albanie, la FYROM, la Turquie et la Bulgarie. De plus, quatre ports et six aéroports seront reliés entre eux par cette nouvelle infrastructure terrestre. Le temps de parcours sera réduit de 4 heures par rapport à la route nationale actuelle.

C'est aussi un défi technique par le nombre d'ouvrages d'art, de tunnels et de volumes de terrassements à réaliser dans une zone où la topographie est particulièrement accidentée. Ce sont tous ces aspects qui seront décrits dans cet article.

Mais tout d'abord un peu d'histoire, à titre d'entrée en matière tout à fait logique pour parler d'un projet dans l'un des berceaux de l'Antiquité.

### ■ LES ORIGINES DE LA VIA EGNATIA

L'ancienne Via Egnatia, dont le projet actuel emprunte les 2/3 du tracé, existait depuis l'époque romaine. Elle fut nommée ainsi par le proconsul Gaius Ignatus au II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. Sa longueur atteignait à l'époque 800 km et était au-delà de la mer Adriatique, une extension de la Via Appia qui s'achevait à Brindisi au sud de l'Italie. Elle traversait l'Albanie, à partir de Dyrrhachum, le sud de l'ancienne Yougoslavie, la Grèce du Nord en passant par les sites archéologiques célèbres de Pella (fondée par Alexandre le Grand), Thessaloniki, Amphipolis, Philippi, puis la Thrace à Trajanoupolis, Kipsela (frontière Turque), Byzantium (actuel Istanbul). Elle joua un rôle important sur le plan militaire, commercial et culturel. Saint-Paul l'emprunta pour prêcher le christianisme. Cet axe continua à jouer ce rôle durant l'époque byzantine et l'empire ottoman. Elle était jalonnée de bornes en pierre appelées "Militaria" sur lesquelles étaient inscrites les distances et différentes informations.

Le projet actuel – qui connectera la mer Ionienne à l'ouest à la mer Noire à l'Est – fera revivre cet axe antique pour lui faire jouer le même rôle d'échanges mais avec la géométrie d'une infrastructure moderne (figure 1 et photo 1).

### ■ ORGANISATION ADMINISTRATIVE DU PROJET

#### Organisation de la maîtrise d'ouvrage

Les principaux bailleurs de fond pour ce projet sont la Communauté européenne à hauteur de 60 % et l'Etat grec à hauteur de 40 %. L'Etat grec a décidé de privatiser la construction et l'exploitation de cet axe autoroutier sous la poussée de la Communauté européenne. En 1995, la société anonyme "Egna-



Photo 1  
Bornes en pierre et vue  
des vestiges de la via Egnatia

*Milestones and view  
of vestiges of Via Egnatia*



Figure 1  
L'ancienne voie  
Egnatia à l'époque  
romaine

*The old Egnatia road  
in Roman times*

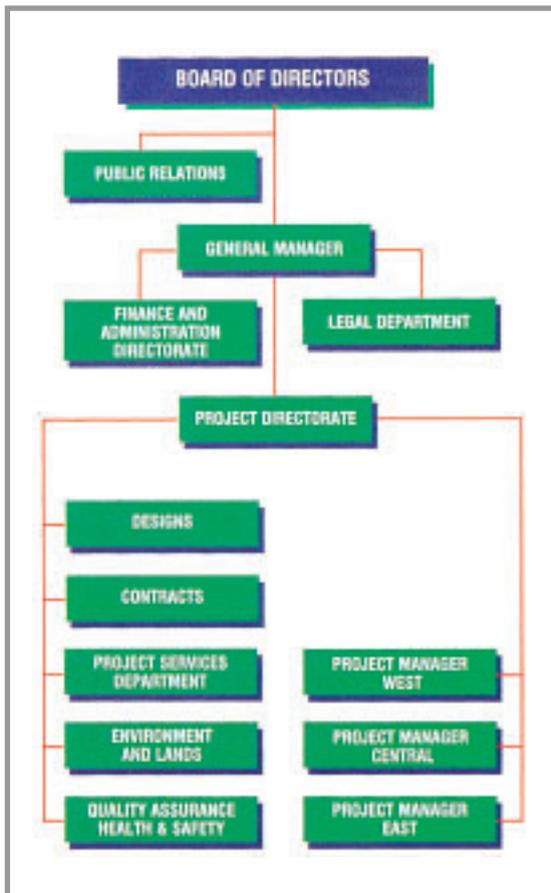


Figure 2  
Organigramme général de la société "Egnatia Odos"  
General organisation chart of the company "Egnatia Odos"

### L'AUTOROUTE EGNATIA ODOS

#### Liaison Igoumenitsa (côte ouest) à Kipi (frontière turque à l'est)

- Longueur : 687 km

#### Départements desservis

- Thesprotia, Ioannina, Trikala, Grevena, Kozani, Imathia, Thessaloniki, Serres, Kavala, Xanthi, Rodopi, Evros

#### Liaisons frontalières

- Albanie, République de Macédoine, Bulgarie, Turquie par neuf itinéraires perpendiculaires

#### Villes desservies

- Igoumenitsa, Ioannina, Metsovo, Grevena, Kozani, Veria, Thessaloniki, Kavala, Xanthi, Komotini, Alexandroupoli

#### Liens portuaires

- Igoumenitsa, Thessaloniki, Volos, Kavala, Alexandroupoli

#### Liens aéroportuaires

- Ioannina, Kastoria, Kozani, Thessaloniki, Volos, Kavala, Alexandroupoli

#### Traversée de :

- 332 villages et 30 zones touristiques

#### Engagements particuliers pour :

- les fouilles archéologiques
- la protection des monuments historiques
- la protection de la nature

#### Coût estimé du projet

- 750 billions de Drs soit 15 milliards de F

#### Montage financier

- 460 billions de Drs approuvés
- Communauté européenne : 60 %
- Etat grec : 40 %
- Prêt de 70 billions Drs par European Investment Bank

tia Odos SA" a été créée. Cette société a pour seul actionnaire l'Etat grec par l'intermédiaire du ministère des Travaux Publics et du ministère de l'Environnement.

La société Egnatia Odos constitue une expérience pilote pour améliorer la construction routière en Grèce. Les missions de cette société sont comparables à celles des directions de la construction des SEMCA françaises.

Egnatia Odos assure le management général du projet et la gestion administrative et financière des contrats de travaux. Les principales tâches assurées depuis 1995 ont concerné les opérations suivantes :

- ◆ reprise des projets et contrats de travaux déjà engagés par le ministère des Travaux Publics ;
- ◆ élaboration des projets et des marchés de travaux des nouvelles sections ;
- ◆ lancement des appels d'offres et attribution des marchés ;
- ◆ conduite d'opérations en phase travaux.

Pour assurer le meilleur contrôle de la qualité, des coûts et des délais, une organisation spécifique a été mise en place. Cette organisation dans sa structure correspond aux directives européennes pour les projets financés par la communauté (figure 2). Pour assurer l'ensemble de ses missions Egnatia Odos a fait appel à des consultants étrangers à la suite d'une consultation internationale. Cette consultation a porté sur deux types de missions :

- ◆ assistance maîtrise d'ouvrage dans le domaine des études et de la conduite d'opérations (*project management*) ;
- ◆ maîtrise d'œuvre travaux (*construction management*).

La mission d'assistance maîtrise d'ouvrage a été confiée à Brown and Roots, société américaine intervenant par sa filiale anglaise. La mission de maîtrise d'œuvre travaux a été confiée selon les secteurs géographiques aux trois groupements de consultants suivants :

- ◆ secteur ouest 130 km : Sogelerg (France) - Omek (Grèce) - Lahmeyer (Allemagne) ;
- ◆ secteur centre 267 km (dont 70 km en service) : Delew Cather Overseas (US) - Domotechniki (Grèce) ;
- ◆ secteur Est 290 km (dont 51 en service) : Sctauroute (France) - Dorsch Consult (filiale Egis en Allemagne) - Ado (Grèce).

On remarquera également sur l'organigramme la présence des départements Environnement et Foncier et du département Assurance Qualité, Sécurité Santé. Cela traduit les efforts que cette société veut accomplir pour améliorer son action dans ces domaines.

Les entités de conduite d'opérations sont basées tout au long du tracé dans les villes de Ioannina - Kozani - Thessaloniki - Kavala - Komotini. Cette conduite d'opérations est souvent assurée par un tandem grec-anglais.

Photo 2  
Vue du laboratoire de contrôle extérieur de la joint venture Egnaconsult et de la presse à béton sur le site de Kavala  
View of control laboratory outside of the Egnaconsult joint venture, and of the concrete press at the Kavala site



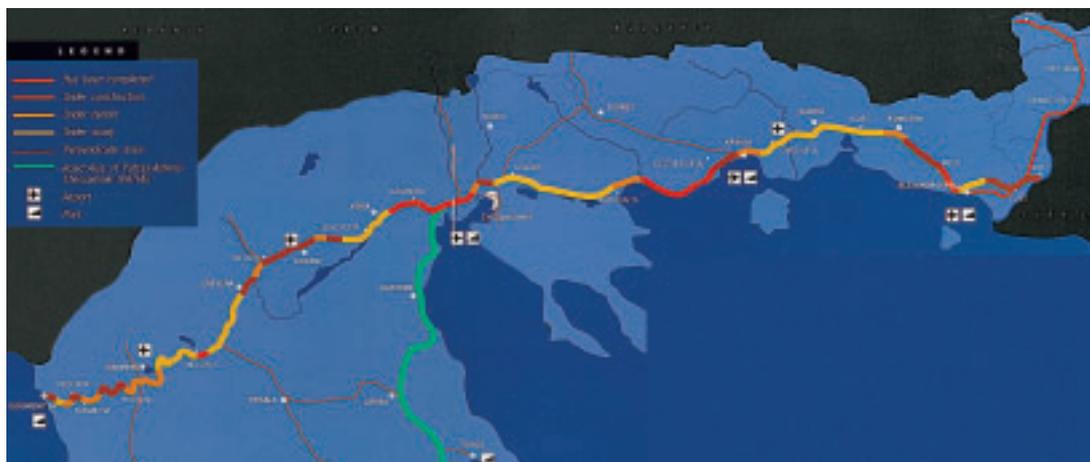


Figure 3  
Situation générale du projet  
General location of project

### PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIAISON IGOUMENITSA - KIPi

- 2 x 2 voies et 24,5 m de plateforme revêtue
- 720 km de voies latérales et de service
- 40 voies de liaison avec le réseau existant incluant les neuf itinéraires d'accès aux frontières, perpendiculaires au tracé
- 353 points d'entrées et sorties
- 190 grands viaducs et nombreux petits viaducs d'une longueur totale de 40 km
- 15 grands tunnels et nombreux petits tunnels et tranchées couvertes d'un longueur totale de 30 km
- 43 traversées de grandes rivières
- 11 croisements de voies ferrées

### Organisation de la maîtrise d'œuvre

Il ne sera décrit ici que l'organisation de la maîtrise d'œuvre du secteur est, dans laquelle Scetauroute et le groupe Egis sont particulièrement impliqués. La maîtrise d'œuvre est constituée par le groupement Egna Consult, composé de Scetauroute, Dorsch et Ado.

Le secteur Est comporte actuellement 210 km de travaux en cours, repartis sur quatre sections. Chaque section a été divisée en sous-sections faisant l'objet de contrats de travaux particuliers. Ces contrats de travaux sont de type entreprise générale comprenant les travaux d'infrastructure tels que – terrassements, ouvrages d'arts, tunnels, chaussées, assainissement, mais aussi tous les travaux de signalisation, glissières, clôtures, aménagements paysagers, équipements électromécaniques, régulation de trafic, etc. – d'où des montants de marchés très importants.

Les équipes de maîtrise d'œuvre du secteur Est se composent :

- ◆ du bureau central de construction management assurant la gestion administrative générale et l'assistance technique aux implantations sur site, dans le domaine des terrassements chaussées, ouvrages d'art et de la qualité. Ce bureau est implanté à Kavala.

- ◆ de quatre divisions travaux implantées à Asprovalta (section 11), Kavala (sections 13 et 14.1.1), Komotini (section 14.2.2 à section 15.2) - Alexandroupoli (sections 15.3 à 15.8).

Les missions assurées par la maîtrise d'œuvre sont :

- ◆ la liaison avec la maîtrise d'ouvrage ;
  - ◆ la maîtrise d'œuvre générale travaux ;
  - ◆ le contrôle des coûts et des plannings des contrats de travaux ;
  - ◆ le contrôle des études d'exécution établies par les entrepreneurs ou fournies par le maître d'ouvrage ;
  - ◆ le contrôle de constructibilité des projets ;
  - ◆ les expertises techniques ;
  - ◆ le contrôle des quantités de travaux ;
  - ◆ le contrôle qualité en tant que contrôle extérieur.
- Dans le cadre du contrôle extérieur de la qualité,

le groupement Egna Consult a mis en place des ingénieurs de contrôle qualité spécialisés dans chaque division travaux et a construit deux laboratoires de contrôle extérieur (un à Kavala et un à Komotini). Ils assurent les essais courants de terrassement, béton, granulats et enrobés bitumineux (photo 2).

Tous les contrats de travaux imposent aux entrepreneurs une organisation de contrôle qualité comprenant la mise en place d'un laboratoire assurant les besoins du contrôle intérieur.

Les procédures de contrôle qualité ont été établies conjointement par Egnatia et Egna Consult dans le but de se faire certifier ISO 9002. Après deux années de mise en application, ces procédures sont en cours de révision pour s'adapter aux réalités locales.

C'est donc toute une modification en profondeur des comportements des entrepreneurs qu'il faut opérer. C'est d'autant plus ardu que le système d'appel d'offres utilisé n'incite pas les entrepreneurs à faire des dépenses supplémentaires dans ce domaine.

En effet, le système d'appel d'offres choisi est basé sur un bordereau des prix national sur lequel les entrepreneurs doivent proposer des rabais pour se voir attribuer le marché. Certains contrats ont fait l'objet de rabais de 60 % sur le prix national.

En conclusion, cette organisation est aussi une particularité du projet car elle n'avait jamais été pratiquée auparavant dans le pays et comme tout système nouveau, elle requière une période de rodage plus ou moins longue.

### ■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

#### Les données socio-économiques et techniques

Les aspects socio-économiques et techniques du projet sont très importants à décrire. Les encadrés "L'autoroute Egnatia Odos" et "Les caractéristiques techniques" résument l'ensemble de ceux-ci. Ils permettent de mesurer la taille et l'impact de cette infrastructure pour le nord du pays (figure 3).

Tableau I  
Descriptif général  
et grands ouvrages d'art  
General description  
and major structures

SECTEURS	projets	long km	VIADUCS		TUNNELS & tranchées couvertes		commentaires
			long tot	nombre	nombre	long tot	
SECTEUR OUEST 130,4 Km	IGOUMENITSA	89			3	560 m 535 m & 3100	22 contrats secteur ouest
	PEDINI	33,4	7500 m		5	4000 m total	
	PERISTERI				5	3500 m 3x1300 m 1900 m	
	PANAGIA						
SECTEUR CENTRE 267 Km	PANAGIA	110			4	1980 m	15 contrats secteur centre
	POLYMYLOS	34		7	19	2587 m	
	POLYMYLOS						EN SERVICE
	KOULOURA						
CENTRE 267 Km	KOULOURA	51					EN SERVICE
	RING ROAD THESSALONIKI						
	RING ROAD THESSALONIKI	18					EN SERVICE
	DERVENI			11	16		
SECTEUR EST 290 Km	RENTINA	31	1400 m	9	5	1235 m	EN SERVICE
	STRYMONAS	51					
	NEA PERAMOS						18 contrats secteur est
	AG ANDREAS	32	2425 m	9	4	965 m	
	NEA KARVALI	73	3670 m	28			
	NEA KARVALI						
KOMOTINI	103	527 m	11				
KIP1							
		687,4					

Photo 3  
Tunnel de Metsovo

Metsovo tunnel



Photo 4  
Section de Kavala. Grands terrassements en terrains rocheux

Kavala section. Earthworks and rocky terrain



### Les trois secteurs du projet

Le projet a été divisé en trois secteurs opérationnels de longueurs inégales mais de coûts sensiblement identiques. Le tableau I résume les particularités de chaque secteur. On notera le nombre très important de tunnels et de viaducs dans toutes ces sections.

#### Le secteur Ouest (130 km) Igoumenitsa-Panagia

Il est marqué par une topographie très accidentée et par un environnement particulièrement sensible. Un effort particulier a été fait au niveau du projet pour protéger la flore, la faune, le paysage et les vestiges archéologiques tels que le théâtre de Dodoni. La technique de tranchée couverte (*cut and cover*) a été largement utilisée pour permettre de reconstituer l'environnement et éviter des coupures

Figure 4  
Tracé du secteur est - Alignment of East sector



par de grands déblais. D'autres dispositions ont été adoptées pour les aménagements paysagers afin d'assurer une bonne intégration dans le milieu naturel (photo 3).

#### Le secteur Centre (267 km) Panagia-Rentina

Il comprend une partie déjà en service construite par l'Etat (69 km) et qui inclut le périphérique de Thessaloniki. La partie ouest de ce secteur traverse les zones montagneuses présentant un grand intérêt écologique et touristique jusqu'à la ville de Veria. De nombreux passages pour animaux sauvages y ont été aménagés et prévus dans les projets.

La partie Est de ce secteur est marquée par le contournement de l'agglomération de Thessaloniki (1 000 000 d'habitants) et par la traversée d'une riche plaine agricole dans une dépression occupée en partie par deux grands lacs.

#### Le secteur Est (290 km) Rentina-Kipi

Il comprend 210 km en cours de travaux et une partie en service longue de 51 km de route nationale existante, entre Strymonas et Nea Peramos. Sur cette portion existante, un tracé alternatif plus direct a été choisi. Ce tracé plus à l'intérieur des terres permettra de rendre à la route nationale son caractère de route touristique le long de la côte. Ce secteur est marqué à l'ouest par la traversée de deux zones accidentées et particulièrement sensibles sur le plan environnemental. Il s'agit des sections Rentina-Strymonas (31 km) et le contournement de Kavala (32 km) qui comprennent la construction de grands viaducs et de nombreux tunnels et tranchées couvertes. Au-delà de Kavala et jusqu'à la frontière turque (176 km), le projet traverse des zones collinaires et des zones de plaines côtières dans le secteur de Komotini. De nombreux viaducs sont à construire pour franchir plusieurs rivières, routes ou voies ferrées importantes (photo 4).

## ■ PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DU SECTEUR EST

Scetauroute, Dorsch et leur partenaire grec Ado assurent la maîtrise d'œuvre pour laquelle une présentation détaillée est faite dans cet article. Actuellement, il y a 210 km de chantier en cours repartis sur quatorze contrats de travaux. Environ 50 km doivent être mis en service d'ici fin 1999 ou début 2000 (figure 4).

### Géométrie générale et particularités de chaque section

#### Profils en travers

Pour la section courante, les options générales suivantes furent retenues :

- ◆ plate-forme revêtue : 24,50 m ;
- ◆ 2 x 2 voies de 3,75 m ;
- ◆ BAU de 2,50 m ;
- ◆ TPC de 4,50 m avec deux DBA au centre ;
- ◆ berme de 2 m de remblai ;
- ◆ berme + cunette de 3,50 m en déblai.

Ces options aboutissent à des largeurs de voies et de plates-formes sensiblement supérieures à celles du réseau autoroutier français.

#### Particularités de chaque section

##### Section Asprovalta - Strymonas - 22 km (contrat 11.2.3)

Cette section traverse une zone particulièrement accidentée au niveau topographique. Elle nécessite la réalisation de grands remblais pouvant atteindre 25 m et de grands déblais de plus de 35 m de profondeur, la construction de neuf viaducs d'une longueur totale de 1 375 m, d'un tunnel de 250 m et de quatre tranchées couvertes, 90 ouvrages hydrauliques type dalots 2 x 2 ou 3 x 3 et ouvrages voûtés de 5,50 m x 5,50 m et 21 ouvrages courants type PS ou PI.

L'environnement y est particulièrement sensible car le projet contourne une zone touristique très fréquentée en période estivale et traverse des zones d'intérêt archéologique (photo 5).

##### Section Nea Peramos - Nea Kavali (contournement nord de la ville de Kavala) (contrats 13) - 23,4 km de travaux

(photos 6 à 9)

Cette section traverse également des zones particulièrement accidentées et sensibles sur le plan de l'intégration dans le paysage. Elle nécessite la réalisation de grands terrassements, en déblais et en remblais dans des calcaires plus ou moins fracturés ou très massifs, deux tunnels de 250 m, deux tranchées couvertes d'une longueur totale de 410 m, dix viaducs d'une longueur cumulée de 2 425 m, 26 grands dalots, neuf passages inférieurs.



Photo 5  
Bétonnage du tablier d'un passage supérieur à une travée précontrainte de 34 m  
*Concreting of deck on an overpass with a prestressed span of 34 m*



Photo 6  
Vue de la tête d'un tunnel  
*View of tunnel head*



Photo 7  
Vue des piles et des culées d'un viaduc type VIPP  
*View of piers and abutments of a VIPP-type viaduct*



Photo 8  
Vue des poutres sur piles et du lanceur  
*View of girders on piers and launcher*



Photo 9  
Vue de l'intrados des tabliers d'un viaduc VIPP double traités avec dalle de continuité du hourdis  
*View of underside of a VIPP 2 viaduct deck, with hollow block continuity slab*

projets	sections	longueurs totales km	nombre échange	VOLUME par Km en m3	DEBLAIS				REMBLAIS volumes totaux m3	EMPRUNTS REMBLAIS total volumes m3	COUCHE DE PORME matériaux Nébo-garve m3
					volumes totaux m3	matériaux maillés m3	matériaux semi rocheux m3	matériaux rocheux m3			
ASPROVALTA STRYMONAS	11.2 & 11.3	22	1	485.964	6.620.000	703.308	2.733.308	3.190.000	4.110.000	86.308	21.000
NEA PIRAMOS PALIO	13.2	3,4	1	225.917	1.314.200	44.900	1.136.300	134.200	816.000	0	0
KAVALA BY PASS	13,6,6,8 & 13,7	11,6 2,6	1	381.384	1.138.000	333.300	828.300	196.000	2.230.000	713.000	180.000
NEA KAVALI XRSOPOULIS	14.1.1	18	1	378.793	1.728.000	603.300	838.300	800.000	3.200.000	1.888.000	80.000
VANANO XANTHI	14.2.2	18,2	2	423.328	1.128.000	303.300	30.000	308.000	1.108.000	1.888.000	180.000
XANTHI IASMOS	14.2.3 & 14.3.1	20	1	245.080	808.000	800.000	208.000	108.000	1.900.000	1.900.000	130.000
IASMOS KOMOTINI W	14.3.2 & 15.1.1	17 2,6	1	387.847	1.808.000	468.300	208.000	308.000	4.108.000	3.108.000	130.000
KOMOTINI W KOMOTINI E	15.1.2	8,8	1	130.947	428.300	218.300	708.300	114.000	748.000	311.000	37.000
KOMOTINI E STRYMI	15.2	15,7	1	172.930	1.788.000	282.000	1.189.000	364.000	860.000	0	130.000
STRYMI MESTI	15.3	14	1	254.271	1.722.000	338.000	808.300	438.300	1.208.000	0	82.000
MAKRI ALEXANDROUPOLI E	15.8 15,8	28	3	276.923	4.208.000	880.000	1.080.000	2.408.000	2.908.000	0	100.000
ALEXANDROUPOLI E PYLEA	15.7	15,8		283.038	2.871.300	112.000	623.300	1.136.300	1.188.300	0	100.000
PYLEA KIFI	15.8	18	1	250.444	1.308.300	280.000	583.300	1.808.000	1.208.300	0	118.000
<b>TOTAUX</b>		<b>210,1</b>	<b>18</b>	<b>382.938</b>	<b>28.833.200</b>	<b>8.888.300</b>	<b>18.181.800</b>	<b>12.823.200</b>	<b>28.748.000</b>	<b>18.784.000</b>	<b>1.084.000</b>

**Tableau II**  
Terrassements généraux du secteur Est - General earthworks of East sector

projets	sections	Longueurs km	nombre d'échanges	décharge profond Km	assainissement de surface Km	DALOTS en OH nombre	Passages superieurs nombre	Passages inferieurs nombre	VIADUCS nombre long tot	TUNNELS nombre long tot	Tranchées couvertes nombre long tot
ASPROVALTA STRYMONAS	11.2 & 11.3	22	1	27	11	58	0	12	3	1	4
NEA PIRAMOS PALIO	13.2	3,4	1	10	3,3	12		1	1373 m	246 m	380 m
KAVALA BY PASS	13,6,6,8 & 13,7	11,6 2,6	1	36	36	14		0	86,8 m 8 (2985 m)	238 m	410 m
NEA KAVALI XRSOPOULIS	14.1.1	18	1	35	40	58	5	12	250 m	280 m	
VANANO XANTHI	14.2.2	18,2	2	8	10	43	2	11	8		
XANTHI IASMOS	14.2.3 & 14.3.1	20	1	4,80	18	47		17	1280 m		
IASMOS KOMOTINI W	14.3.2 & 15.1.1	19,8	1	8,2	8,3	18	1	10	8	4080 m	
KOMOTINI W KOMOTINI E	15.1.2	8,8	1	8	8	2		3	720 m		
KOMOTINI E STRYMI	15.2	15,7	1	4,35	28	18	6	1	480 m		
STRYMI MESTI	15.3	14	1	12,5	2	19	2	4	480 m		
MAKRI ALEXANDROUPOLI E	15.8 15,8	28	3	44	38	74	7	13	180 m		
ALEXANDROUPOLI E PYLEA	15.7	15,8		32	24	43	3	1	180 m		
PYLEA KIFI	15.8	18	1	19	28	39	8	8	182 m		
<b>TOTAUX</b>		<b>210,1</b>	<b>18</b>	<b>248,53</b>	<b>148</b>	<b>405</b>	<b>41</b>	<b>100</b>	<b>3284,5 m</b>	<b>581 m</b>	<b>1480 m</b>

**Tableau III**  
Ouvrages hydrauliques, ponts courants, viaducs, tunnels et tranchées couvertes du secteur Est  
Hydraulic structures, current bridges, viaducts, tunnels and cut-and-cover sections of the East sector

**Tableau IV**  
Chaussées, signalisation et glissières de sécurité du secteur Est  
Pavements, signing and crash barriers of the East sector

projets	sections	longueurs km	nombre d'échanges	assés non traités			craie 20 cm m2	bitumineux 20 cm m2	signal vertical unité	signal horizontal m2	glissières m
				couche drainante m2	fond 1 20 cm m2	fond 2 20 cm m2					
ASPROVALTA STRYMONAS	11.2 & 11.3	22	1	138.900	630.000	838.000	888.000	898.000	210	80.000	80.000
NEA PIRAMOS PALIO	13.2	3,4	1	48.000	240.000	260.000	128.000	120.000	180		8.000
KAVALA BY PASS	13,6,6,8 & 13,7	11,6 2,6	1	708.000	471.000	278.000	468.000	488.000	380	20.000	88.000
NEA KAVALI XRSOPOULIS	14.1.1	18	1	128.000	680.000	700.000	800.000	488.000	520	40.000	41.000
VANANO XANTHI	14.2.2	18,2	2	88.000	130.000	180.000	308.000	458.000		10.000	45.000
XANTHI IASMOS	14.2.3 & 14.3.1	20	1	128.000	736.000	790.000	700.000	700.000	380	1.000	40.000
IASMOS KOMOTINI W	14.3.2 & 15.1.1	19,8	1	138.000	190.000	678.000	700.000	708.000	380	30.000	43.000
KOMOTINI W KOMOTINI E	15.1.2	8,8	1	28.000	182.000	170.000	760.000	768.000	180	15.000	30.000
KOMOTINI E STRYMI	15.2	15,7	1	80.000	628.000	660.000	468.000	468.000	480	38.000	27.000
STRYMI MESTI	15.3	14	1	100.000	480.000	460.000	270.000				
MAKRI ALEXANDROUPOLI E	15.8 15,8	28	3	708.000	98.000	90.000	83.000	78.000	178	30.000	38.000
ALEXANDROUPOLI E PYLEA	15.7	15,8		88.000	848.000	888.000	370.000	328.000	380	30.000	40.000
PYLEA KIFI	15.8	18	1	178.000	858.000	385.000	370.000		380	30.000	28.000
<b>TOTAUX</b>		<b>210,1</b>	<b>18</b>	<b>1.278.000</b>	<b>8.768.000</b>	<b>8.821.000</b>	<b>8.123.000</b>	<b>4.281.000</b>	<b>2.988</b>	<b>283.000</b>	<b>647.000</b>



Les viaducs sont de type VIPP avec poutres lancées précontraintes d'une longueur de 35 m en moyenne.

