

Travaux

n° 766

- CTRL - Liaison ferroviaire à grande vitesse entre Londres et le tunnel sous la Manche Lot 350/410 : le tunnel des North Downs

- KCR 320 - 3,6 km de tunnels urbains à Hong Kong. Première utilisation d'un tunnelier à confinement à Hong Kong

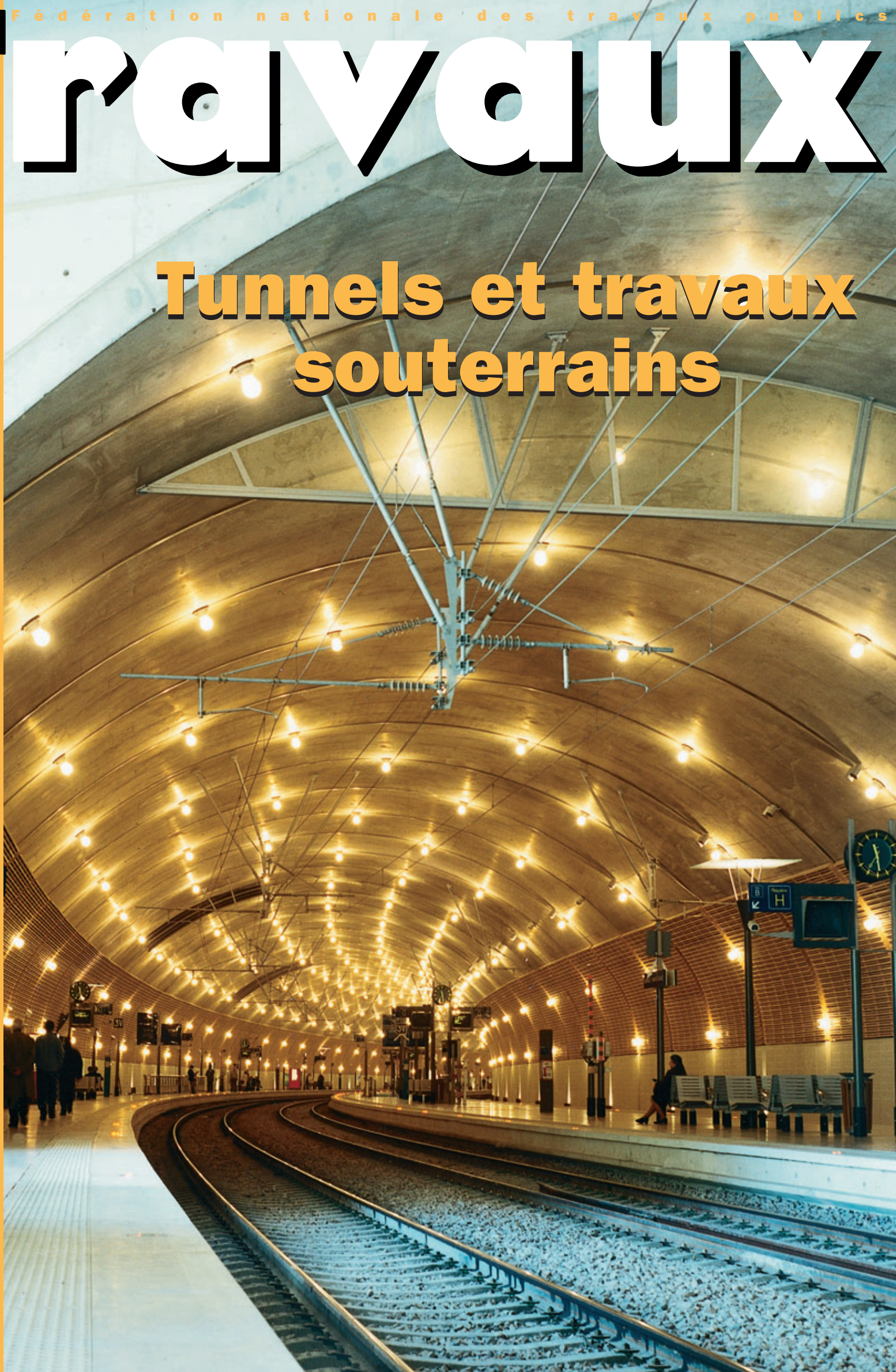
- Marinage innovant dans tunnel à l'explosif à Hong Kong

- Galerie de Baillet. Le franchissement de fontis reconnu ou non

- Puits André Citroën à Paris. Une paroi très profonde réalisée à la rotoforeuse

- Matériels et produits utilisés en travaux souterrains

Tunnels et travaux souterrains

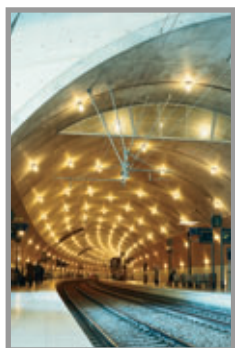


Travaux

numéro 766

juillet-août 2000

Tunnels - Travaux souterrains



Notre couverture
La gare souterraine
de Monaco

© Alex Béraud

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 ABBONEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140 73 80 05

E mail : revuetravaux@wanadoo.fr

France : 920 FF TTC

Etranger : 1100 FF

Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 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).

Éditions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 57304

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

14

PRÉFACE

Jean-Pierre Pronost

15

TUNNELS - TRAVAUX SOUTERRAINS



◆ CTRL - Liaison ferroviaire à grande vitesse entre Londres et le tunnel sous la Manche. Lot 350/410 : le tunnel des "North Downs"

- CTRL - High-speed railway link between London and the Channel Tunnel. Lot 350/410 : The North Downs tunnel

P.-C. Watson, Th. Portafaix, C. Eddie, L. Falkner

16



◆ KCR 320 – 3,6 km de tunnels urbains à Hong Kong. Première utilisation d'un tunnelier à confinement à Hong Kong

- KCR 320 – 3.6 km of urban tunnels in Hong Kong. First use of a confinement shield TBM in Hong Kong

O. Martin

21

◆ Marinage innovant dans un tunnel à l'explosif à Hong Kong. Evacuation des matériaux rocheux avec un système continu de convoyeur et concasseurs mobiles dans un tunnel ferroviaire pour deux et trois voies à Hong Kong

- Innovative mucking in the tunnel with blasting in Hong Kong. Removal of rocky blast materials with a continuous conveyor system and mobile crushers in a railway tunnel for two and three tracks in Hong Kong

J.-J. Leugé, J.-M. Clor

30



Sommaire

juillet-août 2000

Tunnels - Travaux souterrains

Dans les prochains numéros

**Réhabilitation
d'ouvrages**

Autoroute A 89

International

Environnement

Ponts

Terrassements

Routes

Tunnel

de Toulon



◆ La galerie de Baillet (Val d'Oise). Le franchissement de fontis reconnu ou non
- *Baillet gallery (Val d'Oise region). Crossing of recognised or unrecognised subsidence*
P. Bony, Ph. Graille



◆ Puits André Citroën à Paris. Une paroi très profonde réalisée à la rotoforeuse
- *André Citroën shaft in Paris. A very deep diaphragm wall made with the rotary drilling machine*
B. Walbron, B. Deschamps

◆ Matériels et produits utilisés en travaux souterrains
- *Equipment and products used in underground works*

économie

formation

**répertoire
des fournisseurs**

35

42

46

60

65

67

Deux ans après son dernier numéro spécial consacré aux travaux en souterrain, la revue *Travaux* réédite cette initiative dans une période où l'activité des travaux souterrains traverse en France une crise importante.

Les articles de ce numéro reflètent bien cette situation puisqu'ils sont pour l'essentiel consacrés à des travaux à l'étranger, en Europe et en Asie.

Ceci montre bien aussi que nos grandes entreprises et notre ingénierie savent exporter leur savoir-faire et qu'elles doivent s'efforcer de le conserver en attendant des jours meilleurs.

Ceux-ci viendront sans doute car de nombreux projets sont aujourd'hui dans les cartons, non seulement dans le secteur de l'assainissement qui soutient actuellement l'activité en travaux neufs, mais aussi dans le secteur des infrastructures, notamment pour les transports collectifs de voyageurs et surtout pour le transport de fret.

La pression de l'opinion et l'engagement des décideurs politiques européens, nationaux et locaux pour favoriser un équilibre acceptable pour l'environnement entre les transports routiers et ferroviaires doivent en effet dynamiser des projets structurants dans les

traversées alpines et pyrénéennes et dans les nœuds ferroviaires saturés.

De même, les accidents douloureux intervenus l'année dernière au Mont-Blanc et au Tauern, ont conduit les Etats européens et les gérants d'infrastructures à expertiser tous leurs ouvrages souterrains importants sur le plan de la sécurité.

Un programme d'investissement significatif doit être engagé sur ces infrastructures, notamment pour les ouvrages routiers.

Lors de ses Journées internationales d'octobre 1999, l'AFTES (Association Française de Travaux en Souterrain) a aussi mis en évidence le secteur des travaux de gros entretien, qui sans être aussi médiatique que celui des travaux neufs, constitue un champ d'activité à ne pas négliger.



■ **JEAN-PIERRE PRONOST**

**Président
de l'AFTES
(Association
Française de Travaux
en Souterrain)**

Remercions donc la revue *Travaux* de consacrer ce numéro aux travaux en sous-sol, au moment où les ouvrages souterrains doivent améliorer leur image tant vis-à-vis des décideurs et financeurs par une plus grande fiabilité dans leur coût de construction, que vis-à-vis du public par une sécurité d'exploitation améliorée et par leur contribution au développement durable.

CTRL - Liaison ferroviaire entre Londres et le tunnel Lot 350/410 : le tunnel

Le creusement du tunnel des "North Downs" a débuté le 16 avril 1999 dans le cadre de la section 1 de la liaison ferroviaire à grande vitesse entre Londres et le tunnel sous la Manche. A son achèvement en 2003 ce tunnel sera le plus grand tunnel ferroviaire bidirectionnel jamais construit au Royaume-Uni. Les trains franchiront cet ouvrage à 300 km/h à travers la craie des collines des "North Downs". Cet article donne le contexte du projet, retrace les diverses étapes des études du tunnel et décrit enfin les méthodes retenues pour l'exécution des travaux. Tout ceci en montrant les gains – pour le maître d'ouvrage comme pour l'entreprise – relatifs aux coûts et aux délais, obtenus par l'application du "partne-ring".

■ INTRODUCTION

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

La maîtrise d'œuvre pour la conception et la construction des sections 1 et 2 a été confiée à RLE (Rail Link Engineering) qui est une société en participation regroupant des sociétés d'ingénierie à savoir Bechtel (E.U.A.), Ove Arup & Partners (R.U.), Sir William Halcrow & Partners (R.U.) et Systra (SNCF/France).

La "section 1" est actuellement en cours de construction et devrait être achevée en 2003. Cette section suit d'une part, l'autoroute A2/M2 et d'autre part l'autoroute M20; le lien entre les deux étant réalisé par un tunnel à travers les collines des "North Downs". La situation du tunnel des "North Downs" ainsi que les limites des sections 1 et 2 sont indiquées sur la figure 1.

■ LE TUNNEL

Le tunnel des "North Downs" est un tunnel bidirectionnel long de 3200 m. Sa section excavée de 166 m² le classe comme le plus important tunnel ferroviaire jamais réalisé au Royaume-Uni. Le tunnel passe sous un centre de loisirs "Buckmore Park", sous l'autoroute A229 et sous une zone résidentielle à "Blue Bell Hill" et "Kit's Cotty". Les entrées en terre sont situées dans des zones classées du point de vue de l'environnement avec pour conséquence des contraintes très strictes à prendre en compte durant la conception et la construction du tunnel.

Les études du tunnel ont été menées avec l'hypothèse d'une vitesse commerciale des trains atteignant 270 km/h tout en se gardant la possibilité de l'augmenter dans le futur jusqu'à 300 km par heure. Sur la base d'études aérodynamiques prenant en compte le cas le plus défavorable de deux trains entrant dans le tunnel simultanément, une section d'air de 96,2 m² a été retenue. Les études et les règlements en matière de sécurité ont aussi amené à prévoir des passerelles piétons d'évacuation de part et d'autre du tunnel.

La méthode de construction, avec le choix entre l'utilisation d'un tunnelier ou une excavation traditionnelle du type NATM, a été plusieurs fois étudiée y compris durant la période de l'appel d'offres et c'est finalement la méthode NATM qui a été retenue tant pour des raisons économiques que techniques.

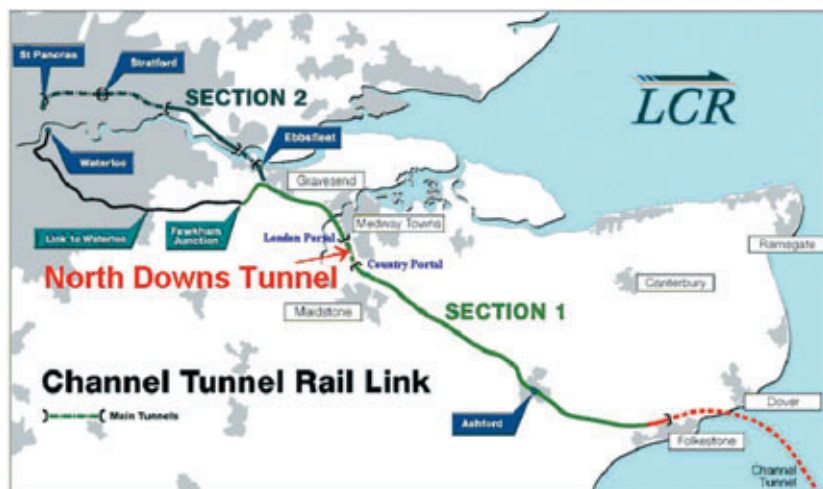
La section type du tunnel telle qu'elle apparaissait dans le dossier d'appel d'offres est représentée sur la figure 2.

■ LES RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES

Les reconnaissances géologiques pour le tunnel se sont déroulées en deux temps :

- ◆ une première phase avant l'attribution du marché de travaux;
 - ◆ une seconde phase au démarrage des travaux.
- La première phase, qui s'est étalée sur 4 ans de 1994 à 1998, comprend au total trente forages répartis sur le tracé du tunnel avec un intervalle moyen de 300 m sauf au droit des entrées en terre où ces intervalles sont plus faibles. La plupart des forages sont carottés et ont été poursuivis jusqu'à une quinzaine de mètres sous le tracé du futur tunnel.

Figure 1
Localisation
du tunnel
des "North
Downs"
Location
of North Downs
tunnel



à grande vitesse sous la Manche des "North Downs"

Paul C. Watson
SENIOR ENGINEER
RLE (Rail Link Engineering), Royaume-Uni

Thierry Portafaix
DEPUTY PROJECT DIRECTOR
Eurolink
DUMEZ GTM, France

Colin Eddie
PROJECT TECHNICAL DIRECTOR
Eurolink
Miller Civil Engineering, Royaume-Uni

Léo Falkner
TUNNEL PROJECT MANAGER
Eurolink
Beton-und-Monierbau, Autriche

Pour compléter les informations recueillies à cette occasion quelque dix-sept puits d'essai ont été excavés, principalement à proximité des entrées en terre. Ces investigations ont permis de déterminer les principales caractéristiques de la craie dans laquelle la totalité du tracé du tunnel est inscrit (tableau I).

Les reconnaissances complémentaires, menées au début de l'année 1999 au démarrage des travaux dans le cadre du processus de "value engineering" dont on parlera plus loin, ont essentiellement eu pour objectif de mieux cerner différents paramètres tels que l'état de contrainte *in situ* et les caractéristiques vis-à-vis du fluage de la craie. De plus cette campagne a permis d'installer quelques extensomètres supplémentaires dans des zones délicates ou à faible couverture.

■ LA GÉOLOGIE

La géologie le long du tracé du tunnel apparaît sur la figure 3.

Le tunnel rencontre d'ouest en est trois variétés de craie :

- ◆ Lewes sur 750 m ;
- ◆ New Pit sur 1400 m ;
- ◆ Holywell sur 1050 m.

Hormis quelques bancs d'argile et de silex de faible

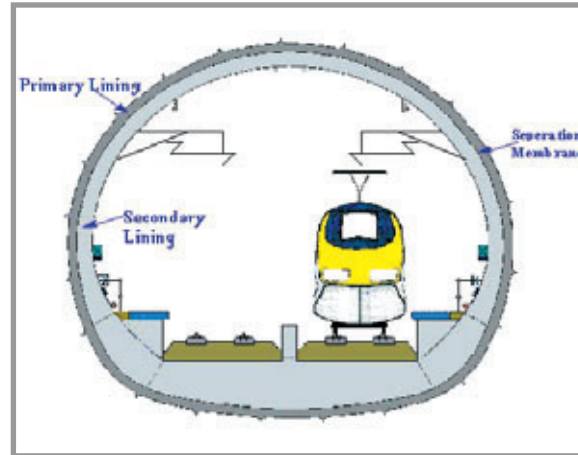


Figure 2
Section type
du tunnel

Typical tunnel
section

Type de craie \ Caractéristiques	Lewes	New Pit	Holywell	Lower
Densité sèche (Mg/m ³)	1.36-1.70	1.40-1.70	1.55-1.78	1.55-1.90
Teneur en eau naturelle (%)	26	27	23	23
Résistance à la compression (MPa)	2.5	2.3	3.3	4.9
Module E (MPa)	2235	2254	3496	2663
Coefficient de Poisson	0.23	0.20	0.24	0.24

Tableau I
Résumé
des résultats
des essais
en laboratoire

Summary
of laboratory test
results

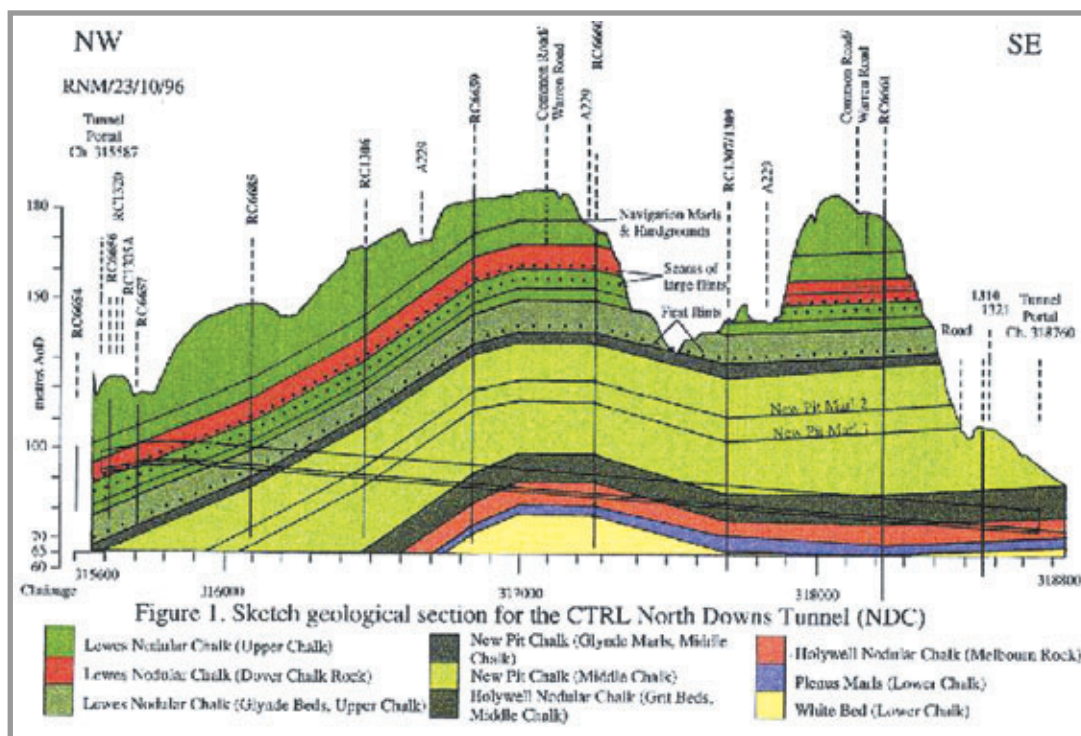


Figure 3
La géologie
Geology

► épaisseur dont la présence ne sera pas un aléa pour le chantier il faut noter côté Londres la présence de poches de dissolution pouvant contenir du sable et de l'argile. Une poche de ce type de 20 m de profondeur et atteignant jusqu'à 10 m de large sera d'ailleurs rencontrée dès le démarrage du tunnel côté ouest.

Le tunnel est entièrement situé au-dessus de la nappe phréatique, sans arrivée d'eau prévisible, même si une nappe perchée a été identifiée et que le risque ne peut donc être totalement écarté surtout dans la zone faillée et fissurée au droit de "Kit's Cotty". L'excavation validera par la suite cette analyse et à ce jour on peut dire que les travaux se sont déroulés en l'absence d'eau.

■ LE DESIGN DE L'APPEL D'OFFRES

Le tunnel des North Downs est le premier ouvrage souterrain important à être construit au Royaume-Uni après l'effondrement, en cours de construction, du tunnel de l'Heathrow Express en 1994. Cet accident a conduit RLE à réaliser une analyse approfondie des règlements et des méthodologies disponibles pour ses études, en considérant aussi bien d'ailleurs les normes européennes que les normes anglaises. A l'issue de cette analyse, RLE a conclu que les études seraient menées pour le soutènement provisoire ainsi que pour le revêtement définitif en utilisant la norme BS 8110 (British Standard 8110) en se fixant de plus une limite de 0,2 mm pour les fissures admissibles du revêtement définitif afin d'en améliorer la durabilité.

Il a aussi été décidé que les études d'exécution du soutènement provisoire seraient confiées à l'entreprise car le choix de ses méthodes de travail influent bien évidemment sur les cas de charges en phase temporaire. Ces études sont tout naturellement soumises à RLE pour approbation. RLE enfin est responsable des études d'exécution du revêtement définitif en tant qu'ouvrage permanent.

Pour tenir compte des variations dans la topographie aussi bien que dans la géologie, le tracé du tunnel a été divisé en huit zones de longueur variant entre 250 et 600 m ; chacune de ces zones fait l'objet d'une étude spécifique afin d'optimiser ainsi les soutènements.

Les résultats des études préalables à l'appel d'offres avaient conduit à prévoir un revêtement définitif entièrement ferrailé de 500 mm d'épaisseur nominale. Enfin comme le tunnel se situe au-dessus de la nappe phréatique et comme les contraintes concernant la fissuration du béton étaient jugées suffisantes pour assurer un degré acceptable d'étanchéité, il n'avait pas été prévu d'étanchéité générale tout au long du tunnel. Seules les entrées sur quelque 200 m et les joints faisaient l'objet d'un traitement particulier.

■ L'ATTRIBUTION DES TRAVAUX

Pour l'appel d'offres, le tunnel des North Downs faisait partie du lot 410 qui comprenait en outre 4 km de section courante (essentiellement constituée de gros terrassements). En septembre 1998 quand le marché a été attribué au groupement d'entreprises Eurolink le lot 410 a été regroupé avec le lot 350 adjacent – qui avait aussi été attribué au même groupement – pour constituer un seul lot appelé 350/410.

Le lot 350 est d'une nature toute différente puisqu'il consiste à réaliser un viaduc de 1250 m traversant la rivière Medway.

Eurolink est un groupement d'entreprises composé d'une entreprise britannique Miller, d'une entreprise française DUMEZ GTM et d'une entreprise autrichienne Beton-und-Monierbau.

RLE tirant partie de son expérience et en particulier de celle de Bechtel en matière de gestion de grands projets décida de consulter puis d'attribuer les marchés suivant l'option C du contrat NEC (New Engineering Contract). C'est un type de contrat qui est basé sur le "partnering" et sur un coût objectif avec partage des gains (ou pertes) entre le client et l'entreprise entre le coût réel (suivi en transparence par le client) et l'objectif. On pourra se référer à l'article "Lot 350/410 : Des terrassements sur le chemin critique" dans *Travaux* n° 763 (avril 2000) pour de plus amples détails sur le "partnering" et sur le mécanisme du coût objectif.

En outre, le contrat fait appel en matière d'assurance qualité à une stricte "self-certification" de l'entreprise. Cette "self-certification" consiste à responsabiliser l'entreprise qui doit effectuer une totale auto-vérification de la qualité de son travail au fur et à mesure de l'avancement de ses travaux ; cette démarche s'effectue dans le cadre d'un Plan Qualité et de procédures préalablement approuvés par le maître d'œuvre.

■ LE VALUE ENGINEERING ET LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Dès l'attribution du marché à l'automne 1998 un atelier de réflexion appelé "value engineering" réunissant RLE et Eurolink a permis d'identifier des économies potentielles que l'entreprise souhaitait promouvoir pour améliorer l'économie du projet. L'intérêt de tous était commun car en application du contrat les économies ainsi dégagées sont partagées entre le client et les entreprises. Les objectifs sont ainsi rapidement devenus :

- ◆ réduire les quantités de soutènement provisoire sans hypothéquer la sécurité pendant les creusements ;
- ◆ supprimer le ferrailage dans la voûte du revêtement définitif et réduire l'épaisseur du béton de voûte ;

◆ diminuer voire supprimer la contre-voûte quand les conditions géologiques le permettent.

Pour y parvenir il a été décidé :

◆ d'affiner la connaissance des paramètres géotechniques de la craie (fluage, état de contrainte *in situ* : cf. ci-dessus paragraphe "Les reconnaissances géologiques") pour en tirer partie dans le calcul des ouvrages ;

◆ de proposer un concept différent pour l'étanchéité du tunnel ;

◆ d'adopter pour le soutènement provisoire des critères en matière de qualité et du contrôle de cette qualité qui sont semblables à ceux d'un ouvrage définitif afin de pouvoir prendre en compte ce soutènement provisoire dans le calcul du revêtement définitif, ce concept prendra le nom de "Concentric-Shell lining" sur notre projet.

L'étanchéité

Les diverses dispositions prévues à l'appel d'offres pour garantir l'étanchéité ont été remplacées par un complexe classique d'étanchéité de tunnel en voûte c'est-à-dire un géotextile (500 g/m²) et une membrane PVC (2 mm). En contre-partie les aciers en voûte envisagés pour contrôler les fissures ont été supprimés. De plus il a été décidé de mettre en œuvre des portiques de cure à l'arrière des coffrages de revêtement pour contrôler la température et l'humidité du béton. En plus d'une étude très minutieuse de la formulation des bétons, cette disposition constitue une contribution supplémentaire au contrôle de la fissuration du béton de revêtement.

Le Concentric-Shell lining

Tirant profit du développement d'accélérateurs sans alcalin pour le béton projeté et après avoir passé en revue de nombreux projets où le béton projeté est utilisé pour un usage non provisoire il a pu être démontré que les exigences en matière de qualité recherchées par l'entreprise pouvaient être atteintes en durcissant légèrement les spécifications contractuelles du béton projeté :

- ◆ perméabilité à l'eau portée à 1×10^{-12} m/s ;
- ◆ démonstration de la stabilité à long terme de la résistance du béton projeté ;
- ◆ augmentation des contrôles sur le béton projeté jusqu'à d'atteindre des standards de contrôle comparables à ceux applicables à un ouvrage permanent.

Les études d'exécution

En définitive et à titre d'exemple le soutènement provisoire de la zone 8, qui est une des plus délicates, est composé de (figure 4) :

- ◆ béton projeté d'une épaisseur de 250 mm en demi-section supérieure, de 200 mm en demi-

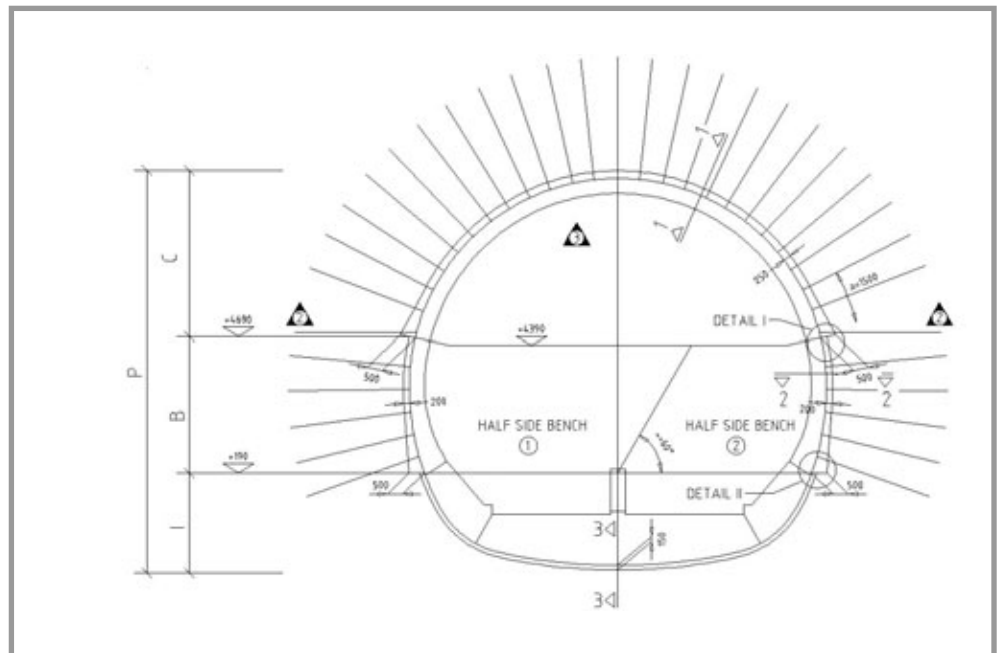


Figure 4
Soutènement provisoire zone 8
Temporary support, zone 8

tion inférieure et de 150 mm pour la contre-voûte ;

- ◆ cintres réticulés du type 95/20/30 en demi-section supérieure disposés à intervalles de 1 à 2 m suivant l'état du terrain ;

- ◆ treillis soudé 6 x 150 x 150 installé en deux couches en demi-section supérieure et en une seule couche en demi-section inférieure et en contre-voûte ;

- ◆ boulons scellés de diamètre 25 mm et de 4 m de long tous les 1,5 m radialement et tous les 2 m longitudinalement.

Si on se réfère au soutènement provisoire déjà réalisé on peut considérer que les résultats sont très satisfaisants avec la résistance à 28 jours de 25 N/mm² du béton projeté atteinte entre le 3^e et le 7^e jour et avec une résistance de 20 N/mm² généralement obtenue dans les premières 24 heures. Enfin, outre la suppression du ferrailage en voûte l'épaisseur nominale du béton de revêtement a pu être ramenée sur pratiquement toute la longueur du tunnel de 500 à 350 mm.

LES CONTRÔLES EN COURS DE TRAVAUX

Le contrôle de la performance du soutènement en cours de travaux est un élément essentiel pour la vérification du design ainsi que pour son adaptation fine aux conditions réelles du terrain. Ces contrôles ont été décomposés en trois groupes principaux :

- ◆ le contrôle des déformations du revêtement ;
 - ◆ les contrôles des déformations en surface ;
 - ◆ les relevés géologiques du terrain excavé.
- Auxquels s'ajoutent les tests réguliers sur les boulons et les résultats des écrasements des carottes de béton projeté.

L'ensemble de ces données est analysé à l'occasion d'une réunion quotidienne en présence de RLE et d'Eurolink.

C'est ainsi que les dernières décisions concernant le soutènement provisoire sont prises en toute transparence par le chargé de soutènement d'Eurolink.

LES TRAVAUX DU TUNNEL ET LE REVÊTEMENT

Les travaux de creusement du tunnel ont commencé le 16 avril 1999 avec une organisation permettant de travailler 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. L'excavation est menée depuis les deux extrémités en section divisée : demi-section supérieure, demi-section inférieure et enfin contre-voûte.

Le matériel est identique pour les deux attaques. L'excavation est réalisée avec une machine à attaque ponctuelle Paurat E242 et une pelle Liebherr 932T est utilisée pour les purges et l'abattage des zones où la craie est moins dure. Le marinage se fait avec deux chargeuses Liebherr 564 alimentant un convoyeur qui permet d'évacuer les déblais à l'extérieur du tunnel. Le béton projeté par voie humide est mis en place par un robot du type Normet 9150 tandis que les boulons sont installés en utilisant un jumbo Atlas Copco L2 à deux bras avec nacelle (photo 1).



Photo 1
Vue de la section complète excavée
View of complete excavated section

Les bétons de revêtement doivent démarrer en juillet de cette année, soit avec quatre mois d'avance sur le programme initial, pour une fin des travaux programmée en décembre 2001.

L'ensemble des bétons est fabriqué sur le chantier avec des quantités prévisionnelles de 60000 m³ de béton projeté et de 100000 m³ de béton de revêtement.

