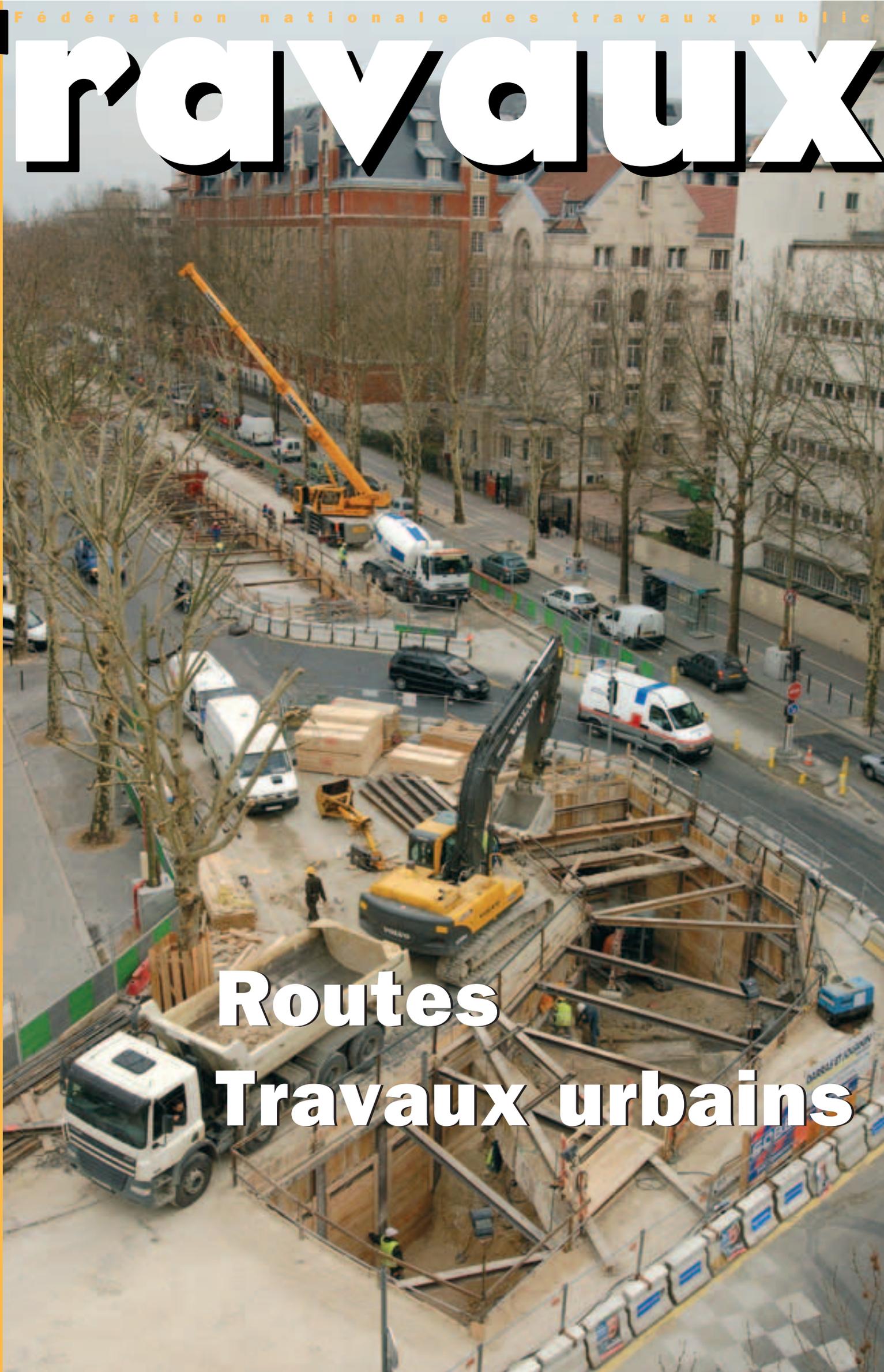


Travaux

n° 826

- Le carrefour Chevalley à Alger
- Le contournement Nord d'Angers
- Elargissement à 2 x 3 voies de la RN 286
- Les canalisateurs de Sogea ouvrent la voie au retour des tramways
- Le tramway des Maréchaux Sud
- Le projet Tram-Train mulhousien
- La 3^e ligne de tramway de Grenoble
- Parking Paul Klee à Paris
- Travaux d'assise pour la tour Granite
- Sofia Plaza : 32 m sous le sol de Kiev et 131 m au-dessus
- Discrétion et urbanité : signes distinctifs d'une fille de grande lignée géotechnique
- Effondrement de terrain à la plâtrière (Bizanet - Aude)
- Un microtunnelier traverse le sous-sol de Poitiers

Routes Travaux urbains



Travaux

numéro 826

janvier 2006

Routes - Travaux urbains



Notre couverture

Réalisation d'une galerie technique à Paris, boulevard Jourdan

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Patrick Bernasconi

RÉDACTION

André Colson et Mona Mottot
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 83 - colsona@fnfp.fr
Tél. : (33) 01 44 13 31 03 - mottotm@fnfp.fr

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 02 41 18 11 41
Fax : (33) 02 41 18 11 51
francoise.godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon
10, rue Clément Marot - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 40 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 190 € TTC
Etranger (11 numéros) : 240 €
Etudiants (11 numéros) : 75 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
Martin Fabre
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.

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



éditorial

Patrick Bernasconi

1

actualités

6

techniques et matériaux

15

matériels

17

PRÉFACE

Jean-Claude Boucherat

21

◆ Le carrefour Chevalley, un grand ouvrage de voirie urbaine à Alger. Prototype d'une série ?
- *The Chevalley intersection, a major urban road project in Algiers. Prototype for a series ?*

A. Khelifaoui, H. Chennit, B. Baka, G. Cluzel

22

◆ Le contournement Nord d'Angers
- *The bypass north of Angers*

J. Guibert, D. Goumard

25

◆ Elargissement à 2 x 3 voies de la RN 286
- *Three-lane dual-carriageway widening of highway RN 286*

G. Ragot, N. Wolff, V. Bezavada

37

◆ Les canaliseurs de Sogea ouvrent la voie au retour des tramways
- *The Sogea channellers open the way for the return of the tramways*

Divers auteurs

42

◆ Le tramway des Maréchaux Sud
- *The Maréchaux Sud tramway*

Fr. Dupouy, G. Geffroy, J. Bourzeix

51

◆ Le projet Tram-Train mulhousien
- *The Mulhouse Tram-Train project*

Y. Haller, Ch. Caye, T. Bonnet-Eymard

59

◆ La 3^e ligne de tramway de Grenoble. Quand la plateforme tramway doit passer sur des ouvrages d'art
- *The third tramway line in Grenoble. When the tramway subgrade has to pass over engineering structures*

J.-P. Feltz

64

Sommaire

janvier 2006

Routes - Travaux urbains

Dans les prochains numéros

- Ponts
- Le Havre
- Port 2000
- International
- Environnement
- Réhabilitation
- Énergies renouvelables
- SIAAP
- Travaux souterrains



◆ Parking Paul Klee à Paris : un "clés en main" qui passe par la maîtrise des travaux géotechniques
- *Paul Klee car park in Paris: turnkey project requiring expertise in geotechnical works*

P. Divet, Th. Beaulieu, D. Marchand

75



◆ Travaux d'assise pour la tour Granite
- *Foundation work for the Granite tower*

J.-L. Fouillade, St. Sérisé, E. Fiorin

79



◆ Sofia Plaza : 32 m sous le sol de Kiev et 131 m au-dessus
- *Sofia Plaza: 32 m under the ground in Kiev and 131 m above*

M. Rollet, N. Barmina

83



◆ Discrétion et urbanité : signes distinctifs d'une fille de grande lignée géotechnique
- *Discretion and urbanity: the hallmarks of a noble tradition in geotechnical engineering*

H. Grunewald

87



◆ Effondrement de terrain à la plâtrière à Bizanet dans l'Aude
- *Ground subsidence at the plaster works at Bizanet, Aude region*

R.-N. Trouilhas

91



◆ Un microtunnelier de CSM Bessac traverse le sous-sol de Poitiers, ni vu, ni connu
- *A CSM Bessac microtunneller passes through the subsoil of Poitiers, unobserved*

J.-N. Lasfargue, F. Lamotte

94

répertoire
des fournisseurs

99

ABONNEMENT
TRAVAUX

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

ARCELOR RPS	2È DE COUVERTURE	EIFFAGE TP.....	7
BOTTE FONDATIONS.....	19	GBP	11
CIM BÉTON	9	IHC	15
CNETP	12	PRO BTP	4È DE COUVERTURE
COLAS	4	WIRTGEN	2

Le "premier mot" des entrepreneurs d'Ile-de-France

Depuis 1963, le Conseil économique et social de la région Ile-de-France concourt par ses avis à l'administration de la région.