**Section Nea Kavali - Xanthi Komotini (contrats 14 et 15.1.2) - 75 km de travaux**

Cette section traverse une zone collinaire sur 26 km puis une zone de plaine entre Xanthi et Komotini avec des passages en zone de sols compressibles dans le secteur du lac Vistonida. Les terrassements comprennent de nombreux remblais et nécessitent l'ouverture de nombreux emprunts pour un volume total de 8 500 000 m³. Sur le plan hydraulique, cette section est également difficile car elle traverse des zones inondables, de nombreux cours d'eau et l'importante rivière Nestos. Elle nécessite la construction de 166 dalots 2 x 2 ou 3 x 3, 26 viaducs d'une longueur totale de 3670 m, et 61 ouvrages d'art courants.

**Section Komotini - Alexandroupoli - Kipi (contrats 15.2 à 15.8) - 90 km de travaux**

Cette section traverse une zone de plaines et de petites collines entre Komotini et Mesti (30 km) avec la traversée du fleuve Philouri, puis une zone collinaire à fortes ondulations entre Makri et la frontière turque (60 km). Cette section nécessite la réalisation d'un très gros volume de terrassement en déblai de l'ordre de 14 millions de mètres cubes. De plus, 183 dalots, 11 viaducs d'une longueur totale de 1 327 m et 52 ouvrages d'art courants doivent être réalisés pour franchir les nombreuses routes, rivières et voies ferrées qui sont croisées (photo 10).

**Principales quantités de travaux à réaliser**

Les tableaux II, III, et IV indiquent les principales quantités de travaux à réaliser par section dans les domaines suivants :

- ◆ terrassements généraux;
- ◆ ouvrages hydrauliques type dalots;
- ◆ ouvrages de drainage profond;
- ◆ assainissement de surface;
- ◆ ouvrages d'art courants PS et PI;
- ◆ viaducs;
- ◆ tunnels;
- ◆ tranchées couvertes;
- ◆ chaussées;
- ◆ signalisation;
- ◆ glissières de sécurité.

Il est possible d'en déduire les difficultés techniques particulières à chacune des sections à partir du descriptif général qui en a été fait précédemment. Ces tableaux appellent aussi les commentaires suivants par nature de travaux.

**Terrassements généraux (tableau II)**

Les sections Asprovalta - Strymonas (22 km) et Va-

niano - Xanthi (20 km) présentent un volume moyen de terrassement au kilomètre très élevé, ce qui traduit le caractère très vallonné de la zone dans le premier cas et l'option de projet prise dans le second cas.

La moyenne sur l'ensemble des sections s'établit à 283000 m<sup>3</sup>/km, ce qui dénote d'un choix de projet favorisant un profil en long avec des faibles pentes. En effet, sur l'ensemble du secteur, les pentes en profil en long ne dépassent pas 4 % et aucune voie poids lourds n'a été envisagée.

**Ouvrages hydrauliques et ouvrages d'art courants** (tableau III)

Le ratio moyen de dalots s'établit à 2,2 ouvrages par kilomètre, ce qui montre le nombre important de vallées et de cours d'eau traversés. Le ratio d'ouvrages courants s'établit à 0,7 ouvrage par kilomètre. C'est une situation courante pour un projet autoroutier avec carrefours dénivelés.

A noter qu'une partie des dalots sert à rétablir aussi des chemins d'exploitations agricoles. La longueur de viaduc représente 8395 m soit environ 4 % du linéaire. La longueur maximale des viaducs ne dépasse jamais 500 m dans ce secteur.

**Les tunnels et tranchées couvertes**

Ils s'avèrent nécessaires pour traverser des zones assez escarpées. Toutefois, le choix des tranchées couvertes est lié soit à des raisons environnementales pour éviter les grands déblais ou pour des raisons techniques telles que déblais en aval de zones sujettes à des éboulements de terrain ou aux chutes de blocs rocheux.

**Les chaussées et les équipements de sécurité** (tableau IV)

On notera le volume très important de graves non traitées en assise. En effet, la structure comprend généralement les couches suivantes :

- ◆ couche drainante 20 à 30 cm ;
- ◆ couche de fondation en GNT de 40 cm d'épaisseur en deux couches ;
- ◆ couche de base en grave bitume épaisseur 20 cm ;
- ◆ béton bitumineux de liaison 5 cm ;
- ◆ couche antidérapante type BBM d'épaisseur 4 cm, soit une épaisseur totale de 1 m de chaussée.

Aucune assise traitée n'a été envisagée sur ce secteur.

Un effort particulier est fait sur les équipements de sécurité. Un linéaire très important de glissières en béton sera réalisé du fait du choix systématique de ce dispositif en TPC.

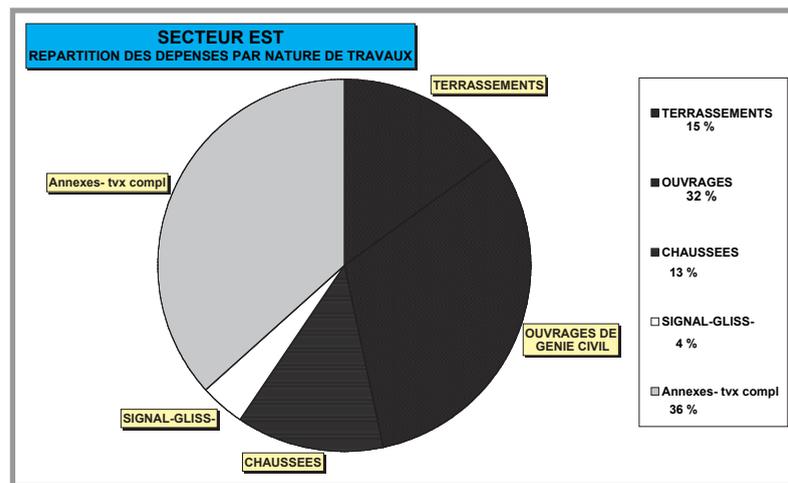
**Budget du secteur Est**

Les figures 5 et 6 montrent la répartition des budgets par nature de travaux et par contrats (base marchés de travaux TTC).

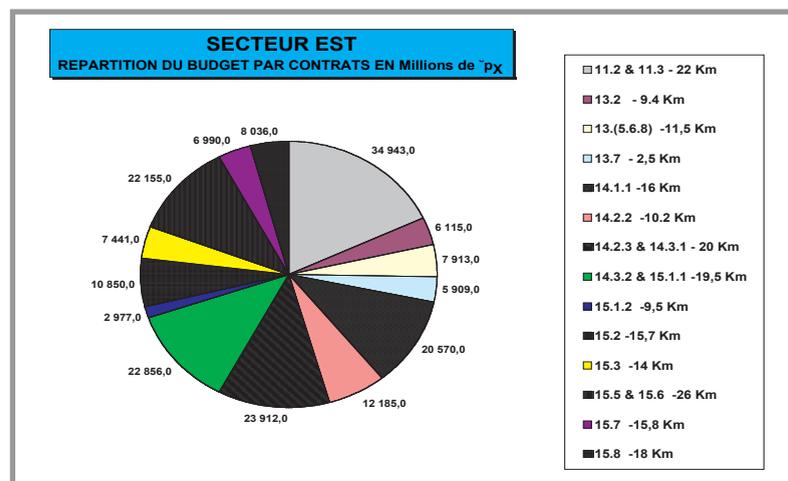


**Photo 10**  
Vue du tracé dans une zone collinaire près de Kipi avec assise de chaussée en grave non traitée et cunettes en béton

*View of alignment in a hilly zone near Kipi with untreated road base and concrete guttering*



**Figure 5**  
Budget du secteur Est par nature de travaux  
*Budget of East sector by type of works*



**Figure 6**  
Répartition du budget par contrats en millions de drachmes  
*Breakdown of budget by contracts in millions of drachmas*

Ces documents appellent les commentaires généraux suivants :

- ◆ les coûts au kilomètre sont d'importance inégale liés justement aux difficultés techniques particulières de chaque section ;
- ◆ globalement, les terrassements ne représentent en coût que 15 % des travaux alors qu'en France ils représentent de l'ordre de 25 % dans des projets de difficultés comparables. Cette constatation permet de mesurer l'ampleur des rabais consentis par les entrepreneurs grecs dans ce domaine ;
- ◆ les ouvrages de génie civil représentent la majorité du budget, ce qui est normal en fonction des choix de projet ;
- ◆ les chaussées représentent aussi 13 % du budget, ce qui est comparable au ratio des projets français ;
- ◆ les travaux annexes et travaux supplémentaires non définis, bénéfiques et aléas représentent 1/3 du budget.

C'est un choix du maître d'ouvrage lié à la législation particulière des marchés publics en Grèce (blocage des quantités contractuelles) pour éviter de nombreux avenants en cours de travaux et pour couvrir les imprécisions des projets.

Globalement, le coût kilométrique moyen s'établit à 18 millions de francs pour les travaux purs, – hors foncier, réseaux, études, etc. – avec des sections à 32 millions de francs et des sections à 6 millions de francs. Ces écarts sont liés à l'allocation et au sectionnement des marchés de travaux et aux parties existantes intégrées dans le projet.

## ■ CONCLUSION

Après ce bref panorama de ce projet énorme, on peut conclure que les délais pour le réaliser sont très ambitieux (mise en service totale en 2004) et les difficultés techniques très grandes. En tout cas, la Grèce peut s'enorgueillir d'avoir entrepris un tel projet qui mettra en valeur le Nord du pays et facilitera grandement les échanges internationaux. Donc, bonne chance à "Egnatia Odos" sous le soleil de la Méditerranée !

## ABSTRACT

### The Egnatia Odos project in Greece. A major European route

A. Guenoun

**Vital for the country's economy, the motorway network in Greece must be developed in order to handle both the major East-West internal links and communications with its neighbours, namely Albania, the FYROM, Turkey and Bulgaria.**

**The Egnatia Odos project, supported by the European Community, began in 1995. With its 680 km, it is the longest motorway route ever built in the country. It is also Greece's first experience with concession-based motorways, private owners and contractors. The project is to be funded by the European Community (60 %) and by the Greek government (40 %). Four ports and six airports will be linked through this new infrastructure which will cut four hours off the present trip time.**

**This is also a technical challenge owing to the many bridges and tunnels, and the earthwork volumes to be handled in an area in which the topography is particularly uneven. These aspects are all covered in this article.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### El proyecto Egnatia Odos, en Grecia. Un eje de comunicaciones de importancia europea

A. Guenoun

**Al ser de importancia vital para la economía del país, Grecia debe imperativamente desarrollar su red de autopistas para permitir, simultáneamente, los grandes enlaces interiores este-oeste y las comunicaciones con sus vecinos Albania, la FYROM, Turquía y Bulgaria. El proyecto Egnatia Odos, apoyado por la Comunidad europea, ha salido a la luz en 1995. De una longitud de 680 km, se trata del mayor eje de autopista jamás construido en el país hasta la fecha. Se trata también de la primera experiencia griega en el aspecto de la concesión de autopistas, de dirección de las obras y de dirección de los trabajos, con empresas privadas y con una financiación de un 60 % por la Comunidad europea y un 40 % por el Estado griego. Cuatro puer-**

**tos y seis aeropuertos se encuentran en comunicación por medio de esta nueva infraestructura que habrá de reducir de 4 horas el tiempo del trayecto actual.**

**Se trata también de un reto técnico si se tiene en cuenta el número de grandes estructuras, de túneles y del volumen de los movimientos de tierras en una zona en que la topografía es particularmente accidentada. Todos estos aspectos se describen con mayor detalle en este artículo.**

# Le canal de l'usine hydroélectrique de Dionysen en Autriche

## Rénovation par une membrane Colétanche

Les revêtements en béton des canaux d'amenée de l'eau aux usines hydroélectriques sont souvent dégradés car ils ont en général plus de 40 ans. Des fuites, et surtout des pertes de charge créées par l'augmentation de la rugosité diminuent le rendement de manière sensible. Les maîtres d'ouvrage recherchent donc un revêtement économique de mise en œuvre.

La société Steweag (Graz - Autriche) a choisi – pour la réfection de l'étanchéité du canal d'amenée à l'usine hydroélectrique de Dionysen – la solution mixte proposée par la Colas GmbH (Graz - Autriche). Cette solution comprend un enrobé sur le radier et une géomembrane bitumineuse Colétanche NTP 2 sur les talus. Cette géomembrane, non protégée, crée très peu de perte de charge.

Pour garantir sa bonne tenue à l'abrasion, à l'arrachement accidentel et aux sous-pressions, des calculs ont été menés par le bureau d'études Coyne et Bellier pour définir les types et longueurs d'ancrages. Pour résister au phénomène occasionnel d'intumescence, un zonage vertical a été prévu.

### OBJET DES TRAVAUX DE RÉNOVATION

Le canal d'amenée d'eau de la Mur (rivière affluente du Danube) à la centrale hydroélectrique de la société Steweag a été construit en 1943. Il a été revêtu, sur les 3,7 km de sa longueur, sur le talus de pente 2 vertical sur 3 horizontal – d'une dalle de béton de 15 cm d'épaisseur et sur le radier d'une dalle de béton de 20 cm (photo 1).

Sa forme est trapézoïdale avec une largeur à la base de 4,50 m, une hauteur d'eau de 5,10 m, une profondeur de 6,00 m et une largeur de plan d'eau de 20 m. Ces dimensions conduisent à une vitesse du courant de 1,00 m/s.

La surface totale ainsi recouverte de dalles béton est de 96 000 m<sup>2</sup> entre les communes de St Dionysen et de Mötschlach située à 10 km à l'ouest de Brück, dans la province de Steiermark (figure 1). Avec le temps, la surface du canal s'est dégradée en provoquant des fuites d'eau et surtout des pertes de charge, réduisant la production d'électricité. En 1973, le radier en béton a dû être refait sur une largeur de 3,75 m et le béton des remblais a fait l'objet de réfections locales.

Après étude, Steweag, a décidé de réaliser une étanchéité sur toutes les parois du canal pour améliorer la production d'électricité de l'usine. En effet, surtout dans la zone de marnage, des détériorations importantes du béton se sont progressivement révélées. Le projet de base demandait une étanchéité en PVC de 2,5 mm avec un géotextile collé de 300 g/m<sup>2</sup>.

La solution retenue, présentée par le groupement



Photo 1  
Canal avant les travaux  
Canal before works

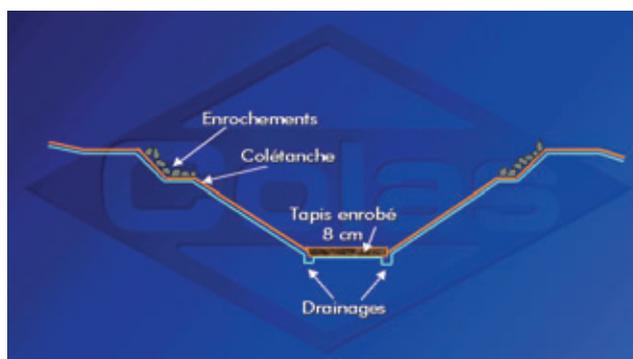


Figure 2  
Coupe transversale du canal après travaux  
Cross section of canal before works

Colas-Granit, comprend une étanchéité en géomembrane bitumineuse Colétanche NTP2 sur les talus et un enrobé bitumineux sur le radier. Cette solution mixte Colétanche/enrobés présente une économie de 20 % par rapport à une solution PVC. Elle permet de réaliser une continuité d'étanchéité (contact bitume/bitume) en apportant un radier circulaire et curable (figure 2).

**Société Steweag**

**Jean-Luc Gautier**

DIRECTEUR TECHNIQUE  
Colas Direction Europe Centrale

**Josef Harb**

DIRECTEUR ADJOINT  
Colas GmbH - Autriche

**Bernard Breul**

RESPONSABLE ÉTANCHÉITÉ  
Colas SA

**Alain Carrere**

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE  
Coyne et Bellier

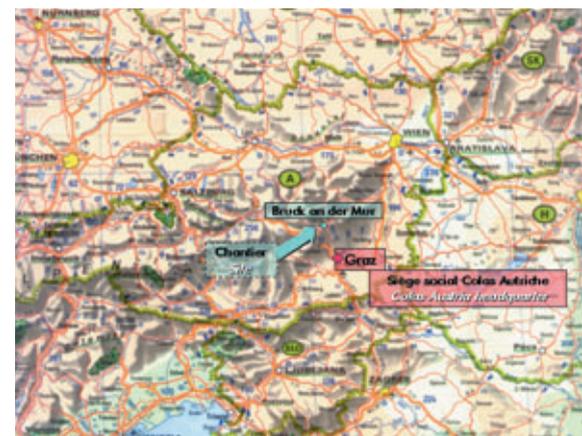


Figure 1  
Situation géographique du canal  
Geographical location of canal

N°	Caractéristiques	Norme	Valeur
1	Epaisseur	PREN 18491	3,9 mm
2	Densité		1,15
3	Masse surfacique	NFP 84514	4,5 kg/m <sup>2</sup>
4	Résistance à la traction sens longueur sens transversal	NFP 84501	22 kN/m 16 kN/m
5	Elongation à la traction sens longueur sens transversal	NFP 84501	50 % 60 %
6	Résistance à la déchirure amorcée sens longueur sens transversal	UEATC	450 N 500 N
7	Résistance au poinçonnement statique Effort Enfoncement	NFP 84507	450 N 14 mm
8	Résistance à la pression de l'eau sur granulats de 10 mm	NFP 84510	13 bars
9	Résistance au pliage à froid	NFP 84350	0 °C
10	Résistance au vieillissement par la chaleur Augmentation de la résistance à la traction après un mois à 50 °C sens longueur sens transversal Augmentation de l'élongation après un mois à 50 °C sens longueur sens transversal Augmentation de la résistance à la traction après deux mois à 50 °C sens longueur sens transversal Augmentation de l'élongation après deux mois à 50 °C sens longueur sens transversal	CEBTP 6327390	10 kN/m 6 kN/m  1 % 10 %  0 kN/m 0 kN/m  4 % 6 %
11	Vieillissement thermique dans l'eau Augmentation de poids après un bain de 30 jours à 40 °C puis séchage	Institut d'analyses et d'Essais du Centre Ouest	- 9 mg/dm <sup>2</sup> soit - 0,0002 %
12	Coefficient de dilatation thermique		1 x 10 <sup>6</sup>
13	Comportement au intempéries lampe Xenon 6000 W pendant 500 heures à 45 °C, humidité 75 % 18 minutes d'arrosage toutes les 102 mn Variation de la résistance à la traction en longueur en travers Variation de la résistance à l'élongation en longueur transversal	Laboratoire National d'Essais	0 kN/m 2 kN/m  - 10 % - 10 %
14	Résistance aux rongeurs	Laboratoire de la Ville de Paris	aucune dégradation
15	Vieillissement naturel  Coefficient de diffusion membrane neuve  Coefficient de diffusion après vieillissement naturel 7 ans dans l'eau 2 ans dans l'air et 5 ans dans l'eau	Centre d'Essais Nucléaire de Grenoble	1,3 10 <sup>-15</sup> m <sup>2</sup> /s  1,7 10 <sup>-15</sup> m <sup>2</sup> /s 5,1 10 <sup>-15</sup> m <sup>2</sup> /s

Tableau I  
Propriétés de la géomembrane  
Colétanche NTP2

Propriétés of Colétanche NTP2  
geomembrane

## LA GÉOMEMBRANE COLÉTANCHE NTP2

Cette géomembrane, fabriquée et commercialisée par Colas SA depuis plus de 25 ans, est composée principalement d'une armature en fibres de polyester infinies aiguilletées, imprégnée et surfacée par un bitume soufflé 100/40 fillerisé. Elle est livrée en rouleaux de 4 m de large pesant 1,5 t. Les différentes qualités du Colétanche NTP1,

NTP2, NTP3 et NTP4 ont une épaisseur variant de 3,3 à 5,6 mm.

Les caractéristiques techniques détaillées de la géomembrane NTP2 sont reportées dans le tableau I.

## LES TRAVAUX ENTREPRIS EN 1999

La mise en œuvre des étanchéités (figure 2) impliquait un drainage en pied de talus et un ragréage du béton du talus là où il était par trop dégradé en surface.

Par ailleurs, pour éviter que des passants ne tombent dans le canal rénové, la partie supérieure des deux talus a été terrassée pour créer une risberme de 1,00 m à la base et de 2,50 m de haut. Une rangée de blocs de pierre de 50 cm de diamètre, outre l'aspect sécurité, assure un encadrement esthétique des berges et leste la géomembrane en crête de talus.

L'élément principal dans le projet ainsi défini, est la géomembrane bitumineuse qui n'est pas protégée en surface.

## LES ÉLÉMENTS À PRENDRE EN COMPTE POUR LES UTILISATIONS DE GÉOMEMBRANES NON PROTÉGÉES

### Les références

Les géomembranes bitumineuses Colétanche sont très employées en étanchéité d'ouvrages hydrauliques où leurs propriétés d'imperméabilité, de facilité de réparation et de résistance sont appréciées. Elles ne nécessitent très souvent aucune protection de surface. Parmi des références plus particulières, il est intéressant de signaler :

◆ le bassin d'accumulation d'Electricité de France de Bois-de-Cure en Bourgogne où Colétanche NTP 2 posé en 1983 sur des dalles de béton dégradées donne toujours satisfaction à EDF;

◆ le canal de la Siagne, près de Nice, réalisé en 1983. La vitesse de l'eau y varie de 1 à 3 m/s.

## La résistance à l'abrasion due aux limons véhiculés

L'eau du canal provient d'une rivière de montagne et véhicule donc des sables, graviers et matières solides diverses.

Les éléments sont normalement retrouvés sur le fond du canal en pied de talus. Il est donc prévu de remonter l'enrobé d'au moins 20 cm sur le talus pour protéger l'étanchéité de l'abrasion et de l'action des dents du godet des engins de curage.

## Résistance à la déchirure accidentelle, dimensionnement des ouvrages

Si une ouverture apparaît dans la membrane par suite d'un accident causé par la chute d'un véhicule, l'eau circulant entre la membrane et le béton est soumise à des pressions statiques et dynamiques. Le bureau d'études Coyne et Bellier a calculé les efforts engendrés. La pression statique est équilibrée sur les deux faces du canal. La pression dynamique est de 0,2 t/m<sup>2</sup> pour une vitesse de 2 m/s en appliquant la formule de Bernouilli :

$$p \text{ (t/m}^2\text{)} = V^2 \text{ (m/s)} / 2 g$$

Le bureau d'études a calculé la vitesse maximale admissible pour rester dans les limites de traction de la membrane. Les résultats sont exposés dans le tableau II, en fonction de l'âge du Colétanche et de la présence – ou non – d'un ancrage horizontal au milieu du talus.

Compte tenu de la vitesse maximale de l'eau de 2 m/s, l'ancrage horizontal n'est donc pas nécessaire. Dans ce cas, la fixation mécanique de la membrane sur le radier doit résister à une force de 0,8 t/m, qui est obtenue par un réglet chevillé tous les 30 cm.

En outre, la mise en œuvre sur la membrane de 1,4 t/m d'enrochement permet un ancrage en crête suffisant. Les résultats d'essais complets de la membrane NTP 2 en service depuis 14 ans sont disponibles auprès de Colas SA. Les résultats au bout de 19 ans seront disponibles début 2000.

### Tenue des soudures

La déformation de la membrane en cas de déchirure dans le sens amont-aval est limitée du fait des ouvrages de pied et de tête. Les efforts sont alors plus faibles dans le sens crête/pied de talus. La soudure entre deux lés, permettant d'atteindre une résistance de 70 % à celle de la pleine surface, est donc tout à fait satisfaisante.

### Les pertes de charge à l'écoulement

Les mesures du coefficient de Manning sur des revêtements pour canaux ont fait l'objet d'une publication par J.-P. Martin Vide dans *Water Power and Dam Construction* de juin 1990. En ce qui concerne les géomembranes bitumineuses, les essais ont été effectués aux USA par le laboratoire RK Frobels and Co. Un coefficient de Strickler inverse de celui de Manning de 83,33 a été mesuré.

### Résistance à l'intumescence

Un zonage vertical de la membrane par réglet tous les 15 m permet de limiter la surface à réparer en cas d'accident et de lutter contre l'intumescence

	Tension maximale admissible	Vitesse du courant	
		avec ancrage au milieu	sans ancrage au milieu
Colétanche neuf	1,9 t/m	5,3 m/s	3,8 m/s
Colétanche après 14 ans de service	1,8 t/m	4,3 m/s	3,0 m/s

résultant de la fermeture des vannes de l'usine hydroélectrique.

## LE DRAINAGE SOUS LA MEMBRANE

Le canal étant construit à flanc de coteau, des venues d'eau du terrain naturel peuvent appliquer des sous-pressions sous la membrane. Lorsque le canal est vide, les sous-pressions peuvent induire un dépassement de la valeur admissible de déformation de la membrane.

Le drainage sous l'étanchéité est prévu sur les deux côtés du radier. Il est constitué en bas de talus, sur une hauteur de 1 m, par un géospaceur Enkadrain E 8004H/5-2S-D110P de la société Akzo. Les eaux recueillies sont envoyées de part et d'autre du radier du canal dans un fossé longitudinal en béton poreux de 40 x 20 cm avec un drain de 15 cm de diamètre (photo 2). Tous les 300 à 600 m, ces drains sont reliés à des tuyaux transversaux se déversant à l'extérieur du canal. Pour éviter que l'eau en provenance des talus n'aille sous l'enrobé, la géomembrane est raccordée de façon étanche au radier en béton. Celui-ci est recouvert d'un enduit d'imprégnation à froid, puis Colétanche est soudé à chaud et recouvert d'un réglet chevillé tous les 30 cm.