L'avancement début mai 2000 était le suivant :

- ◆ attaque Est : l'excavation de la section complète était terminée et les équipes préparaient le démarrage des travaux du revêtement.
- ◆ attaque ouest : au-delà des 250 premiers mètres où la section complète a été excavée, l'excavation progressait de façon satisfaisante en demi-section supérieure, avec comme objectif de percer en juin.

ABSTRACT

**CTRL - High-speed railway link between London and the Channel Tunnel
Lot 350/410 : The North Downs tunnel**

P.- C. Watson, Th. Portafaix, C. Eddie, L. Falkner

The digging of the North Downs tunnel began on 16 April 1999 in connection with section 1 of the high-speed railway link between London and the Channel Tunnel.

When it is completed in 2003, this tunnel will be the largest two-way railway tunnel ever built in the United Kingdom. Trains will go through this structure at 300 km/h through the chalk of the North Downs hills.

This article describes the project's context, reviewing the various phases in the tunnel's design, and describes the methods used for the execution of works. It shows the gains - for the client as well as for the contractor - relative to costs and deadlines made possible by "partnering."

RESUMEN ESPAÑOL

**CTRL - Enlace ferroviario de alta velocidad entre Londres y el Túnel de la Mancha
Lote 350/410 : el túnel de los North Downs**

P.-C. Watson, Th. Portafaix, C. Eddie y L. Falkner

La excavación del túnel de los "North Downs" dio comienzo el 16 de abril de 1999 en el sector de la sección 1 del enlace ferroviario de alta velocidad entre Londres y el túnel del Canal de la Mancha. Una vez terminado en 2003, este túnel será el mayor túnel ferroviario bidireccional jamás construido en el Reino Unido. Los trenes circularán a una velocidad de 300 km/h a través de la creta de las colinas de los "North Downs".

En este artículo se describe el contexto del proyecto, se mencionan las diversas etapas de los estudios del túnel y, finalmente, se indican los métodos adoptados para la ejecución de las obras. Y todo ello con la mención relativa a las ganancias - tanto para la empresa contratante como para la constructora - relativas a los costos y a la reducción

de los plazos, que se han obtenido por aplicación de una política de colaboración y asociación.



KCR 320 - 3,6 km de tunnels urbains à Hong Kong

Première utilisation d'un tunnelier à confinement à Hong Kong

Bouygues Dragages associé à Zen Pacific a signé en octobre 1998 la réalisation du lot KCR 320 de la future ligne West RAIL pour un montant forfaitaire de 1,9 milliard de dollars Hong Kong et un délai génie civil de 36 mois. Il s'agit d'un tunnel équipé de 3,6 km de longueur dont 1,8 km est construit pour la première fois à Hong Kong avec un tunnelier à pression de terre. Le contrat prévoit que tous les risques de conception, de coordination, d'autorisation administratives ainsi que les risques géologiques et souterrains sont à la charge de l'entreprise. L'article décrit le projet et son évolution, les contraintes et les techniques utilisées pour sa réalisation.

■ INTRODUCTION

Le 20 octobre 1998, le KCRC (Kowloon Canton Railways Corporation) attribuait au groupement d'entreprises Bouygues-Dragages (75 %) et Zen Pacific (25 %) la construction du lot KCR 320 de la ligne West Rail pour un montant forfaitaire de 1,9 milliard de dollars Hong Kong (environ 1,5 milliard de francs français).

Le projet a été signé sur la base d'une variante proposée par le groupement d'entreprises, à savoir la réalisation de 1 835 m de tunnel au tunnelier à pression de terre dans la zone la plus urbanisée et la géologie la plus tourmentée. C'est la première utilisation d'un bouclier à confinement sur le territoire de Hong Kong.

L'utilisation du tunnelier permet l'annulation de toutes les déviations de réseaux prévues et réduit énormément les travaux de surface et les déviations de trafic. Elle rend le chantier quasi invisible et silencieux pour les riverains et permet une étape importante dans le respect des nouvelles règles d'environnement liées aux travaux urbains.

Ce lot fait partie de la future ligne mixte métro/fret de desserte de l'ouest des territoires de Hong Kong, qui comprend trente kilomètres de voies en tunnels, tranchées ou viaducs et neuf stations et permet le développement harmonieux des nouveaux territoires éloignés du centre historique et touristique de Hong Kong.

Le projet de la ligne West Rail est estimé à 52 milliards de dollars Hong Kong (41 milliards de francs français). Il est découpé en 17 lots de génie civil, 23 lots d'équipements et de matériels roulants, sept lots d'ingénierie et 13 lots d'études diverses. Les études de faisabilité ont démarré en novembre 1996 et l'ouverture au public est prévue

en novembre 2003, ce qui en fait un des projets de métro les plus rapides au monde.

Trois mots clefs sont à retenir pour les travaux du KCR : environnement, sécurité, planning.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le lot KCR 320 comprend 3,6 km de tunnels équipés d'ouvrages annexes nécessaires à l'alimentation électrique, à la ventilation et à la sécurité. Les tunnels traversent des horizons géologiques variables. Du sud (station de Mei Foo) au nord (station de Tsuen Wan) le projet se décompose en :

Le tunnel Ha Kwa Chung à l'explosif

Ce tunnel présente les caractéristiques suivantes :

- ◆ 60 m réalisé sous faible couverture (5 m) au droit de la route Lai King ;
- ◆ 1 600 m sous forte couverture (30 à 110 m) au droit de l'éperon rocheux de granite sain de Ha Kwa Chung.

Le tunnel Tsing Tsuen au tunnelier

Il comporte :

- ◆ 450 m de remblais récents (1960) composés de dépôts marins à faible consistance et d'alluvions à forte perméabilité sous 15 m de couverture ;
- ◆ 750 mètres de granite fortement cisailé avec passage de zone faillée sous 15 à 25 mètres de couverture ;
- ◆ 635 mètres de granite sain sous 20 à 50 mètres de couverture avec inclusion de granodiorite à forte résistance.

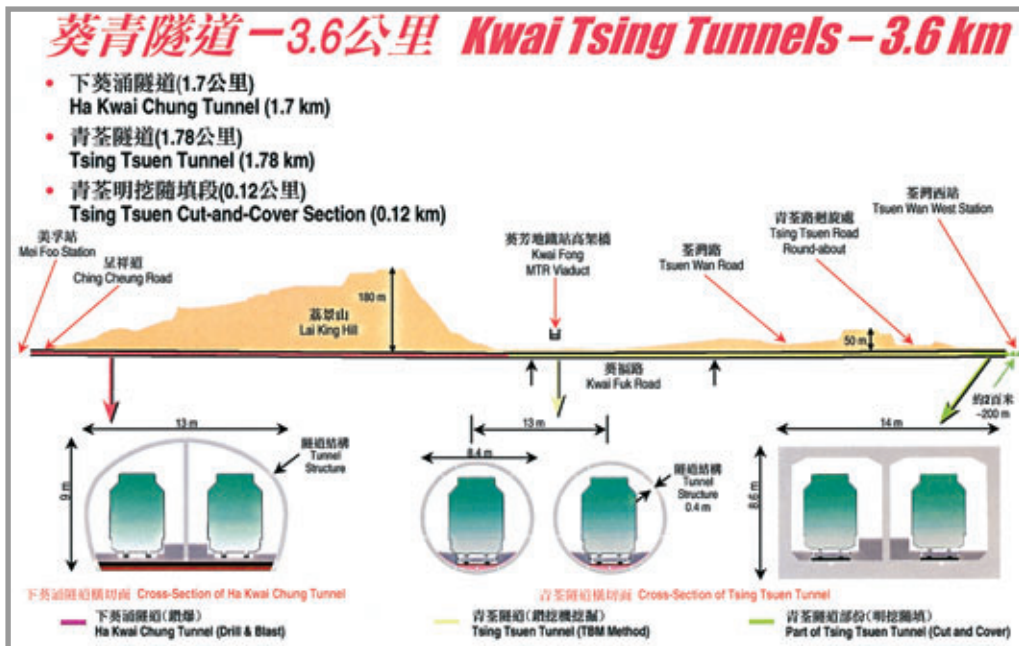
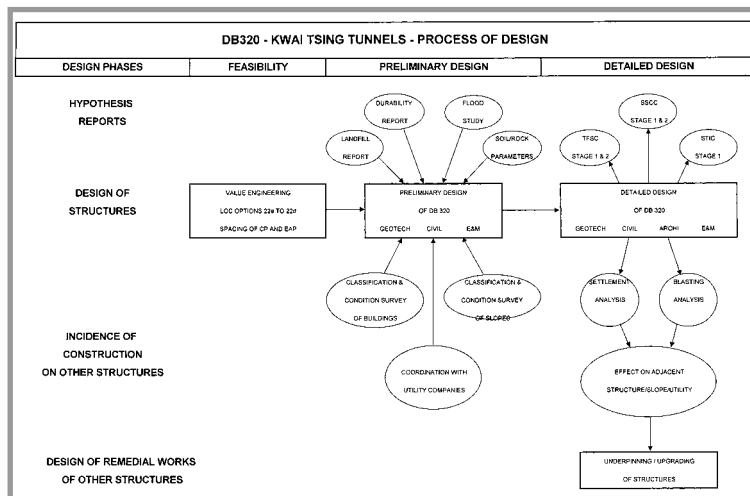


Figure 1
Vue schématique
des tunnels

Schematic view
of tunnels

Figure 2
Processus
des études
Design study
process



La tranchée couverte Tsuen Wan d'extrémité

Elle s'inscrit dans 140 m de granite décomposé surmonté de remblais récents (1980) (figure 1). A l'exception de l'amorce du lot côté Mei Foo, pour lequel le radier se situe au niveau de la mer, le toit des tunnels est situé en moyenne 15 m sous le niveau de la mer.

Les délais de réalisation sont très tendus et associés à de fortes pénalités de retard. Le génie civil des tunnels doit être terminé en 36 mois afin de permettre l'accès aux autres partenaires du projet (voie et électrification en particulier). Les tests de fonctionnement de toutes les installations doivent être validés au bout de 60 mois.

L'ensemble des risques liés à la définition technique du projet (études et géologie), à l'acceptation par les autorités de Hong Kong (KCR, Highways, Railways, Building, Geotechnical Office, Drainage Services, Water Services, Environmental Protection)

et à la coordination avec les autres lots de la ligne (génie civil, voie, électrification, ventilation, signalisation, télécommunication...) est intégré explicitement au contrat de réalisation, à la charge du groupement d'entreprises.

DESIGN & BUILD ET VALUE ENGINEERING

Le projet comprend le développement de la variante et son optimisation, les études d'exécution des puits, des tunnels et des ouvrages annexes ainsi que la coordination avec les autres lots de la ligne, la réalisation du génie civil, les supports d'équipements et le câblage électrique du lot.

Le client a accepté lors de la soumission, le principe d'un tunnelier à pression de confinement. Il a inclus dans le contrat des clauses et spécifications permettant de développer le concept dans son environnement :

- ◆ cinq options d'optimisation avec des délais d'acceptation de 3 mois ;
- ◆ la clause de "value engineering" permettant au groupement de proposer toute modification d'ingénierie apportant une économie globale ;
- ◆ le contrat conception/construction permettant l'optimisation des quantités ainsi que la prise en compte des méthodes de construction dans le développement des études de structures.

Les études se sont développées en six étapes clefs :

- ◆ value engineering - Grandes options du projet - Tracé et position des puits ;
 - ◆ études préliminaires - Choix des structures et principes de construction ;
 - ◆ définition des actions et caractéristiques des matériaux - Durabilité, sécurité, géotechnique, inventaire et évaluation des structures et pentes naturelles adjacentes ;
 - ◆ études détaillées - Plans de fabrication des soutènements provisoires et phasages détaillés, sécurité au feu des structures, plans de fabrication des ouvrages permanents ;
 - ◆ incidences sur les structures adjacentes - Détermination des mouvements et vibrations induites par les travaux et sensibilité des structures adjacentes ;
 - ◆ études de renforcement et reprises en sous-œuvre éventuelles de ces structures.
- Qualité, environnement, sécurité et maintenance ont été intégrés au cycle d'études et contrôlés par le client au moyen d'audits pluriannuels. La durabilité des ouvrages est de 120 ans (figure 2).

ÉVOLUTION DU PROJET

Le projet s'est façonné pendant les trois premiers mois du contrat. Il a été validé six mois plus tard,

et finalisé 18 mois après signature du contrat. Il y a eu consensus technique puis financier sur l'optimisation générale du projet grâce aux clauses incluses au contrat et à la compétence du client. Les aménagements ont porté principalement sur les tunnels mais ont, eu de fortes incidences sur les ouvrages annexes et les puits d'accès. Les principales évolutions ont été les suivantes :

- ◆ autorisation de forer sous le bâtiment industriel Wah Kai en activité ;
- ◆ inversion du sens de foration du tunnelier, allongement du puits de montage et transfert de l'usine de préfabrication en Chine ;
- ◆ déplacement latéral et approfondissement du tunnel au droit du puits intermédiaire D et traversée par le tunnelier des rampes du viaduc Kwai Chung fondées sur pieux forés et du Nullah fondé sur pieux flottants ;
- ◆ mise à niveau des tunnels à l'explosif de Ha Kwa Chung et remplacement de monotubes à tracés complexes par un bitube standard à section en fer à cheval ;
- ◆ réorganisation des accès pompiers et élimination d'un puits ;
- ◆ réorganisation des inter-tubes (sécurité des passagers) et réduction de leur nombre de 30 à 20 ;
- ◆ annulation des galeries souterraines adjacentes au tunnel au tunnelier (deux salles de signalisation et télécommunication et trois niches de réfrigération) et relocation en surface et dans les puits d'extrémité ;
- ◆ annulation de dix niches caténaïres dans le tunnel au tunnelier par relocation des sectionneurs et adaptations des contrepoids ;
- ◆ réorganisation de l'architecture et optimisation de la structure du bâtiment de ventilation (figure 3). Ces aménagements ont permis d'une part d'optimiser le projet pour le client et le groupement, et d'autre part, de développer l'ensemble des avantages liés à l'utilisation d'un tunnelier à pression de confinement pour la partie urbaine du lot.

■ LES PUIITS D'ACCÈS

Le projet comprend trois puits d'accès chantier aux tunnels, un puits de ventilation et d'alimentation électrique et enfin deux puits d'accès pompiers. Ils ont utilisé des géométries et des techniques différentes, adaptées à leur fonction et leur environnement.

Le puits A d'accès au tunnel à l'explosif

C'est une rampe à 15 % de 6 m de largeur et 90 m de longueur qui atterrit sur une plate-forme de 20 m de largeur par 60 m de longueur. La rampe permet l'accès aux engins de foration (robofores à trois bras), de marinage (pelles et *dumpers*) ainsi qu'aux

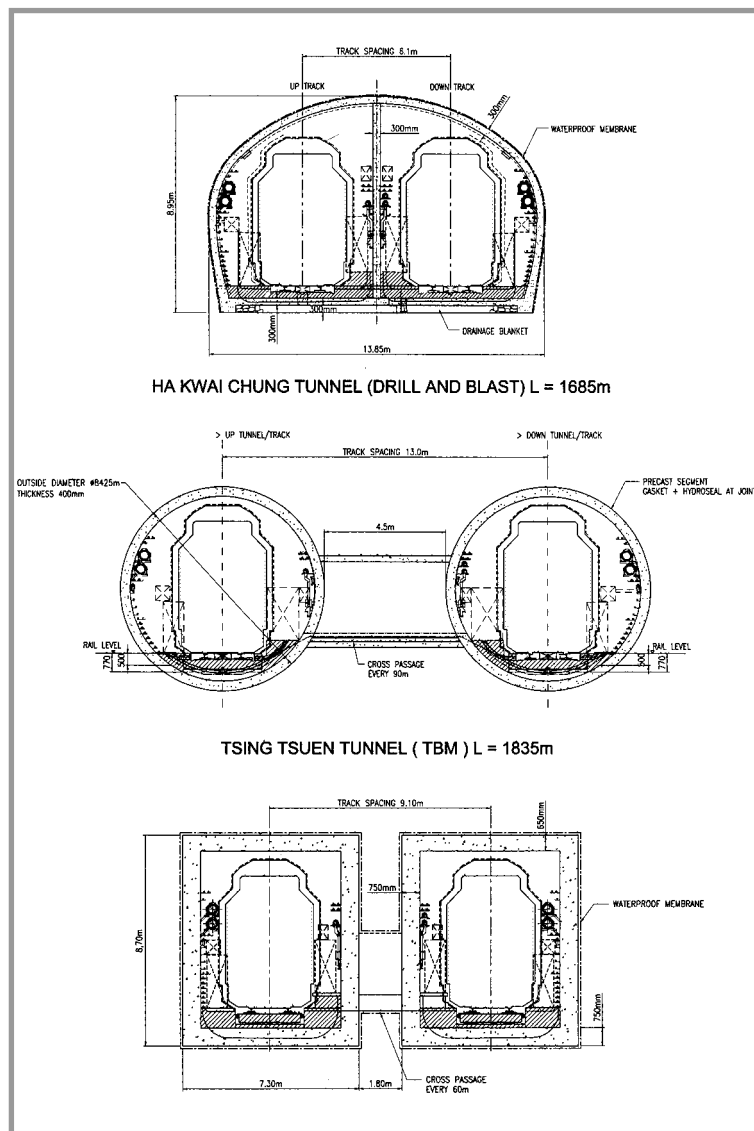


Figure 3
Coupe type
des tunnels
Typical cross-section
of tunnels

touties à béton. La plate-forme permet le montage du coffrage et du portique de ventilation. Le puits est situé entre deux routes à fort trafic, ce qui explique l'exiguïté et la difficulté des travaux préparatoires aux tunnels. Elle comprend une paroi berlinoise de 5 à 10 m de hauteur ancrée par des tirants passifs et un terrassement au rocher de 15 m de hauteur réalisé à l'explosif. La proximité des routes a imposé une gestion très rigoureuse des tirs (coupure systématique des deux routes), des écrans de protection contre les jets de pierre et la poussière. Le passage des réseaux d'eau et de gaz a réduit la quantité d'explosif à 0,5 kg et la longueur des tirs à 1 m afin de limiter les vibrations induites.

La berlinoise de support de la route Lai King a débuté en mars 1999 et la plate-forme a été terminée pour le démarrage du tunnel Ha Kwa Chung en juin 1999 (photo 1).

Le puits D de sortie du tunnelier

C'est un puits circulaire de 27 m de diamètre intérieur, situé sur une pente naturelle à 30 %. Il permet sans obstruction de démanteler et lever les pièces principales du tunnelier dans la configuration tunnel *up-track* ou tunnel *down-track*. La tête de coupe pèse 150 t et la jupe possède un encombrement de 9 m de largeur, 9 m de hauteur et 5 m de longueur.



Photo 1
Vue de l'entrée du tunnel
depuis le puits A
View of tunnel entrance
from shaft A

Photo 2
Vue d'avion du puits D, E
et des fondations
du bâtiment de ventilation
Aerial view of shaft D, E
and foundations
of ventilation building



Photo 3
Puits J - Terrassement
sous les butons
Shaft J - Earthworks
under the struts

Photo 4
Vue d'avion du puits J
et protection
contre les tirs d'explosifs
Aerial view of shaft J
and blast protection



Photo 5
Vue d'avion du puits J
et des protections
acoustiques
Aerial view of shaft J
and blast protection



Le puits est réalisé en paroi moulée dans la partie supérieure (15 m de sol de remblais et granite décomposé) et terrassé au rocher à l'explosif dans la partie inférieure (15 m de granite grade III et II). La couverture rocheuse au-dessus des tunnels est de 3 m.

La sécurité de la solution et la qualité des travaux ont permis de limiter les arrivées d'eau à des niveaux insignifiants et de réduire les tassements en surface des réseaux, routes et égouts adjacents. Les tunnels sont réalisés en cadre béton armé. Ils sont surmontés d'une cheminée d'accès comprenant un escalier et un ascenseur. Le puits est utilisé comme accès pompiers en phase d'exploitation. Il est aménagé pour recevoir en surface l'accès et le stationnement des véhicules de lutte contre l'incendie.

Les parois moulées ont démarré en mai 1999 et le puits a été livré en décembre 1999 pour le démarrage des amorces nord du tunnel Ha Kwa Chung (tunnels parallèles à voie unique) (photo 2).

Le puits E de ventilation et d'alimentation électrique

C'est un puits rectangulaire de 30 m de largeur, 10 m de longueur et 30 m de profondeur. Il est situé dans une réclamation datant des années soixante. Il englobe les deux tunnels au tunnelier et permet des ouvertures de 40 m² dans chacun des tubes. Il contient en plus quatre gaines isolées servant de conduit aux fourreaux électriques et aux tuyaux d'eau d'alimentation des tunnels.

Le radier est situé à 25 m sous le niveau de la nappe.

Le puits est réalisé en parois moulées définitives, ancrées au rocher, butonnées en trois niveaux par des cadres béton. Le terrassement intérieur et la réalisation des structures internes sont faits après percement du premier tube et avant percement du second. L'alvéole du deuxième tube est remplie de sable-ciment avant passage du deuxième tube afin de permettre une traversée du tunnelier chambre pleine.

Les parois moulées du puits ont démarré en avril 2000.

Le puits W d'accès pompier

C'est un puits d'accès comprenant un escalier, un ascenseur et une gaine de pressurisation. Les salles de signalisation et de télécommunication ont été placées en surface éliminant ainsi la réalisation de cavernes souterraines. Le puits a une profondeur totale de 45 m.

Il est excavé sous protection d'un blindage circulaire traditionnel de 15 m de diamètre pour les 12 m supérieurs dans le sol et à l'explosif pour les 33 m de rocher sous-jacent.

La berlinoise de tête a démarré en mars 2000.



Photo 6
Tunnel Ha Kwa Chung
- Foration
des trous d'explosifs
au robofore

*Ha Kwa Chung tunnel
- Drilling
of blast holes
with the Robofore*



Photo 7
Tunnel Ha Kwa Chung - Marinage de l'excavation

Ha Kwa Chung tunnel - Mucking of excavation

Le puits J d'entrée du tunnelier

C'est le puits d'accès du tunnelier. L'usine de traitement des déblais et les silos de stockage de bentonite, ciment, graisse et adjuvant sont situés en tête du puits.

La géométrie du puits et sa configuration ont été adaptées d'une part pour permettre la manutention des pièces lourdes et volumineuses du bouclier, d'autre part pour assembler le train suiveur, enfin pour assurer la mise en place de la bande transporteuse des déblais du tunnelier, l'amenée des fluides et des voussoirs préfabriqués.

Le puits est réalisé au moyen de parois moulées ancrées au rocher, butonnées par trois lits de tubes métalliques dont le niveau est calé pour permettre le passage de la bande transporteuse. Sa longueur est de 141 m, sa largeur de 28 m et sa profondeur de 25 m. Il ne comporte pas de liernes et chaque panneau est auto-stable avec son vis-à-vis. Deux trémies de 10 et 12 m de largeur permettent l'acheminement des pièces du tunnelier.

Les parois du puits sont situées à 30 m de distance du viaduc Tsuen Wan fondé sur pieux flottants, à 30 m de la mer et 25 m sous le niveau des hautes eaux. Cette situation défavorable faisait craindre des arrivées d'eaux et des tassements préjudiciables au viaduc. Le choix de parois moulées ancrées au rocher et la qualité de réalisation des joints a permis de maintenir une fouille quasi sèche. Les butons métalliques ont été précontraints et ont ainsi réduit les mouvements à la valeur admissible de 15 mm.

La réalisation des parois moulées a débuté en mars 1999, et la dalle de radier a été livrée en janvier 2000 pour assurer le montage du tunnelier (photos 3, 4 et 5).

■ LE TUNNEL À L'EXPLOSIF

Le tunnel Ha Kwa Chung a une longueur de 1665 m. Il comporte une section constante de 1000 m



Photo 8
Tunnel Ha Kwa Chung -
Revêtement définitif
et coffrage précontraint

*Ha Kwa Chung tunnel -
Final lining and prestressed
shuttering*

de longueur, 13 m d'ouverture et 9 m de hauteur, une section variable de 485 m de longueur, d'ouverture comprise entre 15 et 23 m permettant un raccordement future avec la ligne de fret et une section d'extrémité de 180 m de longueur ou le raccordement avec le tunnel au tunnelier impose une séparation en deux tunnels simple voie de 7 m de largeur chacun.

Les supports provisoires sont réalisés par boulonnage du rocher en fonction de la qualité et de la fracturation de ce dernier. Le radier est drainé et le revêtement est protégé par une membrane d'étanchéité en PVC. Le revêtement est réalisé en béton non armé de 30 cm d'épaisseur par plots de 12,5 m de longueur. Le coffrage précontraint permet un cycle de 24 heures (photos 6, 7, 8).

La réalisation du tunnel à l'explosif a été l'objet de nombreuses restrictions dues à la proximité des routes (coupures pendant les tirs), des réseaux et pentes instables (limitation des vibrations), à la proximité de zones d'habitation (réalisation de couvertures acoustiques). Vingt pentes naturelles, deux routes et leurs concessionnaires, deux réservoirs d'eau, cinq bâtiments et un village entier ont fait l'objet de précautions et d'études approfondies contre les vibrations (limitées à 12 et 25 mm/sec). Le passage sous la route Lai King a fait l'objet d'une

Figure 4
Phasage d'excavation
de l'amorce
du tunnel Ha Kwa chung
*Initial excavation phases
for Ha Kwa chung tunnel*

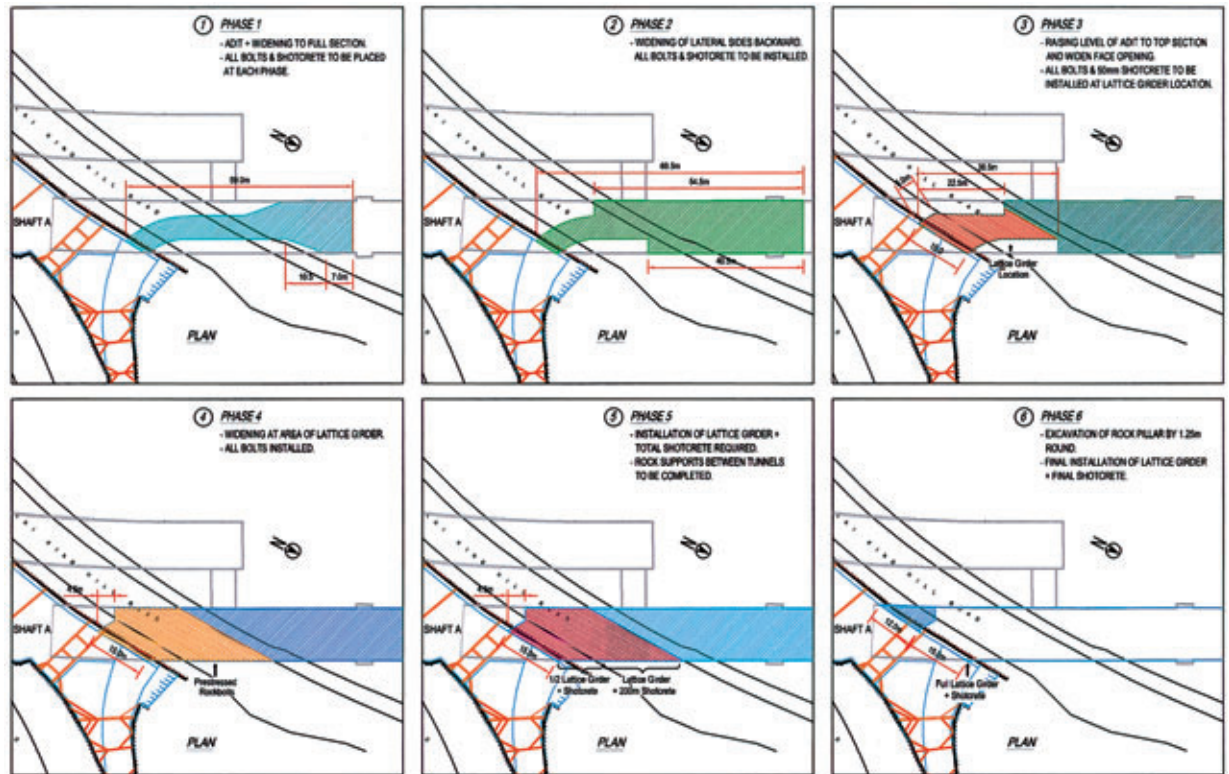
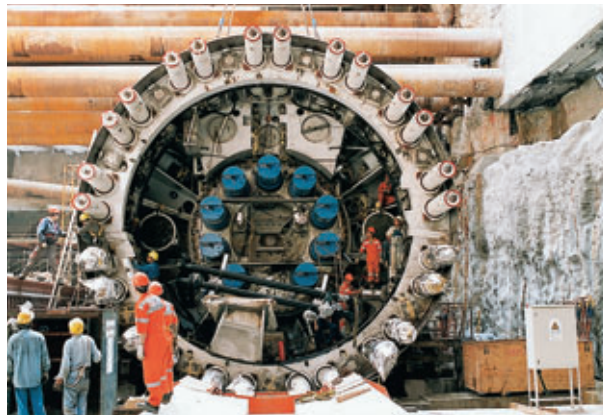


Photo 9
Tunnelier -
Transport de la roue
de coupe
*TBM - Transport
of cutting wheel*



Photo 10
Tunnelier - Assemblage
de la jupe
*TBM - Assembly
of skirt*



étude numérique fine de renfort par boulonnage et phasage d'ouverture afin de garantir la sécurité du tunnel sous la faible couverture de 5 m de rocher et le biais important de 50 degrés. L'ouverture de ce tunnel de 27 m est la plus grande jamais réalisée à Hong Kong (figure 4). Les excavations ont démarré en juin 1999 côté sud et en décembre 1999 côté nord. Les premiers bétons ont été réalisés en octobre 1999. Le tunnel sera achevé en février 2001.

■ LE TUNNEL AU TUNNELIER

Le tunnel Tsing Tsuen est constitué de deux tunnels parallèles de 1835 m de longueur, 8,7 m de diamètre de percement et 13 m d'entraxe courant. Il est situé en moyenne 15 m sous la nappe qui est en communication directe avec la mer. Les voussoirs sont équipés de doubles joints compressibles et hydrogonflants de façon à garantir un ouvrage sec indispensable pour la pérennité de l'ouvrage. La proximité de bâtiments, routes et ouvrages publics a imposé une étude en quatre temps :

- ◆ étude de l'interaction sol-structure et des efforts dans le tunnel ;
- ◆ recensement des ouvrages, bâtiments, concessions en proximité du tunnel ;

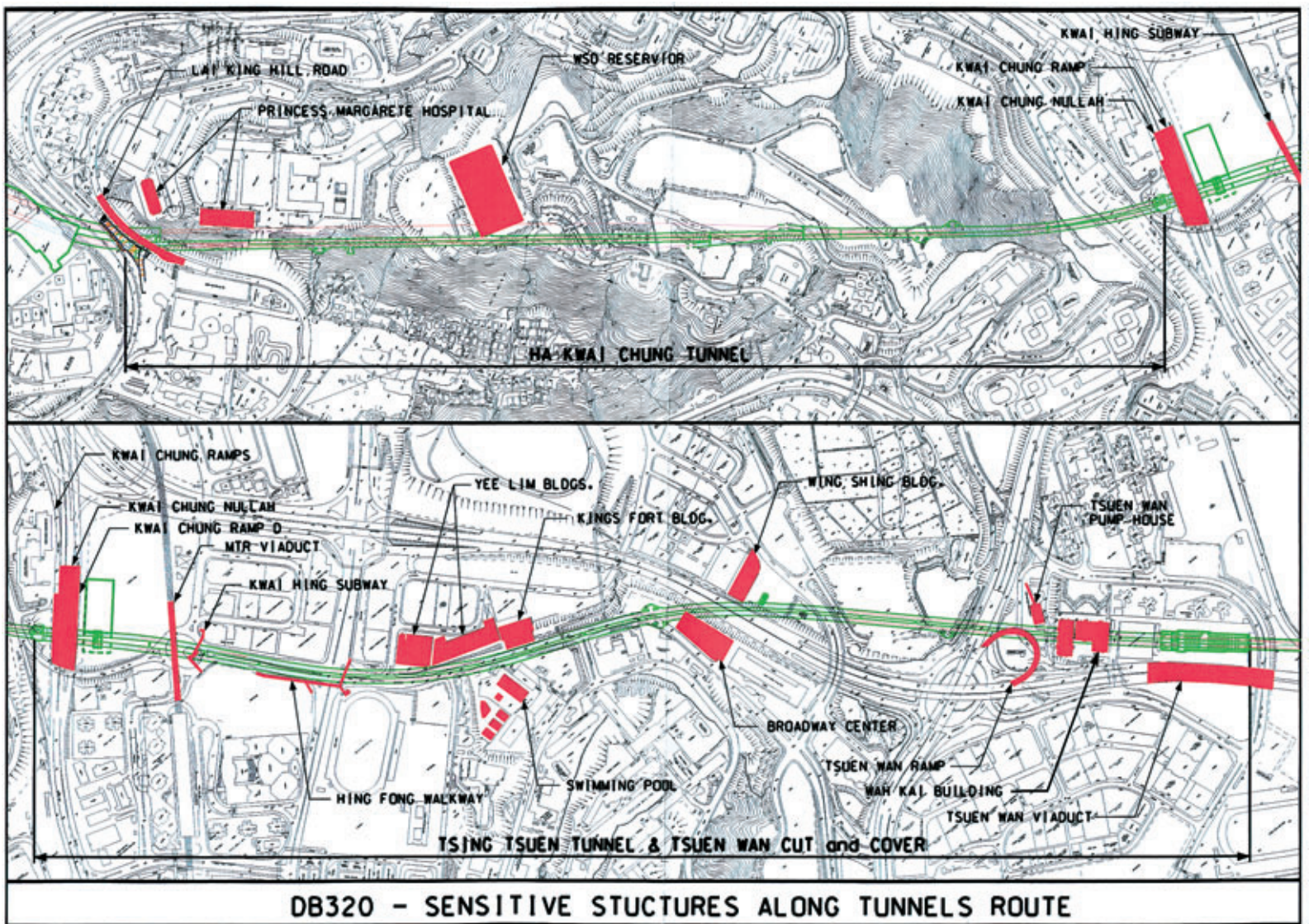


Figure 5
Structures sensibles
à la réalisation des tunnels
*Structures sensitive
to tunnel construction*

- ◆ étude des déformations induites par le tunnelier, et sélection des bâtiments sensibles ;
- ◆ étude approfondie des déformations du terrain et les efforts induits dans les fondations et radiers des ouvrages sensibles.