Nous étudions tous les aspects de la vie régionale, éclairant, voire initiant, les réflexions et politiques régionales en matière d'aménagement du territoire, de développement économique et d'action sanitaire et sociale. A ce titre, l'infrastructure des villes, en particulier le réseau routier ainsi que les travaux urbains et les transports constituent pour nous des thèmes de réflexion et débats d'une acuité constante.

Notre mission est consultative. Nous réunissons trois mondes partenaires différents : l'économique, le social et l'associatif, et nous réussissons, dans nos onze commissions thématiques et notre section de prospective, par nos échanges nécessaires à l'élaboration de nos rapports et avis, à instaurer un dialogue fructueux entre les trois principaux collèges qui nous composent. Cette spécificité, propre aux CESR, nous permet tout à la fois de faire connaître, sur tous les sujets étudiés, les opinions et les propositions de chacun, de faire remonter les attentes et les besoins des Franciliens, relayés par les acteurs de terrain que sont nos conseillers, et d'être utiles au dialogue social. J'aime à dire que le CESR est l'assemblée de la discussion, celle du "premier mot" alors même que le second mot appartient aux élus du suffrage universel. Les entrepreneurs sont très présents, actifs et responsables dans cette assemblée qui examine, amende et vote les avis qui lui sont soumis. Sur les 122 conseillers qui la composent, 41 représentent les entreprises et les activités professionnelles de la région.

Notre travail quotidien consiste à accompagner et à favoriser l'émergence d'un vrai territoire régional. Ce travail porte ses fruits et ainsi, progressivement, s'élabore une véritable identité francilienne. Ceci, bien sûr, est favorisé en grande partie par la révision en cours du schéma

directeur (SDRIF), à laquelle le CESR est très étroitement associé. Il s'agit d'un projet engageant le développement de la région à 20 ans, projet particulièrement innovant car il intègre la notion de développement durable pour faire de l'Ile-de-France une éco-région exemplaire. Le débat amorcé porte sur l'attractivité globale, prenant en compte l'économie, la cohésion sociale, le fonctionnement urbain, la qualité de vie... L'un des thèmes centraux est la densification, réponse à l'étalement urbain et à la dispersion des moyens.

Dans ce contexte, la question des transports est essentielle. Les moyens de mobilité ne sont pas à la

hauteur des enjeux et les insatisfactions sont fortes, d'autant que les contraintes énergétiques émergentes vont remettre en cause les schémas actuels. En décembre 2004, dans son avis sur le projet de SDRIF, le CESR s'est prononcé pour une offre de transports "délocalisée" et hiérarchisée, sur la base de territoires plus équilibrés, avec un maillage à l'échelon intercommunal et des pôles multimodaux, pour de nouveaux transports en commun, de roclades et le désenclavement des zones défavorisées. La logistique et le fret sont naturellement à renforcer car ils constituent un élément essentiel de l'aménagement, du développement économique et de la compétitivité.

L'autre grand défi à réussir est la lutte contre les inégalités. Nous devons donc mettre en place des dispositifs correcteurs, pour une meilleure

localisation des équipements, rapprocher l'emploi et l'habitat et développer des coopérations territoriales. Enfin, il nous faut ouvrir l'Ile-de-France vers des territoires proches. Le Bassin parisien est ainsi un échelon pertinent qui permettra aux huit régions concernées de s'ouvrir vers l'Europe du Nord-Ouest, du Centre et de l'Est également, de réfléchir en commun aux questions posées par les franges et d'articuler conjointement, à la fois l'aménagement territorial et le développement économique de cet ensemble de territoires solidaires.



■ **JEAN-CLAUDE BOUCHERAT**

Président du Conseil économique et social d'Ile-de-France

Le carrefour Chevalley, un prototype d'une série ?

La ville d'Alger connaît un fort développement et son trafic automobile en est le reflet. Sa municipalité a pris en 2003 la décision de doter le quartier Chevalley, qui comporte un des plus importants carrefours d'Alger, de trémies souterraines. L'exécution en a été confiée au groupement des entreprises Hydro Technique et Solétanche Bachy. Il s'agit d'une opération sensible que la Présidence et le ministère des Travaux Publics suivent avec la plus grande attention.

Alger est devenue une grande capitale dont le charme est resté intact, si ce n'était un trafic automobile qui, certes, reflète la croissance du pays, mais dont les autorités souhaitent avec raison limiter les nuisances. C'est une préoccupation économique autant qu'écologique. Il est évident que les difficultés de circulation et de stationnement ne sont pas favorables au développement dont Alger a la légitime ambition. Le carrefour Chevalley est un nœud de circulation majeur – on pourrait même dire stratégique – dans le réseau de voirie urbain.

La Direction des Travaux Publics de la wilaya d'Alger a pris le problème à bras le corps, c'est-à-dire à temps, avec une vision à long terme et en y mettant les moyens nécessaires.

Ingerop a été chargée de l'assistance au maître d'ouvrage, et c'est au groupement constitué de l'entreprise algérienne Hydro Technique et de Solétanche Bachy qu'a été confiée la construction de l'ouvrage.

L'ouvrage comporte une trémie souterraine profonde réalisée en tranchée couverte. Cette trémie principale d'une longueur de 1 100 m est surmontée par un parking souterrain d'un niveau. Elle est croisée par une trémie de 200 m qui la franchit par le dessus, au niveau du parking.

La trémie principale commence vers le Complexe-Olympique-du-5 juillet et débouche sur la descente de Frais-Vallon en direction de Bab-el-Oued. Elle sera équipée d'une ventilation intégrée. Les ouvrages seront équipés d'un système de vidéo-surveillance.

L'organisation des travaux a été mise au point de manière à réduire au mieux les nuisances qu'ils provoquent dans ce quartier urbanisé. Ainsi, le régime a-t-il été fixé à 6 jours de travail par semaine, 24 heures sur 24, en réservant aux périodes nocturnes les tâches les moins bruyantes.

Répondant aux mêmes préoccupations, la méthode de construction en tranchée couverte et par en "top-down" qui a été retenue permet d'optimiser l'encombrement du chantier.

L'exécution de la tranchée couverte pour la trémie principale profonde (trémie 1) se décompose comme suit :

- ◆ construction des deux parois moulées latérales d'épaisseur 0,80 m, espacées de 16 m, et d'une ligne médiane d'appuis en barrettes profondes dont l'entraxe est de 5 m ;
- ◆ terrassement jusqu'au niveau de la dalle de couverture ;
- ◆ construction de la dalle de couverture ;
- ◆ terrassement sous dalle jusqu'au niveau de la dalle intermédiaire qui forme le plancher du parking ;
- ◆ construction de cette dalle plancher du parking ;
- ◆ terrassement sous dalle jusqu'au niveau de la dalle inférieure qui est celle de la trémie, supportant la chaussée ;
- ◆ construction d'un radier drainant et de la dalle de la trémie.