Photo 2  
Le drainage sous la membrane Colétanche NT2

*Drainage under the Colétanche NT2 membrane*

## LA MISE EN ŒUVRE DE LA NOUVELLE ÉTANCHÉITÉ

L'accès au chantier se fait à partir de Brück ou de Leoben en passant par la route rapide S6 et la route fédérale B 116 en empruntant le pont sur la Mur. Tous les accès au chantier et les voies de circulation sont réalisés ou maintenus et remis en l'état après l'achèvement des travaux. Préalablement aux travaux, toutes les surfaces ont été nettoyées à l'appareil Karcher avec une pression de maximum 100 bars.

Après ce lavage qui enlève les morceaux de béton détériorés, le ragréage au mortier de ciment est effectué, puis un géotextile est posé par endroit. Les travaux proprement dits sont décrits ci-après.

### Réalisation de la risberme en haut de talus

Le béton existant a été démoli à la fraise et un bourrelet de 20 cm en béton a été réalisé pour éviter de plier la membrane à angle droit et pour assurer une butée de pied aux enrochements. Afin de protéger cette géomembrane contre le risque de poin-

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage et maître d'œuvre**  
Société Steweag (Graz - Autriche)

**Entreprises adjudicataires conjointes**  
Colas Austria - Granit

**Coût des travaux d'étanchéité**  
50 millions de francs

**Photo 3**  
Risberme avec bourrelet  
en béton et enrochements

*Berm with concrete bench  
and riprap*



**Photo 4**  
Pose de la géomembrane  
Colétanche NTP2  
*Placing of Colétanche NTP2  
geomembrane*



**Photo 5**  
Soudage et marouflage  
des deux lés  
*Sealing and placing  
of two strips*



► çonnement par les enrochements, 15 cm de matériaux sableux sont posés sur la partie horizontale contre le pied du talus de la risberme. Cette couche est enveloppée dans un géotextile de 140 g/m<sup>2</sup>, et recouverte de plaques bitumineuses rigides qui répartissent les effets du poinçonnement (photo 3).

### Réalisation de saignées verticales

Des saignées de 50 x 15 cm de section, prévues tous les 15 m, sont remplies de béton non armé. Elles permettront le chevillage efficace de réglés verticaux décrits précédemment.

### Application de la géomembrane

Celle-ci est déroulée autour de l'axe porté par un cadre tenu par la flèche d'une pelle placée sur la berge. La rotation de cet axe pour faciliter le déroulement de la membrane est commandée par le circuit hydraulique de la pelle (photo 4).

L'application s'effectue de haut en bas, Colétanche couvrant d'abord la fouille supérieure puis le talus et le géospaceur Enkamat, il est enfin ancré de 50 cm sous l'enrobé qui sera appliqué ultérieurement en 8 cm d'épaisseur. Les soudures sont effectuées au chalumeau, le recouvrement entre deux bandes parallèles de géomembrane étant de 20 cm. L'opération de soudage est suivie d'un marouflage soigné par un rouleau d'un poids minimum de 5 kg (photo 5).

Le contrôle de toutes les soudures est effectué par des appareils échographiques Epoch 2 à ultrasons et confié à un personnel de laboratoire spécialement formé.

La liaison de la membrane aux nombreux points singuliers en béton (tuyaux d'évacuation d'eaux usées, regards en fond du canal, piliers de pont) est effectuée par enduction du béton par un primer d'accrochage, soudage à chaud et serrage mécanique par réglet.

### Application du béton bitumineux sur le radier

Cet enrobé à 3 % de vides a pour objet d'assurer une excellente étanchéité et de permettre la circulation des engins affectés au nettoyage des sédiments déposés et à l'entretien (photo 6). L'application est effectuée au finisseur et les remontées de l'enrobé sur le talus sont réalisées à la main. L'atelier de compactage est traditionnel. Un plan d'assurance qualité très rigoureux, identique à celui présenté au IV<sup>e</sup> Congrès International des Géosynthétiques de Singapour (cf. communication "Bituminous membrane cap of a radioactive waste landfill-Quality Program") –, a été appliqué. Pour assurer la qualité de la pose des 96 000 m<sup>2</sup> d'étanchéité Colétanche NTP 2 en cinq semaines, une parfaite organisation de chantier a été nécessaire.

Il a fallu prévoir des aires de stockage importantes et accessibles. Des surfaces de l'ordre de 24 000 m<sup>2</sup> ont dû être prévues à la fois dans le village et sur les deux rives du canal pour se prémunir d'une rupture d'approvisionnement. La distribution en rouleaux s'est faite par un camion spécialement équipé, les rouleaux étant stockés sur des supports de mandrins en bois.

L'effectif journalier pour deux postes était de 28 personnes, dont les activités étaient ainsi séparées :

- ◆ six pour la préparation de la forme ;
- ◆ deux pour l'approvisionnement par camion des



**Photo 6**  
**Canal avant la pose de l'enrobé**  
**Canal before application of bituminous mix**

rouleaux entre le stock et le lieu de mise en œuvre ;

- ◆ un pour le contrôle des soudures ;
- ◆ trois ingénieurs dont :
  - un directeur de travaux,
  - un ingénieur de travaux pour la logistique et l'approvisionnement,
  - un ingénieur de travaux pour le suivi du planning et d'application du manuel qualité ;
- ◆ huit pour la pose de la géomembrane avec deux pelles équipées de dérouleur hydraulique ;
- ◆ quatre équipes constituées d'un soudeur et d'un maroufleur.

## ■ CONCLUSION

La rénovation du revêtement du canal d'amenée de l'usine hydroélectrique Steweag, par une géomembrane Colétanche de 3,9 mm, a permis au client une économie substantielle.

Celle-ci, sans aucune protection de surface, aura à subir des attaques diverses, dont :

- ◆ l'action de courants d'eau atteignant des vitesses élevées ;
  - ◆ l'abrasion des matières, corps flottants, graviers et sables contenus dans l'eau ;
  - ◆ des accidents conduisant à une rupture localisée ;
  - ◆ les sous-pressions en provenance des talus avoisinants ;
  - ◆ la résistance aux phénomènes d'intumescence.
- La solution mixte adoptée enrobé en radier et géomembrane en talus a permis de réaliser un ouvrage circulaire et curable. Cette solution mixte présente, par ailleurs, l'avantage technique de la continuité d'étanchéité entre la géomembrane et l'enrobé (contact bitume/bitume) et une excellente liaison aux différents ouvrages béton du fait de la bonne adhérence du bitume au béton.

Dans des conditions aussi sévères, la solution adoptée après des études poussées pour l'ouvrage de Steweag doit être un exemple pour des réalisations futures économiques, permettant d'augmenter très sensiblement la production des centrales hydroélectriques.

## ABSTRACT

**The canal of the Dionysen hydro plant in Austria. Renovation with Colétanche membrane**

*J.-L. Gautier, J. Harb, B. Breul, A. Carrere*

The concrete facings of the water inlet canals of hydroelectric plants are often degraded because they are generally more than 40 years old. Leaks, and especially head losses created by greater roughness, bring about considerable reduction in efficiency. Operators are thus looking for a low-cost facing material easy to apply.

The company Steweag (Graz - Austria) chose – for the repair of the Dionysen hydro plant inlet channel waterproofing – the combination solution proposed by Colas GmbH (Gratkorn - Austria). This solution comprises a bituminous mix on the floor and a Colétanche NTP 2 bituminous geomembrane on the slopes. This unprotected geomembrane creates very little head loss. To guarantee its good resistance to abrasion, to accidental tearing and to underpressure, calculations were carried out by the Coyne & Bellier engineering office to define the types and lengths of anchoring. To resist the occasional swelling phenomenon, a vertical zoning was provided.

## RESUMEN ESPAÑOL

**El canal de la central hidroeléctrica de Dionysen, en Austria. Renovación de una membrana Colétanche**

*J.-L. Gautier, J. Harb, B. Breul y A. Carrere*

Los revestimientos de hormigón de los canales de alimentación de agua a las centrales hidroeléctricas se ven frecuentemente deteriorados, puesto que, en general, tienen más de 40 años de existencia. El rendimiento disminuye de forma apreciable debido a las fugas y, sobre todo, a las pérdidas de carga derivadas del aumento de la rugosidad de sus paredes. Así, las empresas contratantes tratan de encontrar un revestimiento económico de implementación. La sociedad Steweag (Graz - Austria) ha adoptado - para la refacción de la impermeabilidad del canal de alimentación de la central hidroeléctrica de

Dionysen - la solución mixta propuesta por Colas GmbH (Gratkorn - Austria). Esta solución consiste en un aglomerado aplicado en la solera y una geomembrana bituminosa Colétanche NTP 2 en los taludes. Esta geomembrana, no protegida, crea pérdidas de carga insignificantes.

Para garantizar su correcto comportamiento a la abrasión, el arranque accidental y las subpresiones, se han efectuado sendos cálculos por parte del gabinete de estudios Coyne et Bellier para definir los tipos y longitudes de los anclajes. Se ha previsto una zonificación vertical, para resistir al fenómeno ocasional de intumescencia.



Figure 1  
Image de synthèse de l'ensemble du stade  
*Synthetic overall picture of the stadium*



Figure 2  
L'intérieur du stade, tribune ouest  
*The inside of the stadium,  
West grandstand*

**Le concours pour la conception-construction du Stade Olympique d'Istanbul a été lancé au début de l'année 1997 sur la base d'un programme performantiel (nombre de places assises, couvertes...). Le contrat a été attribué le 28 novembre 1997 à la joint venture composée de Campenon Bernard SGE, Tekfen et SAE International. Après une phase de préparation et de mise au point, le projet a pu entrer dans sa phase active – à la mise en place du financement – le 4 juin 1999. L'article qui suit décrit les ouvrages à réaliser, et particulièrement la conception des couvertures métalliques des tribunes.**

## ■ HISTORIQUE DU PROJET DU STADE D'ISTANBUL

### L'appel d'offres

En 1992 la Turquie décide de postuler à l'organisation des Jeux Olympiques de 2004. Fait unique au monde une loi est alors votée par le gouvernement pour la candidature de la ville d'Istanbul (12 millions d'habitants) située à la rencontre des deux continents Europe et Asie.

Cette loi olympique – incorporant la charte du Comité olympique international au système juridique national Turc et garantissant la totalité du soutien financier et administratif – est adoptée à l'unanimité et ratifiée par le parlement turc le 30 avril 1992. Elle entre en vigueur le 5 mai 1992 par sa publication dans la Gazette Officielle.

Un conseil de préparation et d'organisation des Jeux Olympiques (IOBC = Istanbul Olympic Bidding Committee) est alors mis en place avec pour mission d'atteindre les objectifs désormais fixés par la loi. Celle-ci se trouve renforcée en juillet 1996 par une déclaration d'engagement signée conjointement par le président de la République et le gouvernement de coalition formé après les élections législatives de 1995. Cette déclaration réaffirme

# Le stade

le soutien total de la nation entière à la candidature d'Istanbul.

Bien qu'Athènes soit finalement retenue en 1997 comme ville organisatrice des prochains Jeux de 2004, les autorités turques décidèrent d'engager la construction des installations du parc olympique situé à Ikitelli, quelques kilomètres au nord de l'aéroport international d'Istanbul, sur la rive européenne de la ville.

La première partie du parc olympique à construire est le stade (figures 1 et 2), pour lequel un appel d'offres international est lancé début 1997. Ce concours est en conception-construction sur la base d'un programme performantiel (nombre de places assises, nombre de places couvertes, etc.).

Douze groupements internationaux sont préqualifiés comprenant des entreprises turques et internationales associées à des équipes d'architectes. La remise des offres a lieu le 15 avril 1997.

Le 28 novembre 1997 le contrat est attribué à la joint venture composée de :

- ◆ Campenon Bernard SGE (pilote) : 37,5 % ;
- ◆ Tekfen Insaat Ve Tesisat A.S. : 37,5 % ;
- ◆ SAE International : 25,0 % ,

en association avec les architectes Michel Macary et Aymeric Zublena.

### La mise en place du financement

Le financement du projet amené par le groupement est constitué par :

- ◆ un crédit financier par des banques commerciales : 50 % ;
- ◆ un crédit acheteur par la France : 50 %.

Le financement n'étant pas encore en place à la signature du contrat, le projet s'est développé en deux temps :

- ◆ phase 1 préfinancée par le client ;
  - ◆ phase 2 pour le solde de la valeur du contrat.
- La phase 1 a démarré le 5 février 1998 (sur une période de 9 mois soit jusqu'au 4 novembre 1998), pour les travaux suivants :
- ◆ la conception du projet :
    - mise au point du projet,
    - avant-projet sommaire,
    - avant-projet détaillé,
    - méthodes de construction (partiel) ;
  - ◆ le début d'installation ;
  - ◆ la programmation :
    - programme travaux phase 1 ;
    - programme travaux du contrat principal ;
  - ◆ les terrassements généraux (partiel).

Comme la mise en place du financement a été

# d'Istanbul

retardée par l'émission tardive de la garantie des autorités turques, la phase 1 a été prolongée à deux reprises jusqu'à mi-avril 1999 permettant la poursuite des études et des activités sur le site. Les accords de crédit furent signés le 31 mars 1999; la phase 2 a pu entrer en vigueur le 4 juin 1999.

## ■ PRÉSENTATION DU PROJET

### Description (figures 3 et 4)

Le projet du stade olympique d'Istanbul comprend :

- ◆ un stade de 80 000 places (48 500 places couvertes) comprenant des installations permanentes d'athlétisme;
- ◆ un bâtiment de 50 000 m<sup>2</sup> sur six niveaux avec toutes les facilités, un amphithéâtre de 300 places, deux parkings de 400 places au total;
- ◆ un premier puis un second stade annexe plus petit pour les entraînements.

Le stade olympique est semi-enterré, pelouse et pistes d'athlétisme se trouvant à 12 m sous le niveau de la plate-forme principale issue des terrassements généraux.

L'axe principal du stade est orienté sud-nord et le bâtiment de six niveaux porte toutes les tribunes ouest, basses, intermédiaires et hautes. Les tribunes hautes sont portées par des mégastructures en béton armé, jusqu'à 26 m de haut au-dessus du sixième niveau, soit 49 m au-dessus du niveau de la pelouse. L'ensemble des tribunes ouest, est protégé par la toiture de 16 370 m<sup>2</sup> en forme de croissant et couvrant 32 000 places. La toiture à 52 m au-dessus de la pelouse est une charpente métallique de 3 350 t principalement supportée par deux pylônes. Ses extrémités sont maintenues par haubanage. Les pylônes sont en béton armé pour la partie sous toiture, soit 53 m réalisés en coffrage glissant de section tronconique de diamètre extérieur de 6,50 m à 4,10 m. La partie supérieure reprenant les haubans est en charpente métallique. L'entraxe des deux pylônes est de 196 m. Les tribunes hautes de l'est également portées par des mégastructures en béton armé culminent également jusqu'à 26 m de hauteur, soit 38 m au-dessus de la pelouse. La toiture de 9 000 m<sup>2</sup> couvrant 16 500 places est une charpente métallique de 1 210 t en console (jusqu'à 47 m dont 30 m maximum de pur porte-à-faux) dont les efforts sont repris par précontrainte en tête des portiques de mégastructures.

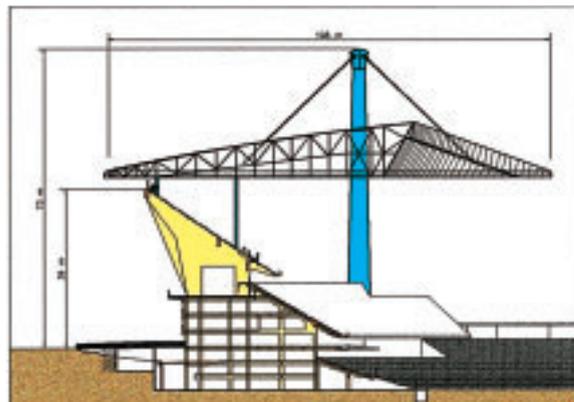


Figure 3  
Coupe  
de la tribune ouest  
*Section of West  
grandstand*

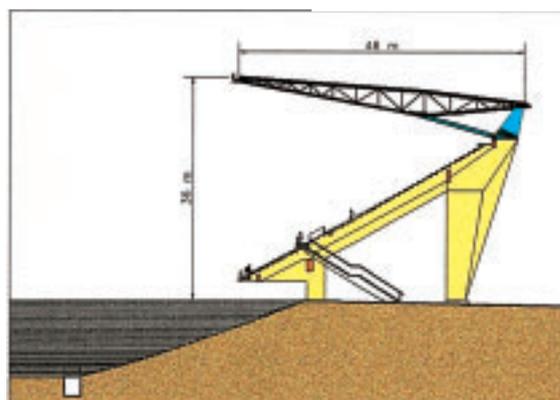


Figure 4  
Coupe  
de la tribune est  
*Section  
of East grandstand*

## ■ CONCEPTION DES OUVRAGES

### Fondations et renforcement du sous-sol

Les ouvrages sont fondés sur des semelles reposant sur des couches de calcaire plus ou moins altéré, de bonne résistance (7 bars) mais présentant des risques de vides de dissolution. Afin de reconnaître le risque et de renforcer le sol en cas de besoin, il a été procédé, pour chaque fondation, à des forages de Ø 250 à la maille de 1 m par 1 m. Si pour une semelle donnée aucun vide n'est détecté les forages sont simplement remplis de béton. Si des vides sont détectés, des armatures sont disposées dans le béton pour compléter sa résistance. Les armatures ne dépassent pas le niveau d'assise des fondations, on réalise donc des inclusions et non des pieux.

### Les toitures

A l'origine le programme du concours ne comportait que la toiture des gradins ouest. La toiture des gradins est a été ajoutée ultérieurement et ne couvre pas la même surface. Ces deux toitures sont de conception différente.

Celle couvrant les gradins ouest a, en plan, la forme d'un croissant et couvre 32 000 places pour

### Gilles Rolland

DIRECTEUR DE PROJET  
Campenon Bernard SGE



### Alain Capra

DIRECTEUR DES ÉTUDES  
Campenon Bernard SGE



### Serge Huret

INGÉNIEUR EN CHEF  
Campenon Bernard SGE





	Stade Olympique d'Istanbul	Stade de France
Places	80,000 u	80,000 u
Places couvertes	48,500 u	80,000 u
Parking	400 u	6,000 u
Terrassements	2,680,000 m <sup>3</sup>	800,000 m <sup>3</sup>
Béton	61,300 m <sup>3</sup>	180,000 m <sup>3</sup>
Acier	7,300 t	9,300 t
Plancher	50,000 m <sup>2</sup>	220,000 m <sup>2</sup>
Charpente de couverture	4,560 t	8,800 t
Toiture	25,370 m <sup>2</sup>	60,000 m <sup>2</sup>
Escaliers monumentaux	2 u	18 u
Ascenseurs	6 u	24 u

**Les principales quantités en comparaison avec le Stade de France**

*The main quantities compared with Stade de France (stadium in Paris)*

une surface de 16 370 m<sup>2</sup>. Cette toiture est d'un seul tenant et sa peau supérieure s'inscrit sur un tronçon de calotte sphérique alors que la peau inférieure est horizontale. La toiture des gradins est se divise en cinq blocs qui épousent verticalement la ligne des gradins supérieurs. Elle couvre la tribune supérieure, soit environ 16 500 places pour une surface d'environ 9 000 m<sup>2</sup>.

Les toitures sont constituées d'une peau supérieure comprenant une tôle d'acier nervurée et galvanisée, une isolation en laine minérale rigide de 40 mm d'épaisseur et une membrane PVC, et d'une peau inférieure en tôle d'acier profilée galvanisée et prélaquée. Un système de rails obturés par un capot permet d'assurer la pose et la maintenance ultérieure de la peau inférieure. L'ensemble du système est traité pour assurer une porosité minimum de 2 %. L'ossature supportant les toitures est constituée par des charpentes métalliques prenant appui sur des porteurs en béton armé.

**Toiture ouest** (figure 5)

A l'ouest, l'ossature porteuse de la toiture est constituée de :

- ◆ une poutre principale caisson en treillis d'environ 1 000 t reposant, via des appuis à pots, sur deux pylônes en béton de 53 m de haut, distants de 196 m. Cette poutre a une largeur de 6 m sur une hauteur variant de 3,564 m sur appuis à 10,829 m à mi-portée. Le choix d'un caisson pour cette poutre a été guidé par :

- le mode de construction de la poutre sur une plate-forme à 23 m au-dessus du sol, qui permet de s'affranchir des interférences avec les ouvrages de génie civil déjà construits. Cela conditionne, de fait, l'écartement à 6 m des membrures qui passent de part et d'autre des pylônes en béton,

- le levage par vérins à câbles de la totalité de la poutre puisque celle-ci est auto-stable durant cette phase;

- ◆ des fermes treillis distribuées perpendiculairement tous les 12 à 13 m qui viennent prendre appui à l'avant sur la poutre caisson et à l'arrière, sur une ceinture en poutres treillis de portée variant de 46 m à 54 m et reposant sur quatre poteaux bi-articulés. Ces fermes présentent un porte-à-faux avant et un porte-à-faux arrière variable en fonction de leur position;

- ◆ deux mâts treillis de 30,50 m reposant en tête des pylônes en béton permettent l'ancrage des haubans nécessaires à la tenue des extrémités du croissant;

- ◆ dans le prolongement des poutres treillis de la ceinture arrière, les extrémités du croissant sont supportées via deux poutres treillis de 40,50 m suspendues à l'avant à des haubans et appuyées à l'arrière sur la poutre principale en caisson. Aux extrémités du croissant au droit de l'ancrage des haubans sont installés deux lests de 70 t évitant les éventuels effets de soulèvement sous le vent.

Il convient de noter que l'ensemble des haubans, mâts et poutres treillis est inscrit sur un même plan;

- ◆ deux plans de haubans 73T15 (Fsd = 8100 kN ELU) de longueur 38 m et 36 m;

- ◆ à l'arrière et à l'avant des porte-à-faux, une poutre (PRS) à âme pleine et une poutre treillis relie les fermes et homogénéisent les déformations en bout des porte-à-faux;

- ◆ un réseau de pannes principales, d'empannons et de pannes secondaires hauts et bas permettent l'accrochage des peaux;

- ◆ un contreventement général assure la stabilité en phase de montage et sous les sollicitations hors du plan des fermes.

Les structures métalliques sont montées avec une contre-flèche générale étudiée par phase de montage afin d'obtenir une sous-face horizontale.

La masse d'acier mis en œuvre pour la structure de la toiture ouest est d'environ 3 350 t soit un ratio de 205 kg/m<sup>2</sup>. La stabilité générale de la structure est assurée sous les actions horizontales, vent et séisme, par les deux pylônes en béton sur lesquels la structure métallique de la toiture vient prendre appui. Les poteaux arrière étant bi-articulés, ils ne peuvent être sollicités par les déplacements horizontaux des pylônes (environ 300 mm sous séisme). Ces dispositions assurent un comportement particulièrement pur de l'ensemble des structures. L'effet PΔ dû aux déplacements horizontaux a été considéré.

**Toiture est**

A l'est, l'ossature porteuse de la toiture est divisée en cinq blocs indépendants à l'identique de la structure support en béton. Elle est constituée par des fermes treillis de portée variable qui sont distribuées radialement suivant l'alignement des mégastructures en béton armé supportant les gradins. Les fermes sont doublées au droit des joints de dilatation. Elles ont une longueur maximale de 47 m dans le bloc central avec un porte-à-faux de 30 m maximum; elles prennent appui à l'avant sur des butons en tubes (deux par ferme) et à l'arrière, via une articulation, sur une console reconstituée à partir de tôles soudées, brêlée par précontrainte sur les porteurs béton. Les fermes ont une hauteur entraxes membrures comprise entre 3,86 m et 1,92 m au droit des butons. Un réseau de pannes principales en treillis, d'empannons et de pannes secondaires servent à l'appui des peaux supérieure et inférieure. La masse d'acier mis en œuvre pour la structure de cette toiture est d'environ 1 210 t soit un ratio de 135 kg/m<sup>2</sup>.

**Sollicitations**

Les structures des toitures sont essentiellement soumises à l'action de leur poids propre, aux ac-

tions climatique et sismique. Une surcharge d'exploitation dépendant des équipements, de la surface afférente à chacun des éléments de la structure et à leur fonction a été considérée.

### La neige et le vent

Suivant le règlement turc, la valeur de pression de la neige prise en compte est égale à 75 DaN/m<sup>2</sup>. Le vent pour sa part, a fait l'objet d'une étude spécifique. Dans un premier temps les relevés climatiques disponibles depuis 1950 auprès des stations locales de Florya et de Göztepe (situées à environ 15 km du site) ont été analysés, puis un recalage climatique du site a été fait avec installation d'une station *in situ*. Cette étude a permis de définir une vitesse moyenne de référence de vent de 24 m/s à 10 m de hauteur. La pression du vent à la hauteur des toitures a été définie suivant l'Eurocode 1 et conduit à une valeur de 125 DaN/m<sup>2</sup> ( $q_{ref} * c_e(z_e) * c_t$  pour une hauteur  $z = 50$  m, un terrain catégorie II et un coefficient de topographie  $c_t = 1$ ).

Une étude fine sur maquette au 1/175<sup>e</sup> à la soufflerie du CSTB de Nantes a fourni les champs de pression en tous points des peaux de la toiture – cela pour toutes les directions du vent par pas de 20° –, ainsi que les sollicitations d'ensemble exercées par le vent.

### Le séisme

L'action du séisme sur les structures a fait l'objet d'une étude spécifique suivant le code turc (similaire aux règles PS92) à partir d'un spectre prenant en compte un coefficient de comportement R ( $q$  pour les PS92) égal à 1 pour le séisme de direction verticale et respectivement à 2 et 4 pour le séisme de direction horizontale sur les toitures ouest et est. Ces coefficients prennent en compte le couplage de la structure métallique du toit et de la structure porteuse en béton qui de fait, gouverne le comportement général des toitures sous l'action horizontale du séisme.

Les sollicitations ont été calculées en utilisant un modèle 3D complet (éléments finis à barres, programmes HERCULE/HERGOS chez Jailliet-Rouby et SYSTUS chez Campenon Bernard SGE) incluant une modélisation de la structure métallique et de la structure béton.

Conformément aux règles turques rendues obligatoires en 1997 une accélération maximum du sol de 0,3 g a été prise en compte, valeur parmi les plus grandes utilisées en Europe.