Treize ouvrages ont fait l'objet d'une étude fine aux éléments finis. Les pressions de confinement de 200 KPa et d'injection de 350 KPa ont permis de limiter les tassements en surface à 30 mm et les effets sur les structures adjacentes à des valeurs acceptables (figure 5).

Le tunnelier a été commandé spécialement pour le projet. Il a été baptisé "Mulan". Le cahier des charges a été rédigé par la Direction technique de Bouygues TP à Challenger. La machine a été étudiée en France par NFM, sous licence Mitsubishi. Elle a été forgée et assemblée à Shanghai par SHMP puis transportée par bateau à Hong Kong. A la fin du forage du premier tube, le tunnelier sera démonté dans le puits D puis transporté au puits J pour réaliser le forage du deuxième tube. Le tunnelier a démarré la foration le 4 avril 2000 pour une durée estimée de 16 mois (photos 9, 10).

La préfabrication des voussoirs est réalisée sur l'île de Niu Thu à 20 km du chantier de l'autre côté de la frontière chinoise. Les voussoirs sont acheminés par bateaux sur le chantier et sont stockés en partie sur site en partie sur l'île. L'usine a



Photo 11
Usine de préfabrication -
Cages et moules
*Pre-casting plant -
Cages and moulds*

été conçue par la Direction technique de Bouygues TP et les outils spécifiques fabriqués en France puis transportés par bateau à Hong Kong (photos 11, 12 et 13).

Le creusement du tunnel se fait selon trois modes de fonctionnement suivant la géologie rencontrée :

- ◆ un mode ouvert dans la zone de rocher sain, longueur 635 m ;
- ◆ un mode air comprimé pour les zones de rocher fracturé ou à faible couverture et possibilité d'arrivée d'eau, longueur 750 m ;
- ◆ un mode de pression de terre dans les zones

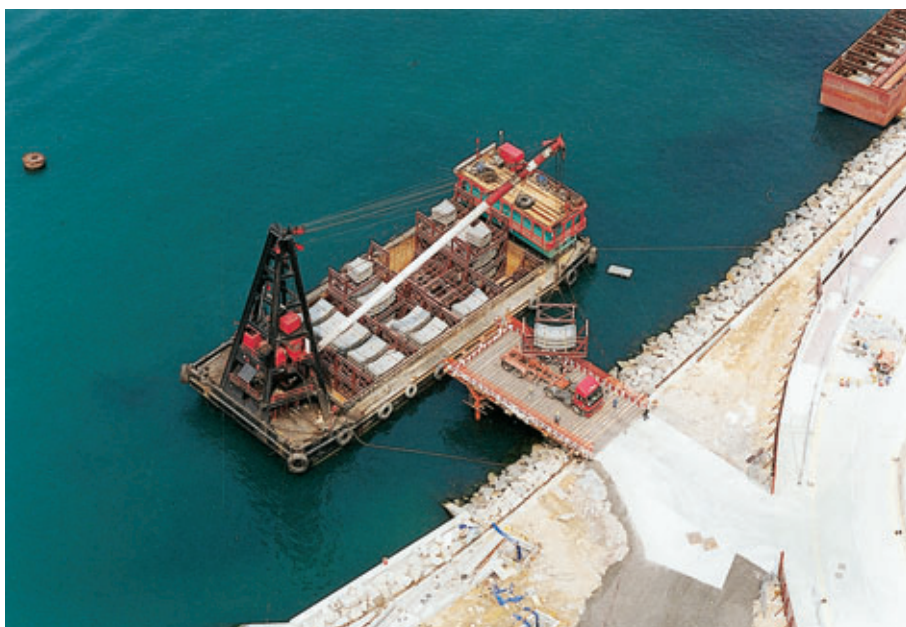


Photo 13
Usine de préfabrication -
Transport des voussoirs
*Pre-casting plant -
Transport of segments*



mixtes et de sols ou la stabilité de la face et la perméabilité des terrains impose un confinement solide du front, longueur 450 m.

Le suivi des travaux et leurs incidences se fait grâce à 276 instruments de mesure installés le long de la route du tunnelier (piézomètres, tassomètres, extensomètres, inclinomètres, fissuromètres). Ils sont positionnés en surface sur les concessionnaires, en profondeur dans les zones sensibles et sur les structures proches des tunnels.

Le responsable des travaux possède en plus, le concept Catsby qui lui permet en temps réel de contrôler plus de mille paramètres de fonctionnement de la machine. Il peut ainsi contrôler l'activité de la machine, détecter les incidents mécaniques et anticiper les accidents géologiques. La navigation est assurée par le programme "PIXYS" qui positionne tunnel et tunnelier à l'optimum vis-à-vis du tracé théorique, des combinaisons de joints et de l'injection des anneaux.

Aux points clefs suivants, des dispositions particulières ont été prises :

- ◆ *break-in* (deux unités) - Traitement du terrain par jet grouting afin d'assurer une couverture imperméable et résistante de 2 m au-dessus du tunnel. Il permet un démarrage en mode ouvert ;
- ◆ inter-tubes sol et rocher (19 unités) - Section circulaire des inter-tubes réalisés par béton projeté sans armature. Traitement du terrain par jet grouting pour les inter-tubes dans le sol ;
- ◆ traversée puits E (quatre traversées de parois) - La séquence d'excavation et de finition du puits permet une traversée de puits plein et élimine les sas d'entrée/sortie nécessaires dans le cas de traversée du puits vide ;
- ◆ *break-out* (deux unités) - La fin du tunnel se situe dans la zone de rocher sain propice à la réali-



Photo 12
Usine de préfabrication - Encollage des joints
Pre-casting plant - Gluing of joints

sation du tunnel à l'explosif. Le massif rocheux d'arrivée est renforcé par des clous en fibres de verre.

■ LES OUVRAGES ANNEXES

Ils comprennent une sous-station électrique, une usine de ventilation et deux accès pompiers. Ils ont reçu un traitement architectural sobre pour donner une image de fonctionnalité au projet. Les parties aériennes sont réalisées en traditionnel avec utilisation d'étais et de coffrages bois.

La coordination amont entre architecture/alimentation électrique/équipements/sécurité/génie civil/soutènements a permis d'optimiser la fonction des bâtiments à leur méthodes de construction et de déconnecter la construction des tunnels à la construction des structures annexes.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Excavation

- Rocher : 420 000 m³
- Sols : 160 000 m³

Soutènements

- Surface : 18 000 m²
- Béton : 13 000 m³

Ouvrages permanents

- Béton ; 100 000 m³
- Acier : 7 000 t

■ CONCLUSIONS

Le lot 320 du KCRC représente un pari fort de coordination et de compétences techniques.

La variante proposée à l'appel d'offres, d'utilisation d'un tunnelier, a induit des économies pour le client et permis d'annuler pour les riverains les inconvénients d'un chantier urbain. Il aura fallu 18 mois d'études pour refaçonner le projet dans sa globalité, développer l'ensemble des avantages liés à l'utilisation d'un tunnelier à confinement, et arriver au concept d'une solution technique économique, intégrée et coordonnée.

Le développement de la solution technique a été facilité grâce au contrat conception/construction, aux clauses de *value engineering*, et aux relations techniques fortes entre le client, le groupement d'entreprises et les bureaux d'études.

L'utilisation économique d'un bouclier à confinement dans un espace urbain ouvre de larges perspectives pour les futures infrastructures de la ville de Hong Kong.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Etudes générales : Atkins
- Architecte : Farrell HK
- Etudes tunnel préfabrication : BETP Bouygues
- Etudes E & M : WSP & GEC
- Contrôle des études : Arup
- Méthodes tunnelier : Bouygues TP
- Méthodes générales : Dragages/Zen sur chantier
- Tunnelier : NFM/SHMP sous license Mitsubishi
- Parois moulées : IP Foundations
- Traitement jet grouting : IP Foundations & Trevi
- Préfabrication des voussoirs : Zen Pacific

ABSTRACT

KCR 320 – 3.6 km of urban tunnels in Hong Kong First use of a confinement shield TBM in Hong Kong

O. Martin

Bouygues Dragages associated with Zen Pacific signed a contract in October 1998 for the works of Lot KCR 320 of the future West Rail line for a lump sum of HK\$1.9 billion and a civil engineering completion time of 36 months. What is involved is an equipped tunnel 3.6 km long, of which 1.8 km is being built for the first time in Hong Kong using an earth pressure tunnel boring machine. The contract specifies that all risks relative to design, co-ordination, administrative authorisation, as well as geological and underground risks, are to be borne by the contractor. The article describes the project and its design phases, as well as the constraints and techniques used to carry it out.

RESUMEN ESPAÑOL

KCR 320 - 3,6 km de túneles urbanos en Hong Kong Primera utilización de un tunelero de confinamiento (máquina de perforar túneles), en Hong Kong

O. Martin

Bouygues Dragages, en asociación con Zen Pacific, ha formalizado en octubre de 1998 un contrato de ejecución del lote KCR 320 de la futura línea West Rail, por un importe global de 1.900 millones de dólares Hong Kong y un plazo de ejecución de 36 meses para las obras de ingeniería civil. Se trata de un túnel equipado de 3,6 km de longitud, de la cual 1,8 km se construye por vez primera en Hong Kong mediante un tunelero (máquina de perforación de túneles) de presión de tierra. El contrato incluye que todos los riesgos de diseño, de coordinación, de autorizaciones administrativas, así como los riesgos geológicos y subterráneos corren por cuenta de la empresa. En el artículo se describe el proyecto y su evolución, los imperativos y las técnicas aplicadas para su construcción.

Marinage innovant dans à Hong Kong

Evacuation des matériaux rocheux de convoyeur et concasseurs mobiles

Pour creuser l'attaque nord (3 km) d'un tunnel ferroviaire long de 5,5 km à Hong Kong, un système de marinage innovant comprenant un convoyeur fixe, un convoyeur mobile, un concasseur et un alimentateur métallique – eux aussi mobiles – a été mis en œuvre. La mobilité du système permet un marinage en continu sans reprise et sans camion, compatible avec la réalisation des structures béton de la voûte, du radier, du voile séparateur respectivement 400, 500 et 600 m derrière le front.

Les matériaux concassés transportés par le convoyeur vers un dépôt situé à 200 m du portail, peuvent être évacués 24 heures sur 24 malgré les restrictions de bruit (45 dB(A) de nuit), et sont repris par un chantier voisin pour mise en remblai ou utilisés sur le chantier dans le radier drainant du tunnel. Côté géologie, le tunnel traverse successivement des granites, des tuffs volcaniques et des granodiorites dont la résistance varie de 100 à 200 MPa et rencontre deux failles dont une majeure à Hong Kong avec 400 m de couverture et environ 50 m de largeur.

Le projet du KCRC DB350 constitue un lot des travaux de la ligne nouvelle longue d'environ 20 km qui relie la partie ouest de Kowloon et son port à containers avec les nouveaux territoires de Hong Kong.

LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

Description des ouvrages

L'ensemble du projet consiste en l'étude et la réalisation d'un tunnel ferroviaire long de 5495 m à deux voies sur 4978 m (figure 1) et 3 voies sur 517 m (figure 2), de 363 m de tunnel en tranchée couverte, de deux bâtiments de ventilation et de divers travaux annexes.

DTP Hong Kong réalise depuis la tête nord 2955 m du tunnel d'une section courante avant revêtement de 107 m² (les 517 premiers mètres sont forés en grande section, soit 170 m²). La partie sud du tunnel, soit 2540 m, est réalisée par notre partenaire (Nishimatsu).

DTP Hong Kong construit également, au portail nord, le bâtiment de ventilation et la sous-station électrique, un pont piétonnier au-dessus des voies et dévie la rivière existante sur 440 m.

Les principaux éléments du contrat sont détaillés en encadré (ci-dessous).

Les principales contraintes liées à l'excavation du tunnel

Le portail nord se situe dans une zone rurale, en bordure d'un parc national. Cette localisation engendre des contraintes importantes au niveau du bruit et des rejets d'eau en rivière.

Le tracé du tunnel traverse successivement des granites, des tuffs, des granodiorites dont la résistance varie de 100 à 200 MPa.

Le contrat limite la quantité d'eau totale drainée par le tunnel et plus particulièrement lorsqu'il passe sous deux tunnels existants d'adduction d'eau et sous un barrage situé à l'aplomb d'une faille géologique.

Une deuxième faille géologique majeure de Hong Kong appelée Sham Sheung doit être traversée à 2,4 km du portail sous 400 m de couverture.

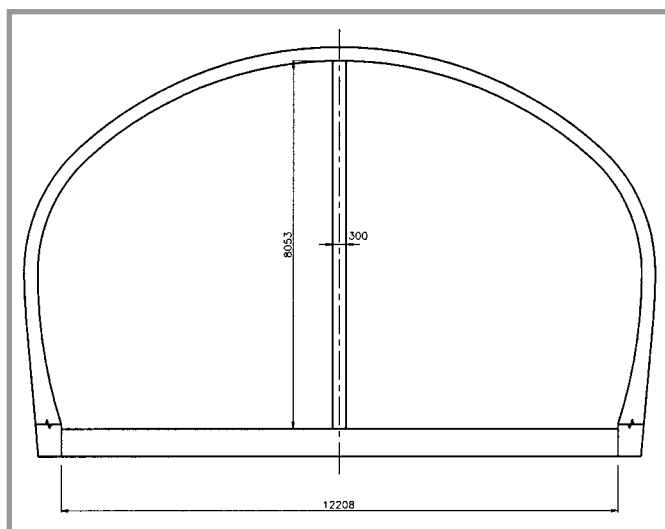
Le planning autorise 20 mois pour l'excavation; le revêtement de la voûte étanchée, le radier et le voile séparateur doivent être enchaînés entre 350 et 600 m derrière la face pour une durée totale excavation + béton de 24 mois.

L'EXCAVATION DU TUNNEL

Choix du système de marinage

Deux options ont été étudiées au démarrage du chantier :

Figure 1
Section courante pour deux voies
Current section for two tracks



LE CONTRAT

Montant

1774 M HK\$

Marché

Prix ferme et forfaitaire, "Design & Built" sur solution variante (un tube excavé à l'explosif avec voile séparateur au lieu de deux tubes au tunnelier)

Principales dates

- Attribution du marché : 28 septembre 1998
- Accès aux aires de chantier du portail nord : 5 février 1999
- Livraison du génie civil : 1^{er} août 2001

un tunnel à l'explosif

avec un système continu dans un tunnel ferroviaire

Jean-Jacques Leugé



DIRECTEUR TRAVAUX
Bouygues Travaux Publics

Jean-Marie Clor



CHEF DE SERVICE
TRAVAUX
Bouygues Travaux Publics

- ◆ marinage classique avec des camions de 18 m³ qui mettent en dépôt les matériaux abattus à l'explosif dans un chantier voisin du KCRC ;
- ◆ marinage avec un convoyeur qui évacue des matériaux concassés à l'intérieur du tunnel.

La revue des contraintes et opportunités suivantes a conduit au choix du convoyeur :

- ◆ sécurité : le trafic des camions au travers des ateliers de bétonnage de la voûte et surtout du radier et du voile de séparation qui imposent des restrictions de trafic, représente un risque majeur ;
- ◆ hygiène : l'émission de gaz toxiques par les camions de marinage est critique au-delà de 2 km si l'on maintient le rendement ;
- ◆ environnement : pour respecter la limite de 45 dB(A) la nuit au droit des villages voisins, aucun camion ne peut travailler à l'extérieur de 11 heures du soir à 7 heures du matin. A la jetée du convoyeur, un dépôt en partie enterré et protégé par un mur antibruit peut fonctionner 24 heures sur 24 ;
- ◆ économie : l'investissement matériel est plus important de 40 % dans l'option convoyeur et les possibilités de revente ou d'amortissement sont moindres. Trois kilomètres apparaît ici comme un minimum pour rentabiliser les investissements convoyeur et concasseur. Des économies importantes réalisées sur la ventilation (dimensionnement et coûts de fonctionnement réduits) et surtout la valeur marchande du matériau extrait, directe-

ment utilisé pour la couche drainante sous le radier ou en remblai à l'extérieur amortissent la différence ;

◆ programme : le marinage avec des camions est bien connu, souple mais le rendement s'essouffle au fur et à mesure que l'excavation progresse et que des ateliers de bétonnage se multiplient. Tous les éléments du système convoyeur sont critiques, demandent plus de maintenance, le concasseur doit être surdimensionné d'environ 50 % pour faire face aux aléas géologiques mais le rendement se maintient sur des longueurs de creusement beaucoup plus longues.

In fine, l'expérience déjà acquise sur un chantier précédent et la disponibilité partielle du matériel ont facilité le choix du convoyeur.

Description détaillée du marinage

Le choix du principe de marinage étant établi, restait à définir s'il serait continu (matériau chargé à la face) ou discontinu (matériau transporté sur quelques dizaines ou centaines de mètres depuis la face avec reprise éventuelle). C'est l'option du système continu qui a été retenue. Après le tir, vérifications d'éventuels ratés de tir et ventilation des gaz et fumées de tir, une chargeuse nettoie le radier.

La partie mobile du système de marinage décrite dans les figures 3, 4 et 5 est déplacée vers la face : l'alimentateur métallique qui amène les matériaux

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Attaque nord

- Excavation 2 955 ml - Section 170 m² sur 517 m
- Section 107 m² sur 2 438 m
- 375 000 m³ avec 12 niches
- Boulons provisoires 13 000 u
- Béton projeté 8 500 m³
- Étanchéité 87 000 m²
- Béton de revêtement définitif : 76 000 m³
- Personnel : 20 expatriés, 200 locaux dont 60 pour les entreprises sous-traitantes

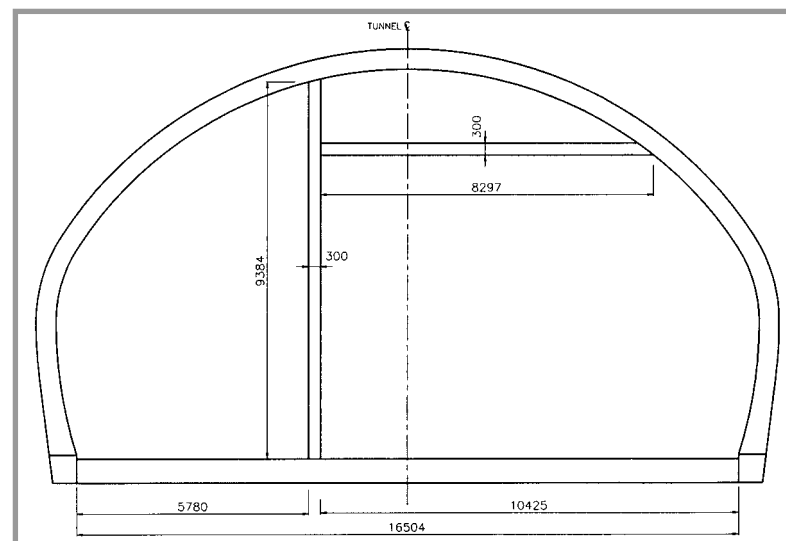


Figure 2
Section élargie
pour trois voies
*Widened section
for three tracks*

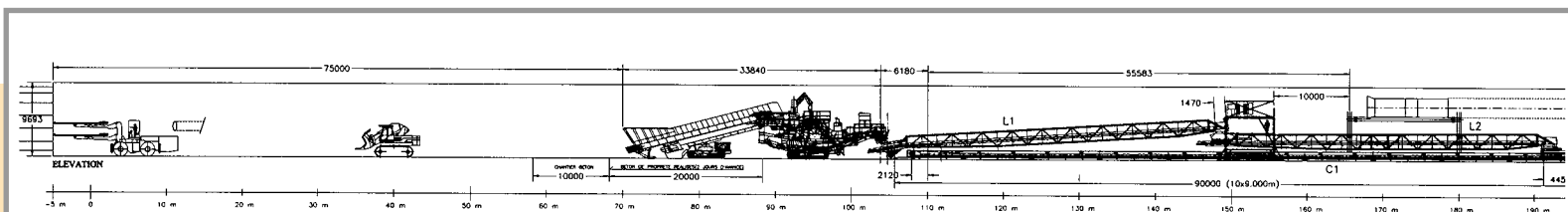


Figure 3
Matériel en position de repli en dehors des opérations de marinage
Equipment in stowed position outside of mucking operations

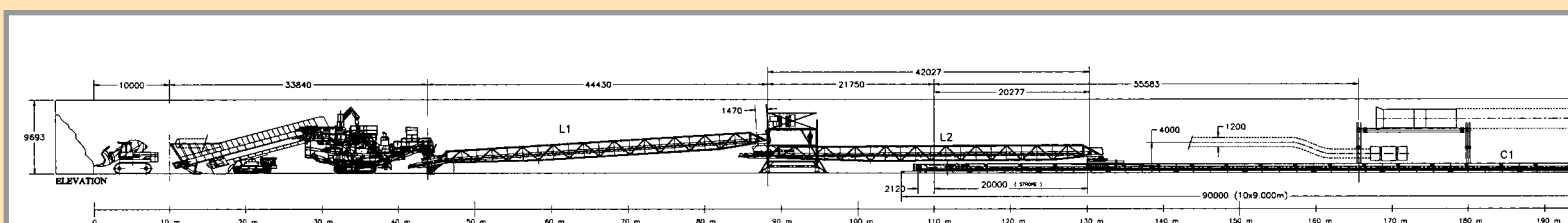
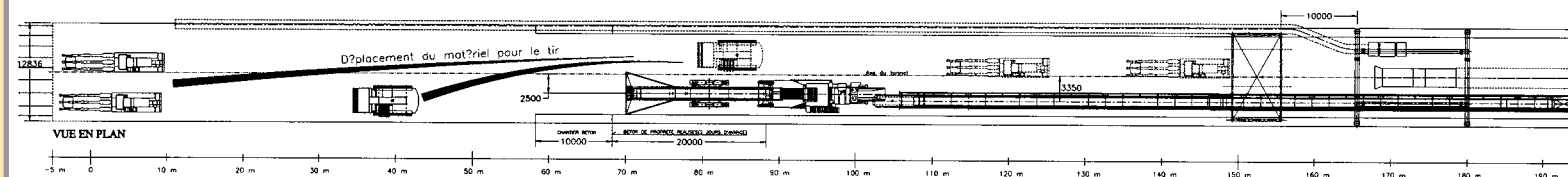


Figure 4
Position du matériel pendant le marinage
Position of equipment during mucking

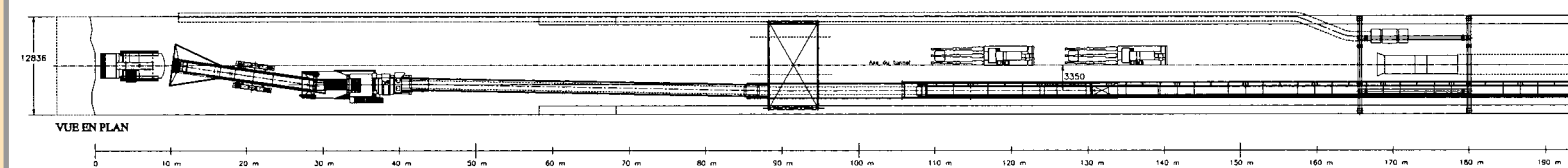
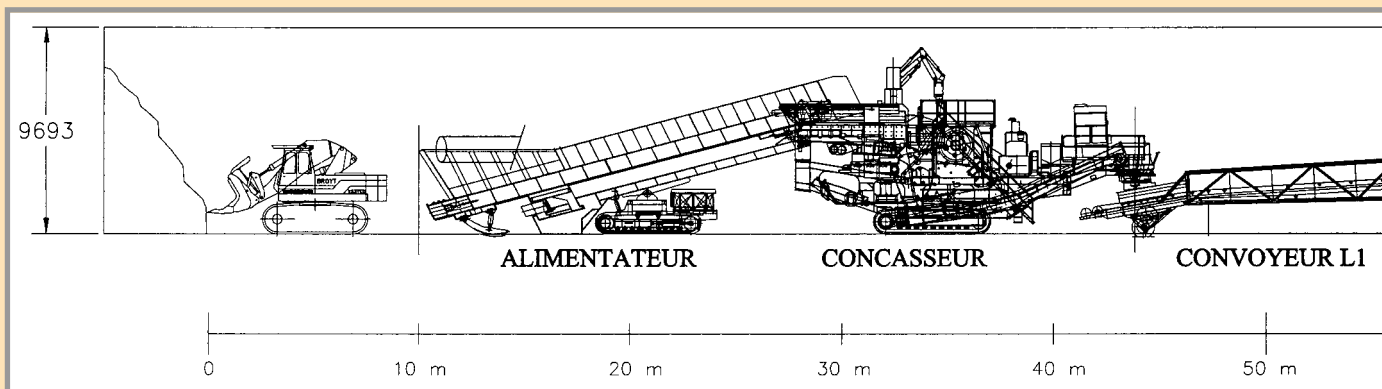


Figure 5
Gros plan sur le matériel de marinage à front
Close-up of working face mucking equipment



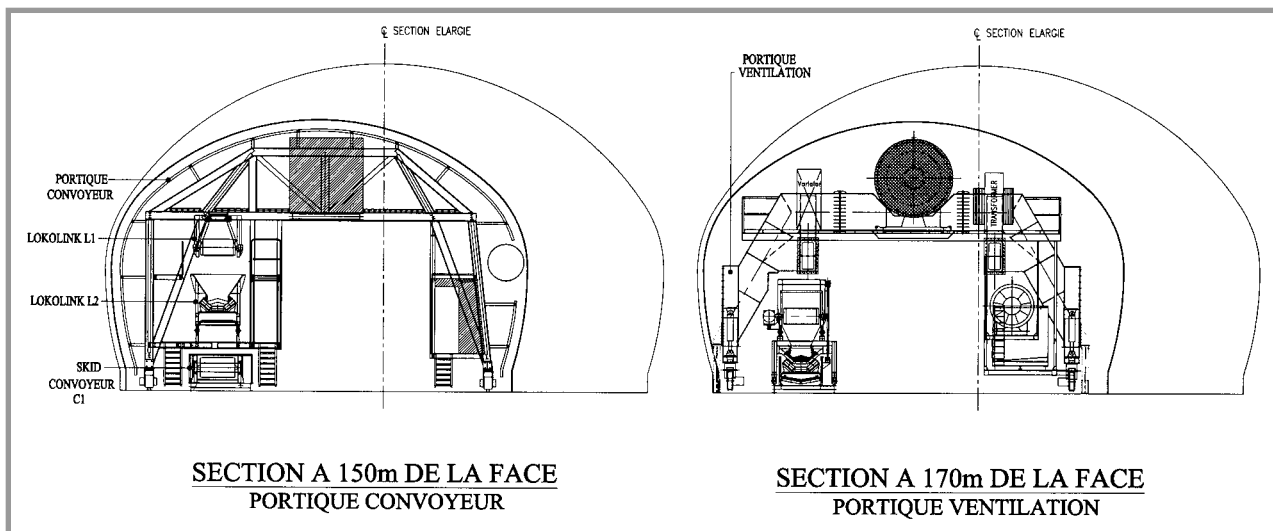


Figure 6
Sections au droit
des portiques convoyeur
et de ventilation

*Sections at level
of conveyor gantries
and ventilation system*

à 6 m de hauteur dans le concasseur depuis une hauteur de chargement de 3,50 m est monté sur un porteur Caterpillar avec possibilité de rotation et de translation latérale par poutre marchante (poids de l'ensemble 100 t) (photo 1).

Le concasseur de type Nordberg LT140 est équipé d'origine d'un train de chenilles.

Un ensemble comprenant un portique sur rails (figure 6) qui gère la jetée du convoyeur L1 (supporté par des roues à son extrémité côté concasseur), sur le convoyeur L2 (qui jette sur le convoyeur principal fixe C1) est déplacé et connecté au concasseur.

Une pelle type Broyt 53 sur chenille avec un godet de 4,5 m³, alimentation mixte diesel/électrique charge les roches après tir dans l'alimentateur blindé à chaînes et raclettes, au rythme optimum de deux godets, par minute.

La capacité nominale des différents éléments est la suivante : Broyt 53, alimentateur métallique, concasseur, convoyeur, est de 850 t/h ; les rendements effectifs sont de l'ordre de 500 t/h en fonction de la fragmentation du tir, de la dureté du rocher et de la granulométrie après concassage. Après marinage le système est replié à 70 m de la face pour permettre les opérations de soutènement provisoire, foration, chargement et tir du plot suivant et des niches éventuelles.

La partie fixe du convoyeur est allongée de 20 m tous les deux jours ; la bande du convoyeur C1 passe dans un magasin d'une capacité de 400 m de bande situé à l'extérieur du tunnel, sous le convoyeur avant la jetée (photo 2). Après avancement de l'excavation de 200 m, la bande doit être rallongée de 400 m et le magasin réalimenté. L'opération qui demande 24 heures est réalisée le dimanche, réservé aux opérations de maintenance.

La jetée du convoyeur C1 est protégée par des containers pour limiter le bruit ; le stock provisoire partiellement enterré, d'une capacité équivalent à trois volées de 5 m est évacué de jour par des camions 6 x 4.



Photo 1
Concasseur
et alimentateur
métallique repliés
pendant la foration

*Crusher and steel
apron feeder
retracted during
drilling*

Photo 2
Vue du convoyeur à l'extérieur avec jetée des matériaux et magasin de bande
View of conveyor on the outside with material discharge point and belt storehouse



Impact sur les autres activités du tunnel

Ventilation

Un ventilateur de 250 kW fourni par Cogémacoustics raccordé à une gaine souple de ventilation de diamètre 2,80 m crée une dépression qui amène l'air frais peu pollué par le faible trafic dans le tunnel à 200 m du front. Un ventilateur de 90 kW propulse l'air frais à la face, ce qui ramène toutes les poussières et gaz des tirs et des engins vers le ventilateur principal. Les deux ventilateurs sont montés sur un portique (figure 6). Au-delà de 2000 m, un ventilateur de reprise est prévu.

Organisation des tâches

Le système retenu est rigide et cyclique ; il impose l'excavation des niches très près de la face (30 m maxi) et un suivi des profils pour éviter les repiquages à l'arrière.

L'utilisation de deux jumbos trois bras entièrement automatisés type Robofore, pilotés par des techniciens expatriés permet de limiter à la fois le hors profil moyen et le nombre de sous-profils.