La seconde trémie (trémie 2), qui croise la trémie principale, est positionnée sur l'axe reliant Chéraga à El-Biar. Elle est structurellement indépendante.

Photo 1
Exécution des parois moulées et barrettes de la trémie 1

Execution of the diaphragm walls and supporting wall units of underpass 1



Photo 2
Le nœud du chantier
The node of the project



grand ouvrage de voirie



Photo 3
Descente d'une cage
d'armature

*Lowering a concrete
reinforcing cage*

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Parois moulées d'épaisseur 0,8 m : 2 200 m de linéaire
- Barrettes d'épaisseur 0,8 m : 128 u
- Surface excavée : 30 000 m²
- Terrassements : 198 400 m³
- Génie civil : 22 400 m³

te de la trémie principale mais elle est construite selon la même méthode de tranchée couverte, c'est-à-dire avec des parois moulées latérales et des barrettes centrales servant d'appuis.

Le point bas de la bande de roulement de la trémie 1 est à une profondeur de 13 m sous la surface. Les parois moulées et les barrettes descendent à 25 m.

Les emprises ont été occupées à partir de décembre 2003. L'installation des zones de travail ainsi que celles de la centrale à béton et de la centrale de fabrication et de traitement de la boue bentonitique, extérieures au chantier, étaient achevées en février 2004. Les deux bennes hydrauliques ont commencé la réalisation des parois moulées et des barrettes en occupant seulement une demi-chaussée (photos 1 et 2).

La mémoire du tremblement de terre de 2003 est toujours très vive à Alger. L'ouvrage est calculé selon les normes sismiques. Les fondations sont ancrées dans les marnes compactes.

Les cages d'armature sont préfabriquées à l'extérieur du chantier et acheminées à pied d'œuvre de nuit avant d'être introduites dans l'excavation sous boue bentonitique (photo 3).

Une fois achevée, chaque section doit être réaménagée et rendue à la circulation. Dès que les parois moulées, les barrettes et la dalle de couverture sont terminées, le remblaiement au-dessus de la dalle de couverture commence immédiatement (photo 4).

Le mariage des deux trémies a nécessité que les fondations des deux ouvrages soient réalisées simultanément. Pendant cette phase les entreprises



Photo 4
Le carrefour Chevalley
prend forme

*Chevalley intersection
takes shape*

ont pris totalement possession du carrefour. Il va sans dire que pendant cette période le trafic a connu des congestions importantes déclenchant des montées de la pression médiatique. Les autorités, et notamment la police, ont été tenues au courant en continu de l'état d'avancement et des prévisions, de manière à contrôler la situation. Les nerfs de tous les intervenant ont été mis à rude épreuve mais tout s'est finalement déroulé dans le calme grâce à l'excellente compréhension des riverains. Pour les riverains ainsi que pour les usagers du carrefour la délivrance s'annonce proche. La mise en service de la trémie supérieure (trémie 2) a eu lieu

Ali Khelifaoui



DIRECTEUR GÉNÉRAL
Direction Travaux Publics Alger

Hakim Chennit



DIRECTEUR GÉNÉRAL
Ingerop Algérie

Boudjemaa Baka



PRÉSIDENT DIRECTEUR
GÉNÉRAL
Hydro Technique

Gérard Cluzel



DIRECTEUR DE PROJET
Solétanche Bachy



Photo 5
La trémie 2 en circulation
Underpass 2 with traffic

► en juillet 2005 (photo 5). Quant à la trémie principale profonde (trémie 1) son inauguration est prévue en décembre 2005 (photo 6). Cette opération, conduite avec succès, est sans doute le prélude d'une série.

Photo 6
La trémie 1 en voie de finition
Finishing work on underpass 1



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Direction des Travaux Publics d'Alger

Maitre d'œuvre assistance technique

Ingerop France et Ingerop Algérie

Génie civil, travaux routiers, ventilation, vidéo-surveillance

Hydro Technique

Fondations, paroi, barrettes

Solétanche Bachy

ABSTRACT

The Chevalley intersection, a major urban road project in Algiers

Prototype for a series?

A. Khelifaoui, H. Chennit, B. Baka, G. Cluzel

The city of Algiers is expanding greatly, and this is reflected by its automotive traffic. In 2003 the city council took the decision to equip the Chevalley area, which contains one of the largest intersections in Algiers, with underpasses. Project performance was awarded to the consortium formed by Hydro Technique and Solétanche Bachy. This is a sensitive project that is being watched very attentively by the president's office and the Ministry of Public Works.

seguimiento se efectúa con la mayor atención por parte de la presidencia y del ministerio de Obras Públicas.

RESUMEN ESPAÑOL

La intersección Chevalley, una importante obra de vialidad urbana en Argel ¿Prototipo de una serie?

A. Khelifaoui, H. Chennit, B. Baka y G. Cluzel

La ciudad de Argel es objeto de un desarrollo significativo y su tráfico automovil constituye el perfecto reflejo. Su municipalidad tomó la decisión, en 2003, de dotar el barrio Chevalley, que consta de una de las más importantes intersecciones de Argel, de rampas de acceso subterráneas. Se encargó la ejecución a la agrupación de empresas Hydro Technique y Solétanche Bachy. Se trata de una operación sensible cuyo

Le contournement Nord d'Angers

Joël Guibert



DIRECTEUR
DES TRAVAUX
GTM Terrassement

Dominique Goumard



ADJOINT AU DIRECTEUR
DE PROJET
SCAO

Le contournement Nord d'Angers par l'autoroute A11 est le chaînon manquant de l'axe Paris-Nantes. Sa mise en service à l'horizon 2008 permettra de diminuer très sensiblement le volume du trafic qui transite actuellement par la voie des berges de la ville d'Angers. La particularité de ce tronçon est de traverser sur 20 % de son tracé une zone fortement urbanisée, ce qui a nécessité pour des raisons environnementales évidentes la construction d'une tranchée couverte de 1 700 ml, qui représente à elle seule 800 000 m³ de terrassement sur les 2 200 000 m³ que représente le projet.

Géotechnique : Les bons résultats obtenus en laboratoire lors des études de traitement à la chaux et au liant routier des matériaux rencontrés (schistes altérés surmontés par une couche de limons argileux) ont permis de réaliser les remblais techniques des ouvrages d'art ainsi que 60 % de la plate-forme supérieure des terrassements avec les matériaux du site.

Contrôle et suivi : Les trois derniers chapitres sont consacrés à l'organisation mise en place pour le contrôle et le suivi des travaux dans les domaines de l'environnement de la qualité et de la prévention des risques.

■ HISTORIQUE DU PROJET

"On en parle depuis 25 ans... nous voulons bien sûr parler du contournement Nord d'Angers appelé à assurer la continuité de l'autoroute A11 entre Paris et Nantes. La réalisation de ce tronçon est en effet indispensable et urgente."

Ainsi s'exprimait le président du district de l'Agglomération angevine en 1992... Pas moins de sept tracés variantes ont été étudiés à l'époque, pour finalement retenir le tracé actuel, dont la DUP initiale, datée du 30 avril 1998, a été prorogée en mai 2003, valable jusqu'en avril 2010.

Ce tronçon manquant fait partie de la section Nantes-Angers, concédée à la société Cofiroute. Le tronçon Nantes-Angers Ouest (Trousseau), réalisé par Cofiroute, a été mis en service en 1980.

Le tronçon "La Maine - RN 23 (rocade nord)", réalisé par l'Etat, a été mis en service en 1987. Il sera intégré à la concession Cofiroute lors du bouclage du contournement Nord. L'A11 Angers aura donc une longueur totale de 18 km. Ouverture prévue en 2008 (figures 1 et 2).