### Couverture des tribunes ouest

Cette couverture repose sur deux tours en béton et des poteaux métalliques portés par les tribunes. Seules les tours en béton assurent la résistance aux efforts horizontaux pour le vent comme pour le séisme. Le comportement est donc comparable à celui d'un ouvrage d'art qui reposerait sur deux ap-

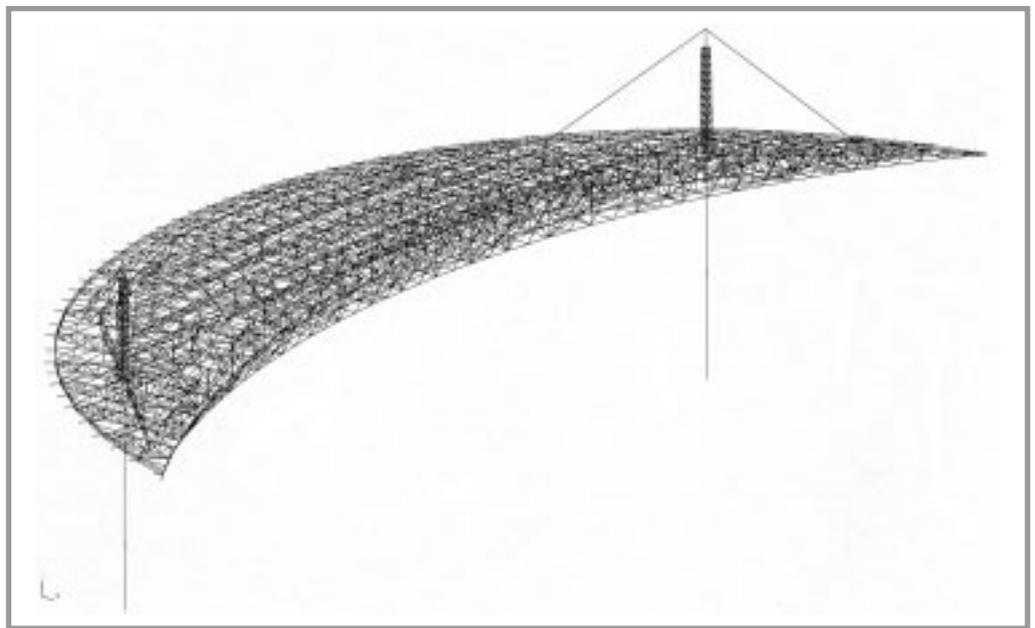


Figure 5  
Modélisation de la toiture ouest  
Modelling of West roof

puis. Compte tenu de l'élancement des tours un coefficient de comportement de trois a été initialement pris en compte, des rotules plastiques devant se former à la base des tours uniquement. Toutefois, au regard de l'importance des efforts du vent, ceux-ci ont été déterminants et ce coefficient s'est en fait avéré voisin de deux, ce qui réduit sensiblement les risques de plastification des armatures donc les désordres en pied des tours pouvant survenir en cas de séisme.

### Couverture des tribunes est

La charpente métallique a été conçue comme non dissipative et les rotules plastiques potentielles ont été positionnées uniquement dans la structure en béton pour laquelle furent appliquées les dispositions constructives les plus contraignantes prévues par les règles turques.

## ■ ORGANISATION - PROGRAMME DES TRAVAUX

Au même titre que le contrat, l'organisation du projet est conduite en deux phases.

A l'entrée en vigueur de la phase 1, le 5 février 1998, l'activité était essentiellement basée en France où les avant-projets sommaire et détaillé sont conduits par une équipe de conception spécialement établie à cet effet et travaillant avec divers bureaux d'études français, dont la direction technique de Campenon Bernard SGE.

Progressivement l'activité s'est déplacée en Turquie avec le démarrage des terrassements généraux en juillet 1998 et le début d'installation de chantier, pour aboutir à l'organisation actuelle.

Avec l'entrée en vigueur de la phase 2 début juin 1999 la mobilisation est totale : les bureaux de chantier accueillent les différents départements administratif, contractuel, technique, travaux, qualité et sécurité. Cette organisation sur site est renforcée par une équipe parisienne qui traite le suivi des commandes françaises.

Le personnel se compose d'ingénieurs et techniciens turcs et d'expatriés français. Les études d'exécution du génie civil sont menées par des membres du bureau d'études Structures de Tekfen en colla-



**Photo 1**  
**Vue générale du chantier le 22 septembre 1999**  
*General view of site on 22 September 1999*

► boration avec Campenon Bernard SGE et SAE International. Les travaux de charpente sont sous-traités pour l'ensemble – études - fabrication - pose – à Tekfen, qui dispose d'une usine de fabrication de 1 000 t/mois dans le sud du pays. Les corps d'état techniques sont confiés à la société française Snef pour les travaux électriques et à la société germano-turque ASW pour les travaux mécaniques. Les corps d'état architecturaux sont en cours d'analyse.

Le programme travaux initialement prévu à 36 mois a été recalé pour tenir compte des extensions de la phase 1. Une date de livraison est désormais prévisible pour mi-décembre 2001.

Le premier béton a été coulé le 20 avril 1999 sur les fondations de la partie ouest du stade.



**Photo 2**  
**Pylône support de la toiture ouest**  
*West roof support tower*

## ■ AVANCEMENT À MI-SEPTEMBRE 1999

Le récent tremblement de terre du 17 août 1999 a été fortement ressenti à Istanbul et donc sur le chantier où le coffrage glissant du premier pylône était en cours d'exécution. Heureusement aucune perte humaine ni dégât matériel notable n'est à déplorer. Après vérifications le coffrage glissant (toujours dans les tolérances) a pu reprendre immédiatement alors que le reste de l'activité fut évidemment perturbé plusieurs jours par l'absence d'une grande partie du personnel en quête de leurs proches.

A mi-septembre 1999 le plancher du niveau 3 du bâtiment ouest était en cours d'exécution et les élévations du niveau 4 démarrées. Le coffrage glissant du second pylône était également en chantier. Enfin, à l'est, toutes les fondations des mégastructures étaient coulées et les premiers poteaux avant des portiques, en cours (photos 1 et 2).

A cette date l'avancement des travaux était donc parfaitement en accord avec le programme contractuel.

## ABSTRACT

### The Istanbul stadium

*G. Rolland, A. Capra, S. Huret*

The competitive design-construction of the Istanbul Olympic Stadium was launched at the beginning of the year 1997 based on a performance programme (number of seats, covered positions, etc.). The contract was awarded on 28 November 1997 to the joint venture composed of Campenon Bernard SGE, Tekfen and SAE International. After a preparation and finalisation stage, the project went into its active phase, with the provision of funding, on 4 June 1999. This article describes the work to be completed, and more particularly the design of the metallic covering over the stands.

## RESUMEN ESPAÑOL

### El estadio de Estambul

*G. Rolland, A. Capra y S. Huret*

El concurso para el diseño y la construcción del Estadio Olímpico de Estambul fue publicado a principios de 1997, con arreglo a un programa de prestaciones (número de localidades con asientos, cubiertas, etc.). El contrato fue atribuido el 28 de noviembre de 1997 a la joint venture formada por Campenon Bernard SGE, Tekfen y SAE International.

Tras una fase de preparación y desarrollo, el proyecto ha podido entrar en su fase activa - a la obtención de la financiación - el 4 de junio de 1999. El presente artículo describe las estructuras que se han de construir y, fundamentalmente, el concepto de las cubiertas metálicas de las tribunas.

# Les tunnels routiers El Azhar au Caire

**Les trésors architecturaux situés au cœur de la cité Fatimide doivent être valorisés. Les autorités égyptiennes ont donc décidé de construire deux tunnels routiers pour assurer la liaison directe entre la rue Salah Salem et la place de l'Opéra afin de réduire la circulation en surface, ce qui permettra également de mettre en valeur ce quartier pour le tourisme tout en assurant une liaison essentielle aux routes à grande circulation.**

**Les autorités égyptiennes ont confié au groupement mené par Campenon Bernard SGE, un contrat de conception-construction pour la réalisation de ces tunnels.**

**Cette présentation a pour objectif de décrire les spécificités du projet dans la phase de conception. Une optimisation globale de toutes les contraintes – au niveau de l'insertion du projet dans l'environnement urbain, des critères de sécurité et fonctionnels, des impératifs de creusement au tunnelier – a permis de tenir le délai record de 16 mois entre la mise en vigueur du contrat et le percement du premier tunnel, long de 2,7 km.**

La Direction nationale des Tunnels (NAT : National Authority for Tunnels) a passé un marché pour une liaison routière souterraine entre l'avenue Salah Salem à l'est et la place Attaba au centre-ville à l'ouest.

La ville du Caire s'est énormément agrandie au cours des dernières années. La croissance a engendré un besoin accru de transport. Pendant la dernière décennie, des efforts importants ont été consacrés aux réseaux de transports publics rapides, mais peu de liaisons routières ont été créées. Ce sont surtout les autoponts qui ont été privilégiés pour compléter les routes de surface et limiter ainsi les embouteillages. Actuellement, depuis la récente construction de la ligne de métro, les travaux souterrains sont d'actualité au Caire.

Et c'est dans ce contexte que le projet des tunnels routiers El Azhar à l'ouest du centre-ville a vu le jour, avec pour objectif de passer sous le centre islamique historique. La cité Fatimide qui date du X<sup>e</sup> siècle, est située dans l'un des centres marchands les plus populaires d'Égypte, comprenant des quartiers célèbres, tels que Khan El Khalily et le marché aux épices. En outre, elle recèle de trésors architecturaux comme ses mosquées et ses vieux palais.

La construction d'une liaison routière urbaine souterraine d'environ 2 x 2,7 km a donc été décidée pour faciliter la circulation entre la rue Salah Salem – reliant l'aéroport et le centre-ville – et la place Attaba.

Le 5 avril 1998 fut signé le contrat de conception-construction des deux tunnels, creusés par le tunnelier précédemment utilisé pour le métro. Le groupement d'entreprises retenu devait élaborer ses études en conformité avec les spécifications



**Plan général du tracé**  
*Layout of route*

et critères internationaux et prendre en compte la circulation de voitures et d'autobus dans les deux tunnels.

Le présent article est plus spécifiquement consacré aux études qui ont pris en compte deux facteurs essentiels :

- ◆ d'une part le tracé et les contraintes d'insertion des tunnels dans un environnement urbain très dense ;
- ◆ d'autre part les équipements et les niveaux de service choisis pour l'exploitation du tunnel.

**Joël Petit**  
DIRECTEUR ADJOINT TP EXPORT  
Campenon Bernard SGE

**Sylvestre Guillien**  
DIRECTEUR DE PROJET  
Campenon Bernard SGE

**Patrick Ramond**  
DIRECTEUR TECHNIQUE  
Campenon Bernard SGE

**Pierre Boutigny**  
INGÉNIEUR EN CHEF  
Campenon Bernard SGE

**Eric Bosle**  
INGÉNIEUR EN CHEF  
Campenon Bernard SGE

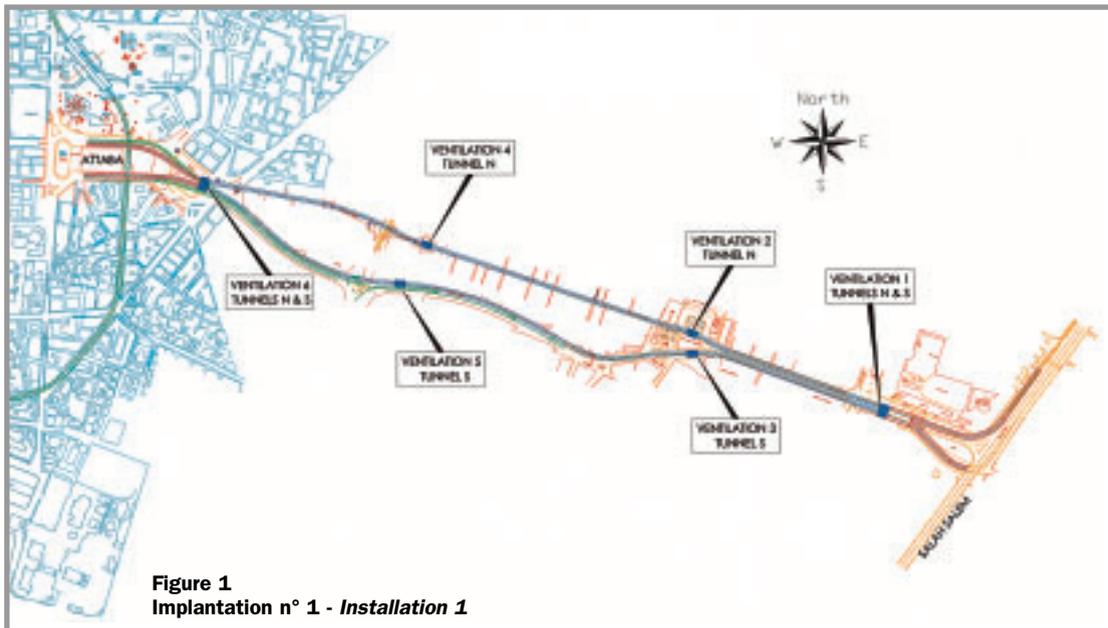


Figure 1  
Implantation n° 1 - Installation 1

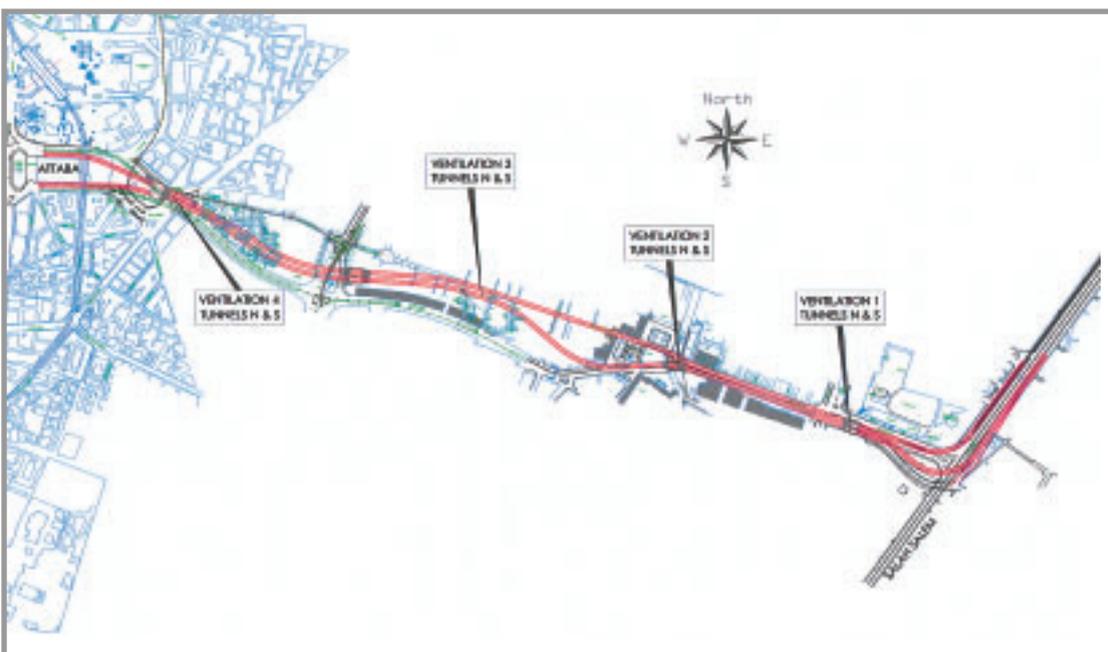


Figure 2  
Implantation n° 2  
Installation 2

## ► ■ CONTRAINTES D'IMPLANTATION

### Contraintes souterraines

Le cahier des charges prévoyait de construire les tunnels en dessous des artères de circulation existantes. Cette solution pratique est adoptée partout dans le monde puisqu'elle permet de limiter les interférences avec les constructions avoisinantes et de réduire les expropriations. En outre, elle donne généralement l'accès direct depuis la surface, ce qui peut s'avérer très utile en cas de problèmes lors de la construction.

#### L'implantation n° 1

Celle-ci prévoyait la réalisation de deux tunnels indépendants :

- ◆ le tunnel nord (T1) reliait l'autoroute (Salah Salem) à l'est – à Attaba à l'ouest, pour arriver au centre-ville. Cette artère principale, Salah Salem, relie – des cités résidentielles très peuplées en ex-

pansion (la ville de Nasr par exemple) –, au centre-ville du Caire, lieu de travail de cette population. Ce tunnel nord (T1) devait passer sous la rue Gohar El Kaed où se situe la célèbre université religieuse d'El Azhar, construite en 971 qui constitue l'un des trésors de la ville. Il poursuivait sous Khan El Khalily l'un des souks les plus connus du monde arabe, suivait la rue Mosky, traversait la rue Port Saïd, anciennement canal Khalig dans la ville médiévale, et amorçait un grand virage jusqu'à la place Attaba, où il devait ressortir à proximité de l'ancien opéra, détruit par le feu dans les années soixante. Quatre stations de ventilation devaient être construites : une à l'est au carrefour Mansouri - Gohar El Kaed qui constituait également le puits d'entrée du tunnelier, une à la place El Hussein, une sur la place du souk Kanto et la dernière sur la place Attaba vers l'extrémité du tunnel qui aurait également servi de puits de sortie du tunnelier ;

- ◆ le tunnel (T2) : celui-ci devait être parallèle au tunnel nord depuis l'échangeur, en longeant la rue Salah Salem, puis la rue Gohar El Kaed où devait se situer la première station de ventilation et le puits d'entrée du tunnelier commun aux deux tunnels.

Les deux tunnels devaient suivre le même trajet depuis le passage sous la rue Gohar El Kaed jusqu'à l'immeuble El Azhar Imam, où ils se séparaient. Le tunnel (T2) continuait alors vers le sud jusqu'à l'avenue El Azhar qu'il suivait précisément jusqu'à la place Attaba, où le puits de sortie du tunnelier et la station de ventilation étaient communs aux deux tunnels. La bretelle de l'échangeur devait se diriger vers le sud de l'Opéra pour rejoindre le réseau routier de cette place.

Les projets de l'implantation n° 1 sont reportés sur la figure 1.

Des études engagées sur la compatibilité avec l'environnement donnèrent lieu à une modification du projet pour trois raisons principales :

- ◆ interférence avec les pieux de l'autopont ;
- ◆ interférence avec un collecteur d'égout récemment construit dans la rue Moski ;
- ◆ difficulté de construction de cheminées de ventilation au milieu de routes très passagères.

#### L'implantation n° 2

Pour s'affranchir de ces difficultés une nouvelle disposition – déplaçant le tracé du tunnel nord vers le sud et celui du tunnel sud vers le nord – fut envisagée. Celle-ci débouchait sur deux tunnels presque parallèles sauf au niveau de l'immeuble El Azhar, construit en 1940, pour lequel on manquait de renseignements sur les fondations.

Cette solution avait l'avantage de situer une des stations de ventilation, presque au milieu des tunnels dans un secteur comportant une grande zone en ruine entourée de boutiques. Mais elle possédait le désagrément de rapprocher les deux souterrains, ce qui nécessitait une étude approfondie

des problèmes de tassement, ajouté au fait que sur la plus grande partie de leur trajet, les tunnels se trouvent en dessous de quartiers à forte densité de constructions. Une étude systématique de la zone allant de la place El Hussein jusqu'à la place Attaba a été réalisée, pour situer précisément ces immeubles par rapport au trajet du tunnelier et pour repérer les différents accès routiers et allées existants (figure 2).

On a pu ainsi répertorier tous les immeubles le long du trajet et en préciser le nombre d'étages, l'âge, le type de construction et le mode de fondation. Cette identification était indispensable à l'étude de la disposition en plans des tunnels.

Un étude approfondie des réseaux a également été menée. Un contrôle systématique des fondations des constructions les plus sensibles – dont l'immeuble El Azhar – a été effectué. On a réalisé en même temps :

- ◆ des sondages géotechniques de reconnaissance des sols ;
- ◆ une évaluation des types de ventilation possibles, résultant d'une étude parallèle menée sur les émissions de gaz d'échappement dans la ville.

**Implantation n° 3**

Lorsque le type de fondation de l'immeuble El Azhar a été connu (longrines profondes), l'étude s'est réorientée vers deux tunnels parallèles tout au long du tracé, comportant une section droite de grande longueur, depuis la cheminée d'entrée du tunnelier à Gohar El Kaed, jusqu'au milieu de la station de ventilation Zankalouni.

En général, l'implantation est en accord avec les textes de référence français ICTAVRU (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rigides urbaines), et RECTUR (Recommandations pour la conception des tunnels urbains à gabarit réduit) publiés le ministère de l'Équipement et des Transports.

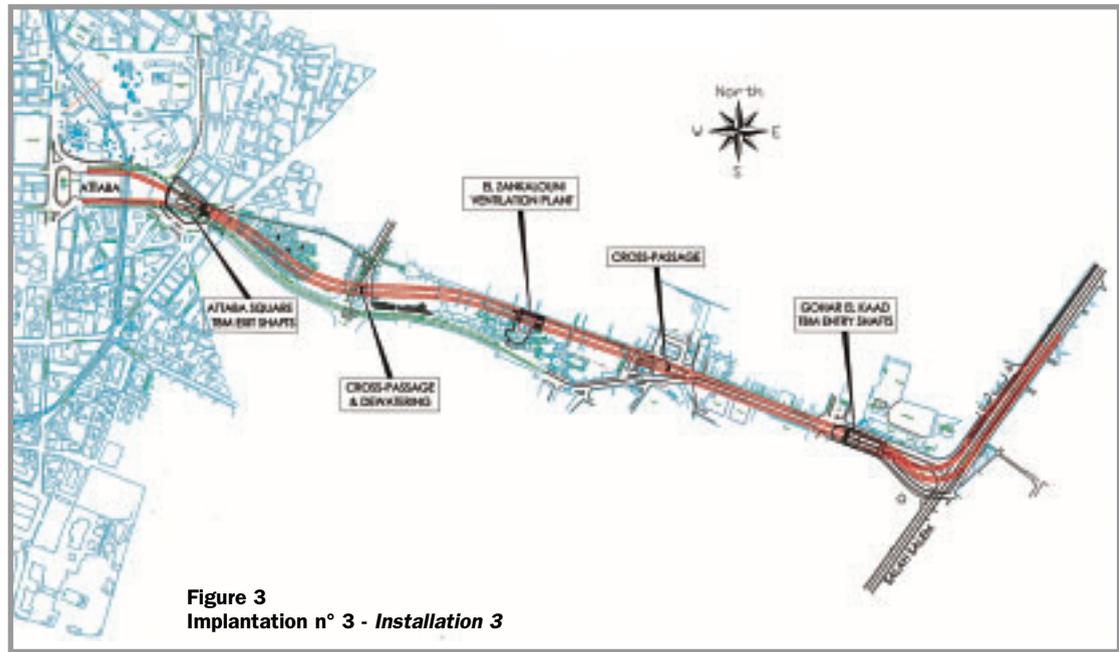
La réglementation française fut également adoptée pour la conception des équipements de tunnels. A cet égard, les normes recommandent de prévoir des issues de secours espacées de 800 m au plus, en tenant compte des contraintes locales. Dans ce cadre deux cheminées d'accès devaient être construites, l'une au niveau de l'immeuble El Azhar et l'autre dans la rue Port Saïd.

Au cours des discussions, il est rapidement apparu que l'expropriation du terrain à El Zankalouni, où devait se situer la station de ventilation intermédiaire, serait très longue. Il fallait donc trouver une autre solution (figures 3 et 4).

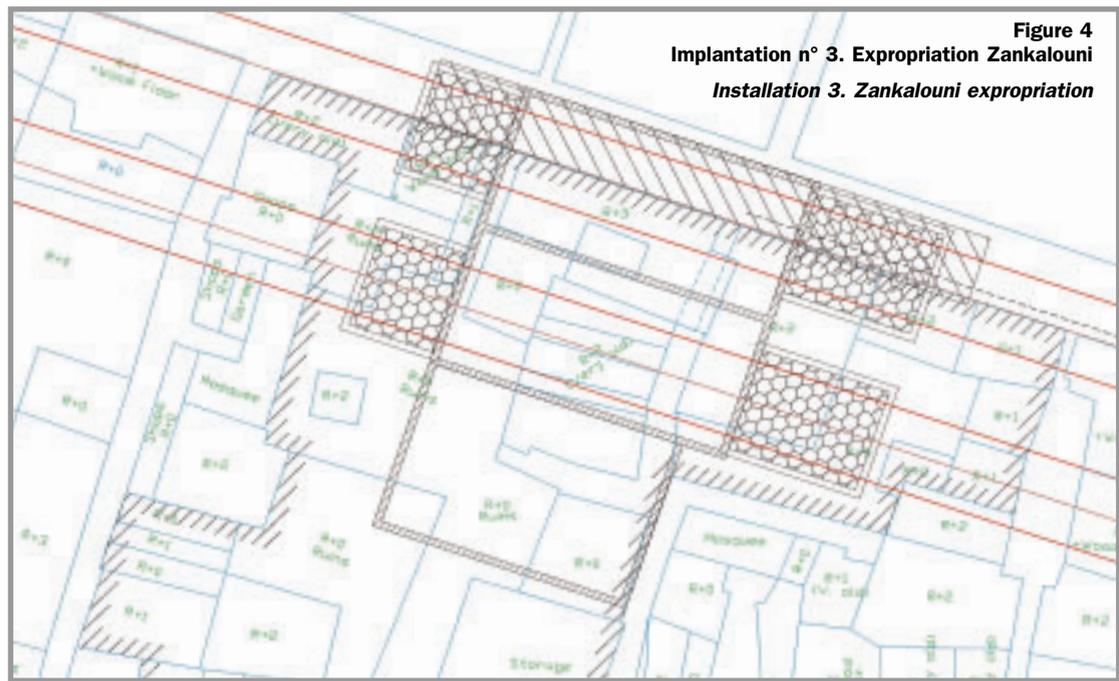
**Implantation n° 4** (figure 5)

L'ensemble de la ventilation a donc été repensé et repositionné de la manière suivante :

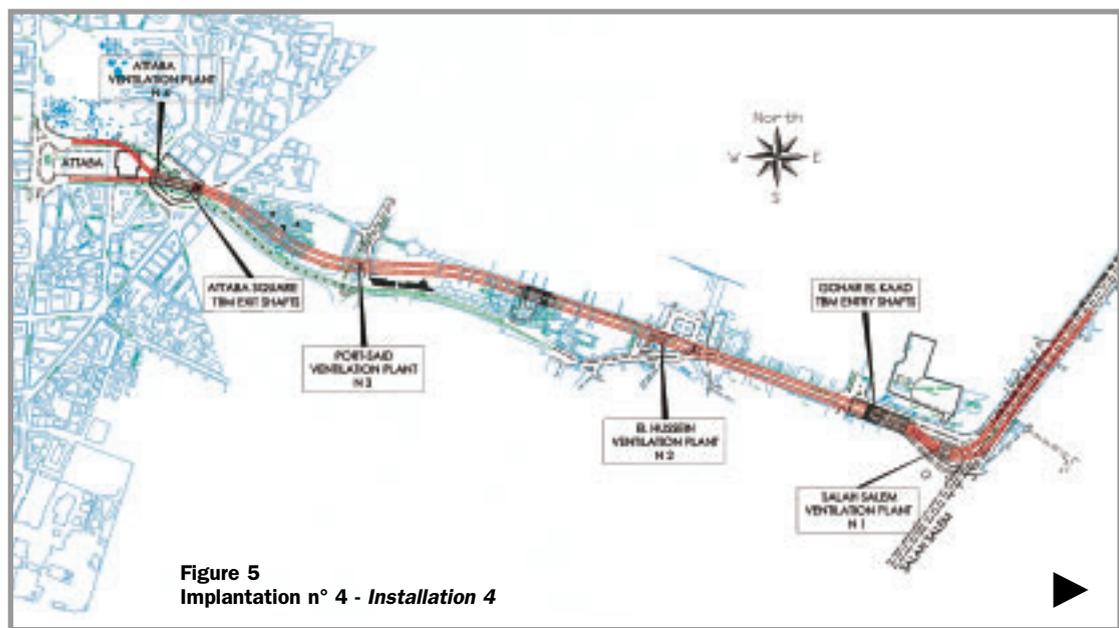
- ◆ une première station du côté est de la rue Gohar El Kaed vers l'avenue Salah Salem ;
- ◆ une deuxième station au niveau de la place El