Structures béton

La couche drainante sur laquelle repose un radier béton est réalisée à partir de matériaux concassés 0/200 produits par le concasseur, 5 % des matériaux excavés retournent ainsi dans le tunnel. Le béton est amené par des toupies depuis la centrale du chantier vers des pompes situées au pied des coffrages pour un maximum de souplesse lors du clavage et un minimum de pertes, sans perturbations pour le trafic, somme toute réduit, dans le tunnel.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage : KCRC (Kowloon Canton Railway Corporation) Hong Kong

Maitre d'œuvre : KCRC

Entreprise

Groupement d'entreprises :

- Dragages et Travaux Publics (DTP) Hong Kong (Bouygues), attaque nord
- Nishimatsu, attaque sud

Principaux fournisseurs attaque nord

Robodrill (robots de foration), Broyt (chargeuse à front), SCM - Stéphanoise de construction mécanique (convoyeurs), Nordberg (concasseur), Caterpillar (pelles et chargeuses), Normet (plate-forme élévatrice et robot de projection), Manitou, Cogémacoustics (ventilateurs)

Sous-traitant étanchéité

Pozzi & Martinenghi

ABSTRACT

Innovative mucking in the tunnel with blasting in Hong Kong
Removal of rocky blast materials with a continuous conveyor system and mobile crushers in a railway tunnel for two and three tracks in Hong Kong

J.-J. Leugé, J.-M. Clor

To dig the north heading (3 km) of a railway tunnel 5.5 km long in Hong Kong, an innovative mucking system was used with a fixed conveyor, a mobile conveyor, crusher and steel apron feeder. The mobility of the system allows continuous mucking without re-handling and without a lorry, compatible with the construction of the concrete structures of the roof, the invert, and the separating shell respectively 400, 500 and 600 m behind the working face.

Crushed materials carried by the conveyor to a stockpile located 200 m from the portal can be removed round the clock despite noise restrictions (45 dB(A) at night) and are reclaimed by a neighbouring installation for dumping or use on site in the tunnel's draining floor. As concerns geology, the tunnel goes successively through granite, volcanic tuffs and granodiorites whose resistance varies from 100 to 200 MPa and encounters two faults, including a major one in Hong Kong with a 400-m cover and about 50 m wide.

RESUMEN ESPAÑOL

Innovación para la evacuación de productos de voladura en el túnel de Hong Kong.
Evacuación de materiales rocosos arrancados por explosivos, mediante un sistema continuo de transportador y machacadoras móviles, en un túnel ferroviario de 2 y 3 vías en Hong Kong

J.-J. Leugé y J.-M. Clor

Para la excavación del ataque norte (3 km) de un túnel ferroviario de una longitud de 5,5 km en Hong Kong, se ha implementado un sistema de evacua-

ción innovador compuesto por un transportador fijo, un transportador móvil, una machacadora y un alimentador metálico, también móviles. La movilidad del sistema permite una evacuación continua sin interrupciones y sin camiones, compatible con la ejecución de las estructuras de hormigón de la bóveda y de la solera, del muro de separación, de, respectivamente, 400, 500 y 600 m detrás del frente de arranque. Los materiales machacados evacuados por el transportador hacia un depósito situado a 200 m de la entrada, se pueden evacuar durante 24 horas diarias, y ello pese a las restricciones de ruido (45 dB(A) nocturnas) y se cargan en un área cercana para la ejecución de terraplenes o rellenos o se utilizan en la propia obra para constituir la solera drenante del túnel. Por lo que se refiere a la geología, el túnel atraviesa sucesivamente los granitos, tobas volcánicas y granodioritas cuya resistencia oscila entre 100 y 200 MPa y atraviesa dos fallas, de las cuales una importante en Hong Kong, con 400 m de cobertura y unos 50 m de anchura, aproximadamente.

La galerie de Baillet (Val d'Oise)

Le franchissement de fontis reconnu ou non

Patrice Bony

DIRECTEUR
DES TRAVAUX
Fougerolle Borie

Philippe Graille

RESPONSABLE
DE LA MAÎTRISE
D'ŒUVRE
EEG Simecsol

Dans le cadre de la réalisation de la nouvelle sortie nord de sa carrière souterraine de gypse du massif de Montmorency, BPB Placo a fait réaliser, pour ses propres besoins, un tunnel principal de 350 ml et deux galeries de raccordement à l'exploitation de 350 ml chacune.

Pour atteindre la carrière, l'ouvrage a dû franchir plusieurs fontis fossiles résultant de la dissolution du gypse. La souplesse d'utilisation des techniques d'excavation traditionnelles alliée aux nombreuses possibilités d'emploi du jet grouting en ont permis le franchissement optimal.

■ LE PROJET - LES INTERVENANTS

Le maître d'ouvrage est la société S.A.M.C (Société Anonyme de Matériaux de Construction), filiale de BPB Placo. Avec 3 millions de tonnes par an, BPB Placo est le premier producteur français de gypse. La carrière souterraine du massif de Montmorency, exploitée par S.A.M.C qui en extrait 1 million de tonnes par an (environ 300 "semis" par jour avec les remblais correspondants), est la plus grande carrière française de gypse. L'exploitation s'effectue par "chambres et piliers" selon une maille régulière de 24,00 m. Les galeries de 8 m de largeur représentent à ce jour, quelque 250 km de galeries. L'entrée de la carrière est actuellement située sur la commune de Bessancourt, non loin du centre ville, et à proximité immédiate de la base aérienne stratégique n° 921. Les exigences de sécurité de la base aérienne et la forte urbanisation du secteur Taverny/Bessancourt rendent aujourd'hui nécessaire le déplacement de l'accès à la carrière. Le site retenu est localisé au nord du gisement, sur la commune de Baillet en France (Val d'Oise). Le nouveau "carreau" est situé dans un espace rural peu urbanisé et bénéficie d'une connexion directe sur la Francilienne (voie rapide A104).

Le maître d'œuvre (conception du projet et maîtrise d'œuvre chantier) est EEG Simecsol.

Fougerolle Borie a été désigné adjudicataire du marché dont l'ordre de service a été donné en janvier 1998.

Un tel ouvrage, réalisé pour le compte d'une société privée et à usage exclusivement privé constitue une des particularités du projet.

■ L'OUVRAGE

L'ouvrage comprend (figure 1) :

- ◆ une tranchée d'accès d'une longueur de 150 m et d'une largeur variant de 25 à 90 m ;
- ◆ une paroi clouée et une voûte parapluie en extrémité de tranchée permettant l'entrée en galerie (avec 3 m de couverture) ;
- ◆ un tunnel principal revêtu de 80 m² de section et 350 m de long à double voie ;
- ◆ un entonnement permettant le passage du tunnel à double voie aux galeries monovoies ;
- ◆ deux galeries monovoies dans le gypse, soutenues mais non revêtues d'environ 350 m de longueur chacune.

Critères de conception

La conception de l'ouvrage doit répondre du règlement général des Industries extractives. Les ca-

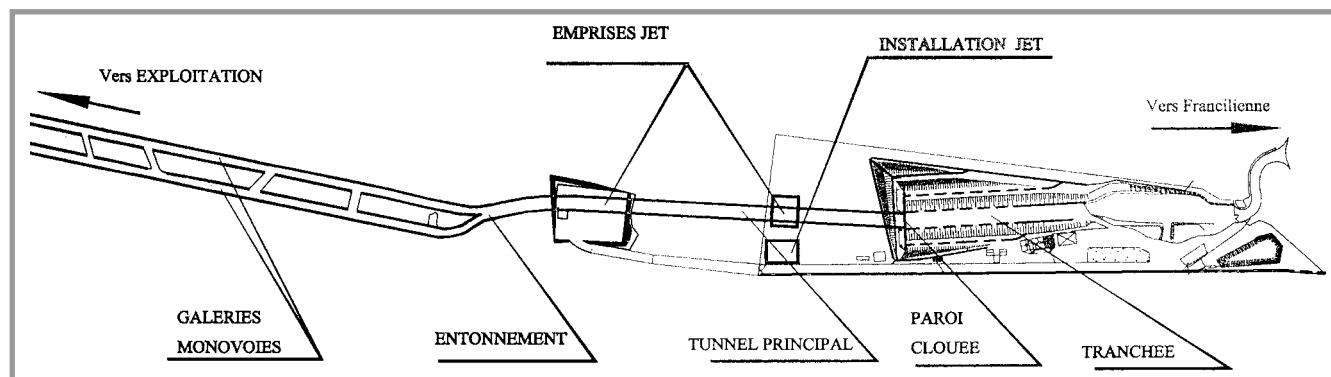


Figure 1
Synoptique
des ouvrages
Diagram
of structures

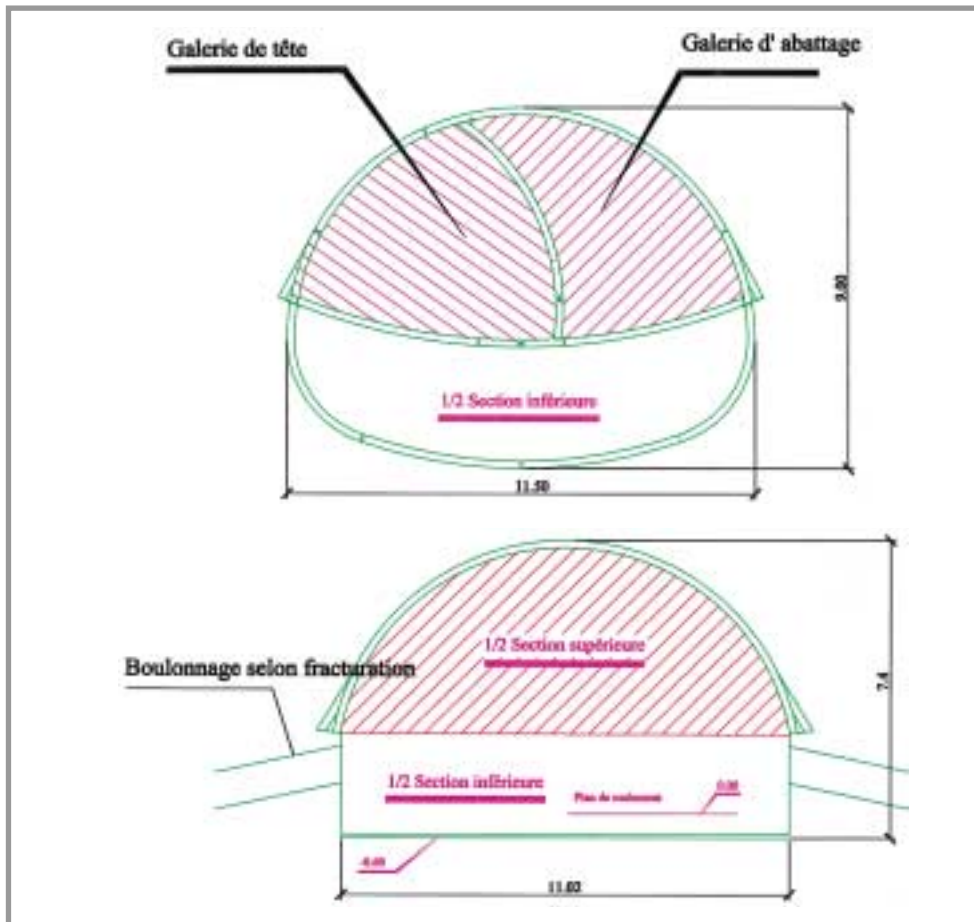


Figure 2
Sections types. En haut section "contre-voûtée" (84,2 m²). En bas section "radier plat" (71,5 m²)

Typical sections. On top, "countervault" (84.2 m²). Bottom, "flat invert" section (71.5 m²)



Tranchée d'accès au tunnel
Tunnel access trench

■ LA GÉOLOGIE - LES SECTIONS

L'extrémité du tunnel principal et les galeries monovoies sont logiquement inscrites dans la 1^{re} masse de gypse, actuellement exploitée par S.A.M.C. Pour y parvenir, le tunnel principal intercepte successivement :

- ◆ les limons des plateaux ;
- ◆ les argiles vertes ;
- ◆ les marnes de Pantin ;
- ◆ les marnes d'Argenteuil.

Suivant le niveau du gypse dans le profil considéré, deux types de section (figure 2) sont réalisées : une section "contre-voûtée" et une section "radier plat".

Section "contre-voûtée"

Cette section est mise en œuvre quand le niveau de la 1^{re} masse de gypse est inférieur à celui des appuis des cintres de la 1/2 section supérieure. Sa géométrie est de type NATM mais avec un soutènement lourd (cintres HEB 180 et 23 cm au minimum de béton projeté).

Elle est exécutée en trois phases (galerie de tête, abattage latéral en retrait de 10 m puis stross).

Section "radier plat"

Cette section est mise en œuvre dès que les appuis des cintres de la 1/2 section supérieure sont situés dans la 1^{re} masse de gypse (soutènement : cintres HEB 180 et 23 à 30 cm de béton projeté). Elle est exécutée en deux phases (calotte et stross).

Les galeries monovoies, quant à elles, ont leur voûte qui s'inscrit totalement au sein de la 1^{re} masse du gypse et leurs piédroits sont terrassés au sein des marnes d'entre deux masses (soutènement : boulons HA25 scellés au coulis associés à 10 cm de béton projeté fibré en voûte et non fibré mais avec treillis soudé en piédroits).

L'ouvrage est drainé lorsque sa voûte intercepte les niveaux aquifères que constituent les marnes de Pantin. Devant les risques inhérents aux phénomènes de dissolution du gypse, ce drainage a pour effet principal d'empêcher une alimentation de la 1^{re} masse du gypse par l'effet de drain que pourrait apporter l'ouvrage.

Afin de prévenir les conséquences d'une altération voire d'une dissolution locale des appuis gypseux des sections, l'ouvrage est renforcé pour satisfaire à un défaut d'appui ponctuel des piédroits (condition dite de "brèche"). Ceci conduit à un renforcement du ferrailage des radiers contre-voûtés et à la mise en œuvre de poutres voiles en piédroits pour les sections à radier plat.

■ LE FONTIS "RECONNU"

La campagne de reconnaissance préliminaire réalisée par Simecsol pour le compte du maître d'ou-

► ractéristiques géométriques des sections résultent des besoins suivants :

- ◆ pour les sections revêtues à double sens de circulation : un gabarit minimal de 4,55 h x 7,00 m et une section nette minimale de 50 m² (section minimale pour la ventilation, la carrière est mise en dépression, l'air frais entrant par le tunnel d'accès) ;
- ◆ pour les galeries monovoies non revêtues : un gabarit minimal de 4,55 h x 6,00 m (possibilité de croisement de deux camions au pas) et une section nette minimale de 40 m².

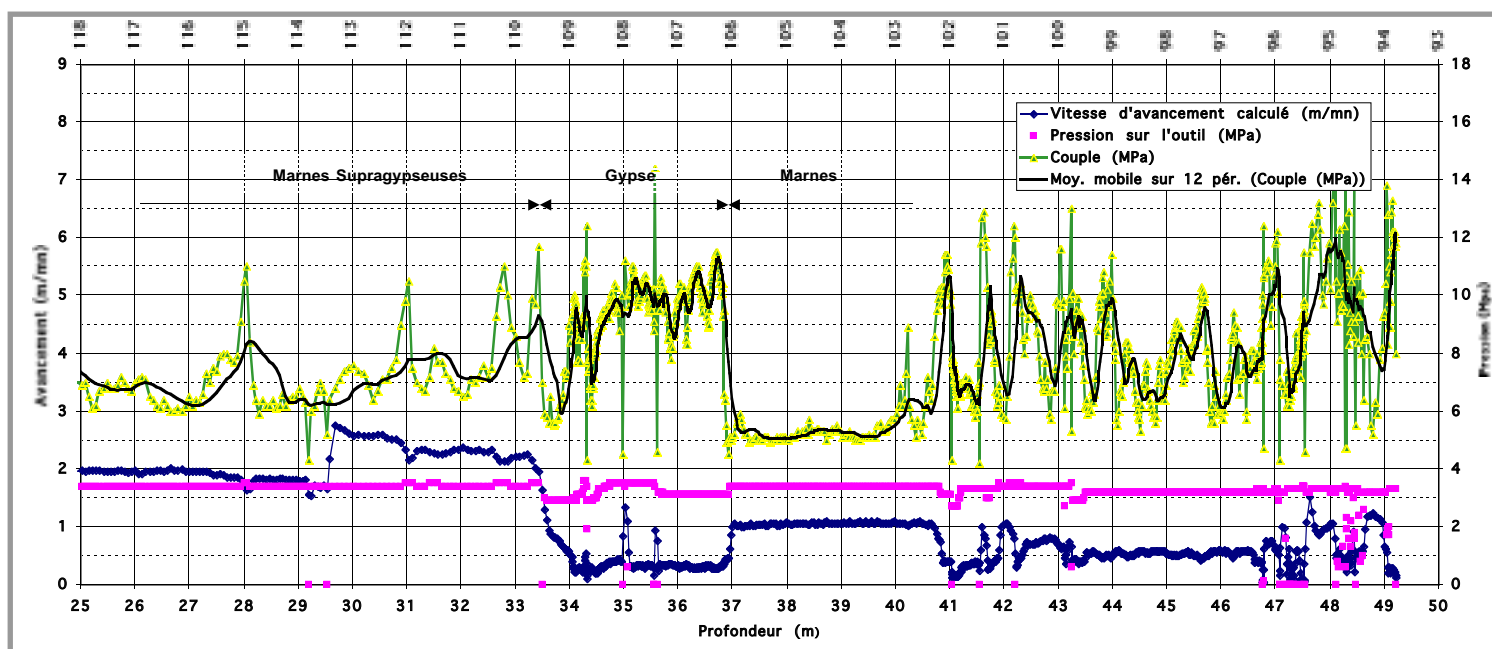


Figure 3
Paramètres traités
pour des
forages au PM 272

*Parameters
processed for one
of the boreholes
at PM 272*

vrage a permis de mettre en évidence une anomalie géologique vers le PM 265 (PM 245 à 285). Une campagne complémentaire localisée a ensuite permis de confirmer la présence d'un fontis géologique ancien ayant pour origine des phénomènes de dissolution au sein d'une des masses de gypse. Les contraintes à prendre en compte pour le projet étaient les suivantes :

- ◆ amélioration des caractéristiques des terrains constituant l'assise du tunnel apparues notablement décomprimées lors des essais pressiométriques (pressions limites inférieures à 1 MPa sous 35 m de couverture) ;
- ◆ tenue de la "cloche" remblayée lors de sa traversée par l'ouvrage.

Pour répondre à ces contraintes, l'entreprise et son sous-traitant spécialisé (Pachiosi Drill) ont proposé un traitement complet par jet grouting réalisé depuis la surface qui réponde, en une seule opération, aux deux aspects du problème. L'avantage supplémentaire de la solution proposée résidait dans la déconnexion complète entre les travaux de creusement du tunnel et ceux de confortement du fontis.

"Cartographie" de l'anomalie

A l'issue de la campagne de reconnaissance préliminaire, une extension longitudinale par excès du fontis a pu être évaluée à une trentaine de mètres. L'optimisation du projet imposait cependant de circonscrire le traitement aux seules zones décomprimées.

A cet effet, les paramètres des forages nécessaires à la réalisation de chaque colonne de jet grouting ont été enregistrés systématiquement.

Les paramètres numériques bruts enregistrés comprenaient le temps, la profondeur atteinte par la buse d'injection, la vitesse de rotation de l'outil, la pression sur l'outil, le couple de rotation, la pression du fluide de forage et son débit.



Carrefour galerie principale/galerie de raccordement à l'exploitation

Intersection between main gallery and operational connection gallery

Leur traitement s'est effectué en temps quasiment réel (figure 3). Il consistait à :

- ◆ filtrer les paramètres pour ne retenir seulement ceux correspondant à une phase de foration réelle dans un terrain vierge (élimination des mouvements de va-et-vient du train de tiges) ;
- ◆ calculer la vitesse instantanée ;
- ◆ filtrer les enregistrements correspondant à une poussée sur l'outil la plus homogène (s'agissant de comparer la réponse des formations traversées au travail de l'outil, il convient d'analyser les paramètres à pression sur l'outil quasi constante) ;
- ◆ mettre en forme les graphes à échelles identiques.

Après étalonnage des enregistrements de paramètres au moyen des sondages carottés réalisés en zone saine et en zone de fontis, une certaine signature stratigraphique des formations traversées a pu être établie. Les contrastes les plus tangibles se constataient au passage marnes d'Argenteuil/gypse et de façon moins nette au passage gypse/marnes d'entre deux masses (marnes en-

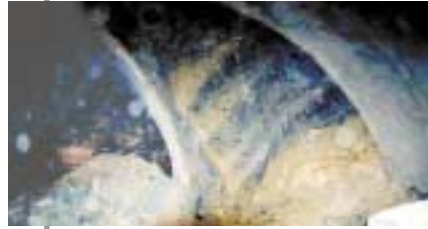
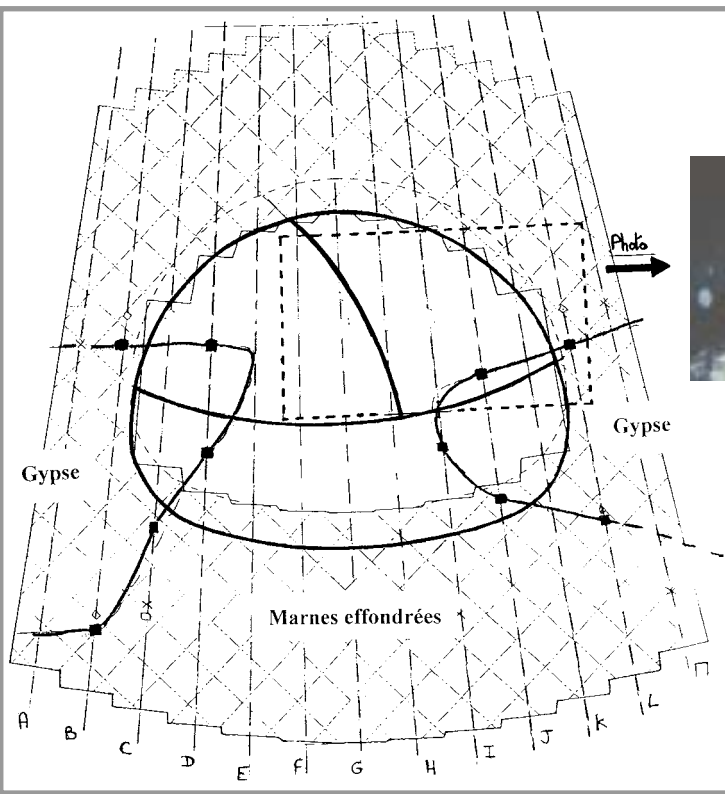


Figure 4
Exemple de coupe
prévisionnelle au PM 272
*Example of provisional
section at PM 272*

core très gypseuses dans leurs niveaux supérieurs). L'analyse systématique des 160 forages réalisés a ainsi permis d'établir une cartographie fiable du toit et du mur de la 1^{re} masse du gypse en périphérie du fontis. Les coupes prévisionnelles ainsi établies ont pu mettre en évidence la position centrée de l'anomalie sur l'axe de l'ouvrage et la présence de dalles de gypse en surplomb de zones décompressées (zones sous cavées) (figure 4). Dès lors, le critère objectif retenu pour l'arrêt du traitement fut la présence de la masse de gypse avec une cote du toit et une puissance normales. Le linéaire de galerie finalement traité fut d'une vingtaine de mètres.

Principe de traitement retenu

Il consistait en (figure 5) :

- ◆ un "encagement" complet de la section du tunnel basé sur les épaisseurs suivantes :
 - voûte : 4 ml,
 - piédroits : 2 à 3 ml,
 - radier : 5 ml;
- ◆ un maillage de 6 à 7 auréoles en quinconce, espacées de 75 cm.

Les contrôles effectués

Ils portaient sur :

- ◆ les caractéristiques du coulis d'injection;
- ◆ les caractéristiques mécaniques des colonnes (sondages carottés dans les colonnes);
- ◆ la validation des PM d'arrêt du traitement (sondages carottés);
- ◆ la position géométrique des colonnes (une colonne sur deux étaient contrôlées par mesures inclinométriques dans les tiges de forage. Les déviations furent inférieures à 1,5 %).

Les quantités mises en œuvre

Elles sont finalement ressorties à :

- ◆ forages : 7 600 ml;
- ◆ colonnes : 2 000 ml.

La longueur moyenne de forage était légèrement supérieure à 45 m.

La consommation moyenne de ciment a été d'environ 750 kg/ml de colonne.

Le traitement a débuté en juillet 1998 et s'est achevé en décembre 1998 soit deux mois avant la date prévisionnelle de creusement du tunnel dans la zone correspondante.

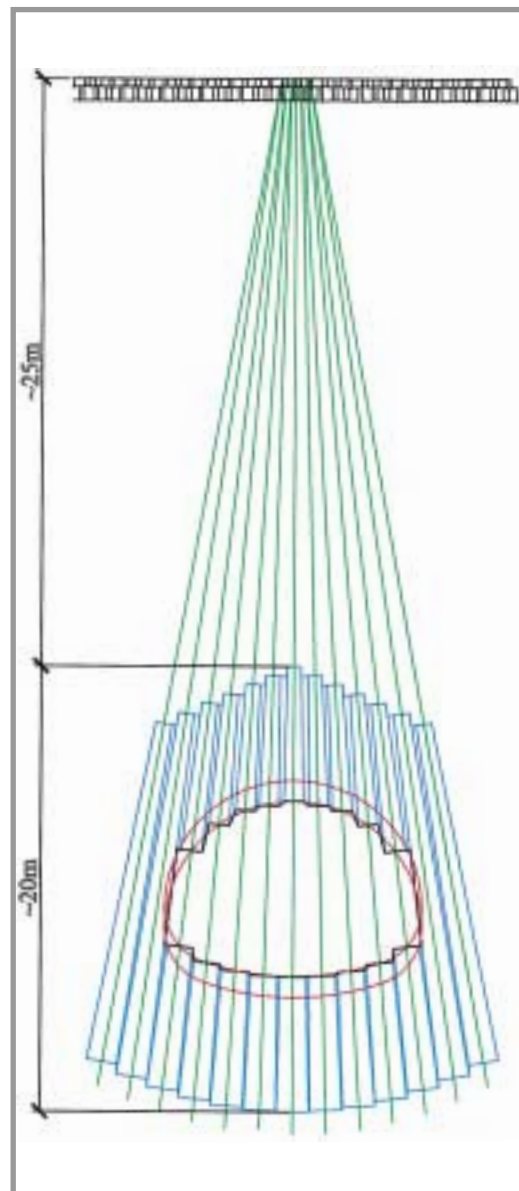
Moyens mis en œuvre

La technique retenue par Pacchiosi Drill a été le jet grouting PS3, un procédé "triple jet" (eau/air comprimé/coulis) propre à cette entreprise.

Le matériel était constitué de :

- ◆ une foreuse Pacchiosi PI 500 ESCR avec char-

Figure 5
Plan de tir. Traitement
du fontis "reconnu"
*Blasting plan, treatment
of "recognised" subsidence*



geur de tiges de sondage rotatif automatique (forage diamètre 180 mm) et système d'enregistrement Pacchiosi PRS-31;

- ◆ une centrale intégrée Pacchiosi entièrement "conteneurisée" alimentée par quatre silos (deux de ciment pour deux d'eau).

Les équipes étaient composées d'un conducteur de travaux, d'un chef foreur et de quatre ouvriers qualifiés.

■ LES FONTIS DÉCOUVERTS À L'AVANCEMENT

Malgré une distance réduite entre les sondages de reconnaissances réalisés pour la mise au point du projet, il a été "découvert" à l'avancement plusieurs fontis non mis en évidence par la campagne préliminaire :

- ◆ fontis intercepté du PM 90 au PM 120, centré sur la galerie (dit "fontis PM 100");
- ◆ fontis PM 180 au PM 190 (bord tangent à l'axe du tunnel);
- ◆ fontis PM 205 au PM 220 (effondrement du front de taille en sortie de fontis au PM 219).

Traitement du fontis "PM 100"

Des fontis découverts à l'avancement, seul le premier (PM 90 au PM 120) a fait l'objet d'un traitement partiel par jet grouting. La raison en est double :

- ◆ pratique : les installations de jet grouting étaient encore disponibles sur le site lors de sa découverte (ce qui ne fut plus le cas pour les deux autres);
- ◆ technique : le tunnel interceptait ce fontis dans sa partie supérieure (remblais lâches et aquifères constitués de marnes de Pantin et horizons sus-jacents). En matière de tenue des terrains lors du creusement, celui-ci était le plus risqué.

Le principe retenu a été le suivant :

- ◆ arrêt et blindage du front au PM 90,50;
- ◆ réalisation d'une plate-forme en surface au droit du fontis;
- ◆ exécution de deux écrans de coupure aux PM 96,50 et 102,50 (les sondages réalisés mettant en évidence un retour à des terrains de meilleure tenue vers le PM 110).

Chaque écran comprenait (figure 6) :

- ◆ 11 colonnes (9 dans la section + 1 de part et d'autre) de 9,40 m à 11 m de haut (têtes de colonnes à 10 m de profondeur);
- ◆ une "fenêtre" de 1 m d'ouverture au droit de la voûte du tunnel permettant la continuité des enfilages à réaliser ultérieurement à l'avancement;
- ◆ un "accrochage" des parties supérieures des colonnes par mise en œuvre de barres Gewi scellées dans la colonne et reprise en surface par des poutrelles en appui sur la plate-forme béton.

Le but recherché avec ces écrans n'était pas de

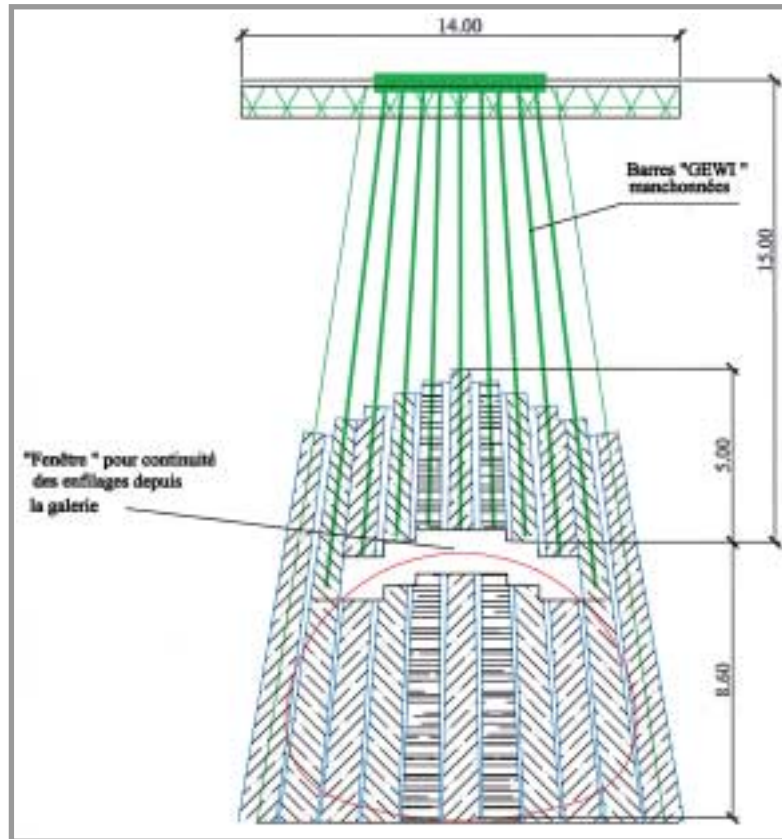


Figure 6
Fontis PM 100.
Ecran de "coupure"
en jet
Subsidence PM 100.
Jet "cutting" screen

traiter complètement la zone en anomalie car la compacité des formations en radier, évaluée au moyen des essais pressiométriques réalisés, ne le justifiait pas mais plutôt de faciliter la traversée du fontis avec des moyens classiques bien maîtrisés par l'entreprise : section divisée et fractionnée, présoutènement par enfilage systématique d'UPN, gunitage et boulonnage du front par boulons en fibres de verre de 15 m de longueur.

Les fonctions de ces écrans en jet grouting étaient :

- ◆ de réaliser des coupures dans les horizons aquifères et décomprimés repérés dans les sondages;
- ◆ de permettre des arrêts en sécurité en amont de chaque écran (aussi bien en galerie de tête qu'en galerie d'abattage) facilitant la mise en œuvre de boulons en fibres de verre et d'enfilages au-delà des écrans.

La réalisation des deux écrans a nécessité deux semaines de travail.

Fontis des PM 180 à 220

Le recours à un traitement particulier des anomalies ne s'est ici pas imposé pour les raisons suivantes :

- ◆ il n'a pas été reconnu de zone décomprimée en radier de l'ouvrage;
- ◆ les formations effondrées rencontrées en voûte, en lieu et place des niveaux inférieurs des marnes d'Argenteuil et de la 1^{re} masse du gypse, n'étaient pas aquifères.