■ LES BOMBES DE LA DERNIÈRE GUERRE

La zone de l'aérodrome a été bombardée à de nombreuses reprises au cours de la seconde guerre mondiale. Des témoignages, et surtout les photos aériennes prises par les alliés, permettent d'apprécier la vigueur des bombardements, et, dans

une certaine mesure, de déterminer les zones les plus touchées, les plus susceptibles de contenir encore des engins non explosés.

A partir de ces éléments, la maîtrise d'œuvre, conjointement avec les services de la Sécurité civile et le Centre interdépartemental de déminage de Nantes, a décidé d'effectuer une détection systématique dans ces zones, imposant un terrassement par couches peu épaisses, en particulier dans les premiers mètres très pollués par les débris métalliques.

Assez contraignant en termes de rendement, et effectué en coopération avec les démineurs, ce mode de terrassement a porté ses fruits : deux bombes ont été détectées avant d'être atteintes par les engins : la première, de 500 kg, a été désamorcée sur place, après que l'évacuation de plus de 3000 personnes dans un rayon de 800 m ait été menée. La seconde, dont le mécanisme de mise à feu était abîmé, a été explosée sous terre le même jour, en profitant du même périmètre de sécurité.

Il est d'usage chez les démineurs de dénommer leurs trouvailles explosives : celles de l'A11 Angers ont été appelées "Anne" et "Annette".

■ ETAT DES LIEUX

Zone urbaine

Dans cette zone le projet traverse des zones pavillonnaires et se trouve à proximité de constructions remarquables :

Figure 1
Plan détaillé de l'A11
Detail drawing
of the A11 motorway



© Image Cofiroute



- ◆ le bâtiment "Centre de formation de l'Aviation", inoccupé depuis des décennies, mais classé Monument historique ;
 - ◆ les quatre châteaux d'eau d'Avrillé, fondés sur pieux depuis le début du siècle ;
 - ◆ une usine d'électromécanique de précision.
- Pour préserver les intérêts des parties, la maîtrise d'œuvre a décidé de faire un état des lieux contradictoire de toutes les constructions situées à moins de 35 m du bord des excavations. Les constructions spéciales ont été instrumentées et suivies régulièrement pendant les travaux : points topo, fissuromètres. De plus, dans l'usine de micro mécanique, un sismographe a été installé pour suivre les vibrations néfastes à la production. Des tests ont été réalisés pour corréliser les vibrations ressenties dans l'usine en fonction des travaux réalisés (énergie de vibration, profondeur de la plateforme). Les résultats montrent que les vibrations s'atténuent considérablement en profondeur, mais que la transmission des vibrations est très gênante pour les travaux de surface. Ceci obligera à trouver des solutions lors du remblai de la tranchée couverte et des rétablissements de chaussée...

Le lac Bleu et les eaux souterraines

En prévention du rabattement de la nappe phréatique associé aux terrassements des déblais, un suivi du niveau des eaux souterraines a été initié dès 1999.

Tout au long du projet, des puits existants ont été choisis pour former un quadrillage représentatif s'étendant jusqu'à 1 500 m du chantier. Depuis, ils font l'objet de relevés de niveau et, pour certains, d'analyses qualitatives.

Des attentions particulières sont portées sur le suivi du niveau des eaux du lac Bleu qui correspond, selon toute vraisemblance, à un affleurement de la nappe, et dans lequel ont été déchargées de très grandes quantités de munitions au cours du vingtième siècle.

Au démarrage du chantier, des puits piézométriques ont été implantés dans les zones les plus sensibles. Ils sont suivis mensuellement.

■ LES CONTRAINTES DU PROJET

Le tracé se compose de deux sections très différentes, une section Est qui concentre les contraintes liées à une réalisation d'autoroute en site urbain, et une section ouest rurale pour laquelle les préoccupations sont de nature différente avec toutefois un point commun pour tout ce qui touche aux problèmes environnementaux.

Zone Est

Cette zone très urbanisée nécessite une organisation rigoureuse pour faire face aux problèmes posés par :

- ◆ la proximité immédiate des habitations ;

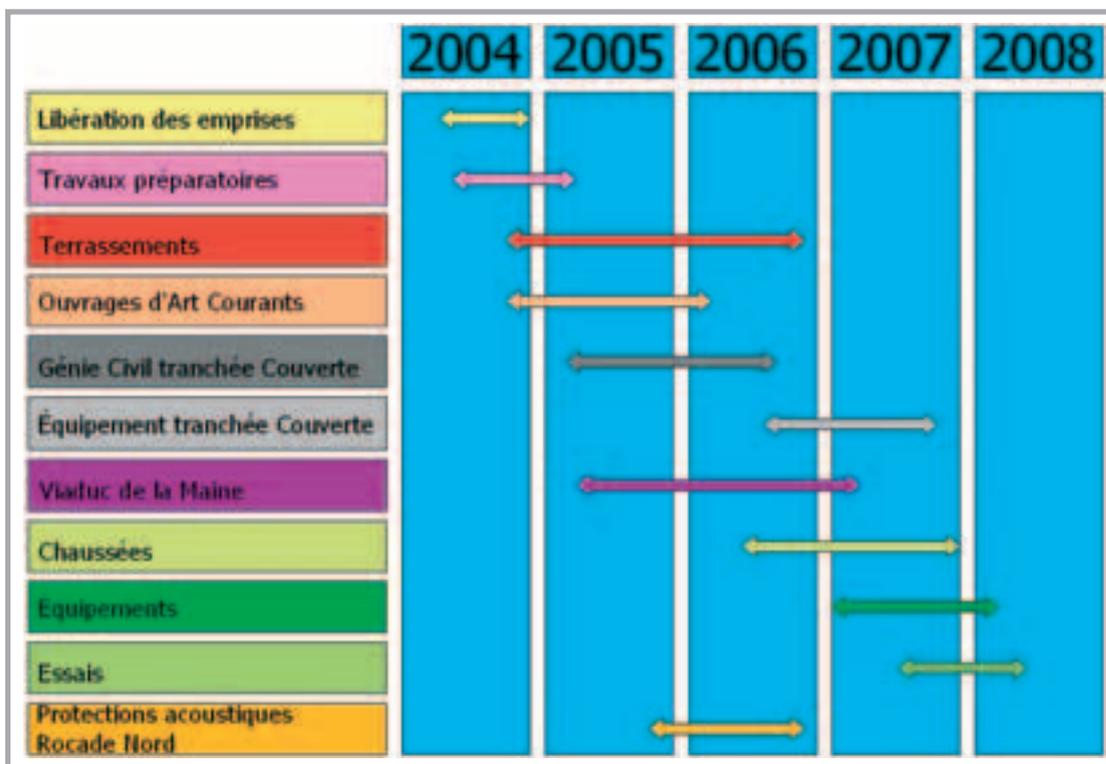


Figure 2
Planning général
General schedule

- ◆ l'obligation de conserver les circulations locales existantes;
- ◆ la présence d'une nappe;
- ◆ la réalisation d'une partie des terrassements pouvant recéler des explosifs (conséquence des bombardements intenses en 1944);
- ◆ la nécessité de gérer tous les problèmes d'environnement (bruit, poussière, rejets) et la circulation des poids lourds notamment.

Zone ouest

Pour cette zone rurale, les problèmes à gérer sont pour l'essentiel environnementaux, avec notamment la traversée d'une Znieff.

Le mouvement des terres est très déséquilibré. Il impose de longs transports, et des passages obligés délicats tels que la circulation de 773 CAT dans un passage inférieur à peine plus grand que le gabarit de l'engin, ou, en fin de chantier du génie civil de la tranchée couverte, le transport d'environ 110 000 m³ à l'intérieur de celle-ci.