**Figure 3**  
**Implantation n° 3 - Installation 3**



**Figure 4**  
**Implantation n° 3. Expropriation Zankalouni**  
**Installation 3. Zankalouni expropriation**



**Figure 5**  
**Implantation n° 4 - Installation 4**

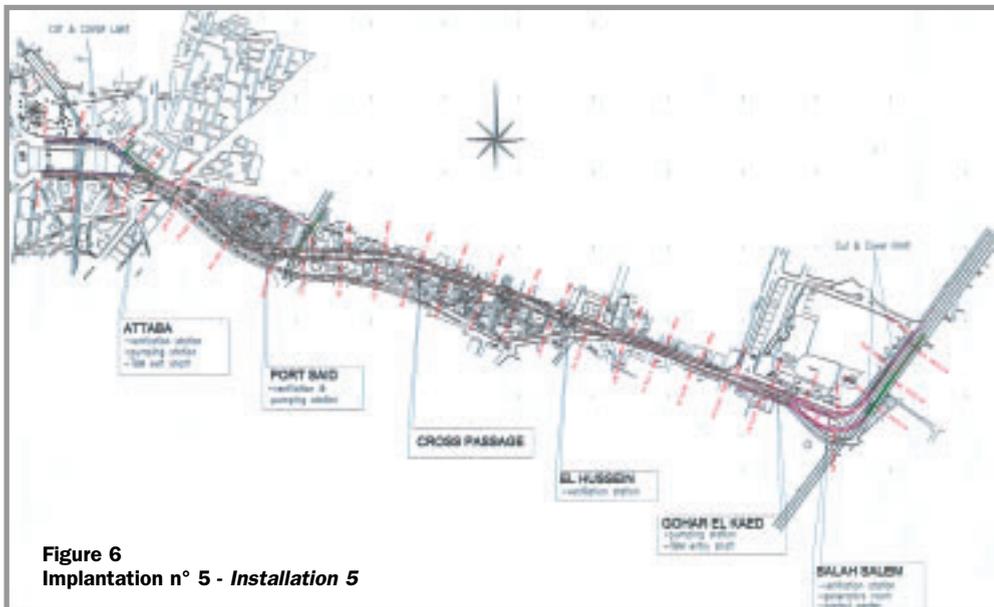


Figure 6  
Implantation n° 5 - Installation 5

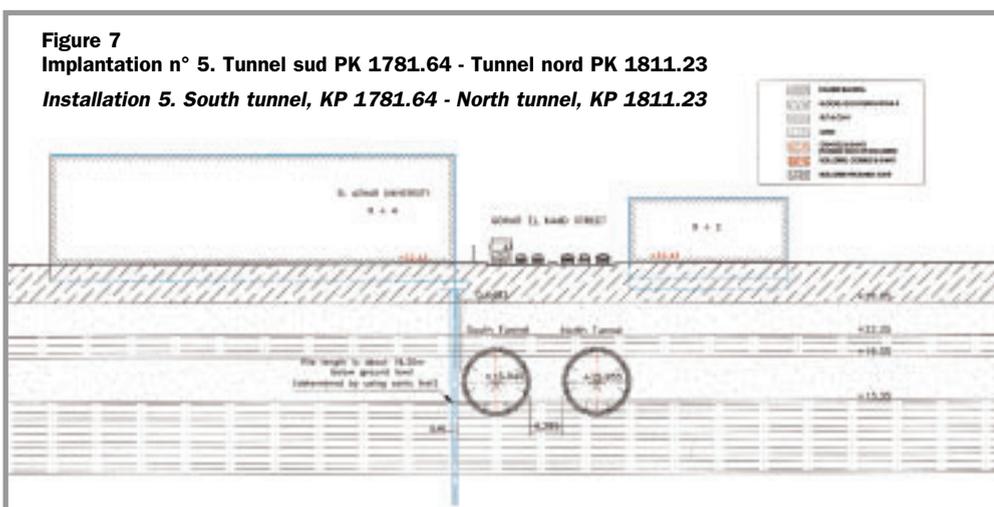


Figure 7  
Implantation n° 5. Tunnel sud PK 1781.64 - Tunnel nord PK 1811.23  
Installation 5. South tunnel, KP 1781.64 - North tunnel, KP 1811.23

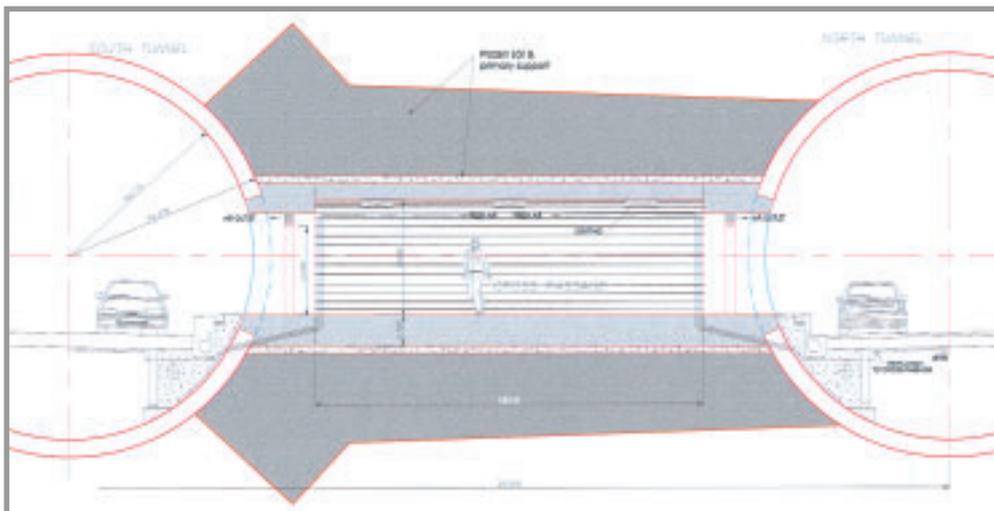


Figure 8  
Rameau de communication  
Communication system



Hussein, entre un centre commercial existant et l'immeuble El Azhar;  
 ◆ une troisième au carrefour des rues El Azhar et Port Saïd;  
 ◆ une quatrième au niveau de la place Attaba, située dans le puits de sortie du tunnelier.  
 Cette proposition n'a pas reçu l'agrément de la direction de la Circulation du Caire, pour des raisons de circulation au niveau du carrefour Port Saïd, déjà dans un état d'encombrement quasi permanent.

**Implantation n° 5**

Après étude, la troisième usine de ventilation a enfin trouvé sa place rue Port Saïd à l'ouest de l'autopont existant, sur un terrain appartenant au gouvernorat (figures 6 et 7).

Cette cinquième implantation a ensuite été complétée par le positionnement du rameau de communication, obligatoire selon les réglementations précitées.

Là encore, du fait de la densité du bâti en surface, une solution alternative a été proposée : la stabilisation du sol par congélation. Cette technique permettra de réaliser l'issue de secours reliant les deux tunnels (figure 8).

**Le profil**

Ayant résumé les contraintes d'insertion des tunnels, examinons maintenant le profil longitudinal (figure 9). Les points essentiels ayant dicté le profil longitudinal sont communs à toutes les dispositions déjà évoquées.

Les points d'entrée et de sortie et donc l'altitude des échangeurs d'entrée et de sortie sont prévus dans le contrat. La rue Salah Salem et la place Attaba sont respectivement à la cote + 50 m et + 19 m au-dessus du niveau de la mer.

Le collecteur d'égout de la rue Port Saïd a aussi un impact sur le profil longitudinal. C'est le collecteur principal du nouveau réseau d'égouts du Caire. Il a été construit en 1985 par Lilleys à l'aide d'un tunnelier à pression de boue, utilisant des voussoirs en béton. D'un diamètre extérieur de 5 m, il se situe à la cote - 17 m et véhicule quotidiennement plus de 500 000 m<sup>3</sup> d'effluents.

Vers l'ouest, à l'entrée de la place Attaba, une partie encore plus récente du réseau d'égouts dicte le profil longitudinal et régit la forme des rampes d'entrée-sortie des tunnels.

**Profil géologique** (figure 10)

Jusqu'à présent plus de 30 sondages, en incluant les piézomètres, ont été effectués le long des 2,7 km du tracé des tunnels. Dans leur ensemble ils indiquent – même ceux à proximité du secteur El Azhar au voisinage de Gabal El Mokattam et de Gabal El Ahmar – des alluvions du quaternaire à la hauteur du tracé. D'après l'analyse de la séquence de sédimentation, les dépôts se sont produits pendant deux phases distinctes au cours du pléistocène moyen et du pléistocène supérieur.

La première phase est représentée par un faciès de sables grossiers à stratification croisée et à structure litée; ces derniers semblent provenir d'un dépôt de plaine d'inondation, sans doute lors de la phase de stratification plane en régime haut d'écoulement.

La deuxième phase est caractérisée par des sables plus fins, des limons et de l'argile dont les couches horizontales furent déposées lors du recul de l'inondation.

### Conclusion sur l'implantation

L'implantation définitive des tunnels a donc été choisie en tenant compte de toutes les contraintes existantes, aussi bien par rapport au sol qu'au sous-sol. Le tracé retenu est le plus adapté, limitant au maximum les perturbations occasionnées sur toutes les constructions existantes. Il convient néanmoins, après avoir convenu de la disposition définitive, d'étudier les mesures préventives à mettre en œuvre avant de passer au droit des ouvrages sensibles, tels que le collecteur d'égout de Port Saïd.

Pour conclure la figure 11 résume les difficultés qui restent à surmonter dans un environnement aussi encombré. Des ouvrages spécifiques, tels que le passage sous le collecteur principal d'égout de la rue Port Saïd, nécessitent une analyse détaillée et un ensemble spécial de mesures préventives de confortement et d'accompagnement.

### Gabarit/hauteur libre

Le contrat définit comme seuls véhicules autorisés à emprunter les tunnels : les voitures particulières et les autobus. Il précise en outre le type de trafic et impose le gabarit interne. Deux voies sont prévues : une voie lente à droite pour les autobus, d'une hauteur maximale de 4 m, et une voie pour les VL à gauche. Cette dernière pourra également être empruntée par les bus en cas de dépassement forcé.

Par conséquent, les choix de positionnement de la chaussée, du trottoir et des postes d'appel d'urgence étaient limités. Les chaussées comprendront finalement deux voies de 3 m de large, un trottoir gauche de 0,75 m avec un caniveau à fente et un trottoir droit de 1,073 m qui recevra les postes d'appel d'urgence.

L'entrée des tunnels sera équipée pour détecter les véhicules hors gabarit. Un système d'alarme repérera le véhicule concerné et une voie de sortie est prévue pour son dégagement. Si le conducteur persiste, une poutre en béton à la hauteur du gabarit interdira physiquement l'entrée du véhicule (figures 12, 13 et 14).

## ■ ÉQUIPEMENTS RETENUS

### Ventilation

L'étude de la ventilation n'a pu être terminée qu'une fois choisis les plans et profils des tunnels. En accord avec NAT, il a été décidé de se référer aux recommandations PIARC (Association routière internationale permanente des congrès routiers), XIX<sup>e</sup> Congrès routier international de 1991 de Marrakech et XX<sup>e</sup> Congrès Routier International de 1995 de Montréal –, ainsi qu'aux publications de ses comités.

A ce propos des données récentes ont été recueillies

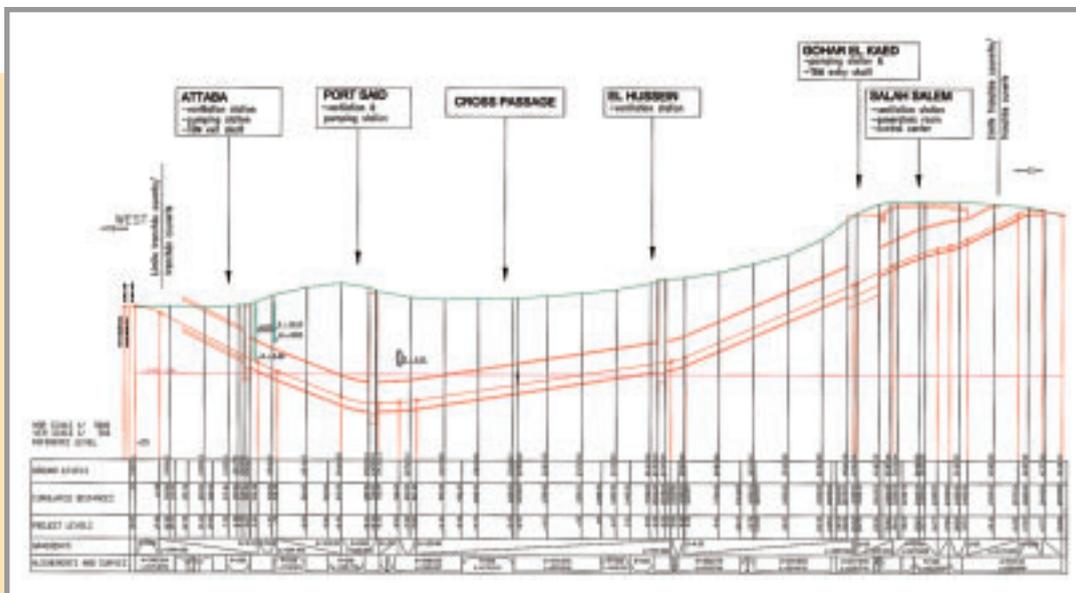


Figure 9  
Profil longitudinal  
Longitudinal profile

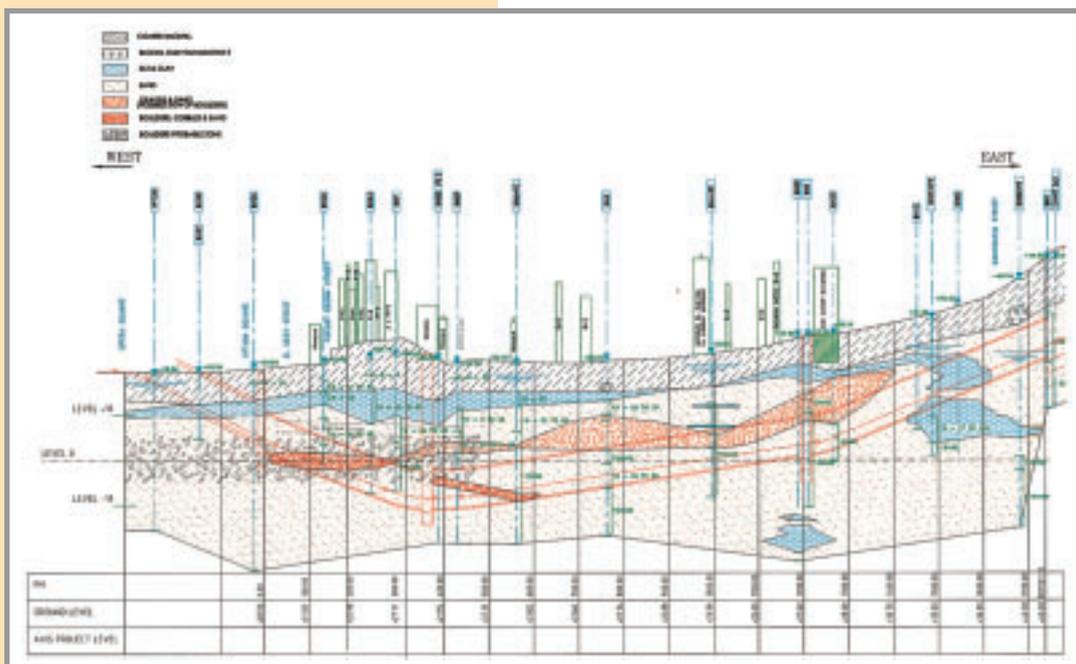


Figure 10  
Profil géologique  
Geological profile

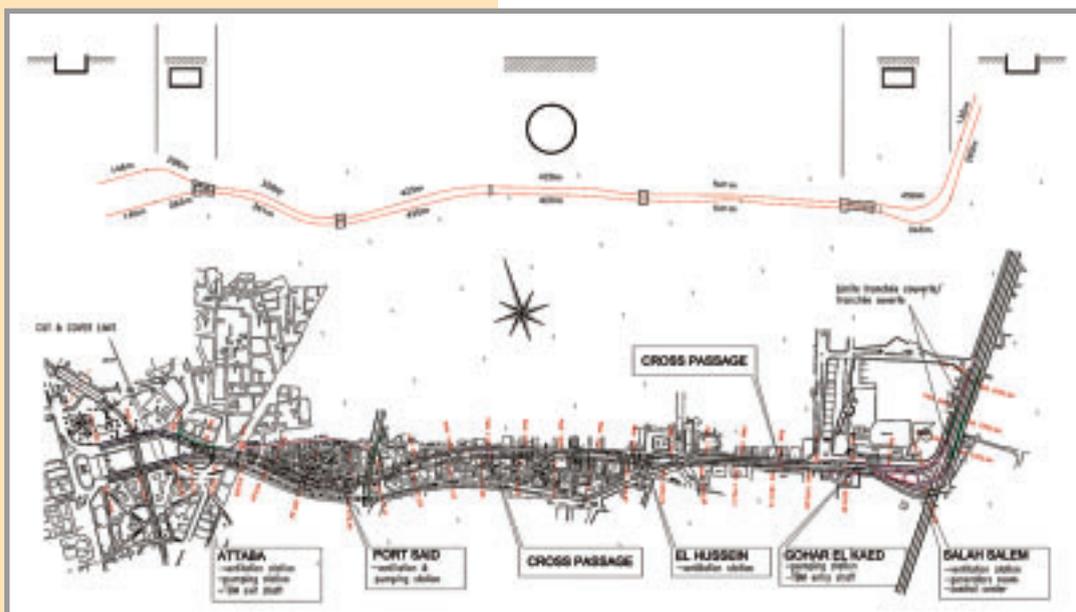
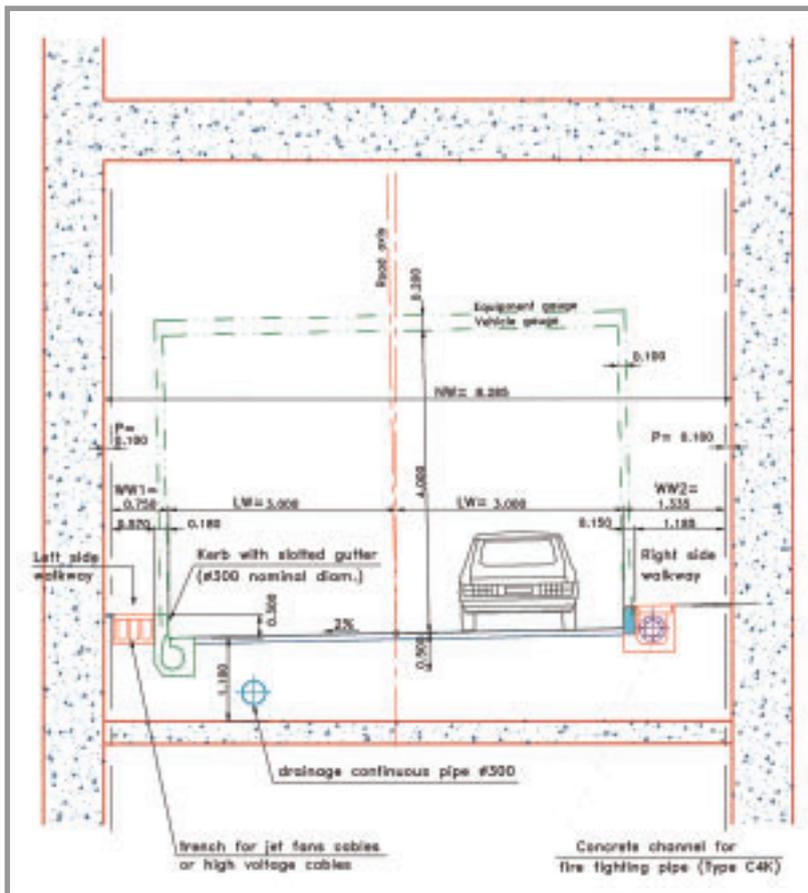


Figure 11  
Implantation finale  
Final installation

**Figure 12**  
Coupe type sur  
tranchée couverte  
  
*Typical*  
*cross section*  
*on cut-and-cover*  
*part*



des voitures et la fréquence des autobus émanent de la Direction de la circulation et du gouvernorat du Caire.

Toutes ces informations – profil, vue en plan, sections, densité du trafic, état de la flotte des véhicules – ont permis d'évaluer avec précision le débit d'air frais nécessaire dans différentes configurations de trafic, y compris en cas d'embouteillage et d'incendie (tableau I). Différentes solutions ont été étudiées et les avantages et inconvénients pour chacune d'elles ont été soigneusement évalués. Enfin, il a été convenu avec des spécialistes internationaux, membres du groupe de ventilation du PIARC, qu'en raison – de la densité de trafic, des sections des tunnels, des gabarits et hauteurs libres – qu'un système de ventilation fiable et sûr de type Saccardo devait être prévu, avec des accélérateurs supplémentaires aux extrémités des tunnels.

### Le système Saccardo

Dans son principe le système Saccardo prévoit :

- ◆ le remplacement de l'air pollué par de l'air frais ;
- ◆ la création d'une poussée dans le tunnel.

Le profil longitudinal du tunnel était complexe. Pour optimiser le rendement du système de ventilation, on peut montrer que les stations ont une position déterminante qui est fonction des émissions polluantes des véhicules (en fonction de la pente). D'autres contraintes, déjà évoquées, imposaient de situer ces stations rue Port Saïd et place El Hussein. Par conséquent, ce compromis a nécessité l'adjonction d'accélérateurs aux deux extrémités des tunnels (figure 15).

### Equipements d'exploitation

Le choix de la méthode d'exploitation, ainsi que la structure du système de surveillance sont conçus pour traiter une circulation dense et fournir un moyen efficace pour faire face à tous les scénarios d'incidents et d'accidents envisagés.

Les équipements d'exploitation de l'ouvrage sont définis pour mettre à la disposition des équipes d'exploitation et de secours :

- ◆ une surveillance permanente de la chaussée du tunnel et des structures annexes ;
- ◆ le contrôle des débits de circulation aux entrées et sorties des tunnels ;
- ◆ des moyens efficaces de communication pour pouvoir intervenir en quelques minutes.

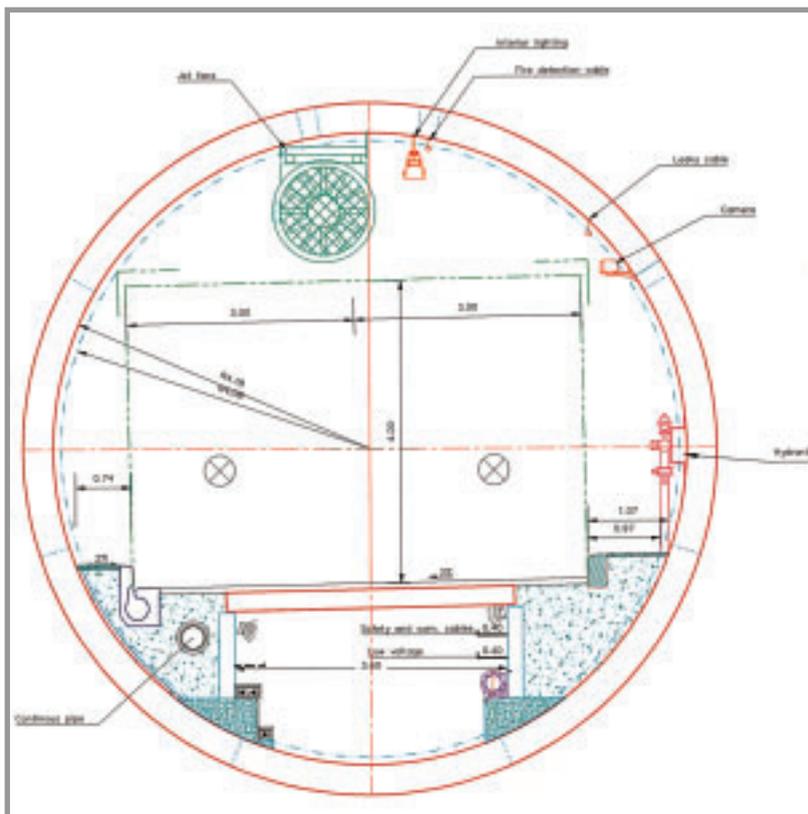
### Equipements de communication

#### Réseau téléphonique

- Réseau d'appel d'urgence (RAU)

Des stations de sécurité fermées et ventilées sont prévues tous les 200 m environ. Elles contiennent un téléphone d'urgence relié directement au centre

**Figure 13**  
Coupe  
d'équipement  
sur tunnel foré  
  
*Equipment section*  
*on drilled tunnel*



▶ par une étude en cours en Egypte pour la promulgation de la loi n° 4/1994 et le décret n° 338/1995 du Premier ministre. D'autres mesures effectuées par l'entreprise ont permis de corréliser les émissions de CO avec les informations recueillies. Les chiffres du nombre

de contrôle et des extincteurs. L'opérateur est automatiquement averti en cas d'ouverture de la porte. De plus, le système vidéo est asservi de manière à voir la nature d'un éventuel incident et ses répercussions sur le débit du trafic.

• Réseau téléphonique de service

Un réseau téléphonique interne et externe reliera les différents sites d'exploitation et les intervenants.

**Radiocommunication**

• Moyens radiophoniques de service et de sécurité

Pour les équipes de police, pompiers, défense civile, secours et exploitation du tunnel – en principe équipées de radiotéléphones mobiles –, des relais d'émetteurs radiophoniques seront installés.

• Radiodiffusion et radio d'exploitation

La continuité de quelques (4 ou 5) fréquences radiophoniques publiques sera assurée dans les tunnels. Celles-ci pourraient être signalées aux entrées des tunnels et/ou communiquées par la presse locale, la publicité, etc.

Au moyen de ce même support, une fréquence spécifique est allouée à l'équipe d'exploitation pour communiquer avec le poste de contrôle en cas d'intervention dans les tunnels.

**Equipements de sécurité**

**Systèmes de régulation, de signalisation et d'affichage de messages variables**

• Contrôle d'accès à l'entrée

Les entrées des tunnels seront équipées de moyens permettant de fermer l'une et/ou l'autre des deux voies en cas d'urgence.

• Contrôle de gabarit

Des moyens de contrôle de la hauteur des véhicules sont prévus aux entrées des tunnels pour interdire l'accès aux véhicules d'une hauteur supérieure à 4 m.

• Signaux d'affectation de voies

Suivant les recommandations de l'AIPCR, des signaux d'affectation de voies faciliteront la circulation et assureront la sécurité des véhicules.

• Panneaux à messages variables

Vitesse réglementaire, consignes de prudence et autres informations seront affichés sur des panneaux placés au-dessus des voies.

• Panneaux indiquant les issues de secours

Montés sur les parois du tunnel, ils indiqueront l'emplacement des postes de sécurité, des rameaux de communication et des escaliers de secours donnant accès à la surface.