Aussi leur franchissement s'est effectué avec les dispositions de présoutènement en calotte et de renforcement du front décrits précédemment.



© Alex Béraud

Galerie recalibrée et soutenue
de raccordement à l'exploitation
Re-sized and supported operational
connection gallery



ANALYSE DES RÉSULTATS OBTENUS

Fontis reconnu : encagement complet

Les résultats du traitement ont pu être approchés de deux manières :

- ◆ plot d'essai exécuté en début de traitement. Les carottages réalisés dans les colonnes ont mis en

évidence des résistances à la compression de l'ordre de 5 MPa. Les valeurs correspondantes, en terrain vierge, ressortaient à moins de 1 MPa;

- ◆ examen du terrain et des colonnes lors du terrassement. Le terrain est apparu sec et compact (y compris les inclusions de sable). Il a pu être observé la présence de nombreuses "racines" ou intrusions latérales, voire poches de coulis dans les zones de faiblesse du terrain. La colonne traversante du plot d'essai et certains arrêts de colonnes ont pu être observés.

Les diamètres des noyaux de colonnes, à forte concentration en coulis, étaient très différents suivant les terrains interceptés et variaient de 30 à 80 cm.

Le diamètre de traitement "dense" était généralement de l'ordre du mètre.

La traversée de ce fontis n'a pu que confirmer les coupes géologiques prévisionnelles établies au moyen de l'exploitation des paramètres de forage et valider l'optimisation du linéaire d'ouvrage traité. Le profil en long de l'anomalie a pu être reconstitué (figure 7).

Le tunnel traversait bien des horizons superficiels effondrés puisqu'il a été retrouvé au front de taille, à 35 m de profondeur, des morceaux de branchages. Le fontis n'est cependant pas récent puisqu'une datation faite sur un échantillon le fait remonter à 7 500 ans environ...

Toutefois, de par la qualité du traitement, le creusement a pu être mené à bien dans de très bonnes conditions de sécurité et suivant les cadences prévues.

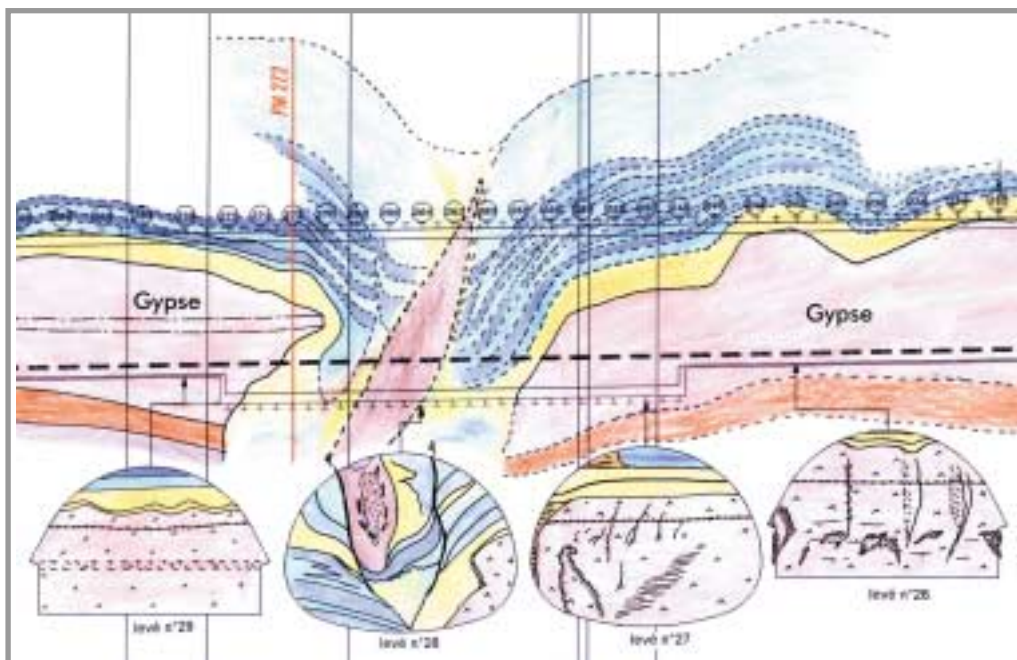
Galerie principale revêtue
Relined main gallery



© Alex Béraud

Figure 7
Profil en long géologique reconstitué

Reconstituted geological longitudinal profile



Fontis découvert : écrans de coupure

Compte tenu de l'expérience acquise sur le traitement précédent, il n'a pas été nécessaire de refaire un plot d'essai. Par contre, l'examen des colonnes a été beaucoup plus évident puisque 18 d'entre elles, sur 22, traversaient la section.

Les observations faites ont été les suivantes :

- ◆ bonne géométrie des écrans (espacement entre colonnes, positionnement de la fenêtre, continuité globale des écrans);
- ◆ colonnes de diamètre toujours variable suivant les terrains traversés;
- ◆ coupures des niveaux sableux aquifères et "essorage" des horizons décomprimés et gorgés d'eau (marnes de Pantin);
- ◆ nombreuses intrusions latérales et poches de coulis entre et au-delà des écrans.

CONCLUSION

Le creusement de cet ouvrage a nécessité le franchissement de trois types de fontis différents (formations en voûte stables ou instables, assises de

l'ouvrage décomprimée ou non, niveaux aquifères ou non).

La souplesse d'utilisation des méthodes de soutènement traditionnelles combinée aux effets positifs du jet grouting ont permis d'apporter une réponse appropriée et optimisée à chacune de ces structures "anomaliques" permettant leur franchissement dans des conditions de sécurité que l'on peut, avec le recul, qualifier d'optimales.

Vis-à-vis du jet grouting, le sentiment général est qu'on se situe, dans ce genre de terrains cohérents, dans un domaine d'efficience spécifique où, en plus du traitement de type purement "colonnes", on a pu observer un traitement dans la masse par mise en pression intermittente de la poche de coulis.

Les limites d'utilisation du procédé jet grouting mises en évidence à Baillet résident dans le besoin important en emprises (bien dimensionnées et revêtues pour réussir un travail propre) et la distance front excavé/colonnes en cours d'exécution (6 ml semble un minimum, les profilés de blindage du front s'en souviennent encore...).

Il n'en demeure pas moins que la technique jet grouting, par sa souplesse d'utilisation et sa rapidité de mise en œuvre en cas de besoin, constitue un élément important de la palette de solutions techniques à la disposition des chantiers dans ce genre de situation.

ABSTRACT

Baillet gallery (Val d'Oise region). Crossing of recognised or unrecognised subsidence

P. Bony, Ph. Graille

Within the context of the construction of the new north exit of its underground gypsum quarry in the Montmorency mountain range, BPB Placo had tunnels built for its own requirements, including a main tunnel 350 m long and two operational connection galleries 350 m long each.

To reach the quarry, the structure had to cross several fossil subsidence formations resulting from the dissolution of gypsum. The utilisation flexibility of conventional excavation techniques combined with the many possibilities for the use of jet grouting provided optimum working conditions.

RESUMEN ESPAÑOL

Galería de Baillet (Val d'Oise - Francia) La travesía de socavones conocidos o ignorados

P. Bony y Ph. Graille

Actuando en el marco de la ejecución de la nueva salida norte de su cantera subterránea de yeso del macizo de Montmorency, BPB Placo ha encargado un túnel principal de 350 m y dos galerías de enlace con la explotación, de 350 m cada una.

Para alcanzar la cantera, los trabajos han tenido que salvar varios socavones fósiles derivados de la disolución del yeso. La flexibilidad de utilización de las técnicas de excavación tradicionales, en combinación con las numerosas posibilidades de empleo del jet-grouting han permitido el paso en condiciones óptimas.

Puits André Citroën

Une paroi très profonde

Le présent article décrit les travaux de paroi moulée profonde et d'injections réalisés par Spie Fondations pour le puits André Citroën à Paris XV^e, dans le cadre du marché de génie civil du L.A.S. 3 (Liaison Auteuil Saint-Cloud).

Il met surtout en exergue la complexité du chantier pour lequel des moyens très importants et volumineux ont été mis en œuvre, alors que les contraintes d'environnement et d'emprise ont été très pénalisantes.

Dans le cadre du schéma directeur d'assainissement de l'agglomération parisienne qui est de constituer un réseau de maillages des émissaires afin, d'une part, d'éviter tout déversement en rivière en cas de mise en chômage ou de dysfonctionnement d'un ouvrage et, d'autre part, d'optimiser la gestion des effluents et la capacité de stockage du réseau, la liaison Auteuil - Saint-Cloud (L.A.S.) permettra d'intercepter les collecteurs parisiens au droit du pont Mirabeau et de l'usine d'Auteuil, ainsi que le collecteur départemental "Rive Droite de Seine".

Le lot n° 3 du L.A.S. (LAS 3) comprend la réalisation de l'ouvrage de liaison proprement dit destiné au transport des eaux pluviales et usées, constitué par un tunnel de 3 m de diamètre intérieur sur un linéaire de 1846 m, et d'un puits de sortie du

tunnelier de 10 m de diamètre intérieur et de 30 m de profondeur (puits André Citroën).

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le groupement Fougerolle Ballot (mandataire) - Bouygues - Sobéa - TPI a confié à Spie Fondations la réalisation des travaux de fondations spéciales du puits André Citroën, dans le cadre du lot 3 de la "Liaison Auteuil - Saint-Cloud", au droit du pont Mirabeau, à Paris XV^e. Le marché global a été attribué au groupement par le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (S.I.A.A.P.).

L'ouvrage à construire est un puits circulaire de 10 m de diamètre intérieur, constitué par une paroi moulée de 1,02 m d'épaisseur. Il servira de puits de sortie du tunnelier utilisé pour le creusement du tunnel de l'émissaire des lots 2 et 3 (diamètre de creusement : 4,40 m).

En plus des travaux de parois moulées, il a été confié à Spie Fondations le traitement par injection du bouchon d'étanchéité et de consolidation à l'arrivée du tunnelier dans le puits, ainsi que le bouchon d'étanchéité en fond du puits.

■ CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le site de construction de l'ouvrage repose sur une succession de terrains tertiaires coiffés par des alluvions de la Seine et des remblais. La nappe phréatique, baignant les alluvions et la craie, est en relation très étroite avec la Seine.

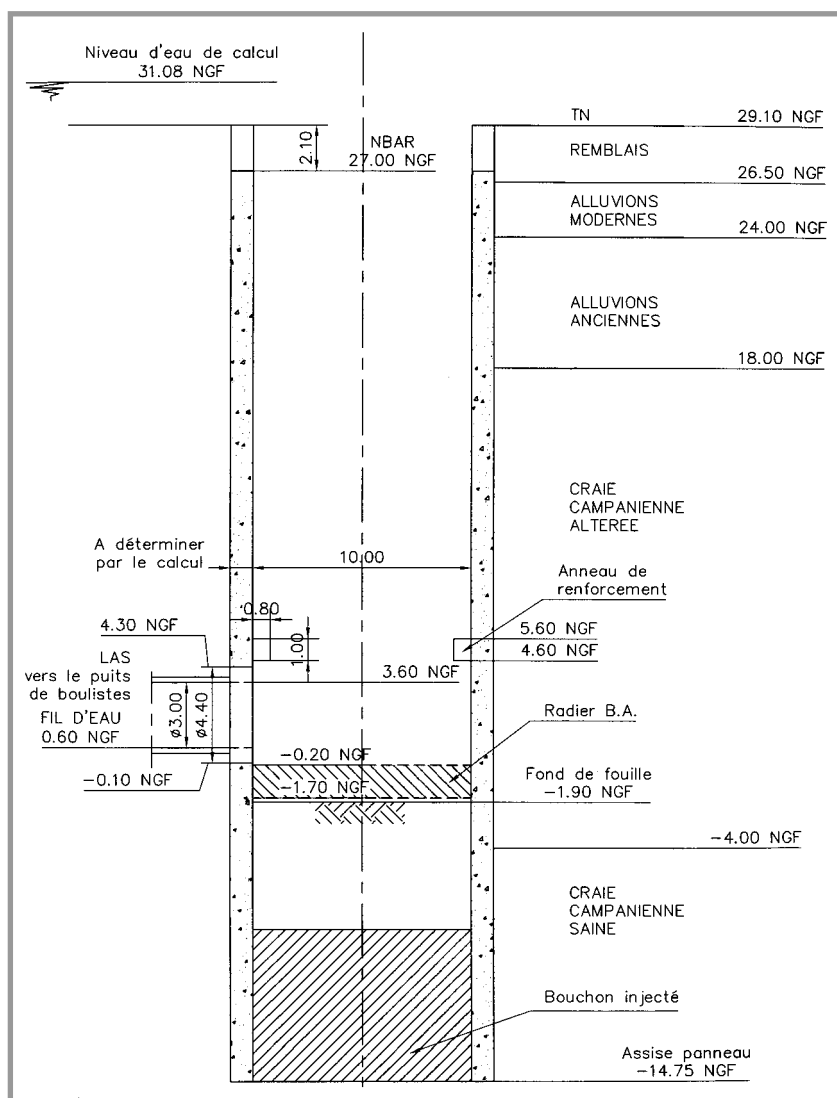
La coupe type, telle qu'elle apparaît sur la figure 1, est la suivante :

- ◆ des remblais entre 29,10 et 26,50 NGF ;
- ◆ des alluvions modernes (sables argileux) entre 26,50 et 24 NGF ;
- ◆ des alluvions anciennes (sables et graves) entre 24 et 18 NGF ;
- ◆ la craie campanienne altérée entre + 18 et - 4,00 NGF ;
- ◆ la craie saine, mais fracturée, en dessous de - 4,00 NGF.

Des bancs de silex ont été rencontrés à différentes profondeurs, que ce soit dans la craie altérée ou dans la craie massive.

En phase travaux comme en phase définitive, le niveau de la nappe a été pris dans les calculs à 31,08 NGF, afin de tenir compte de la proximité de la Seine.

Figure 1
Coupe du puits
André Citroën
Section
of André Citroën
shaft



à Paris réalisée à la rotoforeuse

Bernard Walbron

CHEF DE SERVICE
Spie Fondations



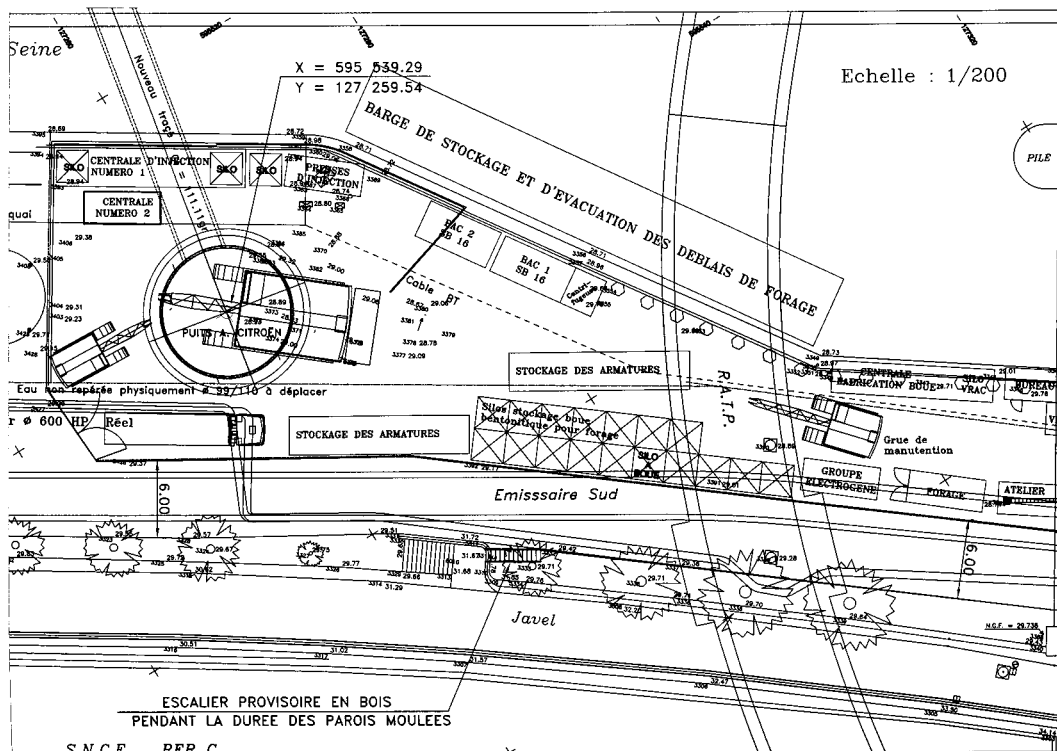
Bruno Deschamps

INGÉNIEUR TRAVAUX
Spie Fondations



Figure 2
Plan des installations
de chantier

*Plan of worksite
installations*



■ SOLUTION TECHNIQUE RETENUE

La proximité d'un ouvrage prestigieux qu'est le pont Mirabeau combinée avec la grande profondeur de l'excavation à réaliser (30 m), donc avec la nécessité d'obtenir des tolérances de verticalité très faibles (0,5 %), ont imposé le choix d'un matériel de forage adapté comme l'est la rotoforeuse de Spie Fondations.

■ DESCRIPTION DES TRAVAUX

La paroi moulée, réalisée en 1,02 m d'épaisseur, a été descendue à - 15,50 NGF (pour un niveau utile à - 14,75 NGF), ce qui correspond à une profondeur de forage d'environ 45 m (arase murette-guide à 29,10 NGF). La réalisation du forage a été effectuée selon un phasage primaire-secondaire, avec quatre panneaux primaires (dont un monopasse) et quatre panneaux secondaires monopasses nécessitant un reforage des panneaux primaires adjacents.

Les 1570 m² de forage ont été réalisés entre le 21 février et le 10 avril 2000, soit environ 7 semaines de travail, ce qui, compte tenu de l'exiguïté de l'emprise du chantier, représente une performance de tout premier plan (figure 2 et photo 1).



Photo 1
Vue d'ensemble
de la zone d'installation
de chantier, avec
au premier plan,
les deux unités
de recyclage
Caviem SB16
disposées au-dessus
de la barge à déblais

*General view
of worksite installation
area; in foreground,
the two Caviem SB16
recycling units
arranged over
the waste barge*

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée : 1570 m² à 45 m de profondeur
- Forages pour injection : 88 unités - 3330 ml
- Injection de bentonite-ciment : 530 m³
- Injection de gel de silicate : 370 m³

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

S.I.A.A.P. - Service des Grands Réseaux d'Assainissement (S.G.R.A.)

Maitre d'œuvre

S.I.A.A.P. – Direction des Grands Travaux

Entreprise principale

Groupement Fougerolle Ballot (mandataire)
- Bouygues - Sobéa - TPI

Entreprise de fondations spéciales

Spie Fondations



Photo 2
Vue générale du chantier qui montre la compacité des installations qui permet néanmoins l'évolution de trois grues

General view of worksite showing the compactness of installations, nevertheless allowing the operation of three cranes



Photo 3
La rotoreuse en train de se mettre en position pour le forage

The rotary drilling machine being set up for drilling

► L'évacuation des déblais de forage représentant toujours une contrainte importante en milieu urbain, cette difficulté a été esquivée par Spie Fondations en configurant l'installation de traitement des boues (deux Caviem SB16 pour recyclage en continu de la boue chargée des *cuttings*) de telle manière que les matériaux à évacuer issus du desablage soient directement versés dans une barge accostée à côté de l'installation de recyclage (photo 1, premier plan).

Malgré l'exiguïté pénalisant l'évolution des engins, Spie Fondations a utilisé trois grues pour réaliser ce chantier (photo 2) :

- ◆ une grue Sumitomo SC 1000, comme porteur de la rotoreuse (photo 3) ;
- ◆ une grue NCK Rapier, comme grue de service ;
- ◆ une grue Pinguely GTL 105, équipée d'une benne à câbles, pour réaliser les six premiers mètres de forage (de façon à permettre l'amorçage des pompes de la rotoreuse).

Avant réalisation de la paroi moulée, Spie Fondations a injecté le bouchon d'arrivée du tunnelier dans le puits, sur 12 m d'épaisseur (entre + 8,00 NGF

et – 4,00 NGF) et sur une quinzaine de mètres de longueur.

Compte tenu du fort encombrement des terrains de surface (présence d'une conduite de gaz en service, d'une dalle de quai enterrée et de divers réseaux), les forages ne pouvaient être réalisés qu'avant construction de la paroi moulée, et depuis le terrain naturel. Cela a nécessité six auréoles, contenant chacune 10 ou 11 forages inclinés (de 8 à 38°), de 30 à 39 m de longueur. Ces travaux ont été réalisés du 6 au 20 décembre 1999 pour un linéaire de 2250 m.

L'injection a été réalisée ensuite en deux phases :

- ◆ une phase au coulis de bentonite-ciment, dosé à 360 kg/m³ de ciment pour 25 kg/m³ de bentonite. Cette phase de travaux s'est déroulée du 4 au 19 janvier 2000, pour un volume injecté de plus de 400 m³ ;
- ◆ une phase au gel de silicate, dosé à 550 kg/m³ de silicate pour 77 kg/m³ de réactif. Cette phase de travaux s'est déroulée du 20 janvier au 1^{er} février 2000, pour un volume injecté de plus de 300 m³. Après construction de la paroi moulée, et avant ter-

rassement du puits, il a été prévu de réaliser une injection de collage du bouchon d'arrivée du tunnelier à la paroi du puits (sept forages verticaux depuis la surface) ainsi que le fond injecté (19 forages verticaux de 44 m depuis la surface).

Ces travaux se sont déroulés entre le 18 avril et le 19 mai 2000 :

- ◆ 1100 ml de forage ont été réalisés, pour 26 forages ;
- ◆ 120 m³ de coulis bentonite-ciment et 105 m³ de gel de silicate ont été mis en œuvre.

■ CONCLUSION

Cela fait longtemps que le savoir-faire de Spie Fondations n'est plus à démontrer dans le cadre de la réalisation de travaux de grande envergure nécessitant des moyens techniques et humains à la hauteur de l'événement.

Une fois de plus, les hommes de Spie Fondations ont su relever le défi technique et réaliser un chantier très difficile dans le total respect du planning, cela malgré de nombreuses contraintes d'environnement comme les crues de la Seine, les nombreux réseaux et obstacles enterrés, dont une conduite de gaz sous pression et la ligne de métro n° 10, ainsi que l'étroitesse de l'emprise du chantier.

ABSTRACT

André Citroën shaft in Paris A very deep diaphragm wall made with the rotary drilling machine

B. Walbron, B. Deschamps

This article describes the deep diaphragm wall works and grouting carried out by Spie Fondations for the André Citroën shaft in 15th district of Paris in connection with the civil engineering contract for the L.A.S. 3. (Link between Auteuil and Saint-Cloud).³

It illustrates in particular the complexity of the project, for which very extensive, voluminous resources were used in a site involving very penalising conditions in terms of surroundings and working space.

RESUMEN ESPAÑOL

Pozo André Citroën, en Paris Pantalla de gran profundidad ejecutada mediante rotoperforadora

B. Walbron y B. Deschamps

En el presente artículo se describen las obras de ejecución de una pantalla continua así como las inyecciones de consolidación efectuadas por Spie Fondations para el pozo André Citroën, en el distrito XV de París, con motivo del contrato de obras civiles del L.A.S. 3. (Enlace Auteuil - Saint Cloud).

Se hace resaltar especialmente, la complejidad de las obras, para las cuales se han implementado equipos importantes y voluminosos, mientras que los imperativos medioambientales y de ocupación de suelos han sido sumamente penalizantes.

Matériels et produits souterrains

■ RÉPARATIONS D'ÉGOUTS PAR FIBRES FIBRALEX

De nos jours, la rénovation d'une structure en béton ou en briques signifie conserver un patrimoine essentiel avec des techniques efficaces et des produits durables. Les structures concernées ont souvent été construites à la fin du XIX^e siècle comme des tunnels, des ponts, des piles, des châteaux d'eau et des égouts visitables. De nombreuses villes en France ont un important réseau d'égouts pour eaux pluviales et usées.

Différentes techniques sont aujourd'hui disponibles suivant la structure à réparer et le niveau de dégradation. Le béton projeté est utilisé entre autre pour des structures souterraines que ce soit en neuf ou en réparation. Le renfort métallique de ces bétons peut être un renfort classique type béton armé ou bien un renfort par des fibres métalliques. Pont-à-Mousson avait développé en collaboration avec Saint-Gobain Recherche au début des années 80, **la fibre métallique amorphe Fibraflex** qui est utilisée aujourd'hui comme renfort dans des mortiers projetés de réparation.

Les fibres sont sous la forme de rubans très fins, dont la longueur varie entre 5 et 30 mm, la largeur entre 1 et 1,6 mm et l'épaisseur voisine de 30 µm. Leurs caractéristiques les plus importantes sont :

- ◆ une grande résistance à la corrosion : elles sont utilisées dans des ambiances très agressives comme en bord de mer ou dans les égouts ;
- ◆ leur souplesse : elles peuvent être utilisées avec des matériels standard sans risque d'endommagement au cour du malaxage, du pompage ou de la projection ;
- ◆ une forte résistance mécanique : elles peuvent remplacer une armature type treillis soudé tout en réduisant les effets de la fissuration de retrait ou dus à des efforts mécaniques ;
- ◆ leur finesse : elles permettent d'obtenir un matériau homogène avec au minimum 150 000 fibres au kilo (cette densité dépend de la longueur de la fibre utilisée).

Les techniques de projection

Deux techniques différentes de projection de béton ou mortier sont utilisées :

- ◆ la plus ancienne est la voie sèche utilisée pour des bétons ou mortiers. Les domaines concernés sont nombreux comme par exemple les tunnels, les stabilisations de talus, les fondations de mines... Ce procédé génère de la poussière et des pertes

de matériau à cause des rebonds de l'ordre de 30 % ;

- ◆ le plus récent est le procédé par voie mouillée, venant directement des métiers du bâtiment. Il est le moyen propre et sûr (pas de poussière et très peu de pertes par rebond) pour projeter des mortiers dans des endroits étroits ou restreints comme les égouts, les aqueducs, les galeries d'eau. L'équipement est de taille beaucoup plus petite que pour la voie sèche.

Utilisation des mortiers projetés renforcés de fibres

C'est une technique de réparation facile à utiliser, économique, mécaniquement efficace et durable. Traditionnellement un treillis soudé est utilisé pour réduire les problèmes de fissuration. Ce procédé est difficile d'utilisation pour des galeries étroites, sa fixation est un travail technique et coûteux demandant de la main-d'œuvre qualifiée. De plus, projeter une épaisseur supplémentaire réduit la section de passage.

L'utilisation de fibres pendant le malaxage, le pompage et la projection n'altère pas les équipements même avec des machines standards (rotors ou pistons). Les distances de pompage sont de l'ordre de 50 m avec des diamètres de tuyaux de 35 et 50 mm. Les fibres permettent d'obtenir un mélange intime, adhérent et mécaniquement efficace grâce à leurs caractéristiques. Elles permettent également de supprimer la nécessité d'une épaisseur d'enrobage et donc de réduire l'épaisseur à projeter.

La projection peut être réalisée en une simple opération permettant ainsi de gagner du temps sur la réalisation des chantiers et donc de gagner de l'argent.

La durabilité signifie qu'il faut choisir les matériaux adéquats (ciment, adjuvants) résistants chimiquement comme en particulier des matériaux inoxydables. Ces fibres résistent à toute attaque acide ou alcaline. De nombreux formulateurs proposent également des produits prêts à l'emploi à projeter contenant directement la fibre. Un exemple en est l'Emaco S170 CFR produit par la société MAC SPA en Italie, filiale du groupe MBT.

Vers 1987 plusieurs égouts ont été réparés avec des mortiers renforcés de fibres Fibraflex. Une surveillance régulière de ces ouvrages est effectuée de manière à connaître l'évolution de ces réparations dans le temps. Le résultat de ces inspections (visuelles et avec analyses de laboratoire) montre

utilisés en travaux

que les structures sont intactes, sans fissure, trace de rouille, ni autre effet de dégradation.

→ **Contact** : Hélène Chausson, Seva-Service Fibraflex
Tél. : + 33 (0) 3 85 47 25 88
Fax : + 33 (0) 3 85 47 25 99

■ DE NOUVEAUX MATÉRIELS ET PRODUITS POUR LE CREUSEMENT DE GALERIES À L'EXPLOSIF

Nitro-Bickford, propose, deux matériels innovants pour le creusement de galeries à l'explosif :

◆ **le Morse**, module de repompage et de sensibilisation d'émulsion permettant la production sur site et le pompage dans les trous de forage d'une émulsion explosive gazéifiée insensible à l'eau ;

◆ **le Daveytronic**[®], détonateur à retard électronique intégré, programmable sur le site d'emploi entre 1 et 4 000 millisecondes avec une précision sur le temps d'initiation inférieure à 1 milliseconde.

Ces deux matériels présentent les caractéristiques techniques suivantes.

Le Morse

Ce module de fabrication se compose principalement :

- ◆ d'une cuve amovible contenant une matrice émulsion (produit non explosible de classe 5.1) ;
- ◆ d'une pompe à produits dangereux de type Moineau ;
- ◆ d'un mélangeur statique placé en extrémité de canule de pompage ;
- ◆ de pompes d'injection de réactifs.

Ce choix technique permet de produire de l'explosif uniquement à l'extrémité du flexible de pompage. Le mélangeur statique assure en effet la gazéification et la sensibilisation de la matrice émulsion par homogénéisation des réactifs chimiques injectés conjointement en sortie de pompe Moineau. L'option de gazéification en bout de canule permet de limiter la quantité d'explosif dans l'unité de fabrication à 50 g dans chaque canule (**figure 1**).

Dans la configuration actuelle, le module Morse est une unité palettisée, mécano-soudée, de dimensions 2 m x 3 m x 2 m.

Il est muni de différents points de manutention et peut être posé sur une remorque, un plateau de porteur ou d'engin de chantier. La cuve amovible contenant la matrice émulsion est d'une capacité d'1 t.

Le Morse est muni de deux canules pour l'injection de l'émulsion de diamètre extérieur 25 mm, de longueur 25 m ; en bout de canule, le mélangeur statique de diamètre extérieur 25 mm, et de longueur 150 mm assure la sensibilisation de la matrice émulsion.

L'opérateur chargé de la mise en œuvre déclenche par une commande à distance un cycle de pompage prédéfini par un automate programmable. La cartouche amorce (250 g de dynamite par exemple) est poussée en fond de trou à l'aide de la canule de pompage munie de repères de profondeur.

Lors de l'injection, la canule recule librement vers l'extérieur grâce à la poussée générée par le pompage. A la fin du cycle, l'opérateur contrôle le chargement du trou grâce aux repères de profondeur de la canule (**photo 1**).

Le débit de pompage peut varier de 30 à 60 kg/mi-nute. Sauf cas particulier, le chargement d'un trou prend moins d'une minute.

L'opérateur chargé du contrôle de la fabrication visualise et éventuellement modifie les paramètres de fabrication grâce aux afficheurs présents sur le pupitre de contrôle.

Les différents organes de dosage sont motorisés de façon hydraulique. La pompe hydraulique est mue par un moteur électrique raccordé au réseau électrique du chantier.

Des organes tels que capteurs de pression, de température, de non débit, de positionnement de vannes permettent de s'assurer du fonctionnement dans des conditions de sécurité équivalentes à celles des usines.

Dans ses configurations actuelles, les caractéristiques techniques principales du module sont les suivantes :

- ◆ capacité totale de production : 1 tonne ;
- ◆ débit de production : 30 à 60 kg/mi-nute ;
- ◆ poids total : 2 500 kg (avec une cuve amovible d'émulsion d'une tonne) ;
- ◆ dimensions : longueur 3 m, largeur 2 m, hauteur 2 m ;
- ◆ alimentation du module par électricité 380 V triphasé ;
- ◆ équipé de deux canules de pompage de 25 m de long.

L'explosif fabriqué est une émulsion gazéifiée dont les données techniques sont les suivantes :

- ◆ densité moyenne : 1,10 (le module peut être réglé pour obtenir des densités variables entre 0,8 et 1,20) ;
- ◆ énergie totale : 3 MJ/kg ;
- ◆ diamètre critique : 30 mm ;



Photo 1

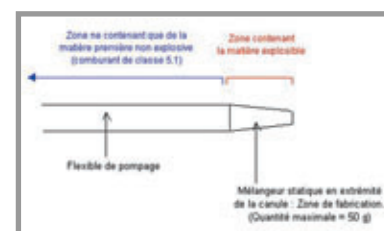


Figure 1

Photo 2



◆ vitesse de détonation *in situ* (en diamètre 45 mm) : 4500 à 5000 m/s.