■ TERRASSEMENTS

Les conditions météorologiques très favorables rencontrées depuis le début de l'hiver 2004/2005, conjugués à la mise en œuvre d'importants moyens, ont permis une avancée spectaculaire des travaux de terrassements.

Pourtant, les matériaux rencontrés sur une grande partie du projet, majoritairement des schistes altérés à très altérés, surmontés de limons argileux, n'incitaient pas à l'optimisme pour un terrassement hivernal.

La météo s'est cependant révélée une alliée décisive, et les essais complémentaires de traitement

qui ont été menés ont permis une réutilisation optimale des matériaux.

Terrassement de la tranchée couverte

Afin de permettre le démarrage des activités du génie civil dès le mois de mars 2005, les travaux de terrassements de la tranchée couverte ont débuté le 19 novembre 2004, avec l'objectif de libérer en totalité une première zone de 500 ml de longueur, représentant 300 000 m³ de déblais et la mise en place d'une PST granulaire 0/120 sur environ 10 000 m². Ces travaux de terrassement ont été réalisés avec un échelon de décapeuse 631 CAT, ainsi qu'un atelier pelle PC 340 et tombereaux D300 chargé d'exécuter des terrassements de petite masse sous le contrôle de la sécurité civile.

Située à proximité d'un ancien aéroport, et ainsi qu'en attestent les photos de l'époque, cette zone a été copieusement bombardée en juillet 1944, et a donc nécessité par endroit un traitement spécial. Tous les matériaux extraits de cette première opération de terrassement ont été mis en stock à proximité pour un emploi ultérieur en remblai de la tranchée couverte.

Une fois cette première opération réalisée avec succès, l'activité terrassement est montée en puissance avec l'arrivée de deux échelons pelle 80 t - tombereaux automoteurs 773. Ces ateliers étaient destinés à excaver 500 000 m³ de matériaux pour fin juin 2005, et ainsi permettre la réalisation des 1 200 derniers mètres de tranchée couverte.

Outre le respect d'un délai très serré, d'autres contraintes s'imposaient au terrassement de ces déblais.

Cette zone est entièrement en site urbain. Le SOPRE ne permettait de travailler que de 7 heures à

Photo 1
Terrassement de la tranchée couverte dans la zone urbaine
Cut-and-cover earthworks in the urban area



Photo 2
Vue aérienne des terrassements de la tranchée couverte. Les deux ponts provisoires assurent la continuité des terrassements et le maintien de la circulation publique
Aerial view of the cut-and-cover earthworks. The two temporary bridges ensure continuity of earthworks and maintenance of public traffic



Photo 3
Vue aérienne. Le soutènement provisoire (rideau jaune) s'est avéré nécessaire dans les zones congestionnées. Au pied des châteaux d'eau, atelier de déminage
Aerial view. Temporary supports (yellow screen) proved necessary in congested areas. At the base of the water towers, demining equipment

19 heures. Toutefois, afin de respecter le planning, le travail en postes s'est avéré indispensable, et une dérogation au SOPRE a été obtenue suite à diverses réunions menées par le maître d'œuvre avec les élus de la commune d'Avrillé, et les riverains. Les sondages géotechniques réalisés antérieurement ont révélé la présence de nappes phréatiques dans ce déblai. Pour se prémunir de tout glissement de terrain, il a donc été nécessaire de modifier la pente des talus en déblai, leur inclinaison passant de 3/2 à 2/1. Au-delà de la stabilité propre des talus, la difficulté majeure a été de pouvoir rouler sur des pistes saines (problème encore plus évident en cas d'utilisation de tombereaux rigides). Pour remédier à cela, un traitement à la chaux de la totalité de la piste entre l'extraction et la mise en remblai a été réalisé lequel s'est révélé un excellent investissement pour tenir un délai serré. Dans sa partie urbaine, le mouvement des terres a nécessité la coupure de deux axes de circulation importants : l'un, le RD 122, relie la périphérie ouest au centre-ville d'Angers, et l'autre, la rue du Champs des Martyrs, dessert notamment une usine micro-mécanique. Ces coupures indispensables ne pouvaient se prolonger dans le temps compte tenu de leur importance stratégique dans la circulation urbaine. Elles ont été traitées de façon originale par la mise en place de deux ponts provisoires de 30 m de longueur, qui ont permis de supprimer l'impact négatif sur le trafic local.

Remblais de la tranchée couverte

Le remblai total de la tranchée couverte représente un volume de l'ordre de 365 000 m³, et pose un problème d'approvisionnement à l'ouest de la RN 162, car il nécessite l'emprunt de la voirie locale pour une part estimée à 230 000 m³. Cependant, après achèvement du génie civil, une partie de ces volumes (environ 100 000 m³) pourra emprunter la dalle supérieure de la tranchée couverte, la difficulté se réduisant alors à la seule gestion d'un carrefour à niveau avec la RN 162. Les notes de calcul réalisées par le bureau d'études ont conduit à retenir pour cette phase, l'utilisation comme moyens de transport, de tombereaux articulés A30 dont les charges au sol sont compatibles avec la résistance de l'ouvrage construit après réa-

lisation des remblais contigus à celui-ci (photos 1, 2 et 3).

Echangeur RD 106

La construction d'un échangeur à trois niveaux (RD 106) est un autre point caractéristique de ce chantier, qui implique une parfaite organisation des tâches, mais également une cohabitation aussi sereine que possible entre tous les intervenants. La réalisation de cet ouvrage important, qui nécessite des activités diverses et simultanées, impose à chacun des acteurs un strict respect des délais et de la sécurité. Le maintien de la circulation riveraine (agriculteurs et cyclos non autorisés sur la RD 106) est une difficulté supplémentaire que tous doivent prendre en compte pendant les travaux.

En chiffres, l'échangeur du RD 106 (trois niveaux), ce sont :

- ◆ 8 bretelles (2 550 ml);
- ◆ 2 collecteurs (730 ml);
- ◆ 2 shunts (330 ml);
- ◆ 520 000 m³ en remblais;
- ◆ 110 000 m³ en merlons (photo 4).

Zones compressibles - Zone inondable

Remblai ouest du viaduc sur la Maine : sur terrain compressible et en zone inondable

D'une hauteur maximale de 17 m, le remblai ouest du viaduc sur la Maine est, dans sa partie la plus à l'Est (au plus haut du remblai), situé sur une couche de remblai surmontant une couche d'argile dont les caractéristiques mécaniques sont faibles. L'ensemble de ces deux couches présente une épaisseur variant de 3 à 8 m, et repose sur le substratum rocheux. De plus, une partie du remblai se trouve dans le lit majeur de la Maine, imposant un traitement au liant hydraulique de la base du remblai (schistes gris altérés) située sous la cote NPHE + 0,50 m.

Ces formations compressibles ont conduit au passage suivant dans la montée du remblai :

- ◆ mise en œuvre d'une base drainante de 1 m d'épaisseur en matériaux 0/300 permettant de dissiper les pressions interstitielles sous le poids du remblai;
- ◆ construction du remblai jusqu'à la cote finale moins 4 m avec traitement au liant hydraulique du remblai jusqu'à la cote NPHE + 0,50 m (la cote finale moins 4 m correspondant à la cote de la plate-forme de lancement du tablier du viaduc de la Maine). La construction des pieux de la culée n'a pu débuter que 3 mois après la réalisation du remblai (après consolidation de la zone compressible);
- ◆ montée du remblai jusqu'à la cote finale.

La consolidation a été suivie à l'aide de cellules



tassométriques (suivi du tassement), et de cellules piézométriques (suivi des pressions interstitielles). La première phase de montée de ce remblai s'est achevée fin mai 2005. La consolidation a été obtenue après 3 mois de préchargement, avec un tassement de 13 cm (pressions interstitielles totalement dissipées). La réalisation des pieux de la culée ouest du viaduc sur la Maine a donc pu démarrer en septembre 2005.