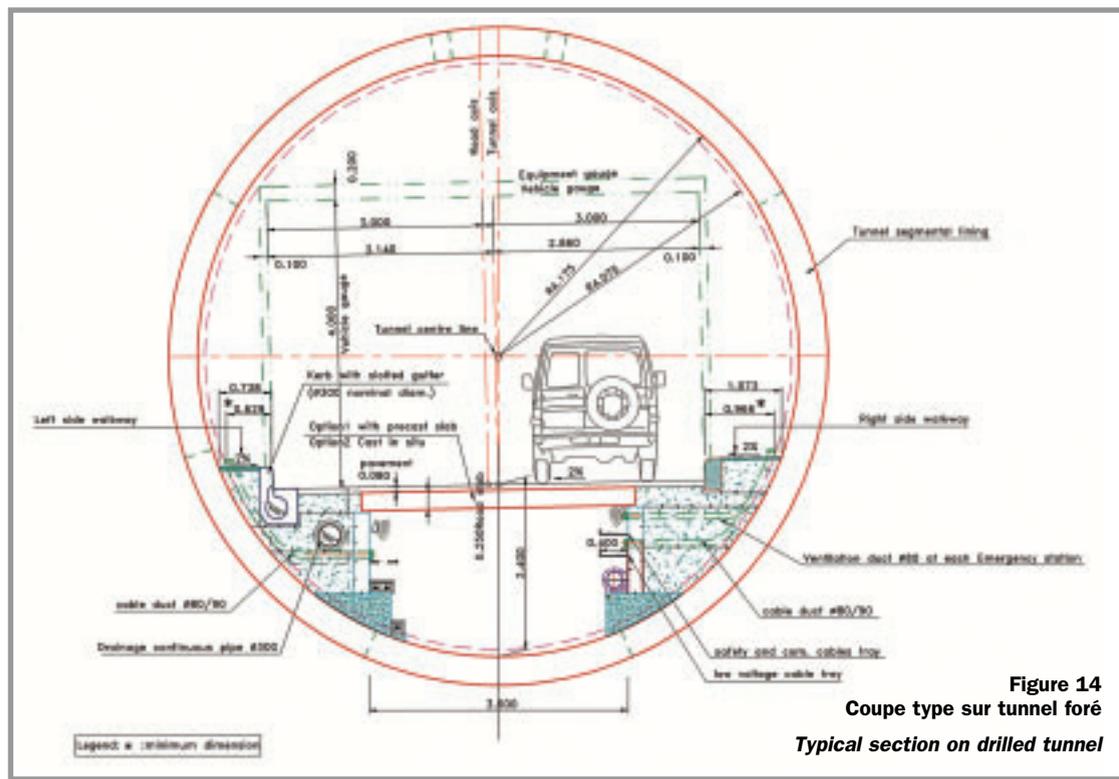


Figure 14  
Coupe type sur tunnel foré  
Typical section on drilled tunnel

Nombre de véhicules en 6 heures	Attaba — Salah Salem	Salah Salem — Attaba
Voitures de tourisme	18 000	24 000
Autobus	1 000	1 400

Tableau I  
Hypothèses de trafic  
prises en compte pour le  
dimensionnement  
de la ventilation  
Traffic assumptions  
taken into account  
for ventilation design

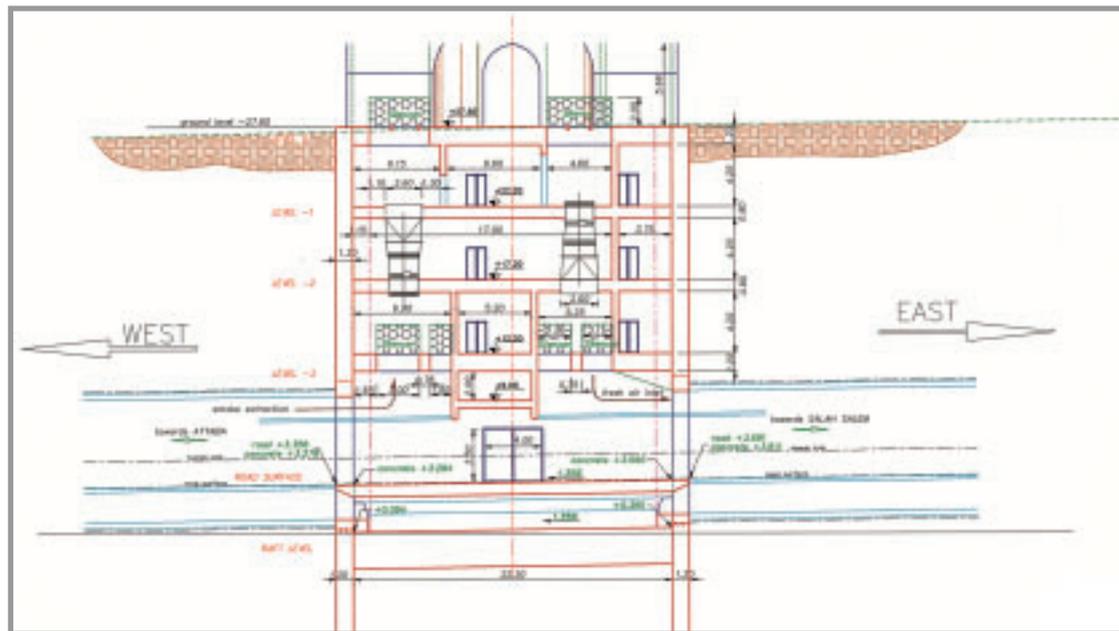
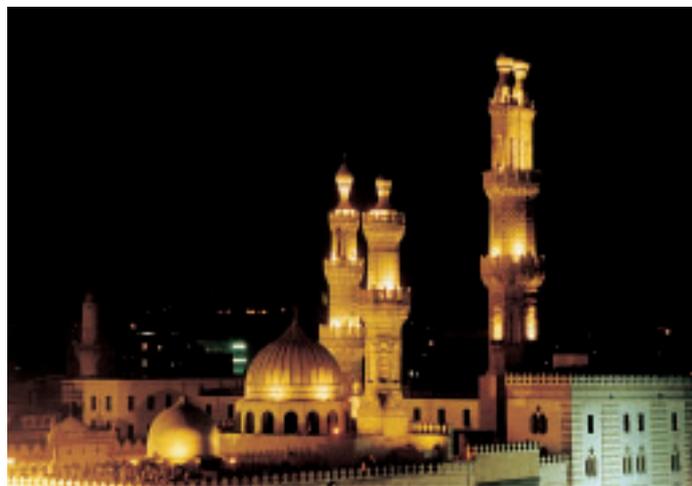


Figure 15  
El Hussein. Station de ventilation.  
Coupe longitudinale  
El Hussein. Ventilation station.  
Longitudinal section



Mosquée El Azhar  
El Azhar Mosque

El Hussein.  
Site de la station  
de ventilation

El Hussein.  
Ventilation  
station site



Tableau II  
Bilan de puissance  
Power balance

	Puissance installée
Ventilation	5500 kVA
Eclairage	300 kVA
Autres	900 kVA
Générateurs auxiliaires	200 kVA
Centre de contrôle	100 kVA
Total	7000 kVA



• **Installation de détection de la circulation de véhicules**

Destinée au poste de contrôle cette installation assurera les fonctions suivantes :

- ◆ comptage des véhicules ;
- ◆ débit de circulation (véhicules par heure) ;
- ◆ vitesse moyenne estimée des véhicules.

Des scénarios d'incidents types pourront aider l'opérateur en cas de besoin. De même, des messages variables préenregistrés lui seront proposés qu'il pourra ou non valider.

**Circuit fermé de caméras de télévision**

Ce circuit constitue l'un des moyens essentiels de surveillance et de sécurité du tunnel. Il permet à l'opérateur du poste de contrôle de voir :

- ◆ toute la longueur des tunnels y compris les entrées des stations de sécurité et des rameaux de communication ;
- ◆ les zones d'entrée et de sortie ;
- ◆ les voies d'approche.

Les images recueillies par l'ensemble des caméras sont envoyées simultanément sur la vidéo du poste de contrôle. L'opérateur pourra ainsi sélectionner les images de n'importe quelle caméra.

**Système d'alarme-incendie et de lutte contre l'incendie**

Des équipements distincts d'alarme et de lutte

contre l'incendie seront mis en place. Ils comprendront les éléments suivants :

- ◆ câble filant de détection en tunnel ;
- ◆ alarme de décrochage des extincteurs ;
- ◆ téléphone d'appel d'urgence ;
- ◆ caméras ;
- ◆ canalisations d'eau et bouches d'incendie ;
- ◆ extincteurs.

L'ensemble de ce dispositif permettra :

- ◆ l'alerte rapide de l'équipe d'exploitation ;
- ◆ l'évacuation des utilisateurs du tunnel ;
- ◆ l'intervention rapide des équipes de secours ;
- ◆ le maintien en service des équipements aussi longtemps que possible.

**Opacimètres, détecteurs d'oxyde de carbone et anémomètres**

Les données recueillies par ces appareils seront transmises au centre de contrôle.

Leur nombre, variable, est adapté aux cantons de ventilation et aux zones spéciales, par exemple les rampes de sortie où des embouteillages sont probables.

**Gestion technique centralisée (GTC)**

Celle-ci a pour but principal d'optimiser l'exploitation de l'installation. L'objectif est de fournir à l'opérateur tous les moyens d'information et d'intervention dont il peut avoir besoin, à savoir :

- ◆ l'informer de toute anomalie et lui permettre de déclencher la procédure d'intervention appropriée ;
- ◆ lui fournir des informations permanentes sur l'état de l'installation (fonctionnement, arrêt, panne, défaut...);
- ◆ lui permettre de transmettre des ordres et d'intervenir en cas d'urgence.

La GTC gère les systèmes suivants :

- ◆ l'alimentation électrique normale et de secours ;
- ◆ l'éclairage ;
- ◆ la ventilation ;
- ◆ l'alarme incendie ;
- ◆ le réseau incendie.

Elle permet également aux opérateurs du poste de contrôle de surveiller et de gérer les autres systèmes tels que :

- ◆ les ascenseurs ;
- ◆ les caméras ;
- ◆ la signalisation routière ;
- ◆ les réseaux téléphoniques ;
- ◆ l'épuisement ;
- ◆ les contrôles d'accès aux entrées des tunnels ;
- ◆ la radiodiffusion.

Grâce à la GTC, il y aura des liaisons entre :

- ◆ les caméras de télévision en circuit fermé et les bornes téléphoniques de secours, le contrôle d'accès aux stations de sécurité, l'utilisation des extincteurs ;
- ◆ la ventilation, la régulation de la circulation, les détecteurs d'air (oxyde de carbone, fumées, anémomètres).

### **Centre de contrôle**

Le personnel en charge de l'exploitation du tunnel à travers les équipements de la GTC est regroupé dans un centre de contrôle situé à Salah Salem. A partir de ce centre, ce personnel pourra intervenir suivant des scénarios prédéterminés.

### **Energie, éclairage**

#### *Energie*

L'alimentation électrique du tunnel est assurée par :

- ◆ les sources normales de la Compagnie Electrique du Caire (CEDC);
- ◆ une source de secours autorisant le fonctionnement en mode dégradé en cas de coupure de la source CEDC normale, ou lors des interventions de maintenance; cette source de secours est fournie par des groupes électrogènes.

Par ailleurs des onduleurs évitent une coupure brutale d'alimentation des équipements sensibles jusqu'à la mise en route de la source de secours.

Ce projet repose sur les hypothèses suivantes :

- ◆ deux points de distribution CEDC : une connexion au réseau moyenne tension (11 kV) au point de distribution d'Attaba et de Salah Salem;
- ◆ au moins une des sources CEDC peut assurer l'alimentation complète des tunnels;
- ◆ aucun délestage par la CEDC;
- ◆ la conception de l'architecture électrique assurera la disponibilité en cas de deux incidents successifs

Un bilan de puissance est reporté sur le tableau II.

#### *Eclairage*

L'éclairage d'un tunnel routier doit permettre la circulation dans les mêmes conditions de vitesse, de sécurité et de confort que sur les voies d'approche. En cas de coupure d'alimentation, un éclairage de secours partiel doit être assuré par l'alimentation de substitution afin d'assurer la sécurité des utilisateurs et faciliter le travail des équipes d'intervention.

La conception de l'éclairage à l'entrée des tunnels prévoit le réglage de l'intensité lumineuse en fonction de l'ensoleillement.

### **Evacuation des eaux**

Trois emplacements pour les stations de pompage (stockage et rejet) sont prévus et se situent :

- ◆ au puits d'entrée du tunnelier de Gohar El Kaed;
- ◆ à la station de ventilation de Port Saïd (point bas);
- ◆ au puits de sortie du tunnelier d'Attaba.

La nature des eaux peuvent être du type :

- ◆ infiltration éventuelle d'eau du sol dans lequel les tunnels sont construits;
- ◆ ruissellement des eaux de pluie sur les rampes d'accès aux tunnels;
- ◆ eaux de lutte contre l'incendie.



**Le tunnelier débouche dans la station de ventilation Attaba**

**Tunnel boring machine reaching the Attaba ventilation station**

La présence possible de matières dangereuses (hydrocarbures...) est également prise en compte.

#### *Principes de gestion de l'eau*

Les contraintes techniques de construction du tunnel interdisent la collecte séparée de l'eau d'infiltration venant de la partie supérieure des tunnels, des eaux de pluie, des eaux de lutte contre l'incendie et des liquides déversés. Ces eaux ou liquides seront tous collectés dans le caniveau à fente longeant la chaussée.

#### *Eaux d'infiltration*

Par temps sec et en l'absence d'incident, ces eaux, collectées par le caniveau, seront rejetées continuellement au réseau d'égout public. Par temps pluvieux et en l'absence d'incident, elles seront provisoirement stockées avec les eaux de pluie, puis rejetées progressivement au réseau d'égout. En cas d'incident, les eaux d'infiltration collectées pendant l'intervention des équipes de secours seront stockées – avec les eaux de lutte contre l'incendie, les liquides déversés, et, le cas échéant, les eaux de pluie – dans un bassin de rétention sécurisé (anti-explosion).

Les eaux d'infiltration provenant de la partie inférieure des tunnels s'écoulent par le bas, dans un caniveau situé au niveau du radier de la station de ventilation. Quelles que soit les conditions (pluie, incendie...), ces eaux seront rejetées au réseau d'égout public.

#### *Eaux de pluie*

Collectées dans le caniveau longeant la chaussée, elles seront progressivement (sur 24 heures) rejetées au réseau d'égout public.

#### *Eaux de lutte contre l'incendie*

Les eaux d'intervention après un incendie seront stockées. En effet, elles peuvent contenir des quantités importantes de polluants provenant aussi bien de la combustion, des produits utilisés par les

extincteurs, que par les liquides déversés accidentellement. La capacité de stockage maximal est de 120 m<sup>3</sup>.

## ■ CONCLUSION

Le projet de la route El Azhar est un chantier qui pose un réel défi. En tant que premier tunnel routier urbain sur le continent africain, il ouvre de nouvelles perspectives pour les concepteurs.

L'ensemble de ses caractéristiques ont toutes été choisies dans l'optique de réaliser un réseau routier sûr, et fiable, utilisant des technologies modernes et éprouvées.

Le défi posé par ce projet réside non seulement dans son emplacement, mais aussi dans les délais extrêmement courts de réalisation. Les dates suivantes abonderont en ce sens :

- ◆ date de signature du contrat : 5 avril 1998;
- ◆ date d'entrée en vigueur : 25 mai 1998;
- ◆ début de construction des parois moulées du puits Gohar El Kaed : 7 juillet 1998;
- ◆ fin des études préliminaires : 25 novembre 1998;
- ◆ percement du tube nord : 19 septembre 1999.

La réalisation du percement d'un tunnel urbain de 2,7 km dans un délai record de 16 mois est un exemple de l'approche permise par les projets en conception-construction. Grâce à la réactivité du consortium une optimisation globale de toutes les contraintes du projet (insertion urbaine, fonctionnalité, sécurité, creusement au tunnelier) a pu être menée dans toutes les phases du projet de manière à respecter les délais impartis.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Membres du consortium**

- Campenon Bernard SGE
- Arab Contractors
- Bouygues
- Eiffage
- Spie Batignolles TP
- Solétanche Bachy France
- Intertectra

## ABSTRACT

### EL Azhar road tunnels in Cairo

*J. Petit, S. Guillien, P. Ramond, P. Boutigny, E. Bosle*

**The architectural treasures located in the heart of the city of Fatimide must be brought out. Egyptian authorities consequently decided to build two road tunnels providing a direct link between Rue Salah Salem and Place de l'Opéra in order to reduce surface traffic, also enhancing the tourist value of this district while providing an essential link to major highways.**

**The article describes the specific aspects of the project in the design phase. Overall optimisation of all requirements - in terms of project insertion within the urban environment, safety and functional criteria, tunnelling requirements - made it possible to comply with the short deadline of 16 months between the signing of the contract and the drilling of the first 2.7 km tunnel.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### Los túneles viales El Azhar, en El Cairo

*J. Petit, S. Guillien, P. Ramond, P. Boutigny y E. Bosle*

**Los tesoros arquitectónicos existentes en el casco urbano de la ciudad Fatimida se deben revalorizar como corresponde. Por consiguiente las autoridades egipcias han decidido la construcción de dos túneles viales para permitir el enlace directo entre la calle Salah Salem y la plaza de la Ópera con objeto de reducir el tráfico rodado en la superficie, cosa que también permitirá revalorizar este barrio, para el turismo, al mismo tiempo que se obtiene un enlace de primordial importancia con las carreteras de gran circulación. Esta presentación tiene por objeto describir el carácter específico del proyecto en su fase de diseño. Una optimización global de todos los imperativos - la inserción del proyecto en el entorno urbano, los criterios de seguridad y funcionales, los requerimientos de excavación mediante un tunelero - ha permitido respetar el plazo récord de 16 meses entre la firma del contrato y la excavación del primer túnel, de una longitud de 2,7 km.**



# Le corridor de Maputo

## Réalisation d'une route à péage en Afrique du Sud et au Mozambique

Faisant partie de l'initiative de développement du corridor de Maputo, une route de 500 km sera construite entre Prétoria en Afrique du Sud et Maputo au Mozambique par Bouygues en groupement avec deux sociétés sud-africaines.

Après avoir réalisé le montage financier en un temps record, le groupement réalisera le marché de conception-construction en 42 mois. Le prix de travaux est évalué à 1,5 milliard de francs. Le développement économique régional étant de première importance, le groupement réalisera une partie des travaux avec de petites entreprises locales qui seront formées dans des écoles spécialement construites pour le projet. De plus, ces écoles serviront à la formation des populations défavorisées.

### ■ SITUATION GÉOPOLITIQUE

Au début du siècle et jusqu'à la guerre d'indépendance, le port de Lorenzo Marques (maintenant Maputo), au Mozambique, fut un des plus importants de l'Afrique Australe. Les guerres (de 1965 à 1992) ainsi que la fermeture du pays durant l'époque communiste ont forcé les Sud-Africains à développer leurs propres infrastructures portuaires sur la côte Est, au sud du Mozambique (figure 1).

Aujourd'hui, suite au rapprochement des deux pays, les besoins de développement de l'est de l'Afrique du Sud et surtout du Mozambique se font pressants. C'est pourquoi, les gouvernements des deux pays ont-ils décidé de créer le "Corridor de Maputo" qui sera articulé autour d'infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires et portuaires et qui devrait permettre le développement économique de toute la région, ainsi que la prise en considération des populations locales défavorisées, par leur participation directe à cet axe de développement.

### ■ DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET

Dans le cadre de ce projet de développement, un appel d'offres a été lancé en avril 1996. Le 5 mai 1997, un contrat de concession a été signé pour la construction (partielle), la maintenance et l'exploitation d'une route à péage.

Cette concession consiste d'abord à améliorer une route existante sur 500 km, à exploiter cinq péages dont trois en Afrique du Sud (95 % des recettes) et deux au Mozambique (5 % des recettes). L'entretien de la route devra être assuré durant une période de trente ans, durée de la concession. Le tracé débute à Spitskop (30 km à l'ouest de Wit-



Figure 1  
Carte générale  
General map

bank) et se termine à Maputo. Cette route à péage suit principalement le parcours existant de la N4 en Afrique du Sud et de l'EN2 au Mozambique. Une bonne partie des travaux consiste donc en la remise en état de l'existant.

Alors que la distance entre Spitskop et Maputo est de 435 km, la longueur totale du projet est de plus de 500 km car une bretelle de 65 km est à construire au nord de la N4 (cf. tracé bleu sur figure 1). Cette bretelle permettra d'augmenter la capacité dans une zone où il aurait été coûteux et difficile d'élargir la N4 actuelle.

Cette route, une fois achevée, permettra de réduire les temps de transport en améliorant la sécurité routière. Elle permettra aussi de diminuer les distances de transport entre Johannesburg, Prétoria et l'Océan Indien.

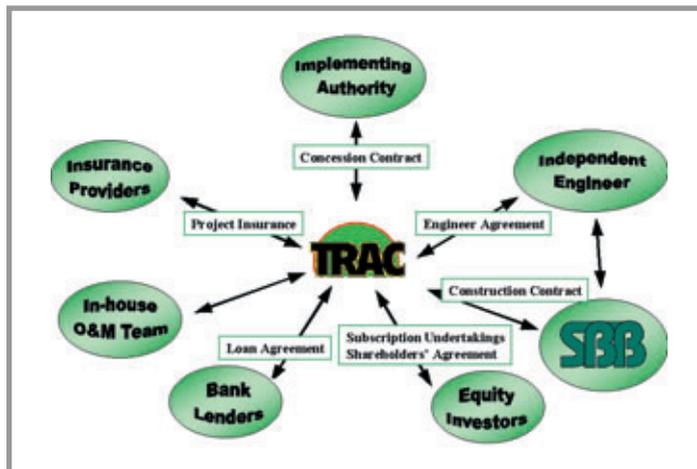
### ■ LES INTERVENANTS

A l'origine du projet, Bouygues, sa filiale Basil Read et Stocks and Stocks (un partenaire sud-africain) ont travaillé, après la signature du contrat de concession, au montage du projet. Durant cette période,

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Remblais en provenance d'emprunts : 1 535 000 m<sup>3</sup>
- Excavation pour drainage : 130 000 m<sup>3</sup>
- Structure de chaussée : 1 376 000 m<sup>3</sup>
- Concassé : 196 000 m<sup>3</sup>
- Bitume : 7 920 000 litres
- Asphalte : 186 000 tonnes
- Béton pour structures : 53 930 m<sup>3</sup>

**Figure 2**  
**Représentation des relations**  
**entre les principaux**  
**intervenants**  
*Representation of relations*  
*between the main players*



**Le péage de Middleburg,**  
**juste avant l'ouverture**  
*Middleburg toll station*  
*just before going into service*



**Elargissement**  
**de la route existante**  
*Widening of existing road*



**Mise en place**  
**d'un enrobé clouté**  
*Application*  
*of gritted asphalt*



de nombreux intervenants dont les diverses relations sont illustrées sur la figure 2, ont été impliqués :

- ◆ la société concessionnaire : TRAC (Trans-African Concessions Pty Ltd) dont les actionnaires sont :
  - 12 % Bouygues SA,
  - 12 % Basil Read,
  - 16 % Stocks and Stocks Holdings,
  - 16,667 % Commonwealth Development Corporation (CDC),
  - 10,030 % SDCM (groupe d'investisseur mozambicain),
  - 22,727 % South African Investment Fund (SAIF);
  - 10,576 % autres;

◆ les états ou le concédant : les Etats du Mozambique et d'Afrique du Sud sont représentés par un groupement appelé l'Implementing Authority. Ses membres actifs sont le Road Agency d'Afrique du Sud et la DNEP du Mozambique (direction nationale des ponts et chaussées).

Son rôle est de superviser le déroulement du contrat, autoriser les suppléments et exproprier les terrains. Pour le suivi de l'avancement et de la qualité, elle a nommé un ingénieur indépendant, the Independent Engineer, consortium composé de consultants, principalement sud-africains ;

◆ le constructeur SBB Joint venture : pour la réalisation des travaux, un groupement d'entreprises ou joint venture a été créé par trois partenaires conjoints et solidaires avec les participations suivantes :

- 30 % (leader) : Bouygues SA,
- 30 % : Basil Read (PTY) Ltd (filiale de Bouygues),
- 40 % : Stocks Roads (PTY) Ltd.

### ■ LE MONTAGE : UNE OPÉRATION RÉALISÉE EN UN TEMPS RECORD

Malgré le nombre important d'intervenants et les difficultés additionnelles inhérentes à l'exécution des travaux dans deux pays différents, le montage du projet a été réalisé en un temps record.

En effet, entre la date de signature du contrat de concession (le 5 mai 1997) et la date de signature de l'ensemble des pièces contractuelles (le 12 décembre 1997), sept mois seulement se sont écoulés. Deux mois plus tard (le 6 février 1998), toutes les conditions préalables étaient levées et les travaux étaient lancés.

### ■ LA CONSTRUCTION

#### Le marché

Un contrat de conception et construction équivalent à 1,5 milliard de francs a été signé pour la réalisation des travaux. Le contrat, à l'origine de type

FIDIC, a été adapté lors des négociations entre les divers intervenants. Le contrat est forfaitaire, sans révision de prix et payé en Rands sud-africains. D'une durée totale de 42 mois, la construction doit être achevée en août 2001.

### Les caractéristiques techniques

Le projet a été divisé en quarante-et-une sections dont cinq pour les péages. La décomposition a été faite selon le type de travaux à réaliser sur le tracé. La direction des travaux, vu l'étalement géographique du projet, a du être répartie sur trois zones pour la phase 1 (février 1998 à septembre 1999) et quatre zones pour la phase 2 (octobre 1999 à août 2001).

Le type de travaux à réaliser sur ces différentes sections peut-être résumé de la façon suivante (figure 3) :

- ◆ nouvelle construction : lorsque le tracé de la route existante doit être modifié pour des raisons de sécurité ou de distance ;
- ◆ reconstruction : lorsque l'état de la route existante nécessite la reconstruction complète de la structure sur le tracé existant ;
- ◆ réhabilitation : lorsque la route existante s'est détériorée localement et requiert des réparation de façon localisée ;
- ◆ élargissement et amélioration des intersections : Lorsque le trafic est devenu trop important et que le nombre de voies doit être augmenté ou des voies de dépassement ajoutées pour des raisons de sécurité.

Dans la majorité des cas cités précédemment, la surface de la route doit être refaite avec une des méthode suivante (figure 4) :

- ◆ *single seal* ou monocouche ;
- ◆ *cape seal* ;
- ◆ *double seal* ou bicouche ;
- ◆ *overlay* ou enrobés.

De façon générale, ces traitements de surface permettent d'imperméabiliser la chaussée, améliorent la qualité de roulement et la rugosité. Plus spécifiquement, les enrobés permettent de mieux répartir les efforts imposés par le trafic et par le fait même d'augmenter la durée de vie de la chaussée.

### Les quantités et ressources principales

En pointe, plus de 1600 employés s'affaireront à la réalisation de ce projet. Au total, sur les 500 km de route, plus de 4 millions de mètres cubes de terre devront être déplacés (cf. encadré "Les principales quantités").