Le Morse a été utilisé dans le cadre d'essais sur les chantiers français des tunnels des Sorderettes (74) et de Saint-Geniès-de-Comolas (13) et dans le cadre d'une utilisation systématique sur les chantiers des tunnels de Mitholz (Suisse) et de Sigirinol (Suisse).

Le Daveytronic®

Le système de détonateurs électroniques se compose :

- ◆ de détonateurs contenant un circuit électronique, une perle d'amorçage et une charge de pentrite de 0,8 g;
- ◆ d'une console de programmation permettant d'introduire le temps d'initiation du détonateur en ms;
- ◆ d'une console de tir permettant le contrôle avant le tir de l'ensemble des détonateurs et de la ligne et le déclenchement du tir lorsque tous les contrôles sont validés.

La technologie utilisée assure une précision sur le temps d'initiation inférieure à la ms (**photos 2 et 3**).

Lors de son intégration en usine dans le détonateur, le composant électronique subit déjà deux types de contrôles spécifiques :

- ◆ contrôle à 100 % du circuit électronique et de la tête d'amorce;
- ◆ contrôle à 100 % de toutes les fonctionnalités du détonateur après assemblage, sauf mise à feu. A ces contrôles s'ajoutent les contrôles qualités habituels des composants classiques (embouti, sertissage, remplissage des compositions pyrotechniques).

Lors de la mise en œuvre sur le terrain, deux autres contrôles sont appliqués :

- ◆ à la programmation, contrôle du bon fonctionnement de l'électronique et de l'intégrité des fils en cas de chargement difficile;
- ◆ au poste de tir, contrôle de la validité du circuit réalisé après connexions et de l'ensemble des fonctionnalités du circuit (test identique à celui réalisé en usine).

L'ordre de tir est donné lorsque l'opérateur a l'assurance de mettre à feu tous les détonateurs de la volée.

Des simplifications d'utilisation sont apportées :

- ◆ **à la mise en œuvre.** Sur le pas de tir, tous les détonateurs sont identiques (aucun numéro de retard) et sont distribués sur les trous sans risque d'erreur. Aucun souci du côté de la perméabilité aux courants induits ou radio. Les détonateurs ont un niveau de sécurité au moins égal au détonateur "haute intensité". Les fils sont jointifs et les circuits réalisés ne comportent pas de boucle (principe du branchement en parallèle). Un connecteur spécifique assure un raccordement clair sans endommagement des fils (**photo 4**);

◆ **à l'élaboration des plans de tir.** La préparation d'un plan de tir consiste à définir soit le temps d'initiation en ms des mines, soit l'ordre de départ des détonateurs et la séquence (en ms) à appliquer entre les départs.

Par rapport au tir séquentiel, on constate les avantages suivants :

- ◆ plus de problème de mise en sécurité électrique ou pyrotechnique de la volée avant que la première mine ne détone;
- ◆ non obligation du respect des intervalles entre deux mines de 8 millisecondes minimum pour tenir compte de la dispersion de retard pyrotechnique classique afin d'éviter les détonations simultanées. Le détonateur Daveytronic a été agréé par le ministère de l'Industrie pour une utilisation en souterrain (250 détonateurs maximum) et a été utilisé avec succès sur différents sites essentiellement dans des carrières souterraines soumises à de fortes contraintes sismiques.

→ Contact : Y. Bleuzen, Nitro Bickford

Tél. : + 33 (0) 1 40 69 80 79

Fax : + 33 (0) 1 40 69 80 99

■ ÉTUDES ET CONTRÔLES EN VIBRATIONS - LA SOLUTION IDETEC

Installée dans les Bouches-du-Rhône à Gardanne, près d'Aix-en-Provence, **Idetec** (Innovation et Développement Technologiques) s'est spécialisée dans l'étude et le contrôle des vibrations provoquées par le minage.

La gamme des appareils permet de résoudre l'ensemble des besoins et des problèmes liés aux vibrations. Du plus simple (la série **SCS3/6/15**) qui en surveillance, fournit la valeur crête d'un à cinq capteurs tridirectionnels à géophones, au plus sophistiqué (**ATV15**) qui permet, sur le terrain, en automatique ou pas, de traiter numériquement les signaux enregistrés et d'éditer un prérapport, en passant par des appareils spécialisés dédiés aux carrières (**SCS3PcD**).

Photo 5



Photo 3

Photo 4



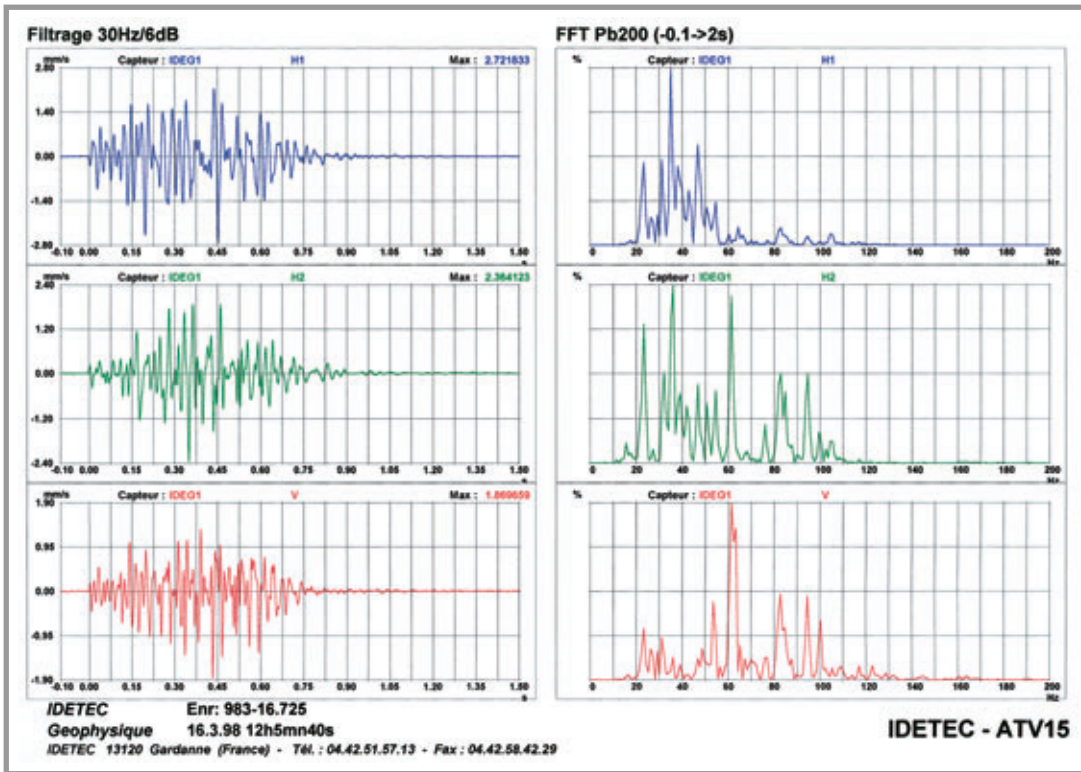


Figure 2



Photo 6

Dans les travaux souterrains, ATV15 permet aussi bien de réaliser :

- ◆ les études d'impact préalables aux travaux ;
- ◆ les contrôles sur l'environnement pendant les travaux ;
- ◆ l'optimisation des tirs en visualisant la séquence et donc les délais d'amorçage.

ATV15, laboratoire d'étude des vibrations, portable et autonome, permet sur le terrain, de mesurer, d'enregistrer, de visualiser, de traiter numériquement, d'imprimer les signaux, issus de 1 à 5 capteurs tridirectionnels. Il permet la numérisation sur 15 voies, soit 5 capteurs tridirectionnels avec une fréquence d'échantillonnage de 1000 points par seconde (**photo 5**).

L'enregistreur est équipé en entrée de filtres anti-repliement programmables entre 50 Hz et 500 Hz avec une pente minimale d'atténuation de 48 dB/octave.

Les déclenchements d'enregistrements sont programmés à partir d'un seuil minimal de 0,1 mm/s sur une voie de mesure, sur plusieurs voies en simultané ou sur une entrée déclenchement externe. La dynamique d'enregistrement est de 72 dB (numérisation sur 12 bits). Les niveaux pleines échelles sont programmables entre 15 mm/s et 100 mm/s. L'enregistreur dispose de sa propre alimentation électrique avec une autonomie minimale de 8 heures. Les signaux numérisés sont stockés sur disquette ou sur disque dur (80 millions de points, soit plus de 1000 tirs).

L'enregistreur est équipé d'un microprocesseur, de son propre écran de visualisation et sa propre imprimante, afin de permettre, immédiatement après l'enregistrement, des traitements numériques, des visualisations et des impressions de courbes.

Les logiciels résidant dans l'enregistreur permettent d'effectuer immédiatement les traitements numériques suivants :

- ◆ transformation de Fourier sur 1024 et 4096 points ;
- ◆ filtrages numériques ;

- ◆ visualisation sur écran avec mesures des niveaux zéro-crêtes ;

- ◆ sortie sur imprimante (**photo 6 et figure 2**).

Le logiciel de surveillance automatique, ATV15, sans aucune intervention, surveille, stocke en cas de dépassement de seuil(s) programmé(s), traite numériquement et édite les résultats (valeurs maximales, filtrages, fréquences, courbes...).

► Contact : S. Tollari, Idetec

Tél. : + 33 (0) 4 42 51 57 73

Fax : + 33 (0) 4 42 58 42 29

■ LES POLYMÈRES EN TRAVAUX SOUTERRAINS - LA GAMME WEBER

Les produits d'injection permettent d'optimiser les techniques d'étanchement, de blocage de venues d'eau, de comblement de vides, de consolidation des sols des sous-sols et scellements. La formulation des produits d'injection est la clé de ce savoir-faire. La société **Weber** fait partie du **groupe Sofirol** qui possède des filiales en Australie, Afrique du Sud, Pologne et Allemagne. Elle a été créée en 1960 par Adolphe Weber.

Ses produits, issus de la technologie des polymères, sont utilisés en exploitation minière, travaux souterrains, génie civil, réhabilitation de réseaux, travaux spéciaux pour la consolidation, le remplissage, l'étanchement et le colmatage.

Maristop® A, polyuréthane mono-composant réagissant au contact de l'eau, destiné au colmatage des venues d'eau à fort débit a été utilisé à Saint-Étienne de Tinée (entreprise Montcocol) et sur l'émissaire Cachan-Charenton (entreprise Fougère-Borie) (**figure 3**).

Marigel® L, gel de type métacrylate à très faible viscosité, destiné à l'étanchement à l'eau de joints ou de fissures a été utilisé dans des travaux d'entretien de la RATP et par la Sade à Rennes (**photo 7**).

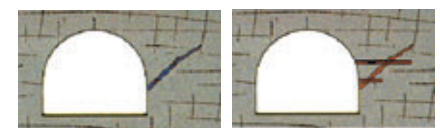


Figure 3



Photo 7



Photo 8

Figure 4



Photo 9

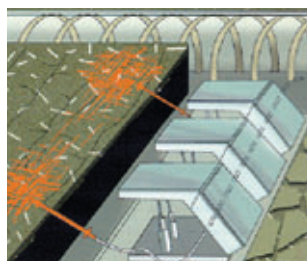


Figure 5

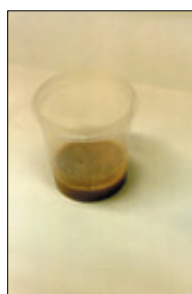


Figure 6



Photo 10

Marigel® P, produit gélifiant l'eau, destiné à l'épaississement des boues de marinage ou des cuttings, utilisé par l'entreprise Temsol Aquitaine à Poitiers. (photo 8).

Igloneige, mousse à deux composants destinée à l'étanchement à l'air et au gaz, et au remplissage de vides nécessitant peu de résistance mécanique, utilisée dans les houillères du bassin Lorrain (figure 4).

Maristop® SR, prépolymère aquaréactif. Injecté dans le terrain, le produit s'expande et donne une mousse, assurant ainsi l'étanchement de la zone traitée. Utilisé par l'EdF au barrage de Lastioules et par Montcocol à Saint-Etienne-de-Tinée (photo 9).

Marithan® Sand-1 est un produit d'injection bi-composant de faible viscosité destiné à la consolidation de terrains non cohérent et peu perméable utilisé dans les houillères du bassin Lorrain (figure 5).

Marifoam G, mousse organominérale destinée au remplissage de vides, au colmatage et à l'étanchement de venues d'eau a été utilisée par la SNCF à Besançon et par l'entreprise Temsol Aquitaine à Poitiers (figure 6).

Marithan® est un polyuréthane bi-composant, destiné à la consolidation de terrains ou au blocage de venues d'eau. Son haut pouvoir collant et ses bonnes caractéristiques mécaniques redonnent une excellente cohésion aux terrains.

Références : la galerie Saint-Georges du métro de Rennes, le tunnel Baaziz en Algérie (photo 10).

➔ **Contact :** J.-L. Schmitter
Tél. : + 33 (0) 3 87 09 10 97
Fax : + 33 (0) 3 87 09 07 00
[http ://www.weber-polymers.com](http://www.weber-polymers.com)

■ CREUSEMENT DE TUNNELS AVEC TAMROCK EN GRÈCE

La Via Egnatia était l'une des plus grandes routes militaires et commerciales des temps anciens. Lorsque Gaius Ignatius, proconsul romain du II^e siècle av. J.-C., imagina et construisit une route à travers le nord de la Grèce afin de relier l'Asie à l'Europe, il était bien loin de se douter que ses idées survivraient à plus de deux millénaires (photo 11).

La Via Egnatia joua un rôle décisif pendant les empires romain, byzantin, serbe et turc. L'importance de cette route entre la côte ionienne et la mer Noire pour les communications est tellement vitale qu'aujourd'hui, en l'an 2000, la Grèce construit cette fois une autoroute, pour assurer une liaison moderne.

La nouvelle autoroute d'Egnatia jouera un rôle identique à celui de l'ancienne Via Egnatia en reliant les pays de l'Union européenne aux Balkans et à

l'Est. Elle unifiera également l'arrière-pays du nord de la Grèce et ouvrira des possibilités à une coopération transfrontalière avec des pays limitrophes tels que la Bulgarie et la Macédoine, ancienne république de l'ex-Yougoslavie.

Le projet, divisé en 50 contrats, comprend 15 tunnels principaux qui, avec plusieurs autres tunnels de moindre importance, atteignent la longueur totale de 30 km. L'autoroute croise huit axes routiers qui servent à des liaisons transfrontalières, et dessert 19 villes, cinq ports et six aéroports tout en reliant 332 collectivités, dix zones industrielles et 30 destinations touristiques.

On peut vraiment affirmer que l'importance stratégique de la nouvelle autoroute d'Egnatia rivalise et dépasse probablement celle de la première voie romaine qui lui a donné son nom.

Les constructeurs d'aujourd'hui

Parmi les constructeurs de tunnel, Aktor SA est le plus important. Actuellement, il travaille comme entrepreneur principal sur trois grands chantiers de tunnel le long de l'autoroute d'Egnatia.

Il s'agit des tunnels de Dodoni et de Driskos dans les montagnes du Pinde ainsi que de trois tunnels moins longs de Veria, dans la section centrale près de Panagia. Ce sont tous des chantiers éloignés avec des difficultés de transport et d'accès, surtout en hiver lorsqu'il arrive que les chutes et tempêtes de neige occasionnelles les coupent du monde extérieur.

L'autre facteur commun à ces chantiers est leur matériel de production de premier choix. Ils ont partagé la plus importante commande jamais passée en une seule fois à **Sandvik Tamrock** pour le matériel de tunnel. En effet, par une transaction d'une valeur totale d'environ 94 millions de francs, Aktor SA a acheté à Tamrock en Finlande 27 engins, comprenant des jumbos de foration et de boulonnage, des chargeurs ainsi que des dumpers. De tous les entrepreneurs de travaux souterrains du monde, il sera celui qui aura l'un des parcs les plus importants d'une seule marque. Ce parc bénéficiera de l'assistance, des pièces de rechange et des outils fournis par la société Man-Air d'Athènes, qui fait partie du groupe international des distributeurs fidèles de Tamrock.

Les tunnels de Driskos

Situés à 850 m d'altitude et ils sont constitués de deux tubes doubles de 4,5 km, creusés à partir des deux extrémités.

Les têtes de tunnel ont été commencées en août 1999. La foration est réalisée avec un jumbo Tamrock à deux bras et nacelle Para 206T. La technique de la voûte parapluie est utilisée sur les deux têtes nord en cours de réalisation. Cette attaque utilise un chariot de foration Tamrock CHA 1100 qui

fore des trous de 76 à 115 mm dans lesquels sont placés des tubes en acier, eux-mêmes injectés d'un coulis de ciment.

Un deuxième Tamrock Para 206-90 travaillera aux têtes nord. La livraison d'un troisième jumbo identique est prévue pour juin afin de compléter le parc du matériel de foration de front. En outre, deux chargeurs Toro 0010 et six dumpers Toro 50 sont prévus (photo 12).

Jusqu'à présent, le boulonnage a été réalisé avec le Para, mais, à partir de mars 2000, deux jumbos de boulonnage Robolt H530 de Man-Air, prendront le relais.

Le chef de chantier, Pantelis Delapoglou, a travaillé récemment sur le tunnel ferroviaire de Tempi avec les jumbos Tamrock Super à trois bras, mais c'est la première fois qu'il utilise le 205-90 à deux bras. "A mon avis, le plus grand avantage, c'est que le Para peut être réglé pour une divergence fixe. Ici, j'utilise une divergence de trois degrés, et le profil obtenu est vraiment de très bonne qualité".

Travaux préparatoires à Dodoni

Les tunnels de Dodoni ont été entrepris seulement à partir des têtes est. Le contrat d'Aktor prévoit la réalisation des 3,3 km du tube droit dont 170 m ont déjà été réalisés. Le chantier du tube gauche pour les premiers 500 m a progressé de quelque 70 m.

La plupart du temps, les fronts de Dodoni peuvent être attaqués en pleine section, deux jumbos de foration Tamrock Super à trois bras ont été achetés, un pour chaque front, avec un Para en réserve. Comme le marin se situe à 500 m seulement de l'entrée du tunnel, un Toro 0010 chargeant sur deux dumpers Toro 40 sur chaque front, suffit pour répondre aux besoins immédiats.

Elias Katsivelis, chef de chantier, est enthousiaste de la contribution que les chargeurs Toro fraîchement arrivés pourront apporter au bon rendement globale de son opération. "Tamrock jouit d'une excellente réputation en Grèce pour sa fiabilité et pour sa disponibilité" affirme-t-il.

Les tunnels de Veria

Les trois tunnels courts qu'Aktor est en train de réaliser dans la section centrale de l'alignement de l'autoroute d'Egnatia, se trouvent dans la région accidentée à l'ouest de Veria. Quatre mois ayant été nécessaire pour construire les routes d'accès de 6 m de large, les travaux dans les tunnels viennent seulement de commencer.

Les entrées sud du tunnel n° 1 ont été creusées dans un endroit difficile, sur une pente raide où le tunnel débouchera sur un pont. Un Tamrock Ranger a foré des couronnes parapluies sous lesquelles étaient creusées les entrées sud.

Actuellement il exécute les travaux préparatoires



Photo 11
Carte de la Grèce

des entrées nord. La demi-section supérieure de l'attaque ouest à partir de la tête sud, a progressé de 70 m en utilisant un jumbo de foration Para. Le centre de chaque volée est abattu à l'explosif, puis un marteau brise-roche hydraulique se charge de la finition du profil.

Le marinage est effectué par un seul Toro 0010. Il est prévu que ce Toro soit utilisé pour faire avancer les deux demi-sections supérieures jusqu'au PM 700 (photo 13).

➔ Contact : Sonia Vienne, Sandvik
Tél. + 33 (0) 4 72 45 22 82
Fax : + 33 (0) 4 72 45 22 83

■ TRAITEMENT DES BOUES DE FORAGE PAR M.S. SA

M.S. SA s'est développée tout d'abord dans le domaine du traitement et de la préparation du sable à béton, en carrières, gravières et ballastières, puis a complété sa gamme par des matériels et des techniques pour le traitement et le recyclage de l'eau, pour enfin inclure le dernier maillon de la chaîne, à savoir le pressage des boues.

En 20 ans d'existence, la société s'est positionnée sur deux marchés cibles : d'une part, le domaine du traitement des sables, du recyclage de l'eau et du pressage des boues en carrières et ballastières, mais également sur un secteur qui est celui des tunneliers à pression de boue et fondations spéciales. Ces domaines industriels exigent une solide expérience pour :

- ◆ le traitement des matières excavées, transportées sous forme de boue, exigeant un contrôle parfait de la régulation de boue bentonitique et du traitement de l'argile excédentaire, ceci souvent dans un espace réduit, en tenant compte des contraintes de l'environnement urbain ;
- ◆ les stations de traitement de boue derrière les tunneliers devant répondre à un cahier des charges de plus en plus contraignant :

- au niveau géologique, la variété et l'instabilité des terrains rencontrés imposent une conception particulièrement flexible de cette station, avec en particulier la possibilité de modifier très rapidement les caractéristiques rhéologiques de cette boue en termes de densité et viscosité.



Photo 12
Le Para 206-90 sur le chantier de Driskos dans les montagnes du Pinde, près de la ville grecque d'Ioannina



Photo 13
Toro 0010



Photo 14

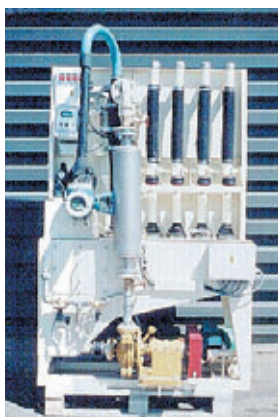


Photo 15



Photo 16

- au niveau écologique, il devient indispensable de traiter la totalité des eaux et de la boue produite, de la rendre solide afin de faciliter sa mise en décharge et de réduire les coûts de transport.

Sur des chantiers comme Météor à Paris, ou comme le métro de Sydney, MS a mis au point des stations complètes de traitement de boues.

Une station de traitement derrière tunnelier à pression de boue doit permettre de séparer les déblais solides de la boue et la fraction boue recyclée de la boue excédentaire, de traiter les boues excédentaires.

Les deux premiers points sont réalisés en temps réel et dimensionnés sur la vitesse de creusement instantanée du tunnelier, alors que le traitement de la boue excédentaire peut se réaliser en temps partiellement masqué et se dimensionne sur une vitesse moyenne d'excavation intégrant les arrêts, la pose des voussoirs... (photo 14).

Ces stations sont constituées de quatre sections :

- ◆ le scalpage-dessablage-dessiltage ;
- ◆ la gestion de la boue "noble" ;
- ◆ la gestion des argiles en excès ;
- ◆ le traitement des eaux de surface et d'exhaure.

L'originalité de MS est de proposer des matériels et des techniques spécifiquement développés et mis au point pour ces quatre sections :

- ◆ au niveau scalpage, les trommels offrent une meilleure réponse que les cribles vibrants au problème de colmatage par blocs d'argiles collantes, tout en assurant une moindre dilution de ces argiles, donc en préservant un meilleur contrôle de la qualité de la boue. Au niveau dessablage/dessiltage, MS installe des unités de séparation avec 1, 2 ou 3 étages en série d'hydrocyclones selon la proportion de silts. Les essoreurs vibrants sont équipés de grilles à fissures présentant une légère contre-pente. Ils sont utilisés pour essorer les sous-verses des cyclones. Les sables et les silts

en sortie d'essoreur ont des humidités résiduelles comprises entre 10 et 20 % selon les caractéristiques de la boue de marinage ;

◆ les boues, après dessablage et dessiltage, sont en grande partie recyclées après correction par de la boue neuve afin de maintenir les qualités rhéologiques souhaitées (contrôle fait à l'aide d'un rhéomètre) (photo 15).

La fraction excédentaire est évacuée pour maintenir l'équilibre volumique et massique (densité et niveaux). Au niveau poste gestion de la boue, MS a mis au point et breveté un système de contrôle continu des caractéristiques rhéologiques de la boue en termes de viscosité et densité, système qui, conjugué à la conception de ce poste, permet à l'opérateur de choisir et d'adapter en temps réel les caractéristiques physiques de la boue au terrain traversé.

Au niveau du poste gestion des argiles, MS a complété sa gamme de matériels et de techniques pour le traitement et le recyclage de l'eau en incluant le pressage des boues : il a développé sa propre gamme de filtres-presses spécialement adaptés à ce type d'application (photo 16).

Au niveau traitement des eaux de surface et d'exhaure, MS apporte également une expérience spécialisée, avec des références dans ce domaine comme VL10 ou NCSM.

Enfin, ces stations peuvent être gérées par un ensemble sophistiqué d'automates, avec visualisation et contrôle sur écran de chaque section.

Quelques références récentes (tableau I).

→ Contact : M^{me} Batisse

Tél. : + 33 (0) 4 73 28 52 70

Fax : + 33 (0) 4 73 28 52 71

Tableau I

Nom et localisation	Année	Client	Nature de l'ouvrage	Fournisseur du tunnelier	Diamètre excavé	Longueur totale excavée	Débit Traité m ³ /h
Hongkong	2000	D.Z.J.V (Bouygues)	Tunnel ferroviaire	N.F.M.	8,75	2 x 1840	120
Sophia Rotterdam	2000	Tubecon	Tunnel ferroviaire	Herrenknecht	9,82	2 x 4200	2500
SIAVRM Ru de Marivel	1999	Campeon Be mard Dumez	Émissaire d'eaux usées	Herrenknecht	5,14	1330	900
I.G.C.N. Gennevilliers	1998	Borie SAE GTM Constructi on Chantiers Modernes Chagnaud	Émissaire d'eaux usées	Herrenknecht	4,85 m	1288 m + 2047 m	600
B.P.N.L. Lyon	1997	Bouygues Dumez GTM	Tunnel routier	N.F.M.	11 m	3 200 m	300 à 500
LEWISHAM Londres	1997	Nishimatsu Kawasaki F.C.B.	Métro	Kawasaki	5,90	2 x 1044 m	600
Airport Link Sydney	1997	Transfield Bouygues Joint Venture	Métro	Herrenknecht	10,80	5475 m	2000

■ ATLAS COPCO

Cette société propose un large éventail de matériels destinés aux travaux souterrains pour les applications de forage à l'explosif avec la gamme des **Boomer**. A côté de ces matériels, on trouve les machines spécialisées pour le boulonnage (**Boltec**), pour la production en souterrain (**Simba**), la gamme de marteaux perforateurs à main et les boulons d'ancrage **Swellex** qui assurent un confortement immédiat de la roche. Enfin, les machines de **Raise Boring** et la gamme des **Scooptram** "Wagner" font également partie des produits fabriqués par le constructeur suédois.

Boomer

La gamme Boomer comprend des matériels de forage avec un, deux et trois bras avec ou sans nacelles et disposant de différentes variantes avec les bras, glissière et marteaux de la gamme Atlas Copco.

Cette gamme a vu l'arrivée de nouveaux modèles depuis juin 1998 avec l'introduction des Boomer L2C et M2C. Respectivement prévus pour des sections maximales de 90 et de 45 m² avec deux bras (nacelle en option), ils intègrent une nouvelle technique pour une meilleure qualité de forage et plus de productivité.

Les grandes lignes :

- ◆ matériel de conception modulaire ;
- ◆ réseau de type Can-Bus pour un câblage simplifié avec un système d'auto-diagnostic d'aide à la maintenance ;
- ◆ marteaux de type COP 1838 d'une puissance de 20 kW pour de plus fortes vitesses de pénétration ;
- ◆ système de commande très ergonomique avec cabine d'un grand niveau de confort ;
- ◆ possibilité de niveau d'automatisation variable : de la version avec commandes directes, au mode avec assistance jusqu'au tout automatique (**photo 17**).

La meilleure illustration est certainement de donner quelques éléments des travaux du contrat 603 "Black Hill Tunnels" ou la JV Dumez GTM - Chun Wo va terminer le creusement des galeries à la fin de juin 2000.

Nicolas Caille, directeur technique et d'exploitation du projet nous donne les principaux éléments de ce chantier : quatre tunnels de 30 m² de section de 1800 m de long à réaliser dans un délai très court. En pratique, les creusements auront duré 13 mois en tout avec les trois Boomer L2C et le 352 sur place. "Dans le granite, les performances des marteaux varient entre 2,3 et 2,9 m/mn ce qui permet de forer une volée complète en un temps record : pour forer les 73 trous de 3,2 Ml avec le bouchon un bon opérateur a besoin d'environ 1h 10mn! Au mois de novembre 99,922 m de galerie ont été forés sur le mois..."

La gamme Boomer vient d'accueillir les nouvelles versions trois bras, respectivement L3C, XL3C et WL3C, trois variantes qui permettent en fonction des sections de jouer sur la largeur de couverture ou la hauteur maximum. Ces versions sont conçues et assemblées dans la même optique de modularité des Boomer deux bras et disposent aussi des marteaux de type COP 1838.

Boltec et boulonnage Swellex

Les Boltec permettent la mise en place automatique des boulons d'ancrages. Ils permettent de rassembler les différentes tâches sur un seul outil et de donner plus de rendement et de sécurité lors des opérations de boulonnage (**photo 18**).

La gamme comprend plusieurs porteurs et ensembles de forage/boulonnage en fonction des hauteurs de voûte et des longueurs de boulons à poser.

Trois Boltec de type 435 SH sont actuellement en opération sur le chantier de Markusbiorg au Luxem-

bourg dans le cadre de l'association momentanée des sociétés Demathieu et Bard, Razel, Perard et Baatz.

Ces trois Boltec posent des boulons Swellex de type EXL de 4 m de long. Deux machines côte à côte permettent de réaliser des rendements de l'ordre de 25 à 30 boulons à l'heure en toute sécurité.

Guy Cueille, directeur du projet indique : "L'un des gros avantages est que les Swellex sont plus petits que le trou et ne se dilatent qu'une fois mis en position, ce qui évite de déstabiliser les roches friables. Les engins Boltec et les boulons Swellex sont une combinaison indispensable qui garantit un niveau très élevé de sécurité".

Dans le cadre de ce chantier, plus de 35 000 boulons ont déjà été posés par le couple Boltec/Swellex.

La gamme des boulons Swellex se compose des versions EXL (100 kN), Midi (120 kN) et Super (200 kN). Le boulon Swellex est un boulon d'ancrage ponctuel gonflable avec une pompe haute pression. Le gonflage du boulon est réalisé en environ 20 secondes et permet d'assurer immédiatement le confortement nécessaire (**figure 7**).

➔ Contact : Atlas Copco

Tél. : + 33 (0) 1 39 09 32 24

Fax : + 33 (0) 1 39 72 32 49

e-mail : benoit.etienne@atlascopco.com

http://www.atlascopco.com

■ L'INGÉNIERIE EN MINAGE EXPLO-TECH

Explo-Tech, PME de quatre personnes, est spécialisée en logiciels et matériels destinés aux tirs de mines sur les chantiers de travaux publics à ciel ouvert ou en souterrain et en carrière : contrôle en amont des produits utilisés, contrôle des conditions de tir, préparation des plans de tir souterrain, contrôle du fonctionnement, contrôle des résultats et des effets (**figure 8**).

Elle a été amenée à développer la vente et la location d'enregistreurs de vibrations et de surpression aérienne aussi bien pour le contrôle des tirs de mine que pour d'autres travaux générant des vibrations.