Remblai Est du viaduc sur la Maine : sur terrain compressible

Le remblai Est du viaduc sur la Maine est situé dans une zone très compressible, formée d'un ancien remblai d'une dizaine de mètres d'épaisseur constitué de sable et de schiste ardoisier broyé.

Pour accélérer la consolidation de ce remblai et limiter les déformations résiduelles du sol support, il a été mis en œuvre :

- ◆ des drains verticaux suivant un maillage de 2 x 2 m à 18 m de profondeur afin de diminuer le temps de préchargement, ainsi ramené de 1 an à 6 mois. A la base de ce remblai, une couche drainante a été réalisée en 0/120 sur 50 cm pour exuser les drains;
 - ◆ une surcharge du remblai de 1,50 m au-dessus de la cote finale (soit 8,50 m de remblai).
- Le suivi du comportement du remblai est assuré par :
- ◆ la mesure du tassement à l'aide de cellules tassométriques;
 - ◆ la mesure de la pression interstitielle dans la couche compressible à l'aide de cellule piézométriques;
 - ◆ la mesure de la déformation horizontale à l'aide d'un tube inclinométrique.

Le tassement attendu est de l'ordre de 50 cm. La montée de ce remblai s'est terminée fin mai 2005. Le tassement obtenu au 12 octobre 2005,

Photo 4
Vue aérienne de l'échangeur de la RD 106 montrant la route départementale 106 à 2 x 2 voies en circulation au premier niveau, les passages supérieurs du giratoire d'échange au deuxième niveau d'où partent les bretelles de raccordement, et la construction du troisième niveau avec les appuis du viaduc ainsi que les remblais d'accès, le mur en terre armée et les merlons antibruit de part et d'autre

Aerial view of the interchange on RD 106 showing county road 106 as a two-lane dual-carriageway carrying traffic on the first level, the overpasses of the interchange roundabout on the second level from which the connecting ramps leave, and construction of the third level with the viaduct supports and access backfills, the reinforced earth wall and the noise attenuation barriers on either side

Figure 3
Courbe
des tassements
*Subsidence
curve*

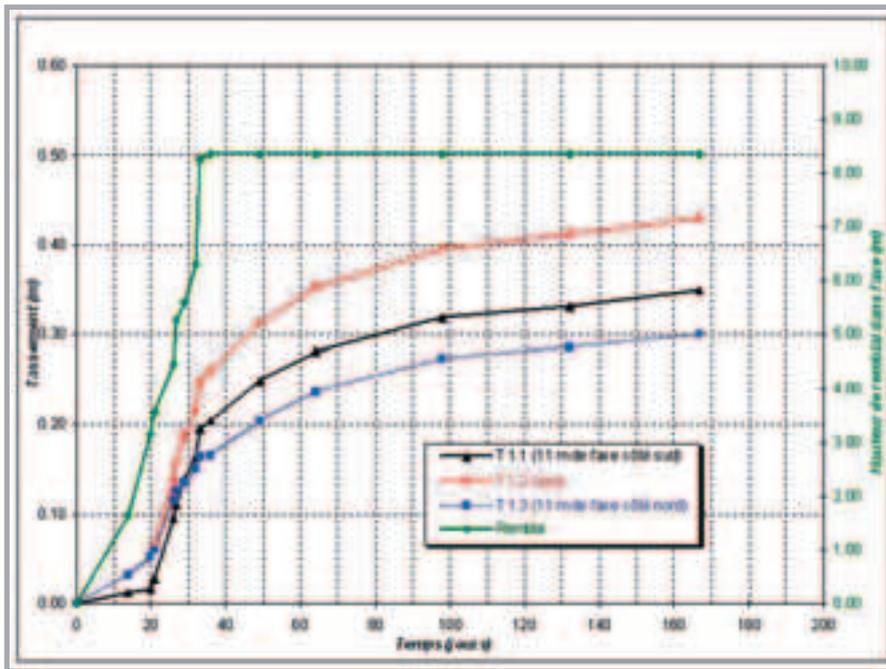
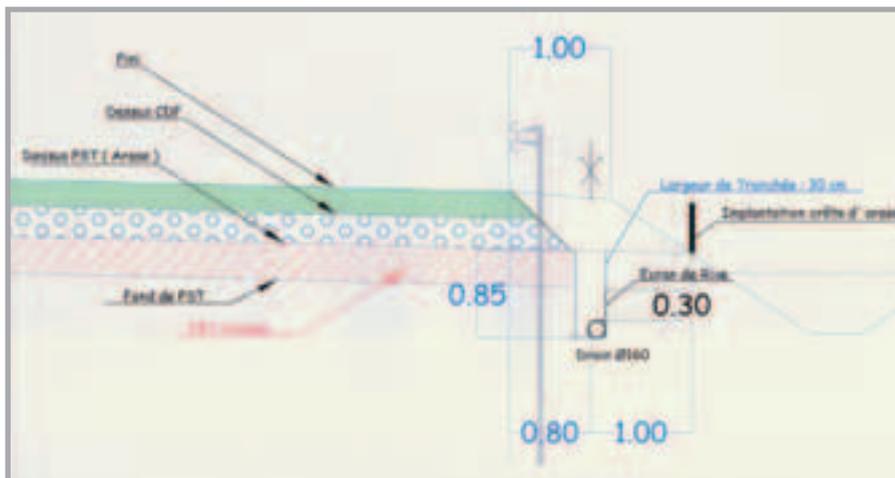


Photo 5
Atelier de pose
d'un diamètre 1800
*Equipment for laying
dia. 1.800 mm pipe*



Figure 4
Coupe type
tranchée
entre regards
*Typical
cross section
of trench between
manholes*



soit après 4,5 mois de préchargement, était de l'ordre de 40 cm, et continue à progresser. La date prévisionnelle de la fin du préchargement est prévue en janvier 2006 (figure 3).

■ ASSAINISSEMENT – DRAINAGE

Drainage

L'option d'un drainage systématique des déblais de la section courante a été prise par l'entreprise afin d'assurer la pérennité de la PST, y compris durant la phase provisoire des travaux (avant la couche de forme). Ce drainage est assuré par un complexe de type écran de rive en structure alvéolée associée à un drain PEHD CR8. La pose est effectuée par une trancheuse équipée d'un poseur nécessitant un simple approvisionnement à l'avancement. Les rendements obtenus sont de l'ordre de 700 m par jour, y compris pose des regards de visite tous les 80 m. Le choix du produit et le positionnement en planimétrie sur proposition de l'entreprise résultent de la contrainte de phasage avec la réalisation de la PST (réglage et traitement), le but étant d'éviter toute interface physique entre les deux opérations (photo 5 et figure 4).