### Le programme de formation

De façon à favoriser le développement des populations défavorisées trois écoles ont été construites

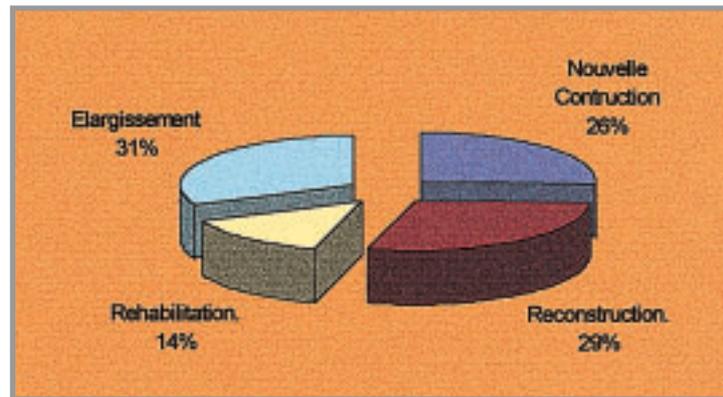


Figure 3  
Représentation du projet par type de travaux  
*Representation of project by type of works*

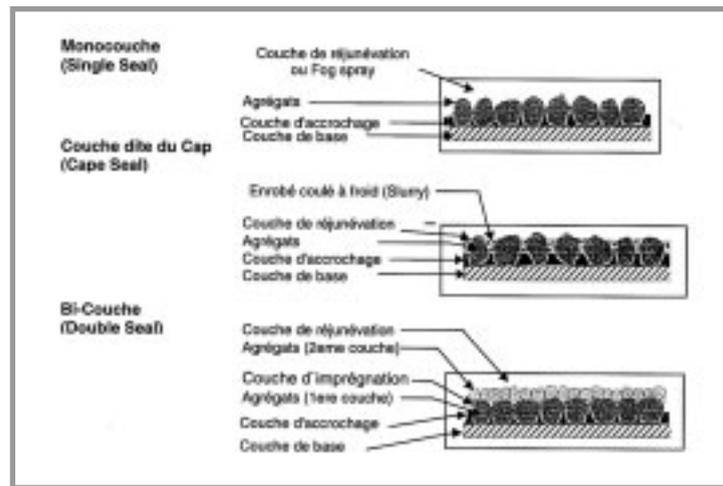


Figure 4  
Principaux types de revêtement utilisés  
*Main types of surfacing used*

spécifiquement pour ce projet (deux en Afrique du Sud et une au Mozambique).

Les travailleurs du projet et les petits sous-traitants y apprendront les métiers de la construction. De plus, les populations locales y recevront des cours d'alphabétisation, d'hygiène, d'administration. Alors qu'un des centres se consacrera davantage à la femme et la technologie, les deux autres développeront surtout les compétences dans l'industrie et le commerce.

### La participation des groupes préalablement défavorisés ou le *Black Empowerment*

Historiquement, les populations noires d'Afrique du Sud ainsi que les communautés rurales du Mozambique ont été défavorisées. Toujours dans une optique de développement, il fut décidé de faire participer au maximum les groupes défavorisés dans la construction du projet.

Pour ce faire, un programme appelé SMME (*Small Medium and Micro Enterprises Program*) a été proposé aux gouvernements du Mozambique et de l'Afrique du Sud.

Ce programme est en fait un engagement du groupement de construction à créer environ 700 petits sous-contrats qui doivent être octroyés par voie d'appel d'offres publics. Ces contrats visent à :



Construction d'une déviation de trafic pour permettre la reconstruction complète de la route existante

*Construction of a traffic diversion to allow complete reconstruction of the existing road*



**Elargissement d'un pont construit par des prisonniers lors de la Première Guerre mondiale**

*Widening of a bridge built by prisoners during the First World War*



**Construction d'une nouvelle route parallèle à l'existante**

*Construction of a new road parallel to the existing one*



**Construction d'une route nouvelle au cœur de la brousse au Mozambique**

*Construction of a new road in the heart of the Mozambique bush*

**ABSTRACT**

**The Maputo Corridor. Construction of a toll highway in South Africa and in Mozambique**

*L. Messier*

As part of the Maputo Corridor development initiative, a 500-km road will be built between Pretoria in South Africa and Maputo in Mozambique by Bouygues working in a group with two South African companies.

After having completed the financial arrangements in record time, the group will complete the design-build contract in 42 months. The project is valued at FF 1.5 billion. As regional economic development is of primary importance, the group will carry out part of the works with small local companies which will be trained in schools specially constructed for the project. In addition, these schools will provide training for underprivileged populations.

**RESUMEN ESPAÑOL**

**El corredor de Maputo. Construcción de una carretera de peaje entre África del Sur y Mozambique**

*L. Messier*

Al formar parte del proyecto de desarrollo del corredor de Maputo, se habrá de construir una carretera de 500 km entre Pretoria, en África del Sur, y Maputo, en Mozambique, por parte de Bouygues en agrupación con dos empresas surafricanas. Tras haber procedido a obtener los recursos financieros en el mercado de capitales bancarios y financieros en un tiempo récord, la agrupación de empresas constructoras pondrá en ejecución el contrato de diseño y construcción en 42 meses. El importe de estas obras se ha evaluado en 1500 millones de Francos franceses. Habida cuenta de la importancia del desarrollo económico regional, la agrupación de empresas se propone ejecutar una parte de las obras por medio de PYMES locales que serán capacitadas para tal menester en escuelas especialmente construidas para el proyecto. Además, estas escuelas se habrán de utilizar para la enseñanza de las poblaciones de las zonas deprimidas o rezagadas.



◆ sous-traiter 20 % des travaux en Afrique du Sud à des entreprises appartenant et étant gérées par des personnes défavorisées sous le régime de l'apartheid ;

◆ sous-traiter 40 % des travaux au Mozambique à des entreprises appartenant et étant gérées par des citoyens mozambicains.

De plus, la formation ainsi que l'assistance technique à ces nombreuses petites entreprises font partie intégrante des engagements du groupement d'entreprises.

# La construction du barrage de Sainte-Marguerite SM3 au Québec

**Le barrage de Sainte-Marguerite constitue l'ouvrage prédominant de l'aménagement hydro-électrique SM3 conduit par Hydro-Québec à 800 km au nord-est de Montréal (Québec). Cet article développe les particularités de ce projet et les conditions de réalisation rencontrées par l'entreprise Spie Batignolles.**

## ■ L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE SM3

La rivière Sainte-Marguerite est déjà équipée de deux centrales : SM1 (8,5 MW) et SM2 (18 MW) et le projet SM3 constitue le dernier aménagement important. Il représente pour le client Hydro-Québec un investissement de près de 2,1 milliards de dollars canadiens et permettra d'assurer à compter de 2001 une production électrique en pointe de l'ordre de 882 MW.

Le projet SM3 est localisé à 110 km au nord de Sept-Îles sur la rive gauche du fleuve Saint-Laurent à environ 800 km au nord-est de Montréal. Il se situe dans un environnement montagneux très boisé. La topographie particulière du site a imposé aux concepteurs de positionner la centrale à plus de 8 km en aval du barrage, et l'évacuateur de crues dans un col situé à 500 m en rive droite du barrage. La conception et la réalisation ont fait l'objet d'appels d'offres successifs que l'on peut résumer comme suit :

- ◆ conception et plans d'exécution des ouvrages ;
- ◆ contrôle de l'exécution des ouvrages ;
- ◆ réalisation des routes d'accès au barrage (environ 100 km) ;
- ◆ creusement de la galerie de dérivation provisoire (largeur : 9 m, hauteur : 15,1 m, longueur : 978 m) ;
- ◆ réalisation d'un rideau d'étanchéité (5 800 m<sup>2</sup>) et d'un batardeau provisoire ;
- ◆ construction du barrage et de l'évacuateur de crues ;
- ◆ aménagement de la prise d'eau (hauteur 45 m) ;
- ◆ creusement de la galerie d'amenée d'eau à la centrale (11,5 m de large, 16,5 m de haut, longueur 8 300 m) et d'une cheminée d'équilibre ;
- ◆ creusement et bétonnage de la centrale (longueur : 106 m, largeur 27 m, hauteur : 39 m, hauteur de chute : 330 m) ;
- ◆ creusement et bétonnage du canal de fuite ;
- ◆ équipement de la centrale de deux turbines de type Francis de 441 MW chacune ;

◆ équipement de l'évacuateur de crues de trois vannes plates sur roues (largeur : 8,1 m, hauteur : 13 m).

## ■ LE CONTRAT DE CONSTRUCTION DU BARRAGE

Le 8 décembre 1995 le contrat de construction du barrage et de l'évacuation de l'évacuateur de crues était attribué par Hydro-Québec au groupement d'entreprises EBC - Spie. Spie Batignolles est présente au Québec depuis 1993 par l'intermédiaire de sa filiale Spie Batignolles Québec Ltd. Son partenaire québécois dans cette association est la société EBC Inc., œuvrant dans la construction au Québec depuis plus de trente ans.

Le montant initial du marché était de 113 millions de dollars canadiens et le programme contractuel des travaux prévoyait une livraison de l'ouvrage en décembre 1998.

Le marché est rémunéré par application de quantités aux prix unitaires de bordereau, les prix étant fermes et non révisables, seule la part main d'œuvre peut bénéficier d'une actualisation en cas de modification de la convention collective en vigueur dans la construction.

Le contrat prévoyait l'application de primes (cinq) ou de pénalités (cinq) pour l'avance ou le retard par rapport à des dates clés.

La livraison de l'ouvrage a devancé toutes les dates prévues ; le groupement a pu donc bénéficier du paiement de l'ensemble des primes et la totalité de l'ouvrage a été réceptionnée fin novembre 1998. Une avance de 5 millions de dollars canadiens a été consentie par le client pour permettre le financement d'une partie du matériel. Cette avance a par la suite été remboursée par retenues successives sur les décomptes.

Il convient également de noter une des particularités des marchés nord-américains qui obligent à garantir le montant du marché auprès d'une compagnie de cautionnement reconnue par le client.

**Jean-Marc Saccone**

DIRECTEUR DE PROJET  
Spie Batignolles TP



## CARACTÉRISTIQUES DU BARRAGE

- Hauteur moyenne : 171 m
- Longueur en tête : 380 m
- Largeur à la base : 500 m
- Largeur en tête : 10 m
- Volume du barrage : 6,4 millions de m<sup>3</sup>

### Caractéristiques de la retenue

- Niveau maximum : 407 m
- Surface : 253 km<sup>2</sup>
- Volume total : 12,6 milliards de m<sup>3</sup>
- Volume utile : 3,3 milliards de m<sup>3</sup>

### Appareillage de contrôle du barrage

- 56 piézomètres électriques
- 23 piézomètres pneumatiques
- 4 cellules de pression totale
- 1 010 ml de tubes d'indinomètres verticaux ou inclinés
- 13 indicateurs de tassements relatifs
- 3 indicateurs de tassements ponctuels
- 67 thermomètres

### Parc matériel utilisé sur le chantier

- Véhicules légers 4 x 4 : 40 unités
- Camions de servitude : 15 unités
- Tombereaux (35 à 50 t) : 19 unités
- Pelles hydrauliques : 9 unités
- Bouteurs : 7 unités
- Chargeuses sur pneus : 5 unités
- Niveleuses : 2 unités
- Compacteurs : 4 unités
- Foreuses : 5 unités
- Grues mobiles : 3 unités

**Photo 1**  
Parement aval du barrage  
durant sa construction  
(cote 380)

*Downstream facing  
of dam during construction  
(level 380)*



**Photo 2**  
Vue de l'ensemble  
de la flotte des tombereaux  
*General view  
of dumper fleet*



## ► ■ LE BARRAGE (photo 1)

L'ouvrage est un barrage en enrochements dont le noyau est constitué de matériaux argileux imperméables provenant de dépôts de moraine situés aux alentours. De part et d'autre de ce noyau les filtres comprennent des matériaux de granulométrie croissante (sable naturel ou matériaux concassés). Les recharges sont composées de matériaux concassés ou de tout-venant de carrières dont la granulométrie est croissante depuis les filtres jusqu'aux parements.

La préparation des fondations a nécessité l'excavation de 862 000 m<sup>3</sup> de matériaux meubles et 148 000 m<sup>3</sup> de rocher. Les anfractuosités du lit de la rivière et des versants ont été comblées par 18 000 m<sup>3</sup> de béton et par 1 900 m<sup>3</sup> de béton projeté au droit du noyau.

L'étanchéité du roc de fondation au droit du barrage a été assurée par la confection de rideaux d'injection nécessitant la mise en place de 250 m<sup>3</sup> de coulis. 840 000 m<sup>3</sup> de moraine ont été mis en place à partir de matériaux extraits et sélectionnés depuis quatre gisements distants jusqu'à 18 km du barrage. Aux appuis, ces matériaux devaient posséder une granulométrie et un indice de plasticité particuliers qui ont imposé une sélection et un ta-

misage spécifique. Le contrat prévoyait également en cas de nécessité, de sécher ce type de matériau. Dans les faits, la teneur en eau naturelle a permis d'éviter ce traitement.

Les filtres se composent d'une part – de 435 000 m<sup>3</sup> de sable naturel (0/56 mm) prélevé dans le lit de la rivière dans l'emprise du futur barrage et lorsque nécessaire, dans un emprunt situé à 18 km en amont – et d'autre part d'un sable plus grossier (375 000 m<sup>3</sup> de 0,3/80 mm) obtenu par concassage des matériaux de carrière.

Les recharges en enrochements ont été constituées respectivement de :

- ◆ 295 000 m<sup>3</sup> de matériaux concassés 10/450 mm;
- ◆ 2 705 000 m<sup>3</sup> de tout-venant trié 10/900 mm;
- ◆ 1 625 000 m<sup>3</sup> de tout-venant trié 10/1 800 mm;
- ◆ 30 000 m<sup>3</sup> de matériaux rip-rap (800/1 100 mm) mis en place dans la zone de marnage.

La partie supérieure du barrage a été remblayée avec du 0/28 mm afin de constituer le corps d'une chaussée et permettre ainsi aux véhicules d'accéder durant l'exploitation à toutes les parties de l'ouvrage.

La réalisation de l'excavation de l'évacuateur de crues a nécessité le déblaiement de 790 000 m<sup>3</sup> de matériaux meubles et l'excavation de 390 000 m<sup>3</sup> de rocher utilisés dans le barrage.

Un seuil aval en béton de plus de 6 000 m<sup>3</sup> a été construit afin de maîtriser l'écoulement des crues éventuelles.

## ■ L'ORGANISATION DU CHANTIER

### Les contraintes climatiques

La zone concernée par les travaux se situe à proximité du 50<sup>e</sup> parallèle, ce qui signifie pour les régions du nord de l'Amérique des hivers précoces et rigoureux. La température peut descendre jusqu'à – 30 voire – 40 °C et les chutes de neige sont abondantes. Durant la saison estivale les températures excèdent rarement les 20 °C, et les pluies restent fréquentes.

Dans de telles conditions le chantier a été organisé en trois campagnes de huit mois avec un démarrage des travaux en avril et un repli fin novembre. Durant ces périodes le chantier a travaillé sur deux postes de dix heures, les quatre heures disponibles étant utilisées pour la maintenance des machines.

### Les contraintes environnementales

La réglementation en vigueur au Québec est extrêmement stricte en matière d'environnement, de ce fait Hydro-Québec a intégré dans ses documents contractuels un code de l'environnement.

Au cœur de cette région particulièrement isolée, il n'a jamais été possible d'ouvrir un dépôt, construi-

re une piste, traverser un ruisseau ou allumer un feu sans un accord préalable et écrit du représentant du ministère de l'Environnement.

### Les conditions de vie

Les installations destinées à héberger le personnel de l'ensemble du projet (il n'était pas prévu de loger les familles) sont gérées par Hydro-Québec et sont situées à proximité du site des travaux. Elles comprennent : un ensemble de logements pouvant accueillir 1 200 personnes, un hélicoptère, une infirmerie, un économat, une cantine, un bar, un centre récréatif et sportif aménagé sous une structure gonflable.

Le personnel d'exécution, pour la plupart originaire de la côte nord, pouvait rejoindre son lieu de résidence en fin de semaine.

L'encadrement et la maîtrise provenaient le plus souvent de Montréal ou de Québec et étaient donc considérés en grand déplacement et de ce fait bénéficiaient d'un voyage retour au domicile tous les quinze jours.

### Le personnel

L'essentiel du personnel horaire (250 en moyenne) a été embauché à partir du bassin d'emploi de la côte nord pour une durée limitée à une campagne de travaux. A chaque début d'hiver, c'est-à-dire fin novembre, le chantier démobilisait et le personnel était licencié pour être à nouveau réembauché l'année suivante, au mois d'avril, lors du redémarrage. Cette pratique est courante au Canada et s'explique par le fait qu'il est pratiquement impossible dans des conditions normales de réaliser des travaux durant la période hivernale.

La durée hebdomadaire habituelle du travail est fixée à 50 heures (sur cinq jours) et les heures supplémentaires sont autorisées pour permettre d'achever certaines tâches critiques en fin de semaine. Les partenaires du groupement ont mis à disposition du projet l'essentiel du personnel d'encadrement et de supervision (30 en moyenne). Ces agents ont été rémunérés à la semaine sur une base de 50 heures également.

### Le matériel (photo 2)

En tenant compte des interruptions hivernales, la durée effective de réalisation des travaux a été de vingt-quatre mois. Le volume total de matériaux à transporter durant cette période a excédé les huit millions de mètres cubes. Devant ce défi et afin de tenir compte de l'éloignement des sources habituelles d'approvisionnement, il a été jugé nécessaire de mettre en place un parc d'engins neufs. La majorité des machines a été acquise auprès de Caterpillar sous forme de bail opérationnel, avec possibilité en fin de chantier, d'acheter chaque en-



**Photo 3**  
Le traitement des fondations a débuté dans un espace exigu (cote 236)

*The treatment of foundations began in a confined space (level 236)*

gin à un prix convenu. Le groupement a retenu cette option en septembre 1998 et a revendu l'ensemble du parc matériel par ses propres moyens, en un jour, à l'occasion d'une vente aux enchères sur place.

Certains équipements spécifiques comme les foreuses et les grues de grande capacité ont été loués. La valeur totale du parc mobilisé a atteint plus de vingt-huit millions de dollars canadiens dont près de 60 % sont représentés par les engins en bail opérationnel.

Il convient également de préciser que le carburant a été fourni par le client à un prix contractuel connu au moment de la soumission.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage**

Hydro-Québec

### **Maître d'œuvre**

Hydro-Québec

### **Ingénierie**

SNC Shawinigan Inc.

### **Entreprise**

Groupement EBC - Spie

## ■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

### Préparation des fondations

(photo 3)

L'excavation du lit du barrage a été réalisée à l'abri d'un batardeau et d'un système d'assèchement constitué de huit puits profonds (diamètre : 250 mm) et d'un réseau de pointes filtrantes. Des pelles Cat 350 et 375 ont excavé les matériaux et chargé des tombereaux articulés Cat D400. L'essentiel du sable trouvé a pu être réutilisé après criblage dans la zone des filtres.

Sous la recharge aval en rive droite, un cône d'éboulis non détecté par la campagne géotechnique a entraîné des augmentations de quantités d'excavation très importantes et a fortement retardé le démarrage des travaux de remblaiement.

L'étanchéité du roc de fondation a été assurée au moyen de rideaux d'injection réalisés à partir de forages de 63 mm de diamètre. Dans l'axe du noyau étanche du barrage un rideau d'injection a traité la fondation entre 10 et 60 m de profondeur. De part et d'autre de ce rideau des injections dites "de tapis" ont été réalisées sur une profondeur moyenne de 8 m.

Un béton de masse mis en place en fond de rivière a comblé les vides importants creusés par l'éro-

**Photo 4**  
**Vue des opérations de traitement des appuis et remblais du barrage**  
*View of dam support and embankment treatment operations*



**Photo 5**  
**Il a parfois été nécessaire d'humidifier les matériaux du noyau étanche**  
*It was sometimes necessary to wet the materials of the sealed core*



**Photo 6**  
**Les matériaux ont été extraits de carrières situées à proximité du barrage (carrière de l'évacuateur)**  
*The materials were extracted from quarries located near the dam (spillway quarry)*



► sion. Au fur et à mesure de la progression du remblai du barrage, les flancs des versants ont été traités par décapage, nettoyage à l'air et à l'eau, application de béton projeté ou coffré au droit du noyau de l'ouvrage. Des injections de collage ont

permis d'assurer une parfaite étanchéité au niveau du contact béton roc de fondation.

**Extraction, préparations et mise en œuvre des matériaux de remblais** (photo 4)

La moraine constituant le noyau étanche provenait d'emprunts situés entre 12 et 18 km du barrage. Une pelle Cat 375 a extrait ce matériau et chargé des camions dix roues conventionnels. Ces camions appartenant à des artisans camionneurs assuraient le transport jusqu'au barrage. Des bouteurs Cat de type D8R, D6R ou D4H suivant l'espace disponible, assuraient la mise en place. Le compactage a été réalisé par un compacteur à pneus tracté de 50 t. La teneur en eau naturelle a permis d'éviter le séchage ; par moments l'humidification a même été nécessaire (photo 5).

Les enrochements et environ 50 % des matériaux des filtres ont été extraits de trois carrières situées à proximité du barrage soit à moins de 2 km (photo 6). Dans le souci d'optimiser au mieux le projet, l'entrée du canal de l'évacuateur a été élargie et approfondie afin de constituer une des carrières exploitées durant les années 1996 et 1997.

Les opérations de forage et dynamitage ont nécessité l'utilisation de cinq foreuses dont trois Tamrock CHA 1100 et deux Furukawa HCR 12 ER. Généralement un gel de nitrate-fuel déversé en vrac dans les trous a servi d'explosif. Seul le canal d'entrée de l'évacuateur de crue a fait l'objet d'un pré-découpage.

Pour ce qui concerne le tout-venant, des pelles hydrauliques Cat 375 et des chargeuses sur pneus Cat 990 ont effectué le tri des blocs et le chargement des tombereaux Cat 773. La fraction non directement utilisable était transportée vers la station de concassage pour assurer la fabrication des matériaux requis pour les filtres et les routes.

Le groupement a sous-traité les travaux de concassage depuis le chargement en carrières jusqu'à la livraison des produits finis en tas, à proximité des installations de concassage.

Les installations de type standard étaient dimensionnées pour assurer une capacité de transformation de 400 t/h.

La mise en place des matériaux déversés sur le barrage était assurée par des bouteurs Cat D8R et D9R et des rouleaux mixtes Cat CS 563 ont réalisé le compactage. La mise en œuvre du rip-rap a été réalisée à l'aide de pelles hydrauliques qui, en positionnant chaque bloc assuraient son insertion au sein du parement de manière homogène.

**Instrumentation du barrage**

L'ouvrage a bénéficié d'un nombre important d'appareillage de contrôle. L'ensemble de ces équipements a été posé au fur et à mesure de



**Photo 7**  
**Vue du barrage à la cote 410**  
**View of dam at level 410**

l'avancement du remblai et installé soit dans des tranchées soit dans des fourreaux.

## ■ LES SPÉCIFICITÉS DE L'OUVRAGE

La grande dispersion des différents ouvrages de cet aménagement a largement contribué à réduire les interférences des différentes phases de construction dans un site très accidenté.

En dépit du retard accumulé pendant l'année 1996 en raison de la grande augmentation de quantités d'excavations, il a été possible de rattraper le temps perdu en 1997 et de prendre une avance telle que la mise en eau du barrage a été effective en avril 1998. De cette manière, Hydro-Québec a gagné six mois de remplissage de la retenue ce qui compte tenu de la saison, autorisera un gain d'une année dans l'exploitation de la retenue.

La réussite de cette accélération a été possible grâce à la mise en place de moyens supplémentaires et à une organisation optimisée des travaux. Ainsi en 1997, le groupement a dû acquérir six tombereaux Cat 773 neufs et mobiliser du matériel d'accompagnement complémentaire en location. L'effort a été porté sur la mise en œuvre de la moraine durant la saison estivale 1997 pour pouvoir continuer le plus longtemps possible le remblaiement en enrochements. De cette manière les travaux ont pu se poursuivre jusqu'au 12 décembre 1997, ce qui compte tenu du climat ambiant a constitué une performance.

Le défi relevé par le groupement EBC - Spie de mettre en eau un barrage remblayé à la cote 360, alors que le niveau définitif de l'ouvrage était fixé à 410 a démontré la confiance d'Hydro-Québec et des partenaires dans l'achèvement des travaux dans les délais impartis (photo 7).

## ABSTRACT

### Construction of the Sainte-Marguerite SM3 dam in Quebec

*J.-M. Saccone*

**The Sainte-Marguerite dam constitutes the predominant structure of the SM3 hydroelectric development scheme handled by Hydro-Québec 800 km northeast of Montreal (Quebec).**

**This article describes the project and the conditions encountered by the contractor Spie Batignolles.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### Construcción de la presa de Sainte-Marguerite SM3, en Quebec (Canadá)

*J.-M. Saccone*

**La presa de Sainte Marguerite constituye la estructura predominante del aprovechamiento hidroeléctrico SM3 emprendido por Hydro-Quebec, a 800 km del noreste de Montreal (capital de la provincia de Quebec).**

**En el presente artículo se desarrollan las particularidades de este proyecto y sus condiciones de ejecución por parte de la empresa constructora Spie-Batignolles.**

# Le métro de Bangkok

**Le premier tronçon de 23 km de la Blue Line, première ligne de métro souterrain de Bangkok devrait être mis en service fin 2002. Avant la mise en route en juillet 1999 des huit tunneliers qui creuseront les deux tunnels parallèles, il a fallu réaliser les travaux spéciaux des 18 stations (parois moulées, pieux, amélioration des sols par *jet-grouting*, etc.) dans des conditions rendues particulièrement difficiles par la densité du trafic urbain, la présence de nombreux obstacles et des délais extrêmement serrés.**

**A**britant plus de 20 % de la population de la Thaïlande et dotée d'une densité de voies de circulation couvrant moins de 12 % de la superficie totale de la ville, Bangkok souffre d'un manque certain de fluidité de trafic. Cette situation conduisant naturellement à des conditions de circulation insoutenables et à un taux de pollution en constante augmentation, les autorités thaïlandaises ont, au début de cette décennie, décidé de s'attaquer au problème en créant un système moderne de transports en commun.

consiste en la réalisation de deux lignes de métro aérien BTS (Bangkok Transit System) d'une longueur totale de 23 km. Il est en voie d'achèvement et sa mise en service est prévue pour décembre 1999.

Toutefois, après la crise financière, la dévaluation de 30 % du baht, et une prévision de trafic revue à la baisse, la rentabilité du BTS semble aujourd'hui incertaine.

Le dernier projet en date, qui s'inscrit dans la même dynamique que les projets ci-dessus, est placé sous l'autorité du Metropolitan Rapid Transit Authority (MRTA) et consiste à réaliser un réseau complet de métro souterrain dont la première ligne, connue sous l'appellation de Blue Line, est le premier tronçon à être réalisé (sa mise en service est prévue pour fin 2002). Le schéma directeur général comprend également une autre ligne (Orange Line) et deux extensions de la Blue Line.