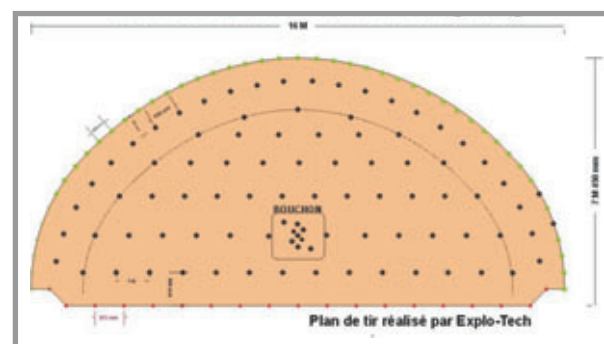


Photo 17



Photo 18

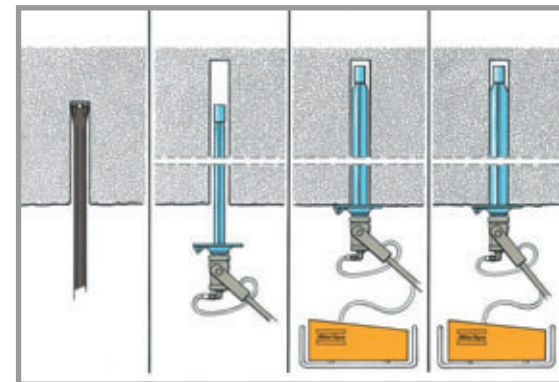


Figure 7

Figure 8
Plan de tir du chantier
de Hong Kong



Les enregistreurs de vibration

Explo-Tech propose des matériels en version française de marque NOMIS présentant un faible encombrement, étanches et totalement autonomes. Deux gammes d'appareils sont disponibles en version 1 Hz (gamme 1-512 Hz) ou en version 2 Hz (gamme 2-512 Hz) corrigée :

- ◆ le sismographe NS5400, avec un ou plusieurs capteurs externes tri-directionnels et un microphone ne nécessitant pas de connaissance informatique particulière grâce à un large écran de 8 lignes et à une imprimante intégrée. La gamme de mesure va de 0,1 à 100 mm/s. Le NS5400 permet l'impression immédiate d'un rapport de mesure et peut, en outre, stocker numériquement jusqu'à 100 mesures ;

- ◆ le mini-sismographe NCSC7000, avec un capteur externe tridirectionnel et un microphone. La gamme de mesure va de 0,03 à 500 mm/s. Dépourvue d'imprimante interne, les principales informations sur chaque enregistrement sont lues sur un écran de deux lignes. La mémoire du NC7000 peut stocker jusqu'à 340 enregistrements (**photo 19**).

Photo 19



Quelques règles de mesure

Dans le cadre des travaux en souterrains, l'AFTES a défini des recommandations pour caractériser les matériels et les méthodes à utiliser pour les mesures de vibrations. Les carrières souterraines doivent par contre être conforme aux directives de l'arrêté du 22 septembre 1994 et de sa circulaire d'application du 2 juillet 1996.

Suivant ces recommandations, deux types de matériels peuvent être exigés en souterrain suivant le problème à traiter :

- ◆ les sismographes dits "d'utilisation courante" : ceux-ci doivent permettre de réaliser des contrôles réguliers pour des vitesses comprises entre 2 mm/s et 200 mm/s, pour des fréquences entre 7 Hz et 500 Hz. Les durées d'enregistrement doivent pouvoir dépasser les 10 secondes (sismographes NOMIS 2 Hz) ;

- ◆ les sismographes dits "basse fréquence" : les appareils doivent permettre de réaliser des contrôles

réguliers pour des vitesses comprises entre 0,5 mm/s et 50 mm/s, pour des fréquences entre 2 Hz et 100 Hz. Les durées d'enregistrement doivent pouvoir dépasser les 10 secondes (sismographes Nomis 1 Hz).

Dans tous les cas, les caractéristiques des sismographes Nomis, associés à des logiciels performants, permettent de travailler sur tous les chantiers souterrains en France ou l'étranger, en simple contrôle ou pour des mesures plus fines et ce, quelles que soient les exigences du chantier. Toute mesure de vibrations impose de respecter des règles pour garantir la fiabilité des mesures. Ces règles sont valables quel que soit le type de matériel utilisé et quelles que soient les limites appliquées :

- ◆ installation et fixation : il s'agit de rendre solide le capteur du gros œuvre. L'embase ou les pieds du capteur doivent être scellés fermement avec du plâtre ou de la résine époxy, ou par fixation sur une embase elle-même scellée ;

- ◆ orientation : l'axe longitudinal, indiqué par la flèche sur le dessus du capteur, doit être parallèle à la structure contrôlée ;

- ◆ horizontalité (point important) : l'horizontalité du capteur doit être systématiquement contrôlée à l'aide d'un niveau à bulle (idéal) et ajustée.

➔ Contact : Explo-tech France, Erwann Rayssac

Tél. : + 33 (0) 1 64 93 05 76

Fax : + 33 (0) 1 64 93 48 89

LES FEUILLES ALVÉOLÉES DOERKEN

La société **Doerken France**, présente deux produits du type feuilles alvéolées, **Delta-MS** et **Delta-MS 20**, qui assurent la protection durable des fondations de bâtiment, les constructions souterraines et les travaux publics.

Delta MS

Fabriqué à partir d'un polyéthylène spécial de 0,6 mm d'épaisseur, Delta-MS a une résistance élevée à la compression de 250 kPa. Il est utilisé dans le bâtiment en présence de peinture bitumineuse, d'enduit ciment plastifié et de sols perméables (DIN 18195, partie 4) et possède trois caractéristiques intéressantes :

- ◆ les excroissances orientées vers la maçonnerie séparent le mur de fondation du sol humide. Grâce à la présence permanente d'une lame d'air, la maçonnerie peut respirer ;

- ◆ pleine protection de l'étanchéité selon DIN 18195, partie 10. Au moment du remblayage de la fouille, même si des pierres ou des déchets de construction sont pressés contre la nappe à excroissances, il n'y a pas de rupture de la feuille ;

◆ isolation thermique supplémentaire qui correspond à l'équivalent thermique d'un mur de béton de 17,5 cm d'épaisseur.

Ce produit est utilisé de plus en plus dans les constructions souterraines et les travaux publics ou sous une chape et le radier. Il est posé avec les excroissances tournées vers l'extérieur, vers le rocher creusé ou vers la paroi extérieure, pour évacuer les eaux d'infiltration, de diaclases et de nappe phréatique. Il constitue un drainage efficace dans des constructions à double paroi.

Sous la chape, il protège celle-ci d'une façon fiable de l'humidité ascendante. Malgré la lame d'air, la chape peut supporter des charges élevées, les excroissances formant une structure de voûte.

Sous les radiers, il permet de remplacer la couche de propreté traditionnelle en béton maigre permettant d'économiser sur les coûts d'excavation. L'armature peut être immédiatement mise en place.

Delta-MS 20

Pour les venues d'eau extrêmes, Delta-MS 20 est une nappe à excroissances performante dans le bâtiment, les constructions souterraines et les travaux publics, grâce à ses excroissances de 20 mm de haut et à sa capacité de drainage accrue.

Il peut être utilisé comme coffrage perdu ou encore de façon économique entre la berlinoise en béton projeté ou la paroi moulée et la paroi en béton de l'ouvrage, horizontalement ou verticalement. Les avantages sont les suivants :

- ◆ évacuer ou dériver l'eau en présence pour ne pas entraver le processus de prise, notamment du béton imperméable ;
- ◆ évacuer sous forme détendue l'eau en présence dans des ouvrages terminés ;
- ◆ amener le niveau de la nappe phréatique à la même hauteur tout autour de l'ouvrage et obtenir une charge hydrostatique uniforme sur les couches d'étanchéité subissant la pression de l'eau.

Utilisations

En pose verticale : l'eau en provenance de la roche est évacuée par une couche de drainage en Delta-MS 20.

En pose horizontale : entre le radier et la chape, Delta-MS 20 collecte l'eau en cas de remontée de la nappe phréatique et l'évacue dans la conduite de drainage.

En construction de tunnels : il offre avec sa capacité de drainage accrue, les conditions idéales pour maîtriser les problèmes d'eau dans les projets de construction de tunnels.

On le pose avec les excroissances tournées vers l'extérieur, contre le rocher ou une couche de béton. On obtient un système continu de canaux formés par les espaces entre les excroissances, dans lequel l'eau peut s'écouler sans entrave vers

le drainage. Dans le cas d'un débit ne dépassant pas 2,5 l/ml/sec, le Delta-MS normal remplit la même fonction.

Quelques références : Eole à Paris, tunnel de Fréjus, tunnel du TGV à Marseille, tunnel sous la Manche, parking de l'aéroport de Bruxelles, tunnels sous la Spree à Berlin, métros de Barcelone et d'Athènes...

Les bâtiments douaniers de Tuas Checkpoint en Malaisie ; aux États-Unis, le projet Orange County en Californie...

→ **Contact** : Édouard Fleury

Tél. : + 33 (0) 1 43 53 75 87

Fax : + 33 (0) 1 43 53 7539

LE FONDALOG, ENREGISTREUR MULTIFONCTION

La **société SBC**, fabrique et commercialise un nouvel appareil d'enregistrement, le **Fondalog**, qui est l'aboutissement de plusieurs années de recherches et d'innovations dans le domaine de l'instrumentation et du contrôle au service des techniques de fondation et de sondage.

Le Fondalog est un appareil modulaire et multifonction adaptable à la plupart des machines utilisées dans les fondations spéciales. Il permet de répondre efficacement aux exigences de qualité généralement imposées aujourd'hui par les normes ISO 9000. En outre, le Fondalog peut analyser jusqu'à dix paramètres directement liés au fonctionnement du matériel sur lequel il est installé, avec possibilité d'alarme, permettant ainsi une assistance permanente au suivi et à la maintenance de ce matériel (**photo 20**).

Compacité et convivialité

De taille réduite (h x p x l : 350 x 300 x 300 mm) avec un boîtier étanche IP65 (même avec la partie clavier ouverte), le Fondalog regroupe toutes les fonctionnalités importantes d'un système d'acquisition et de contrôle élaboré. Le Fondalog a été conçu pour une utilisation simple, conviviale grâce à différents menus de configuration, et polyvalente, qui lui permet de s'adapter très rapidement d'une technique à l'autre avec possibilité de mémorisation des différentes configurations. Le Fondalog peut analyser à la fois quinze paramètres (5 sur écran et 10 sur papier) dont quatre paramètres combinés choisis et programmables à souhait dans les menus. En fonction de la profondeur, le pas d'acquisition des données peut être sélectionné dans les menus, de 5 à 500 mm ou en fonction du temps, de une à plusieurs centaines de secondes. L'impression des divers paramètres sélectionnés dans les menus, aux échelles et unités choisies en fonction du temps ou de la profondeur, est ins-



Photo 20



tantanée, sans perte d'acquisition même à très grande vitesse (plusieurs mètres par seconde). L'opérateur peut visualiser ou imprimer directement tout ou partie des paramètres combinés afin d'obtenir une aide efficace à la conduite de sa machine et au respect de spécifications.

Fiabilité et qualité

Conçu et amélioré en coopération avec des entrepreneurs de fondations et de sondages, le Fondalog a été construit dans un souci de le rendre fiable et performant.

La transparence et la traçabilité, imposées actuellement par les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage dans le contrôle des travaux, sont faci-

lités par l'édition automatique de rapports complets sur toutes les données d'exécution, en temps réel. L'enregistrement peut être effectué sur une carte PCMCIA et les données peuvent être transférées directement sur un PC pour d'autres traitements (couleurs, mise en page, etc.). Par ailleurs, le Fondalog permet de transférer en temps réel les données techniques ou les données liées au fonctionnement du matériel sur un PC de bureau, même par téléphone mobile (option).

Applications

Le Fondalog peut être utilisé pour les différentes applications suivantes :

◆ enregistrement de paramètres de jet grouting (version Fondajet) :

- pour le forage à la descente et la colonne de jet à la remontée,
- possibilité de remontée de la tarière en automatique,
- pilotage de remontée en proportionnel ou par paliers;

◆ enregistrement de paramètres de sol (version Fondabor) :

- pour les sondages, les forages d'injection afin de déterminer les horizons à injecter, pour toute reconnaissance de sol de manière générale,
- couple, vitesse de rotation, vitesse d'avance, poussée, etc.;

◆ enregistrement de paramètres de forage avec l'hydrofraise (version Fondamill) :

- pour l'excavation de la paroi moulée ou barrette avec le procédé hydrofraise,
- mesure de la profondeur, des couples d'excavation, de la vitesse d'excavation, des déviations;

◆ enregistrement de paramètres d'injection (version Fondagrout) :

- mesure des débits et pressions en fonction du temps,
- possibilité d'asservissement des pompes;

◆ enregistrement de paramètres de bétonnage (version Fondadrill) :

- pour les pieux en mode forage à la descente et courbe de bétonnage à la remontée avec pression d'injection du béton,
- possibilité d'asservissement de la remontée de la tarière.

Toute autre application peut être envisagée à la demande, en fonction des paramètres à enregistrer, après développement spécial (exemple récent : une version du Fondalog a été développée pour la vibroflottation).

➔ Contact : SBC

Tél. : + 33 (0) 1 64 70 47 00

Fax : + 33 (0) 1 60 96 26 79

e-mail : sbc@sbc.fr

<http://www.sbc.fr>

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Appareil de base :

- poids : 18 kg
- standard : CEM
- alimentation : possible de 12 à 32 VDC
- consommation : 30 W
- batterie de sauvegarde intégrée
- température de fonctionnement : - 20° à 50°C
- température de stockage : - 20°C à 60°C
- clavier numérique 15 touches
- clavier de fonction 5 touches
- écran graphique rétro-éclairé : LCD 126 x 71 mm
- définition : 240 x 128 pixels
- 8 entrées analogiques : 12 bits
- 2 entrées analogiques : 8 bits
- 1 entrée pour codeur incrémental
- 3 entrées (pulsations, fréquence)
- 8 entrées TOR
- 8 sorties TOR
- 2 sorties analogiques 0/10 v pour électrovannes
- 2 ports série (RS232 et RS422)

Imprimante :

- imprimante thermique A5
- sortie papier 110 mm
- possibilité d'impression de 10 paramètres simultanément (deux courbes par colonne)
- possibilité d'un paramètre sur plusieurs colonnes
- impression des courbes en fonction du temps ou de la profondeur (selon l'application).
- échelles : 0.5, 1, 2, 4 cm/m ou mn

Carte mémoire :

- type PCMCIA, capacité de 4 Mo
- stockage des données au format DOS

Interfaces capteurs :

- interfaçage à tout type de capteurs standards
- unipolaire : 0/ + 5 v ou 0/ + 10 v
- bipolaire : - 5/ + 5 v ou - 10/ + 10 v
- courant : 0/20 mA ou 4/20 mA

■ L'INSTRUMENTATION DES FONDATIONS SPÉCIALES EN TRAVAUX SOUTERRAINS

Les techniques de mesure et de contrôle utilisées classiquement dans les fondations spéciales possèdent des spécificités lorsqu'elles sont utilisées en travaux souterrains : excellente protection des matériels et encombrement réduit, rapidité de l'exploitation des mesures pour la prise de décision, grand nombre de mesures à manipuler, auto-étalonnage...

Reconnaissance géologique et états des revêtements

Dès son origine l'enregistrement des paramètres de forage a été utilisé en travaux souterrains pour la reconnaissance à l'avancement devant le tunnelier ou la reconnaissance des tracés depuis la surface (métro).

Cette méthode de reconnaissance est rapide, économique, particulièrement bien adaptée au tunnelier où les temps alloués à la reconnaissance sont toujours limités.

L'interprétation géologique des enregistrements prévient les accidents géologiques et donne des éléments de décision sur les traitements de consolidation (injection) à envisager.

De nombreux ouvrages souterrains actuellement en cours utilise cette méthode : tunnel Marti, de Moutier (Suisse), collecteur de Chain Wan à Hong Kong, tunnels de l'autoroute Bilbao-Pamplona (Espagne), traversée de Toulon... (photo 21).

Lorsque les forages sont exécutés depuis la surface (métro d'Athènes et de Salonique) l'instrumentation est identique aux équipements de paramètres de forages classiques.

Lorsqu'ils sont utilisés au fond, les appareils sont plus spécialisés pour résister aux conditions rudes : montage et démontage fréquents, manque de place, chute d'eau. Ils sont alors plus petits, compacts, robustes totalement étanches. Lorsqu'une décision immédiate concernant les travaux doit être prise au vue des enregistrements, les mesures sont transmises au jour en temps réel par modem.

L'enregistrement des paramètres de forage est également utilisé avec profit pour évaluer la qualité du revêtement d'un ouvrage souterrain : tunnel ancien ou suite à un sinistre par exemple. Dans ces applications, les paramètres de forage produisent des mesures, quantifiées sur le degré d'altération du revêtement corrélables avec des mesures réalisées sur éprouvette.

Pour diminuer la dispersion des résultats introduits par l'inclinaison des forages ou l'exécution en auréolaire (tunnel du Mont-Blanc), les appareils de paramètres actuels possèdent des procédures d'étalonnage de la foreuse (par exemple : procédure ECL).



Photo 21
Forage de reconnaissance
à l'avancement sur collecteur
Chain Wan - Hong Kong

Injection

L'injection exécutée en travaux souterrains, impose généralement un déroulement de l'injection et des critères de fin définis avec plus de précision et de complexité que dans d'autres types de travaux. Ces prescriptions ne peuvent être respectées qu'à la condition qu'elles soient prises en charge par l'instrumentation. Si ce n'est pas le cas, l'exécution peut se trouver fort éloignée des prescriptions car l'opérateur est dans l'impossibilité de les respecter.

Les matériels actuels gèrent simultanément jusqu'à 12 pompes ou plus (métro de Gênes, de Rennes), asservissent les débits, les pressions, la fonction GIN et gèrent des critères d'arrêt complexes (refus, relances, etc.). Cette configuration est préparée sur PC puis chargée dans l'instrumentation par le centraliste sur l'appareil lui-même. Tous peuvent transférer les mesures vers la surface pour un suivi des opérations à distance en temps réel (chantier souterrain Harrods-Londres).

Jet grouting

Les conditions d'exécution du jet grouting en travaux souterrains diffèrent peu de celles réalisées en surface.

Une instrumentation spécifique au jet s'est développée, afin de garantir la bonne exécution. Elle contrôle les pressions et débits des fluides, l'inclinaison du mât, et asservit avec précision la vitesse de remontée et la rotation des tiges.

Une spécificité de l'instrumentation pour jet grouting est la nécessité de restituer la chronologie des opérations réalisée sur chaque colonne, simultanément à une représentation liée à la profondeur (Archery Tunnel, Boston).

Contrôle de qualité par les procédures d'étalonnage

Afin de répondre aux exigences de la qualité, les nouveaux équipements possèdent des procédures

▶ d'auto-étalonnage à la fois des mesures elles-mêmes et de la machine sur lesquelles ils sont installés. Ces procédures sont documentées ; en injection, l'instrumentation peut éditer un procès verbal d'étalonnage numéroté.

Logiciels d'exploitation

Le premier rôle des logiciels associés à l'instrumentation est la présentation des mesures sous une forme claire, condensée le plus souvent graphique. Chaque procédé : forage, injection, jet ou autre, possède ses logiciels propres. On ne peut cependant attendre de ces logiciels un traitement qui restitue des caractéristiques "épurées", à partir de mesures réalisées dans des conditions plus ou moins contrôlées.

Les travaux souterrains produisent souvent beaucoup de mesures. L'interprétation détaillée peut devenir fastidieuse avec le risque de noyer des informations importantes pour l'ouvrage dans la masse des mesures. C'est pourquoi les logiciels d'exploitation se partagent généralement en deux familles :

- ◆ la première donne une vue d'ensemble, accompagnée d'une analyse statistique qui permet de contrôler la stationnarité des phénomènes ;
- ◆ une deuxième produit un effet de loupe sur un point précis dont la description détaillée est nécessaire pour l'analyse.

→ Contact : Jean Lutz
Tél. : + 33 (0) 5 59 06 34 22
Fax : + 33 (0) 5 59 06 15 99

■ APPLICATION DE LA MÉTHODE D'ENREGISTREMENT DES PARAMÈTRES DE FORAGE AUX TRAVAUX SOUTERRAINS

La société **LIM** intervient très souvent dans les travaux souterrains par la fourniture d'équipements de type enregistreurs de paramètres de forage. Ces derniers sont utilisés lors des phases de reconnaissance à l'avancement quelle que soit la méthode de percement utilisée, traditionnelle ou avec tunnelier. Ces appareils dénommés **Foralim I** (sans imprimante) et **Foralim II** (avec imprimante intégrée) peuvent être installés sur tous les types de machines de forage (machines de reconnaissance, jumbos de foration, etc.).

Lors des forages de reconnaissance, les trois principaux paramètres enregistrés sont :

- ◆ la vitesse instantanée d'avancement (VIA en m/h) ou vitesse de foration qui indique la forabilité des terrains traversés et qui va donc être très sensible au changement de nature des sols rencontrés par l'outil de forage ;
- ◆ la pression sur l'outil (PO en bar) qui est un pa-

ramètre correctif de la VIA, est un bon indicateur de la régularité des opérations de forage ;

- ◆ la pression du couple de rotation (CR en bar) qui met en évidence les zones fracturées.

D'autres paramètres peuvent éventuellement être adjoints comme :

- ◆ la vitesse de rotation (rpm) qui donne des résultats plus précis que le couple de rotation mais qui nécessite la mise en place d'un capteur de proximité à un endroit sensible de la machine (au niveau de la tête de foration) ;
- ◆ la pression d'air (PA en bar) qui réagit à la présence de fractures ;
- ◆ plus rarement la vibration réfléchie (brevet Vibrilim) qui est un paramètre faisant ressortir les différences de dureté entre les terrains traversés par l'outil de forage.

L'application de cette méthode dans les travaux souterrains permet :

- ◆ d'améliorer la sécurité des travaux de percement des tunnels grâce à la détection préalable d'anomalies géotechniques (failles, cavités, terrains mous, etc.) ;
- ◆ en méthode traditionnelle, d'estimer le type de soutènement (pas de soutènement, béton projeté, boulons, cintres, voussoirs, injections de coulis) avant le percement effectif ;
- ◆ pour les tunneliers qui sont sensibles aux changements de type de terrain, l'exécution d'un ou plusieurs forages destructifs de reconnaissance à l'avancement avec enregistrement des paramètres est un excellent moyen de prévention.

Les appareils LIM sont et ont été utilisés lors de la réalisation de nombreux ouvrages souterrains, par exemple :

- ◆ métro de Lyon, boulevard périphérique nord de Lyon, Eole et Météor (Paris), tunnel TGV de la Galère (TGV Méditerranée), tunnel de Puymorens, tunnel de Toulon, autoroute de Maurienne, tunnel de Séchilienne ;
- ◆ tunnel E5-E9 Liège (Belgique), tunnel du Löchtberg (Suisse), tunnels TGV Corée, tunnel de Ramsgate (Angleterre), tunnel d'El-Achir (Algérie), métro de Copenhague, métro du Caire, etc.

→ Contact : LIM SA
Tél. : + 33 (0) 4 72 14 68 30
Fax : + 33 (0) 4 72 37 72 76
<http://www.limgeo.com>

■ LA GÉOMEMBRANE EN PROTECTION DES OUVRAGES ENTERRÉS

Contraintes de bruit, contraintes esthétiques, contraintes foncières, le recours aux ouvrages souterrains s'impose chaque jour davantage. Parmi ceux-ci, les ouvrages enterrés, qu'il s'agisse de tranchées couvertes, ou d'ouvrages préfabriqués,

connaissent un fort développement dû à leur rapidité d'exécution et à leur coût "modique". La pérennité de ce type de travaux repose en grande partie sur la qualité de leur étanchéité. Au sein de sa gamme de géomembranes, **Siplast** dispose de produits particulièrement adaptés à l'étanchéité en intrados des structures : **Teranap 431 TP, Parafor Pont et Paraforix**.

Ces produits sont tous trois composés de bitume-élastomère SBS, avec armature de polyester. Ce choix est un choix raisonné : en complément d'une fiabilité et d'une longévité largement prouvée par des décennies d'utilisation en génie civil et sur des ouvrages hydrauliques, les membranes en bitume SBS présentent une propriété qui manque aux membranes synthétiques : elles sont parfaitement soudables sur le béton. Alliée à une souplesse maintenue au cours du vieillissement, cette qualité permet aux géomembranes bitumineuses de remplir leur fonction alors que vieillit la structure sous-jacente.

Teranap 431 TP

Teranap 431 TP est destinée à l'étanchéité d'extrados des ouvrages enterrés : tranchées couvertes, conduits préfabriqués, passages souterrains et radiers de structure. Certifiée Asqual, elle bénéficie également d'un avis d'experts de l'AFTES. Les exemples de mise en œuvre ne manquent pas : on peut citer la couverture du tunnel de l'interconnexion TGV/RER de l'aéroport Charles de Gaulle (15 000 m²), l'étanchéité des ouvrages enterrés de l'A39 entre Dole et Bourg-en-Bresse et de l'A89 entre Bordeaux et Périgueux, tranchée couverte du TGV Méditerranée au sud d'Avignon, mise en œuvre sous radier (30 000 m²) afin de protéger l'ouvrage des éventuelles infiltrations d'eau issues de la Durance toute proche.

Cette géomembrane se posant directement en indépendance sur le béton brut de décoffrage (seuls les joints de recouvrement sont thermosoudés) permet l'exécution immédiate du remblai, avec ou sans interposition d'un géotextile.

Paraforix

Paraforix est destinée à l'étanchéité sous chaussée avec une couche de protection de 25 mm d'asphalte avant la mise en place de l'enrobé (couverture de l'A1 à Saint-Denis).

Parafor Pont

Parafor Pont, est destiné à l'étanchéité sous chaussée avec mise en œuvre directe de la couche de roulement (parking gare de Metz).

→ *Contact* : Siplast SA, Jean-Michel Bonnet
Tél. : + 33 (0) 1 40 78 35 00
Fax : + 33 (0) 1 45 88 56 87

■ **CAP - LE PILOTAGE AUTOMATIQUE DES TUNNELIERS**

Créé au cours de la réalisation des tunnels de Villejust sur la ligne du TGV Atlantique en 1987-1988, le **logiciel de pilotage automatique des tunneliers** assure un fonctionnement optimal de ces machines complexes.

Il a accumulé à ce jour une expérience de plus de dix ans.

Son utilisation sur une vingtaine de machines a été mise à profit pour tester et vérifier différents principes et modes de fonctionnement des tunneliers et pour affiner les lois de commande et de régulation des différentes fonctions de la machine.

Outil d'expertise, il participe très efficacement à la compréhension du fonctionnement des différents types de tunneliers et à la détermination de leurs capacités et limite d'utilisation respectives.

Les tâches habituellement confiées au pilote automatique sont les suivantes :

- ◆ commande des pressions dans les vérins de poussée pour le guidage de la machine ;
- ◆ choix de la vitesse de rotation du disque de coupe pour optimiser rendement des outils d'abattage ;
- ◆ maintien de la pression de confinement dans la chambre d'abattage ;
- ◆ optimisation de la vitesse d'avancement en fonction des capacités de la machine selon le terrain rencontré.

Le logiciel s'adapte à chaque tunnelier, à confinement gazeux, liquide ou pâteux, dans toute la gamme des diamètres (3,50 m pour un collecteur parisien, 5,70 m pour le métro de Copenhague, 7,60 m pour le métro de Rennes, 9,40 m pour le métro du Caire, 11,60 m pour le tunnel de l'Ouest parisien A86). Il est généralement associé :

- ◆ à un programme de navigation aidant à l'établissement des consignes de guidage ;
- ◆ à une chaîne d'acquisition de données.

La conduite des tunneliers assistée par ordinateur, est déjà un fait !

→ *Contact* : CAP, Gilles Piquereau
Tél. : + 33 (0) 1 69 33 20 59
Fax : + 33 (0) 1 60 19 00 18

économie

Infos chantiers

1^{er} trimestre 2000

■ MISES EN SERVICE

A 89 : Corrèze/Puy-de-Dôme

Le tronçon de l'A 89 entre Ussel-ouest et le difuseur du Sancy, à St-Julien-Puy-Lavèze a été inauguré le 3 mars dernier et ouvert à la circulation le lendemain.

- ◆ Investissement : 2,7 Mdf
 - ◆ Longueur : 40 km
 - ◆ Gain de temps : 20 à 30 minutes
 - ◆ Trois viaducs dont le viaduc du Chavanon unique en son genre du fait de son mode de suspension (un câble central unique).
- Concernant la totalité du tracé, Clermont-Ferrand/Bordeaux :
- ◆ Investissement : 21 Mdf
 - ◆ Longueur : 340 km
 - ◆ Temps de parcours : 2 h 40
 - ◆ Mise en service : horizon 2005-2006.

RN 4 : Seine-et-Marne

La mise à 2x2 voies de la RN4 a été inaugurée sur un tronçon de 14 km supplémentaires entre Tournan-en-Brie et Rozay-en-Brie. Ce chantier s'est accompagné de la construction de murs antibruit et de dix bassins de rétention. Il a été financé dans le cadre des X et XI^{es} contrats de plan Etat-Région avec la participation du département et de la SNCF.

- ◆ Investissement : 297 MF
- ◆ DUP : janvier 1993.

A115 : Val d'Oise

Dans le prolongement de l'A115 entre Taverny et Méry-sur-Oise, une nouvelle section a été inaugurée entre la 7^e et la 9^e section.

- ◆ Investissement : 260 MF
 - ◆ Longueur : 1800 m, dont 500 en tranchée couverte.
- Prochain tronçon jusqu'à la RN 184 :
- ◆ Investissement : 340 MF
 - ◆ Longueur : 3,2 km
 - ◆ Fin des travaux : prévue 2003.

■ LANCEMENTS

Strasbourg : pont routier sur le Rhin

La construction du futur pont routier reliant la commune d'Eschau (Bas-Rhin) à la ville allemande d'Altenheim est lancée en février après plus de vingt ans de négociations.

Ce nouveau pont doit permettre de soulager celui de Kehl par lequel transitent chaque jour plus de 30000 véhicules.

- ◆ Investissement : 310 MF pour la part française dont 160 MF pour la construction du seul pont principal
- ◆ Nature des travaux : pont principal (457 m), accès, viaducs, échangeurs, terrassement
- ◆ Caractéristiques : 2x1 voie, 1 piste cyclable
- ◆ DUP : juin 1996
- ◆ Début des travaux : février 2000
- ◆ Mise en service : 2003
- ◆ Financement : État (50 %), Région (25 %), Département (25 %).

Nice : extension de l'aéroport

Pour faire face à une croissance exceptionnelle, l'aéroport de Nice-Côte d'Azur vient de lancer un vaste chantier afin d'augmenter ses capacités d'accueil.

Un milliard de francs devraient être investis dans les trois prochaines années.

Nouveau bâtiment :

- ◆ Investissement : 556 MF
- ◆ Travaux en cours

Agrandissement des parkings :

- ◆ Investissement : 220 MF
- ◆ 2500 places supplémentaires
- ◆ Début des travaux : avril 2000

Aménagement d'une zone dédiée en continuité du terminal 1 :

- ◆ Investissement : 100 MF
- ◆ début des travaux : avril 2000
- ◆ Livraison 1^{re} tranche : avril 2001.

Yvelines : RN 286

Les travaux d'élargissement à 2x3 voies de la RN 286 sur 8 km entre Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines ont commencé fin janvier. Le chantier s'accompagnera d'une réfection complète de l'assainissement de la nationale.

- ◆ Investissement : 530 MF.
- ◆ Financement : Contrat de plan État-Région
- ◆ Mise en service : prévue 2004.

1^{re} phase :

- ◆ Construction d'une voie supplémentaire de 600 m de long afin d'améliorer la sécurité et la fluidité du trafic (1^{er} semestre 2000)
- ◆ Construction d'un mur antibruit sur 300 m (2^e semestre 2000).

2^e phase :

- ◆ Démolition d'une trentaine de bâtiments militaires (de mai à fin 2000)
- ◆ Elargissement de 4 ouvrages d'art et création d'un passage inférieur pour les piétons, cyclistes et cavaliers à hauteur du bois des Gonards (2001-2002)
- ◆ Travaux de terrassement et de chaussée (de mi-2002 à fin 2003).

Aix-en-Provence : Cours Mirabeau

Les travaux de requalification viennent de débuter et doivent se dérouler selon un planning coulisant très élaboré afin d'éviter de paralyser les activités commerciales et culturelles. Les travaux consistent à rénover les réseaux d'adduction d'eau potable et d'évacuation des eaux usées, à remettre en état les anciennes galeries afin de renforcer le réseau d'évacuation des eaux de pluie.

- ◆ Investissement : 50 MF
- ◆ Fin des travaux : prévue pour 2002.

Tramway de Bordeaux

Alors que la déclaration d'utilité publique vient d'être signée, les travaux préparatoires com-

mençant avec notamment la déviation des réseaux, préalable indispensable aux travaux d'infrastructures. Les premiers travaux de voirie devraient débiter au mois de mars.

1^{re} phase :

- ◆ Investissement : 3300 MF
- ◆ Caractéristiques : 3 lignes, 22,3 km, 47 stations
- ◆ Mise en service : 2002.

2^e phase :

- ◆ Investissement : 2800 MF
- ◆ Caractéristiques : prolongement des 3 lignes, 20,8 km, 37 stations
- ◆ Mise en service : prévue pour 2006.

Caen : tramway sur pneu

Les travaux du tramway sur pneu de Caen doivent démarrer courant mars après la notification de subvention du ministère des Transports. Douze années de tracasseries de toutes sortes se seront écoulées entre l'engagement des premières réflexions en 1998 et le début des travaux.