DES MOYENS IMPORTANTS

- 170 personnes et 75 engins de terrassement ont été mobilisés sur le chantier en pleine activité
- 1 échelon de six décapeuses 631E Caterpillar et un pousseur D10N Ripper
- 2 échelons de pelles de 80 t une 974B Liebherr et une 375LME Caterpillar
- 1 échelon de pelle de 50 t 365B Caterpillar
- 1 échelon de pelle de 35 t PC 340 Komatsu
- 1 échelon de pelle de 30 t 325B Caterpillar
- 14 tombereaux rigides 773D et 769C et D Caterpillar
- 8 tombereaux articulés A40D et A30D Volvo
- 3 tombereaux articulés A25D Volvo
- 6 pelles de 20 t
- 4 niveleuses : une 16G Caterpillar et trois 14G et H Caterpillar dont deux unités équipées de GPS
- 5 compacteurs V5
- 1 compacteur pieds dameurs 825G Caterpillar
- 1 malaxeur Wirtgen WR2500
- 1 malaxeur Caterpillar 350B
- 2 épandeurs à liant 18 t
- 1 Rotograde 6000 pour réglage de la PST au GPS

Drainage extérieur de la tranchée couverte

Dans les hypothèses de calcul de dimensionnement de la tranchée couverte en tant qu'ouvrage enterré, il n'est envisagé aucune pression hydrostatique au-dessus des barbacanes situées à 1,40 m de la semelle, soit en moyenne 9 m sous le terrain naturel. Ceci a conduit à la conception d'un complexe de drainage constitué de trois éléments :

- ◆ une nappe drainante posée sur le talus du déblai, destinée à capter les eaux provenant de la nappe phréatique traversée par l'ouvrage (contribution au rabaissement de la nappe) soit environ $3 \text{ l/m}^2/\text{h}$;

- ◆ une nappe drainante fixée sur le piédroit, destinée à capter les eaux résiduelles provenant de la nappe ainsi que les infiltrations d'eau dans le remblai contigu issues des précipitations.

Ces deux différents géocomposites ont été choisis par l'entreprise en fonction de leurs caractéristiques propres, adaptées au problème posé.

Le troisième élément est le massif drainant récoltant les eaux des deux nappes drainantes, constitué d'un drain PEHD CR8 de diamètre 400, entouré par un massif de matériaux drainants de granulométrie 40/70 dans une chaussette de géotextile anticontaminant (figure 5).

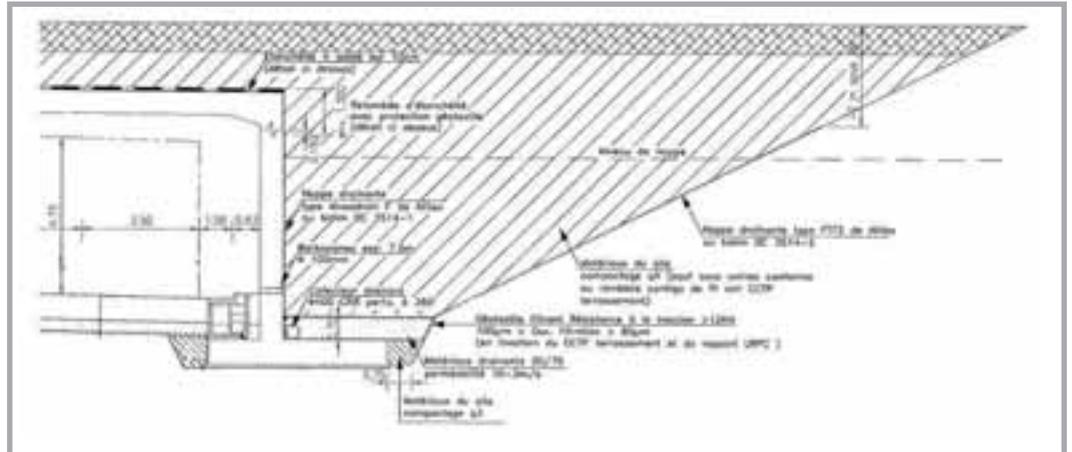


Figure 5
Tranchée couverte.
Coupe type remblais
et drainage

Cut-and-cover. Typical cross section of backfill and drainage



Photo 6
Mise en œuvre de remblais
techniques 0/60
entre les piédroits
de la tranchée couverte
et le soutènement
du bâtiment CFA

Laying 0/60 technical backfills between the side walls of the cut-and-cover and the supports for the CFA building

FICHE TECHNIQUE DES TERRASSEMENTS

Groupement des terrassiers

- GTM Terrassement (mandataire)
- Deschiron (Sogea Construction)
- Helary (Colas Centre Ouest)

Chiffres clés

- Volume des terrassements : 2 200 000 m³
- 200 000 m³ de décapage
- 2 000 000 m³ de déblais
- 65 000 m³ de remblais techniques
- 365 000 m³ de remblais de la tranchée couverte dont 215 000 m³ de remblais contigus
- 600 000 m³ de remblais en merlons phoniques
- 1 000 000 m³ de remblais courants
- 75 000 m³ en aménagements paysagés
- 95 000 m³ de PST traitée
- 60 000 m³ de PST granulaire
- 12 000 ml de drains
- 18 000 ml de fossés
- 4 000 ml d'assainissement
- 18 bassins équipés d'ouvrages de traitement

La difficulté de ces travaux réside dans les problèmes d'accessibilité à l'ouvrage en grande profondeur due à la différence de niveau entre le terrain naturel et les ateliers pour l'approvisionnement des fournitures (matériaux drainants et géocomposite de drainage) ainsi que l'exiguïté des zones de travail tout particulièrement au droit des zones de soutènement par pieux non jointifs (couloirs de travail de 10 m de hauteur sur 2 m de large). Ceci contraint à l'utilisation de mini matériel avec de faibles rendements (photo 6).

Bassins

En raison des exigences environnementales concernant la qualité des rejets d'eau en provenance du chantier, le terrassement des bassins à leur em-

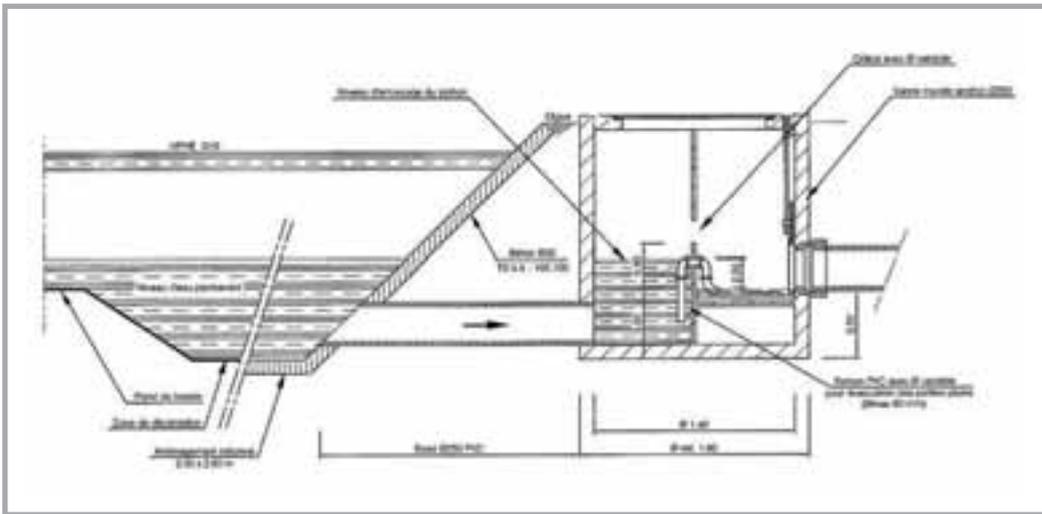


Figure 6
Coupe type bassin
et ouvrage de vidange

*Typical cross section
of tank and drainage
structure*



placement définitif a été un préalable à tous travaux de terrassement dans les zones concernées, afin de recueillir les eaux de ruissellement chargées en éléments fins et d'assurer une décantation maximale avant rejet dans le milieu naturel. En phase provisoire, les bassins ont été équipés de surverses ou de buses de fuite provisoires accompagnées de filtres à paille.

Dans la mesure du possible, les ouvrages de vidange définitifs ont été posés à ce stade des travaux ainsi que les surverses bétonnées afin d'assurer un fonctionnement optimum du regard siphoné avec une possibilité de fermeture par vanne en cas de besoin d'eau interne au chantier, ou de mauvaise qualité des eaux rejetées (figure 6).