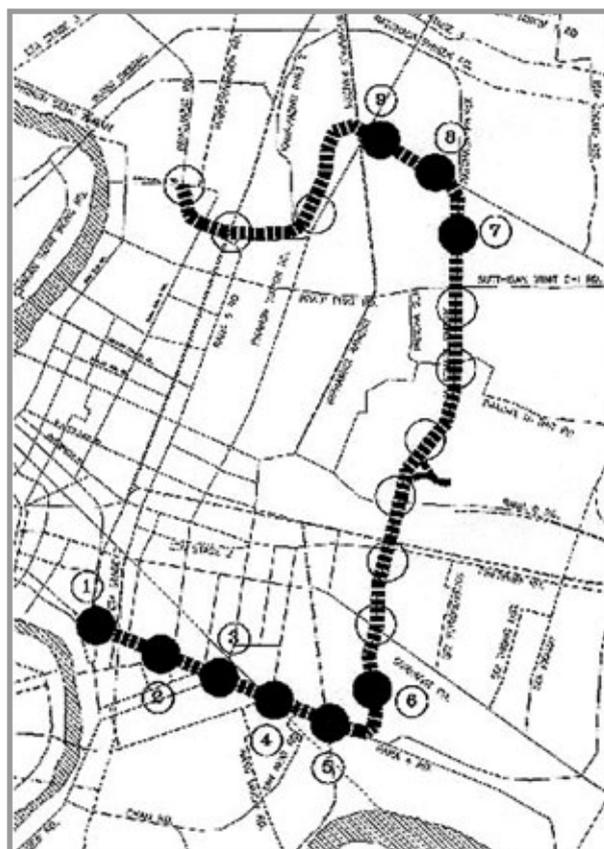
A noter que, sur la Blue Line, le financement du génie civil est assuré à 60 % en yens par le JOECF (Japanese Overseas Economic Fund) et 40 % en bahts par l'Etat thaïlandais. Il est prévu que les infrastructures restent propriété de l'Etat et qu'une concession de 25 ans soit accordée seulement pour l'électromécanique et l'exploitation.

Le premier tronçon de 23 km de la Blue Line (dénommé IPS pour Initial Project System) comprend deux tunnels de 7 m de diamètre, 18 stations et un dépôt. Les travaux de génie civil sont divisés en deux lots, "Route nord" et "Route sud", qui firent l'objet d'un appel d'offres en 1996 dont les résultats furent les suivants :

- ◆ Route nord confiée à la joint-venture ION (Ital-Thai, Obayashi, Nishimatsu). Ce lot qui comprend neuf stations est scindé en trois "packages" de trois stations, chacun sous la responsabilité d'un partenaire de la JV;

- ◆ Route sud confiée à la joint-venture BCKT (Bilfinger & Berger, Karnchang, Kumagai, Tokyu).

Ce lot qui comprend neuf stations et le dépôt, est scindé en quatre "packages" : A, B et C (avec chacun trois stations) et D (dépôt).



**Situation des neuf stations attribuées à Solétanche-Bauer-Bachy**  
 1 : Hua Lemphong - 2 : Samyan -  
 3 : Silom - 4 : Lumphini - 5 : Bon Kai -  
 6 : Sirikit - 7 : Ratchada - 8 : Lat Phreo -  
 9 : Pahonyothin

**Location of the nine stations handled by Solétanche-Bauer-Bachy**  
 1 : Hua Lemphong - 2 : Samyan -  
 3 : Silom - 4 : Lumphini - 5 : Bon Kai -  
 6 : Sirikit - 7 : Ratchada - 8 : Lat Phreo -  
 9 : Pahonyothin

## ■ TROIS LIGNES DE CONCEPTION DIFFÉRENTE

Le premier projet, donné en concession au groupe Hopewell en 1990, comprenait un métro, une autoroute en aérien et une ligne ferroviaire; le projet dut être abandonné à la suite de la crise financière de 1997 après que 15 % seulement des travaux aient été réalisés. Il pourrait être repris prochainement sur une base plus modeste en réutilisant les infrastructures déjà construites.

Le deuxième projet, également en concession,

## ■ LES TRAVAUX SOUTERRAINS DE LA BLUE LINE

Sous forme résumée, le phasage général des travaux souterrains préalables à la mise en route des tunneliers était le suivant :

- ◆ acquisition des différents terrains et déviation des réseaux existant au droit des ouvrages à réa-

# en Thaïlande

liser en surface, à savoir stations, accès et puits de ventilation ;

◆ réalisation des stations depuis la surface à l'abri de parois moulées de profondeur et épaisseur variables en fonction de la géologie locale et de la géométrie du tracé ;

◆ réalisation des appuis centraux au moyen de poteaux préfondés scellés dans des pieux ou des barrettes ;

◆ réalisation des protections en *jet-grouting* des entrées et sorties des tunneliers pour chaque station ;

◆ mise en route des tunneliers (quatre pour la Route sud et quatre pour la Route nord).

A ce jour, et après le lancement mi-juillet 1999 de l'ensemble des huit tunneliers, l'avancement est conforme au planning général établi au démarrage en octobre 1997. Il faut rappeler que l'ensemble de ces travaux spéciaux était à réaliser dans les rues les plus fréquentées du centre de Bangkok, en demi-stations afin de ne pas bloquer la circulation. Afin de maintenir le délai global, les horaires de travail mis en place étaient au minimum de 24 heures/24, 6 jours sur 7, le septième jour de la semaine étant réservé aux travaux de déviations de réseaux sous les voies de circulation afin, là encore, de limiter l'impact de ces travaux sur la vie de la population.

## ■ LES TRAVAUX DE FONDATIONS

La joint-venture SBB (Soletanche-Bauer-Bachy), association momentanée à participation de 66 % pour Soletanche Bachy et 34 % pour Thai Bauer, créée au début de 1997 pour répondre aux appels d'offres, s'est vu confier la réalisation des travaux spéciaux sur neuf stations (sur un total de 18), à savoir :

◆ trois stations sur la Route nord en sous-traitance de Obayashi ;

◆ reprise en sous-œuvre des passages supérieurs autoroutiers par barrettes de 60 m de profondeur réalisées sous hauteur limitée ;

◆ trois stations sur package A et trois stations sur package B en sous-traitance de BCKT ;

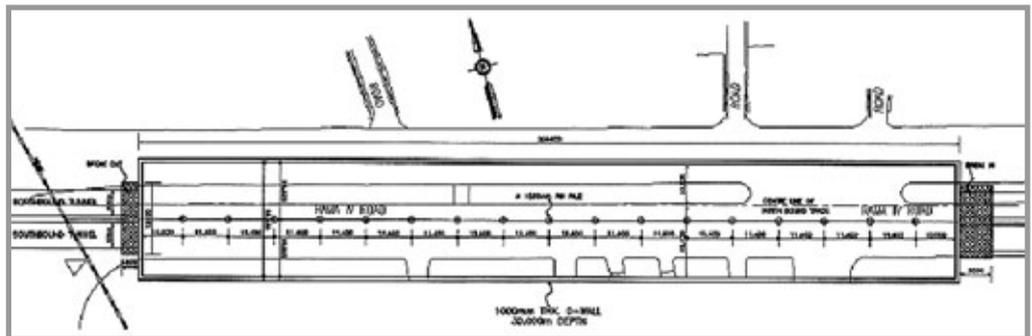
◆ mise en œuvre de *jet-grouting* pour l'amélioration des sols aux entrées et sorties des tunneliers sur six stations de la Route sud, également en sous-traitance de BCKT.

Il faut noter que ces travaux de fondations diffèrent légèrement dans leur principe entre la Route nord et la Route sud dans la mesure où :

◆ toutes les stations de la Route sud sont fondées



**Vue générale des travaux de la station Samyan**  
*General view of works on Samyan station*



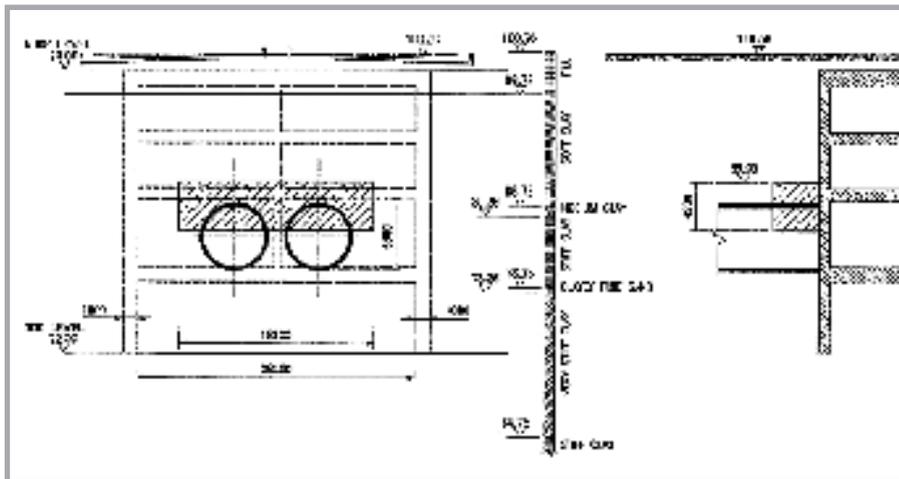
**Plan type d'une station.**  
A chaque extrémité, les bouchons en jet grouting des break-in et break-out. Au centre les pieux préfondés  
*Typical station layout. At each end, the jet-grouting plugs of the break-in and break-out. At the centre, the pre-founded piles*

à la fois sur des parois moulées périmétrales et des appuis isolés implantés sur l'axe de la station, car le choix initial était de limiter la profondeur des parois à la stricte fiche mécanique nécessaire. Seules les stations les plus profondes, lorsque les deux tubes des tunnels sont superposés et non juxtaposés, viennent s'ancrer plus profondément que ne l'exige la stricte nécessité mécanique parce qu'une fiche hydraulique dans les argiles profondes permettait d'assurer une étanchéité du fond suffisante ;

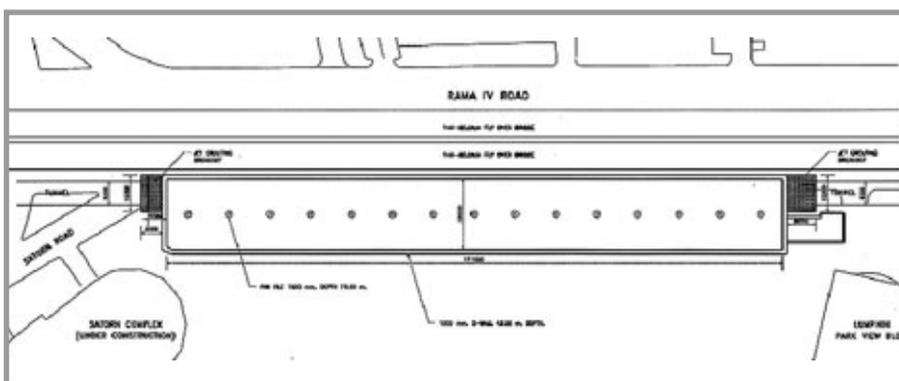
◆ les ouvrages de la Route nord reposent uniquement sur les parois moulées pour des raisons de contraintes locales, essentiellement de circulation, étant donné que les stations sont implantées au milieu d'axes routiers ;

◆ en outre, la mise en œuvre sur la Route nord de cages en fibres de verre – les tunneliers pouvant ainsi traverser les parois moulées par leurs propres moyens – permet de limiter les bouchons étanches d'entrée et de sortie des tunneliers à une simple "galette" en voûte des tunnels.

On notera également les particularismes suivants :  
◆ nécessité de réaliser les parois moulées par panneaux limités à une longueur maximale de 4,50 m,



**Profil géologique et coupe type d'une station avec arrivée des deux tunnels juxtaposés**  
**Geological section and typical cross section of a station with the arrival of two tunnels side by side**



**Plan type de la station Lumphini.**  
**Au centre, les poteaux préfondés; aux extrémités, les bouchons de jet-grouting**  
**Typical layout of Lumphini station. In centre, the pre-founded columns; at the ends, the jet-grouting plugs**



afin de garantir la stabilité des parois lors de leur excavation;

- ◆ un planning de travaux qui obligeait à réaliser la majeure partie des fondations lors de la saison des pluies de juillet à octobre tout en maintenant le respect des critères stricts relatifs à l'environnement;
- ◆ des spécifications techniques qui imposaient de réaliser un panneau de paroi moulée en 24 heures;
- ◆ des contraintes très fortes concernant les diverses autorisations municipales relatives au bétonnage, à l'approvisionnement des cages d'armature et à l'évacuation des déblais, avec notamment une obligation d'approvisionnement et d'évacuation par semi-remorques entre 22h00 et 3h00 du matin.

### ■ LES MOYENS DÉPLOYÉS

Prévu initialement sur une durée de 18 mois, le déploiement des moyens devait comporter en simultané de trois à quatre ateliers de paroi et un atelier de pieux. Cependant, compte tenu de l'inertie inévitable au lancement de tels ouvrages et notamment pour acquérir les zones de travail et effectuer toutes les dérivations de réseaux, le chantier a dû compenser son retard au démarrage et s'organiser pour gérer simultanément six ateliers de paroi déployés sur six stations, deux ateliers de pieux et trois ateliers de *jet-grouting*.

Pour faire face à cette montée en puissance, la structure mise en place comportait donc à pleine

charge une quarantaine d'expatriés et 700 ouvriers locaux pour assurer la production de :

- ◆ trois bennes à câbles type KL 1000 et 1200 mm sur porteurs Liebherr;
- ◆ trois outillages type KS 3000 équipés de bennes hydrauliques 1000 et 1200 mm;
- ◆ deux outillages de pieux type BG 22 en 1500 et 1800 mm;
- ◆ trois outillages de jet type CMV et pompes Techniwell.

L'ensemble des outillages de type benne hydraulique KS 3000 était équipé du système d'acquisition en temps réel des déviations de l'outil de perforation, afin de garantir les 0,5 % de tolérance de verticalité imposée par les spécifications techniques du marché.

De même, et afin de tenir compte de la géométrie particulière des panneaux de paroi moulée dont la longueur maximale était de 4,50 m, des outils de perforation spécifiques ont été construits. Ainsi les KS 3000 étaient équipés d'une benne de 4,20 m d'ouverture permettant de mieux garantir non seulement la verticalité des parois mais également le respect de la production et ses contraintes de réalisation d'un panneau en 24 heures.

De plus, la station de Silom (cf. infra) et la réalisation des appuis de reprise en sous-cœuvre des *fly-overs* imposaient de travailler sous hauteur limitée à 6,00 m. A cet effet, un outillage spécifique KS 3000 "court" a été construit pour le chantier permettant :

- ◆ d'excaver des parois moulées et des barrettes sous une hauteur de 6,00 m;
- ◆ d'effectuer cette excavation en garantissant la tolérance de verticalité de 0,5 % jusqu'à 60 m de profondeur.

Enfin, en termes d'organisation générale, il ne faut pas oublier l'énorme infrastructure mise en œuvre pour assurer :

- ◆ les bétonnages des parois moulées à une cadence moyenne de 50 m<sup>3</sup>/h, ce qui représente une véritable gageure en plein centre de Bangkok;
- ◆ la fabrication des cages d'armatures et leur livraison. On rappellera qu'un seul panneau de paroi était constitué de trois éléments (soit trois semi-remorques) et que le rythme des différents ateliers permettait d'assurer entre un et trois bétonnages par jour. Cela donne une moyenne de 30 semi-remorques de cages par nuit et une cadence de fabrication de 100 t/jour en coupé- façonné.

### ■ LA STATION DE SILOM

Ainsi que nous l'évoquions ci-dessus, la station de Silom constitue un véritable défi à elle seule pour les raisons suivantes :

- ◆ une énorme "pression" portait sur cette station de la Route sud réalisée en sous-traitance de BCKT dans la mesure où elle se situait sur le chemin cri-

tique de l'entreprise générale et conditionnait la continuité des travaux pour deux tunneliers ;

◆ elle faisait appel à une technique nouvelle : la paroi "NS Box" (pour Nippon Steel Box), censée révolutionner la paroi moulée et offrir une multitude d'avantages.

On rappellera que cette méthode, typiquement japonaise, et réalisée presque essentiellement au Japon, s'exportait pour la première fois hors de ses frontières dans des conditions de mise en œuvre rendues très délicates par la profondeur à atteindre de 45 m et la hauteur de travail limitée à 6,00 - 6,40 m.

Cette technique consiste à mettre en place des profilés interconnectés sur toute la longueur de l'ouvrage en lieu et place des cages d'armatures traditionnelles. Dans le cas particulier de Silom, les profilés ont une largeur de 900 mm (à comparer avec l'épaisseur de la perforation de 1200 mm) et doivent être mis en place jusqu'à 45 m de profondeur.

Afin de pouvoir réaliser ces travaux dans les délais impartis, il a fallu proposer et faire accepter au client les modifications qui s'imposaient, à savoir : suppression de la continuité entre panneaux, modification du panneauage dans les angles de la station et surtout repositionnement de tous les coupleurs pour mettre en œuvre les joints CWS (*water-stops*), évitant ainsi de recourir au système japonais très compliqué de joints NS Box qui, s'il est justifié au Japon par les contraintes sismiques, ne s'imposait pas réellement à Bangkok.

Il reste clair que, malgré ces amendements à la technique pure et dure du "NS Box", les contraintes techniques restaient très fortes avec notamment :

◆ nécessité de développer et mettre en œuvre pour la première fois un KS 3000 court capable de forer sous 6,40 m de hauteur libre, puisque l'une des contraintes fortes de cette station consistait à travailler sous un *fly-over* ;

◆ perforation au KS court à 45 m avec une précision de verticalité proche de la perfection pour assurer la mise en place de profilés très rigides, enclenchés les uns dans les autres sous la forme de colonnes primaires et secondaires pour un même panneau ;

◆ mise en place de joints CWS à 36 m avec, ici aussi, une tolérance de mise en place extrêmement faible pour assurer la descente des profilés dans les panneaux mixtes ou secondaires ;

◆ suivi constant et précis de l'approvisionnement des profilés car, pour compliquer plus encore les opérations, les profilés sont rarement interchangeables d'un panneau à l'autre et surtout les différentes sections sont à assembler entre elles par boulonnage suivant un ordre précis et fixé d'avance. Ces travaux doivent aussi prendre en compte le fait que la fabrication elle-même des profilés se limite à quatre panneaux par semaine et que des erreurs d'alignement de plus de 0,5 mm/m risquent



Vue des travaux de la station Silom. A droite, l'hôtel Dusit Thani en bordure duquel était initialement prévue la station

View of Silom station works. On the right, the Dusit Thani hotel on the edge of which the station was initially planned

de ne plus permettre l'équipement du panneau. Comme on peut le constater, de fortes contraintes techniques et une grosse pression liée au planning très tendu, ont marqué ce chantier. Heureusement, le chantier proprement dit a débuté par la réalisation sous hauteur limitée de barrettes à 60 m de profondeur : un bel exercice pour tester et calibrer l'outillage KS court, mettre au point la technique d'assemblage de cages par éléments de 4 m et préparer tout le personnel (voire le client) aux difficultés prévisibles pendant les dix mois du chantier.

On notera ainsi que la paroi a été terminée en mai 1999, avec un mois d'avance sur le planning contractuel, à la plus grande satisfaction du client et que – en définitive – ce chantier particulièrement difficile aura permis de mettre au point un grand nombre d'astuces certainement ré-exploitable.

## ■ JET-GROUTING

Ainsi qu'il a été évoqué plus haut, de grands travaux de traitement de terrain devaient être mis en œuvre sur les stations de la Route sud.

Ces travaux peuvent se scinder en deux grandes familles :

◆ les *break-in* et *break-out* pour les tunneliers respectivement en entrée et sortie de station (représentant environ 15 000 m<sup>3</sup> de terrain à traiter) (à noter que généralement les *break-in* correspondent à l'entrée d'un tunnelier dans le terrain et non dans la station : la notation était inversée sur ce projet...);

◆ le traitement des *sumps* (pour environ 5 000 m<sup>3</sup> de terrain concerné), c'est-à-dire des points bas des deux lignes où des pompages ont été prévus lors des mises en service du métro.

Les grandes particularités de ces traitements peuvent se résumer ainsi :

◆ traitement des argiles molles en partie supérieure, puis traitement des argiles de consistance moyenne à dure, avant d'atteindre les sables ;

◆ traitement profond jusqu'à 45 m jusque dans le sable pour les *sumps* ;

◆ objectif de traitement de 1 MPa pour la résistance et 10<sup>-7</sup> m/s pour la perméabilité.

Compte tenu de la relative hétérogénéité des terrains, les solutions techniques mises en œuvre ont

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 160 000 m<sup>2</sup> de paroi moulée en épaisseurs variables de 800 à 1 200 mm et profondes de 20 à 55 m ;
- 114 pieux préfondés de 1,5 à 1,8 m de diamètre et d'une profondeur maximale de 71 m
- 120 pieux de 1 m de diamètre à 45 m de profondeur
- 20 000 m<sup>3</sup> de *jet-grouting* pour les entrées/sorties en station des tunneliers
- 20 000 m<sup>2</sup> de paroi moulée composite dite "NS Box" (pour Nippon Steel Box), paroi moulée armée de profilés métalliques
- 23 barrettes de reprise en sous-œuvre de 60 m de profondeur à exécuter sous hauteur de travail limitée à 6 m
- 25 000 t d'acier et 200 000 m<sup>3</sup> de béton



Outillage "KS court"  
en perforation  
sous un "fly-over"

"KS short" tooling  
drilling under  
a flyover

consisté à traiter les argiles en jet simple et les sables en jet double. Il est clair que cette sélection très simplifiée des traitements en fonction de la géologie rencontrée ne correspond pas nécessairement à la réalité du chantier tant les terrains rencontrés sont hétérogènes, avec de nombreuses inclusions d'argile dans les sables et réciproquement. De même, autant le traitement des argiles reste "traditionnel" à Bangkok c'est-à-dire connu et maintes fois appliqué, autant le traitement des sables à cette profondeur – avec un objectif de diamètre de colonnes de 2 m de diamètre – est quelque peu nouveau et nécessite un lourd investissement en formation de personnel local et en instrumentation de suivi.

Afin de garantir ce suivi nécessaire, l'ensemble de la chaîne *jet-grouting*, depuis les foreuses CMV jusqu'aux pompes Techniwell, était équipé des systèmes d'acquisition de données nécessaires et suffisants : enregistrement des paramètres de forage, de jet (débit-pression-vitesse de remontée) et de préjet. Ces instrumentations, associées à des contrôles de verticalité de forage et à la réalisation de carottages dans les terrains traités en *jet-grouting*, doivent permettre de garantir le résultat final quant à l'efficacité des traitements. Ainsi, début juin 1999, deux premiers tunneliers, bien protégés par un bouchon de jet, sont-ils "sortis" sans problème de stations réalisées par SBB.

A la fin de cette année 1999, les traitements de *jet-grouting* seront achevés et les huit tunneliers seront en opération, laissant ainsi augurer de la bonne fin de travaux dans les délais impartis.

## ABSTRACT

### The Bangkok metro in Thailand

J.-L. Gobert

The first 23-km section of the Blue Line, Bangkok's first underground metro line, is slated to go into service by the end of 2002. Before rolling out in July 1999 the eight tunnel boring machines that will be digging the two parallel tunnels, it was necessary to carry out special works on 18 stations (diaphragm walls, piles, soil improvement by jet-grouting, etc.) under conditions made particularly difficult by the dense urban traffic, the presence of many obstacles and extremely short deadlines.

## RESUMEN ESPAÑOL

### El metro de Bangkok, en Tailandia

J.-L. Gobert

El primer tramo de 23 km de la Blue Line, primera línea de metro subterránea de Bangkok deberá entrar en servicio hacia fines de 2002. Antes de la entrada en funcionamiento, en julio de 1999, de los ocho tuneleros que habrán de excavar los dos túneles paralelos, ha sido preciso proceder a las obras especiales de las 18 estaciones (pantallas continuas, pilotes, mejora de los suelos por jet-grouting, etc.) y ello en condiciones sumamente difíciles debido a la densidad del tráfico urbano, la existencia de numerosos obstáculos y los plazos sumamente estrictos.

# recherche

## Trois nouveaux labels IVOR (Innovations Validées sur Ouvrages de Référence)

**Quatre candidatures ont été examinées, le 28 septembre 1999, par le Comité IVOR, formé de personnalités du génie civil, de compétence et d'impartialité reconnue, et présidé par M. Mercadal, président de la 3ème section du Conseil Général des Ponts & Chaussées. Un dossier nécessite un complément d'instruction et fait l'objet d'un report à une séance ultérieure.**

**Le label IVOR a donc été attribué à trois nouvelles “ innovations validées sur ouvrages de référence ” :**

### ■ LE PROCÉDÉ DE CONSTRUCTION DE MUR DE SOUTÈNEMENT DE DÉCHETTERIE PAR ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS ET CLAVETAGE.

L'ouvrage de référence est la déchetterie de Bressuire (Deux Sèvres).

L'innovation de M. Dutel consiste à supprimer la traditionnelle semelle du mur en L et à assurer l'équilibre du mur en reliant entre eux les différents éléments de base d'une déchetterie : dallage bas, garde-roues et voiles perpendiculaires se sollicitant les uns les autres.

Ce procédé bénéficie d'atouts économiques, notamment une durée réduite d'intervention sur site, un transport et une manutention facilités, et permet d'obtenir des parements de qualité.



Murs de soutènement par éléments préfabriqués

## ■ L'AMÉLIORATION DU DRAINAGE PAR CHASSE AUTOMATIQUE ET SON APPLICATION AUX DRAINS SIPHONS.

L'ouvrage de référence est le drainage profond gravitaire par drains siphons régulés par chasses automatiques, construit à Oingt (Rhône) pour stabiliser un glissement de terrain.

La simple technique des drains siphons permet de rabattre la nappe à 10 mètres de profondeur environ, sans pompage. Lorsque le débit est faible, le fonctionnement des drains siphons est amélioré en utilisant le procédé de chasse automatique mis au point par M. Gress : stockage de l'eau dans un réservoir, puis vidange rapide déclenchée automatiquement par la mise en pression d'une bulle d'air. Les avantages principaux du procédé sont : rusticité (pas de pièce mécanique), coûts d'investissement et d'entretien faibles.

Regard équipé de chasses automatiques



## ■ LA TECHNIQUE DES ÂMES MÉTALLIQUES PLISSÉES.

L'ouvrage de référence est le pont de la Corniche, à Dôle (Jura).

La ligne générale du pont se rapproche des ouvrages classiques en béton précontraint, mais les parties latérales du caisson en béton (les âmes) sont remplacées par du métal plissé. Cette technique, développée par la Société Campenon Bernard, permet de réduire l'épaisseur des âmes, de supprimer tous les raidisseurs, mais également les entretoises transversales courantes. La labellisation IVOR a contribué à la rédaction d'un document de référence pour le dimensionnement des âmes plissées.

Pont à âmes plissées



## C o n c l u s i o n

Le label IVOR traduit la reconnaissance de l'intérêt d'une innovation mise en oeuvre dans un ouvrage réellement mis en service. Il constitue une référence pour les rapports entre inventeurs et maîtres d'ouvrage, en France mais aussi à l'exportation. En effet, grâce au dossier technique de validation et à l'appréciation du comité d'innovation, qui accompagnent le label, l'utilisateur futur dispose d'éléments de jugement indépendants du concepteur de l'ouvrage et de l'inventeur de l'innovation.

**Tous les types d'innovations ( matériaux, procédé, méthode de calcul, .... ) intéressants le génie civil sont concernés par cette labélisation.**

Le secrétariat du Comité IVOR est assuré par la mission génie civil, à la direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques du ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Pour toute information s'adresser à :  
Hervé THUILLIER, secrétaire du Comité IVOR  
Tél. 01 40 81 29 47  
Fax : 01 40 81 27 31  
Email : Herve.Thuillier@equipement.gouv.fr  
MGC / DRAST / METL  
92055 PARIS La DÉFENSE CEDEX 04