- ◆ Investissement : 1300 MF
- ◆ Caractéristiques : 15,7 km, 34 stations
- ◆ DUP : 1999
- ◆ Mise en service : prévue pour septembre 2002
- ◆ Emplois créés : 250 à 300 personnes en permanence pendant 2 ans

◆ Financement : Syndicat Mixte des Transports en Commun (50 %) avec une subvention de l'Etat de 200 à 300 MF.

■ OÙ EN SONT-ILS ?

Cahors : Ligne très haute tension d'EdF

Depuis 10 ans, EDF défend un projet de construction d'une nouvelle ligne très haute tension de 225000 volts afin de renforcer l'alimentation en courant de Cahors. L'opposition à ce projet mobilise autant des associations locales que les élus concernés par le tracé et les acteurs de la filière agroalimentaire. Tous luttent pour que le Causse blanc, qui mise sur le tourisme vert, ne soit pas selon leur propre expression "défiguré" et avancent le bilan de la tempête comme argument pour renoncer à ce projet.

Estimation du coût des diverses options envisageables :

- ◆ Construction de la ligne THT : 200 MF
- ◆ Enfouissement de la ligne THT : 540 MF
- ◆ Renforcement de l'une des trois lignes haute tension existantes : 110 MF
- ◆ Installation d'une centrale : 285 à 320 MF

Le nouveau préfet du Lot devra prochainement valider ou non le fuseau de moindre impact préconisé par son prédécesseur, avant que la procédure d'utilité publique ne démarre.

TGV Rhin-Rhône : branche Est

L'enquête publique sur la branche Est du TGV Rhin-Rhône portera sur la totalité du tracé, de Dijon à Mulhouse, et pas seulement sur la 1^{re} tranche des travaux Auxonne/Petit-Croix. Selon le ministère, elle pourrait être ouverte le 15 juin, voire au cours de l'été, pour aboutir à une DUP avant fin 2001. Le comité de pilotage du TGV Rhin-Rhône souhaiterait que l'ouverture de l'enquête soit avancée au mois de mai afin d'éviter qu'elle ne se déroule durant la période estivale.

Concernant le financement, on en est à la recherche d'une clef de répartition. La contribution des différents acteurs pourrait être la suivante :

	matériel roulant	bâtiments	infrastructure	Total	
Investissement	3900	700	8900	13500	
Financement	SNCF	SNCF	RFF	22%	100%
			tat	39%	
			Régions	22%	
			Europe	10%	
			Suisse	6%	

■ CE SERA DEMAIN

A75 : viaduc de Verrières

Le viaduc de Verrières fait partie des premiers travaux autoroutiers engagés sur le contournement de Millau. Dans quelques mois ce chantier battra le record du monde de poussage de tablier métallique avec le franchissement d'une portée de 144 m.

◆ Investissement : 240 MF dont 140 MF de génie civil et 100 MF pour la charpente métallique

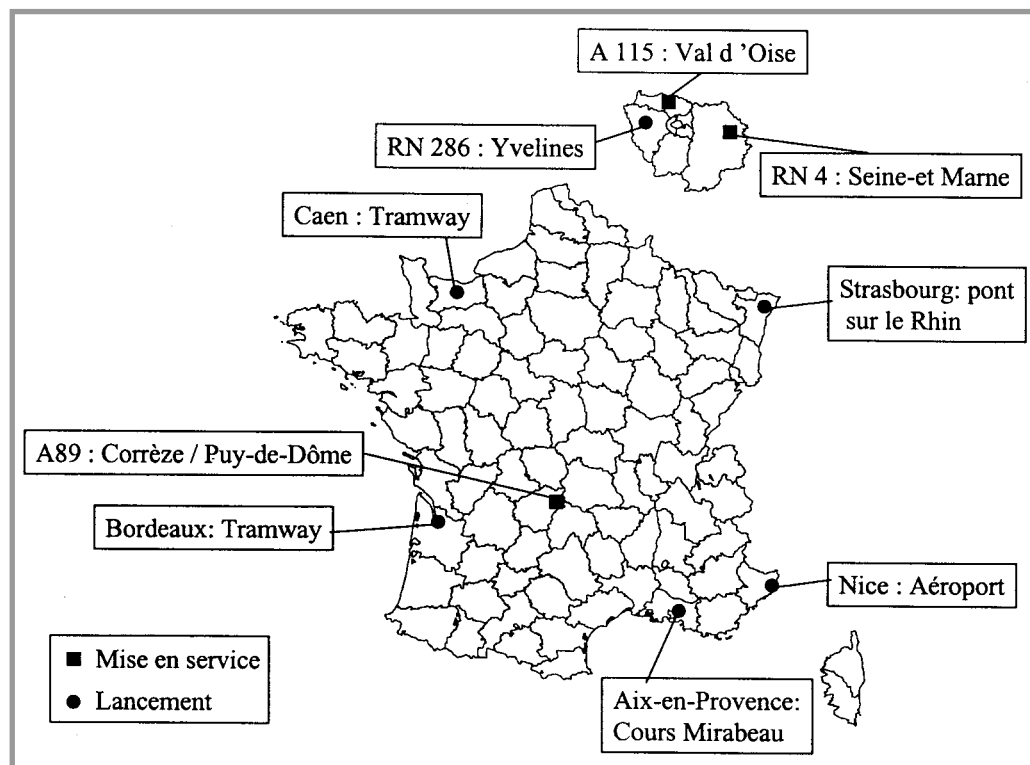
◆ Caractéristiques techniques : 720 m de long, 6 travées, 22,50 m de largeur utile pour le tablier avec une chaussée à 3 voies pour le sens nord-sud et à 2 voies dans le sens sud-nord.

- ◆ Durée des travaux : 40 mois
- ◆ Fin des travaux : décembre 2001
- ◆ Maître d'ouvrage : État, DDE Aveyron
- ◆ Maître d'œuvre : Arrondissement interdépartemental des ouvrages d'art (AIOA) et Setra.

Le chantier du viaduc de Verrières a accueilli les 8 et 9 mars une équipe qui ne ressemblait guère aux équipes traditionnelles malgré les casques et chaussures de sécurité. Dans le cadre de la campagne "La formation aux métiers des TP : ça bouge, ça te change" lancée par la FNTP, un film publicitaire a été tourné sur ce chantier. Ce film a été diffusé durant les mois de mars et avril sur les chaînes de télévision.

Toulouse : métro

Le chantier du métro toulousain va reprendre sept ans après l'ouverture de la ligne A en juin 1993.



Les projets concernent le prolongement de la ligne A et la réalisation de la ligne B.

Prolongement de la ligne A :

- ◆ Investissement : 1,2 Mdf
- ◆ dont 400 MF de génie civil
- ◆ Caractéristiques : 2,5 km ; 3 stations, 2 viaducs
- ◆ DUP : Décembre 1999
- ◆ Début des travaux : 2001
- ◆ Mise en service : 2004

Ligne B :

- ◆ Investissement : 6,3 Mdf
- ◆ dont 3 Mdf de génie civil
- ◆ Caractéristiques : 15 km ; 20 stations
- ◆ Enquête d'utilité publique : janvier 2000
- ◆ Appels d'offres : second semestre 2000
- ◆ Début des travaux : 2001
- ◆ Mise en service : 2007.

Par ailleurs, la SNCF aménagera la ligne C entre la gare des Arènes et Colomiers de manière à augmenter la cadence des trains et passer en 2002 de 17 à 37 allers-retours par jour.

Bordeaux : pont d'Aquitaine

Le pont d'Aquitaine va être élargi et remis à neuf. Il passera de 4 à 6 voies de circulation en attendant la construction de deux nouveaux franchissements sur la Garonne en cours de discussion.

Les travaux consisteront à adapter le tablier pour supporter la nouvelle plate-forme et à remplacer toute la suspension.

Des signes de corrosion avaient été par ailleurs constatés sur les câbles porteurs. L'ouvrage était sous haute surveillance grâce à des capteurs qui permettaient d'enregistrer en temps réel les ruptures de fil.

- ◆ Investissement : 300 MF
- ◆ Financement : État
- ◆ Début des travaux : 2000
- ◆ Fin des travaux : 2004

Le viaduc d'accès fera lui aussi l'objet d'une opération de mise à 2x3 voies.

- ◆ Investissement : 100 MF
- ◆ Financement : État, Région, Département, Communauté urbaine.

Narbonne : station d'épuration

La ville de Narbonne va investir dans la construction d'une nouvelle station d'épuration.

Celle qui existe déjà ne dessert que 50 000 habitants. Ses capacités de traitement apparaissent nettement insuffisantes.

- ◆ Investissement : 124 MF
- ◆ Capacités : traitement pour 120000 habitants
- ◆ Début des travaux : septembre 2000.

Rouen : un pont-levant pour le 6^e franchissement de la Seine

L'ouvrage est destiné à fluidifier la circulation à l'ouest de l'agglomération. Le pont levant permettra le passage des navires, en particulier les paquebots de croisière, qui désirent accoster au centre de la ville. Le groupement chargé de la maîtrise d'œuvre des études a été désigné en janvier.

- ◆ Investissement : 650 MF y compris les viaducs d'accès
- ◆ Nature de l'ouvrage :
- ◆ longueur totale : 670 m
- ◆ 2 tabliers de 3 voies
- ◆ 1 bande d'arrêt d'urgence
- ◆ des trottoirs séparés
- ◆ DUP : attendue été 2001
- ◆ Début des travaux : fin 2001
- ◆ Mise en service : début 2005
- ◆ Financement : État 27,5 %, Région 27,5 %, Département 35 %, Communauté d'agglomération 10 %.

Paris : tramway

La construction d'un tramway au sud de Paris a été confirmée dans le cadre du contrat de plan État-Région. La ligne projetée reliera la porte de Versailles (pont de Garigliano) à la porte d'Ivry. La solution retenue est celle d'un tramway sur pneu circulant en site propre sur une voie latérale et non au centre de la chaussée. Cette solution est la moins onéreuse et la plus adaptée aux boulevards des Maréchaux. Elle présente toutefois quelques inconvénients : le tramway sur pneu sera moins rapide et dépendra des aléas de la circulation, de plus il introduit une rupture de charge par rapport au Trans-Val-de-Seine.

- ◆ Investissement : 1,2 Mdf
- ◆ Longueur : 6,3 km
- ◆ Mise en service : prévue pour 2005
- ◆ Financement : État-Région 80 %, ville de Paris 20 %.

Caen : travaux sur l'Orne pour lutter contre les inondations

Après trois années d'études techniques, hydrauliques et d'impact, le syndicat mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant a arrêté un programme de travaux afin d'abaisser le niveau des crues dans l'agglomération en utilisant le canal maritime.

- ◆ Investissement : 180 MF
- ◆ Nature des travaux : construction d'un chenal sec sur la commune de Louvigny, recalibrage et élargissement du lit de l'Orne, démolition des quais et création d'un canal de liaison à Caen,

construction d'un chenal et d'un déversoir près de Ouistreham.

- ◆ Début des travaux : 2001.

Seine-Saint-Denis : réaménagement du tronçon commun A104/RN2

A hauteur de Villepinte l'A104 effectue une courbe à 45 degrés dite "virage du pendu". De plus, l'échangeur a été conçu selon une hiérarchie inverse : c'est l'autoroute qui déboîte du tronçon commun pour prendre son virage telle une bretelle de sortie. En raison du nombre élevé d'accidents, ce carrefour va être réaménagé.

- ◆ Investissement : 190 MF
- ◆ Caractéristiques : 1,2 km de terrassement et chaussées, démolition et reconstruction d'un ouvrage d'art, pose d'écrans acoustiques.
- ◆ Début des travaux : automne 2000
- ◆ Fin des travaux : 2002.

Alpes-Maritimes : RN202 bis

Le préfet des Alpes-Maritimes vient de signer l'arrêté d'autorisation de démarrage des travaux de doublement de la RN202 bis. Dans un premier temps, l'aménagement portera sur une 2x1 voie qui sera portée à terme à 2x2 voies.

- ◆ Investissement : 1200 MF
- ◆ Caractéristiques : 20 km, franchissement du Var, ouvrages de soutènement et de terrassement-chaussée
- ◆ DUP : 1994 prorogée en 1999
- ◆ Début des travaux : fin 2000 - début 2001
- ◆ Mise en service : 2005.

■ OU APRÈS-DEMAIN

DUP concernant :

1. Les travaux d'aménagement à 2x2 voies de la RN141 de Chasseneuil-sur-Bonnieure à Etagnac dans le département de la Charente, de Saint-Junien à La Barre-Ouest et de La Barre-Est au Breuil-Ouest dans le département de la Haute-Vienne, ainsi que les ouvrages et installations rendus nécessaires par le classement en route express de l'ensemble des sections de la RN 141 (JO du 7 janvier 2000).

2. Les travaux d'aménagement à 2x2 voies de l'autoroute A 75 de l'échangeur de Pézenas-ouest à la jonction avec l'autoroute A 9, des barreaux de raccordement aux rocares nord et est de Béziers, des travaux de mise aux normes autoroutières de la déviation de Pézenas dans le département de l'Hérault (JO du 1^{er} avril 2000).

3. Le projet de tramway de Bordeaux (JO du 26 janvier 2000).

4. Le projet d'extension-modernisation de la sta-

tion d'épuration de l'agglomération de Montpellier. Ce projet porté par le district représente un investissement de 740 MF.

5. Prorogation des effets de la DUP concernant les travaux d'aménagement à 2x2 voies des RN 79 et RN 70 entre Dompierre-sur-Besbre-est, dans le département de l'Allier, et Paray-le-Monial-est, dans le département de Saône-et-Loire.

Lancement d'enquête publique

1. Sur le projet d'extension du port du Havre. Cette enquête concerne 41 communes des départements de Seine-Maritime, de l'Eure et du Calvados. Elle devrait s'achever le 9 mai.

Lancement du débat public

1. Sur la branche Sud du TGV Rhin-Rhône. Une ligne mixte permettant la circulation de TGV voyageurs et de trains de fret est proposée. 5 scénarios approfondis sont présentés par RFF quant au tracé possible pour relier le Mulhouse à Lyon via le Jura.

■ DES PROJETS PLUS LOINTAINS

PARIS 17^e : couverture des voies ferrées rue de Rome

Afin de lutter notamment contre les nuisances sonores, la couverture des voies SNCF de la place de l'Europe jusqu'au quartier des Batignolles va faire l'objet d'une étude pour laquelle 50 MF sont inscrits dans le contrat État-Région. La dalle de recouvrement des voies pourrait être aménagée en grande coulée verte avec pistes cyclables et aires de jeux. Elle pourrait aussi accueillir une crèche et une salle polyvalente. Ce projet souhaite contribuer à la réunification du quartier des Batignolles.

- ◆ Investissement : 1 Mdf
- ◆ Nature des travaux : 3,5 hectares de dalle
- ◆ Début des travaux : 2002-2003.

Nice : extension du port

Pour faire face au développement concomitant de la liaison avec la Corse (grâce aux navires de grande vitesse), des activités croisière et trafic marchandise, la CCI Nice-Côte d'Azur a programmé l'extension des infrastructures portuaires.

- ◆ Investissement : 900 MF
- ◆ auxquels s'ajoutent 200 MF pour l'aménagement du quartier (voies d'accès et infrastructures)
- ◆ Nature des travaux : construction d'une nouvelle digue de 320 m de long et 45 m de large, complétée par un terminal passager
- ◆ Début des travaux : 2003
- ◆ Financement : non encore arrêté.

Aquitaine : l'A65 Bordeaux-Pau à nouveau à l'étude

En 1997, l'élaboration du tracé de cette autoroute avait été stoppé. En janvier dernier l'État et les collectivités locales sont tombés d'accord sur un parti d'aménagement de la liaison Bordeaux-Pau – en fait Langon-Pau. Ce serait une autoroute concédée dont les études et la concertation sur la bande des 300 m devraient pouvoir commencer. L'appel d'offre pour le choix du concessionnaire pourrait être lancé d'ici à trois ans. Cependant, les verts ont récemment manifesté leur opposition au projet d'une liaison autoroutière, préférant sur l'itinéraire actuel une 2x2 voies avec normes autoroutières.

- ◆ Investissement : 7 Mdf
- ◆ Longueur : 150 km à 2x2 voies
- ◆ Début des travaux : 2004
- ◆ Fin des travaux : 2010.

■ FEU VERT

A86 Ouest : le chantier redémarre entre Rueil-Malmaison et Versailles

Le 3 septembre 1999 la concession a été attribuée à Cofiroute pour la seconde fois. Les travaux ont pu redémarrer en janvier dernier sur le site de Rueil-Malmaison. Le percement du premier des deux tunnels devant boucler l'A86 à l'ouest de Paris débutera en octobre prochain et nécessitera l'assemblage sur place d'un tunnelier, spécialement construit pour ce projet, long de 200 m pour un poids de 2000 tonnes.

Tunnel est

- ◆ Lieu : entre Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine) et le pont Colbert à Jouy-en-Josas (Yvelines)
- ◆ 10 km réservés aux véhicules légers de moins de 2 m de hauteur avec deux niveaux de circulation superposés (un dans chaque sens)
- ◆ Investissement : 8,2 Mdf.

Tunnel ouest

- ◆ Lieu : entre l'A 86 depuis Rueil et l'A 12 à hauteur de Bailly
- ◆ 7,5 km ouverts aux poids lourds et aux véhicules légers avec une seule chaussée à deux voies
- ◆ Investissement : 3,3 Mdf.

Projet global

- Mises en service :
- Rueil-Malmaison/A 13 : 2004
 - A 13/Pont Colbert : 2006
 - Tunnel ouest : 2008
- Investissement total : 11 Mdf.

Paris : Prolongement de Météor vers le sud de Paris

Le Syndicat des Transports Parisiens a approuvé l'avant-projet du prolongement de la ligne 14 jusqu'à la station Olympiades. Ce prolongement offrira un accès direct à l'université Pierre-Mendes-France et recevra 3000 voyageurs en heure de pointe.

- ◆ Investissement : 730 MF
- ◆ DUP : 1998
- ◆ Financement : État-Région (80 %), Ville de Paris (20 %)
- ◆ Mise en service : 2005.

■ ON ATTENDAIT UNE RÉPONSE

Val-de-Marne : déviation de Boissy-St-Léger

La RN19 à hauteur de Boissy-Saint-Léger constitue l'un des points noirs routiers tant du point de vue de l'encombrement que de celui de la sécurité.

La déviation envisagée depuis des années vient finalement d'être inscrite au contrat de plan État-Région.

Le projet prévoit de créer une nouvelle chaussée à 2x2 voies avec une partie en voie express, de creuser une tranchée couverte en zone urbaine, ainsi que de réserver une voie aux autobus.

- ◆ Investissement : 1 Mdf
- ◆ Longueur : 4,5 km, 900 m de tranchée couverte
- ◆ Financement : État (75 %), Région (25 %)
- ◆ Début des travaux : 2001.

■ GRANDS CHANTIERS

Second tunnel sous la Manche

Selon la convention signée en 1986 avec les gouvernements français et britannique, le concessionnaire Eurotunnel devait remettre avant l'an 2000 "un projet de liaison routière continue sans rupture de charges, qui devra compléter le premier ouvrage, quand les conditions techniques et économiques de réalisation d'une telle liaison le permettront, et l'augmentation du trafic le justifiera sans remettre en cause la rentabilité attendue du premier ouvrage". Eurotunnel a proposé deux projets, l'un routier et l'autre ferroviaire.

Données communes

- ◆ Longueur : 46 km
- ◆ monotube de 15 m de diamètre extérieur

Hypothèse du tunnel routier

- ◆ Investissement : 27 MdF
- ◆ Caractéristiques : 2 niveaux de circulation à sens unique et à 2 voies, 1 bande d'arrêt d'urgence à chaque étage
- ◆ Réservé aux véhicules légers

Hypothèse du tunnel ferroviaire

- ◆ Investissement : 30 MdF
- ◆ Caractéristiques : 1 tube séparé en 3 compartiments, 2 pour chaque sens de circulation, et un pour la galerie de service
- ◆ Réservé au trafic international de passagers et aux trains de fret.

La sélection de l'une de ces options n'est pas encore d'actualité. L'éventuelle construction de ce second tunnel reste pendante de l'évolution du trafic dans le premier. L'équipement actuel ne devrait pas être saturé avant 2025. Alors seulement commencerait la construction de ce second tunnel.

Projet d'aqueduc Rhône Catalogne

La région autonome de Catalogne soutient un projet d'aqueduc enterré qui conduirait l'eau du Rhône depuis Arles jusqu'à Barcelone en traversant les Pyrénées au niveau du col du Perthus.

On envisage de prélever 1 % des 54 milliards de m³ d'eau qui sont rejetés par le Rhône en Méditerranée et de les acheminer vers la province catalane afin de pallier la pénurie d'eau.

- ◆ Investissement : 6 à 8 MdF
- ◆ Longueur : 320 km
- ◆ Débit : 10 ou 15 m³ selon l'option retenue
- ◆ 5 à 6 stations de pompage sur l'ensemble du parcours
- ◆ Durée des travaux : estimée à 3 ans
- ◆ Créations d'emplois prévues : 3000 en France et 1500 en Espagne
- ◆ Financement : Généralité de Catalogne, État espagnol, Europe, et investisseurs privés pour la part française.

Ce chantier faramineux pourrait cependant rester dans les cartons si les divers obstacles – répartition de la charge financière entre les divers acteurs, opposition au projet des agriculteurs français, absence de solution alternative pour satisfaire les dispositions de la directive-cadre de Bruxelles – ne sont pas levés.

Ile-de-France : schéma d'assainissement de l'agglomération parisienne

Le nouveau programme d'assainissement des eaux de l'agglomération parisienne a été signé le 6 mars dernier. Il prévoit la diminution de la

capacité de la station d'épuration d'Achères et la construction de nouveaux centres de traitements locaux.

L'objectif est d'atteindre une capacité globale de traitement plus élevée, de mettre en œuvre les normes européennes les plus strictes, et de réduire les pollutions liées aux fortes pluies. Un montant de 11 MdF de travaux sur 8 ans est prévu.

Réduction de la capacité de traitement de la station d'Achères

1^{re} étape :

- ◆ Investissement : 3 MdF
- ◆ Nature des travaux : Réduction de la capacité à 1,7 million de m³ par jour contre 2 millions actuellement, démolition des bassins et couverture des installations de traitement des boues, construction de réservoirs et tunnels de stockage des eaux pluviales
- ◆ Horizon : 2004.

2^e étape

- ◆ Réduction supplémentaire de capacité pour atteindre 1,5 million de m³ par jour
- ◆ Horizon : 2015.

Construction de deux nouvelles usines

- ◆ Les Grésillons (Yvelines) pour un investissement de 800 MF
 - ◆ La Morée (Seine-Saint-Denis) pour un investissement de 600 MF
 - ◆ Début des travaux : 2003
- Extension de certaines unités :*
- ◆ Seine-Amont (Valenton II) : 2,43 MdF
 - ◆ Marne-Aval (Noisy-le-Grand) : 400 MF.

Achèvement des travaux sur le réseau d'assainissement

- ◆ Liaison Auteuil-Saint-Cloud : travaux débutés en 1995
reste à réaliser : 30 MF
- ◆ Intercepteur Gennevilliers-Nanterre : travaux débutés en 1994
reste à réaliser : 270 MF
- ◆ Maillage Cachan-Charenton :
reste à réaliser : 60 MF

Construction des ouvrages d'arrivée à Seine-Amont

- ◆ Investissement : 940 MF
- ◆ Début des travaux : 2000.

Rhône : restauration hydrologique et écologique

Un plan décennal de restauration du Rhône a été défini.

Il est issu de la volonté conjointe des ministères

de l'Économie, de l'Aménagement du territoire et de l'Équipement.

Ce programme vise un double objectif : retrouver un fleuve vif et courant, restaurer une meilleure qualité écologique.

Les priorités sont ainsi de :

- ◆ Restaurer les tronçons court-circuités
- ◆ Augmenter leurs débit
- ◆ Réhabiliter les bras morts
- ◆ Retrouver l'axe de migration piscicole.

Un investissement de 1 MdF est prévu sur dix ans.

Le principe de financement repose sur la règle des trois tiers : Compagnie Nationale du Rhône, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, collectivités territoriales et autres partenaires.

(Source FNTF)

formation

Une formation hors de prix... mais qui a rapporté gros

Près de Nancy, a eu lieu, une importante formation au couple scrap-bull l'été dernier, assurée par le Centre Raymond Bard, pour une entreprise de terrassement.

Son coût pharaonique (1,9 millions de francs) s'est transformé en bénéfice substantiel pour l'entreprise.

Sécurité : les merlons ont parfois dépassé 4 m de hauteur!

Pour ce grand chantier, – la réalisation d'une plate-forme industrielle –, l'entreprise de terrassement n'avait pas la main-d'œuvre nécessaire.

Aussi, a-t-elle eu l'idée de recruter, et de former une dizaine de futurs conducteurs. La performance a consisté à les former sur le chantier même, autrement dit de les former en produisant.

Il est à souligner que le Centre Raymond Bard a été impliqué dès la phase de recrutement, en participant à la sélection des candidats qui venaient de trois horizons : personnel interne à l'entreprise, intérimaires appartenant à un groupe intérimaire d'envergure nationale auquel le terrassier s'est adossé, et candidatures suite à une annonce dans la presse régionale.

Pour ce qui est de la formation, le centre Raymond Bard a élaboré un cahier des charges très précis avec l'entreprise, puis a été chargé de proposer un parcours de formation innovant.

Une conjonction de moyens pour aider l'entreprise

Ingénierie financière

Chaque acteur savait que l'opération était très lourde financièrement.

Pour avoir les moyens de ses ambitions, le terrassier a misé sur trois sources de financement. L'Aref Lorraine, collecteur régional de branche a joué à fond son rôle de conseil en ingénierie financière, en aidant l'entreprise à monter un beau "meccano" financier.



L'entreprise intérimaire, consciente de l'impact commercial de l'opération, apportait dans la corbeille, non seulement une partie de la main-d'œuvre, mais aussi un chèque substantiel.

Et enfin, l'entreprise, qui avait une volonté affirmée de voir aboutir ce projet, a largement participé financièrement, subodorant le retour sur investissement!...

Mot anglais ou français ? Scraper ou décapeuse ? Les terrassiers ne se lancent pas dans le débat...

Le couple scraper-pousseur

Les scrapers et pousseurs sont des engins qui se prêtent particulièrement à une formation sur site de production.

Car apprendre le maniement de ces engins présente moins de difficulté que pour d'autres engins. Par contre, la vitesse et les méthodes de production sont essentielles. Chaque seconde compte, eu égard aux coûts de fonctionnement. Rappelons simplement qu'un "scrap" consomme en moyenne 70 litres de fuel à l'heure. Pour un échelon complet, la citerne reste sur place pour approvisionner!... Et pour un pousseur mal

positionné, c'est le pneu d'un scrap qui vole en éclats, et avec lui 60.000 F

**" Le CRB se doit de comprendre les contraintes de formation et de production des entreprises"
Jacques Cracco, président du Centre, et chef d'entreprise TP**

Le centre Raymond Bard : une très forte réactivité

Le début de la formation était subordonné à la signature du marché par l'entreprise. Pour cette opération, le CRB a donné un exemple éclatant de sa réactivité. Dès la signature, Ernest Hector, responsable de formation au CRB, démarrait sur le chantier. Il faut simplement préciser que nous étions à la mi-juillet, et que cette opération allait le tenir en haleine jusqu'à la mi-septembre ! Un amour du métier, et une passion pour les scrap telle (il est un ancien du terrassement), qu'il a décidé de renoncer à ses congés d'été...

"Plante ta caisse"!

La sécurité a été omniprésente pendant toute la durée de la formation : sécurité des hommes, mais aussi protection du matériel.

"Plante ta caisse", associé au pouce tourné vers le bas, était la 1^{re} consigne de sécurité que les apprentis conducteurs ont appris à observer. Car en effet, à peine les jeunes venaient-ils de découvrir les engins, qu'ils mettaient les matériaux en dépôt, sur des merlons dont la hauteur pouvait dépasser 4 m de haut. Ce qui représentait une phase à risque élevé. Comment fait-on, quelles sensations a-t-on lorsque le scrap part à la dérive sur une pente très forte, et menace de perdre sa trajectoire ?

Tous les jeunes conducteurs ont vécu au moins une fois cette situation. Pour descendre la pente en sécurité, il leur a fallu exécuter une manœuvre spectaculaire pour les autres apprentis conducteurs, et extrêmement impressionnante pour le conducteur : "casser" le tracteur, c'est-à-dire le mettre à angle droit par rapport à la caisse. Et là, le conducteur a l'impression de se lancer dans le vide, de "faire le saut de l'ange", car il ne voit plus le sol.

Il est à remarquer qu'aucun incident matériel n'est venu altérer la rentabilité du chantier école. Et pourtant, compte tenu de la nature du sol, les engins se sont embourbés à plusieurs reprises. Les stagiaires ont appris les méthodes de désenlèvement, et de ce fait ont acquis une parfaite maîtrise d'avancement et de direction. En effet, dans une zone de purge, la difficulté d'adhérence se traduit par des difficultés de motricité, de direction et de stabilité.

Quelle solution choisir ? Faut-il tirer le scrap, faut-il le pousser au risque d'éclater le radiateur, s'il est en crête de talus, il peut verser...

Une pédagogie "au top"

Une confiance absolue dans le formateur

Il est évident qu'un des points majeurs de la réussite de cette formation, si ce n'est "le" point essentiel est que, pour exécuter ces manœuvres dangereuses pouvant mettre leur vie en péril, les stagiaires avaient une confiance totale dans leur formateur.

Le formateur qui a lui-même vécu toutes ces frayeurs en début de carrière, quand il réalisait des chantiers de terrassement, comprenait ce qui se passait dans la tête des stagiaires. Par ailleurs, en tant que professionnel chevronné, il n'a jamais pris de risque, cela va de soi.

En fait, il les a sortis de situations difficiles, en leur faisant passer des étapes impressionnantes à leurs yeux.

Professionalisme et autorité naturelle ont été les deux qualités essentielles que les stagiaires ont reconnues à Ernest Hector.

Les séquences filmées en réel

La vidéo a fait partie intégrante de la formation : un opérateur était sur place. Puis le formateur a



Rentabilité : au chargement en particulier, les secondes comptent

projeté et analysé les séquences les plus intéressantes.

La première fois qu'un scrap a dérivé, le conducteur a planté la benne au sol, puis est descendu de sa machine. Il ne se sentait pas le courage d'aller au-delà, et a confié les commandes au formateur. Un, deux, trois... la décapeuse a repris la bonne trajectoire. La scène a été filmée, puis exploitée sur le plan pédagogique.

Pour charger, 15 ou 45 secondes ? (utilisation de l'engin, multipliée par 4) des secondes qui coûtent ou qui rapportent...

Téloguidage par radio émetteur-récepteur

Grâce aux horaires américains, le formateur gérait un groupe sur les machines, et un autre qui l'assistait dans le téloguidage par liaison radio. Le but étant d'améliorer la production : "Tu vas arriver à la charge, quel est ton premier point de repère ? Tu commences à charger où ? Où est ton point d'entrée en terre ? A quelle épaisseur vas-tu charger ?".



A noter que les stagiaires ont eu aussi la possibilité d'entendre les réactions de leurs camarades, dans la cabine. Ils ont été les témoins en direct de leur stress : "Arrête, arrête", crie d'une voie affolée, le conducteur d'un scrap au conducteur du pousseur, qui évidemment ne peut pas l'entendre, compte tenu du bruit des machines.

Conclusion

Dextérité exceptionnelle en conduite, "ficelles" du métier, remarquable sensibilisation à la sécurité, autant dire que ces jeunes ont tous les atouts pour bien démarrer leur vie professionnelle, et pour progresser.

L'entreprise, quant à elle, s'est félicitée de ce scénario de formation : non seulement, elle dispose maintenant de personnel qualifié, mais le chantier a été réalisé dans les délais.

Martine Belgy, directeur du Centre Raymond Bard, se réjouit de la vocation première du Centre : aider les entreprises à gagner en rentabilité.

Et elle rêve aussi qu'à l'instar de cette entreprise, toute formation même de moindre importance, soit conçue comme un outil stratégique...

A cette condition seulement, l'entreprise peut parier sur un réel retour sur investissement.

→ Contact : **Centre Raymond Bard**

◆ Tél. : 03 87 00 28 28

◆ Fax : 03 87 00 28 29

**Postes américains.
Dans la brume
au petit matin...**