L'étanchéité des bassins n'a pas fait l'objet de travaux spécifiques étant donnée la nature des matériaux in situ (schistes décomposés). En effet, les essais de perméabilité réalisés sur les fonds de bassins ont montré une perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s, soit inférieure aux exigences de l'arrêté préfectoral "Loi sur l'eau". De la même manière, les bassins étant tous terrassés en équilibre déblai/remblai, les matériaux mis en œuvre dans les digues ont montré les mêmes propriétés.

■ SPÉCIFICITÉS ENVIRONNEMENTALES

Le tracé du contournement nord d'Angers traverse une zone rurale dans sa partie ouest, et une zone urbaine dans sa partie Est.

La zone ouest se compose de zones agricoles à faible relief, et d'une Znieff de type II longue de 5 km (soit un tiers du tracé) comprenant plusieurs stations botaniques et mares à protéger, dans les emprises du chantier, ou à proximité immédiate de celles-ci.

La partie Est se développe en zone urbaine (agglomération d'Avrillé puis ville d'Angers). Pour les riverains du chantier, le bruit et la poussière sont les principales nuisances environnementales générées par les travaux de terrassement

Le Plan de respect de l'environnement (PRE) décrit les dispositions de protection de l'environnement,

organisationnelles et techniques, prises par le groupement dans le cadre des travaux du contournement Nord d'Angers.

Les moyens

Dans son organisation générale, le groupement s'est adjoint les services d'un ingénieur Environnement, chargé de veiller à la bonne application du PRE sur le chantier, et épaulé par une équipe de terrain pour la mise en place et l'entretien des dispositifs de protection de l'environnement, tels les filtres à pailles, le balisage des zones sensibles, etc.

Contrôle et suivis mis en place

Protection des milieux naturels

La préservation des zones sensibles (stations botaniques, mares) dans les emprises et/ou à proximité de celles-ci, est assurée par un balisage des zones à protéger, et une délimitation matérialisée par des panneaux d'information. Au niveau des méthodes, l'intégration des contraintes environnementales a conduit par exemple à déplacer une mare en tenant compte de la période de reproduction des batraciens.

Eaux

L'assainissement provisoire a été réalisé avant le démarrage des travaux de terrassement pour éviter l'entraînement des eaux chargées vers le milieu naturel. A ce jour, l'équipe environnement a mis en place plus d'une soixantaine de filtres à fines afin de minimiser l'impact des rejets vers les cours d'eau et étangs situés à proximité du chantier. La surveillance et l'entretien périodique de ces dispositifs garantissent leur bon fonctionnement dans les conditions normales de pluviométrie.

Bruit

Le respect strict des horaires de travail permet de limiter, en particulier en zone urbaine, les nuisances acoustiques générées par les travaux de terrassement.

Afin de réduire au maximum les nuisances sonores, les merlons de protection acoustique ont été réalisés dès que possible. Par ailleurs, dans la zone urbaine, et afin d'atténuer l'impact sonore des klaxons de recul, l'intensité de ceux-ci a été réduite autant que possible, sans bien sûr remettre en cause la sécurité des travailleurs.

Poussières

La saison estivale a été particulièrement sèche en Anjou. Afin d'éviter les envols de poussières vers la nature et les cultures environnantes, il a été nécessaire de mobiliser cinq arroseuses, qui ont humidifié en permanence les zones d'activité concentrées principalement dans la zone ouest.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Terrassements

Déblais : 2 200 000 m³

Ouvrages d'art courants

- 8 passages supérieurs (PS)
- 7 passages inférieurs (PI)
- 1 ouvrage de 115 m à structure mixte acier-béton au-dessus de la RD 106

Tranchée couverte

- Béton : 75 000 m³
- Armatures : 7 500 t

Viaduc de la Maine

- Béton : 8 900 m³
- Acier de charpente : 2 700 t

Chaussées

- Grave bitume (GB) : 130 000 t
- Béton bitumineux (BB) : 58 000 t
- Grave non traitée (GNT) : 60 000 t

Dans toute la zone urbaine, le passage de bayauses, arroseuses, aspiratrices a été privilégié.

Gestion des déchets

Un plan de gestion des déchets a été mis en place sur le chantier. Il définit la nature du déchet, son conditionnement, les entreprises chargées de son transport et de son élimination. Les déchets issus des installations mécaniques sont éliminés par des filiales spécialisées et agréées.

■ ORGANISATION DE LA QUALITÉ

Le plan d'assurance qualité définit les dispositions prises par le groupement en matière de qualité. Il comprend : une note d'organisation générale, dans laquelle le groupement décrit notamment ses moyens en personnel et en matériel, et l'organisation de ses contrôles pour la réalisation des travaux dont il a la charge. Le contrôle des terrassements est double : interne, et externe. Le premier est basé sur l'auto-contrôle des exécutants, fruit de leur savoir-faire. Il consiste à attester de la conformité des travaux aux règles préétablies par des essais et contrôle définis par le marché et le plan d'assurance qualité dans toutes les phases du projet. Le second, indépendant de la chaîne de production, doit faire la preuve que l'ouvrage réalisé est conforme aux clauses du marché. Pour cela, il vérifie et valide les opérations du contrôle interne ainsi que la bonne application du plan d'assurance qualité, et s'appuie dans sa mission sur les résultats du contrôle interne (le laboratoire géotechnique et la cellule topographie). Dans son organisation générale, le groupement a mis en place :

- ◆ un chargé Qualité ;
- ◆ un chef de laboratoire assisté d'un technicien et de deux opérateurs de laboratoire ;
- ◆ un chef de mission secondé par trois brigades "topo", chacune composée d'un opérateur "topo" et d'un porte-mire ;
- ◆ des procédures qui décrivent le mode opératoire des tâches réalisées et leur contrôle ;
- ◆ un plan de contrôle général synthétisant les contrôles prépondérants à l'obtention de la qualité du produit à livrer.

Le laboratoire Géotechnique a réalisé plusieurs études afin d'optimiser le réemploi des matériaux du site. Les limons rencontrés en couverture du déblai 14 ont fait l'objet d'une étude de traitement à la chaux pour être utilisés en remblais techniques d'ouvrage d'art. Pour réaliser la PST, des études de formulation ont conduit au traitement au liant spécial routier des schistes décomposés présents en grande quantité sur le chantier.

Le contrôle interne vérifie les terrassements à toutes les étapes de la production pour garantir la bonne exécution des travaux selon les plans de contrôles décrits dans tableaux I, II et III.

Type contrôle	Opération	Nature des contrôles	Fréquence	PA/PC *
LABO	Proposition de traitement	Etude de traitement à la chaux vive	Chaque proposition de traitement	PA
	Tri des matériaux	Visuel identification	Continu A chaque gisement	
	Contrôle des teneurs en eau	Ajustement de la teneur en eau avant et après traitement	3 à 5/jour de traitement	PC
	Contrôle de la portance	Essai à la plaque (Ø 600 mm)	3 à 5 essais (suivant la géométrie de l'ouvrage) tous les mètres	PC
	Contrôle de la portance	Essai à la plaque (Ø 600 mm)	3 à 5 essais (suivant la géométrie de l'ouvrage) le dernier mètre	PA
TOPO	Contrôle des entrées en terre	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA
	Conformité des blocs techniques	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA

* PA : Point d'arrêt - PC : Point de contrôle

Tableau I

Contrôles des remblais contigus aux ouvrages d'art (matériaux : limons traités à la chaux).

Spécifications : 50 MPa pour les PS et 80 MPa pour les PI et les PH pour les deux derniers mètres

Inspection of backfills adjacent to civil engineering structures (materials: lime-treated loams). Specifications: 50 MPa for overpasses and 80 MPa for underpasses and hydraulic ducting for the last two metres

Type contrôle	Opération	Nature des contrôles	Fréquence	PA/PC *
LABO	Proposition de traitement	Etude de formulation	A chaque proposition de traitement	PA
	Contrôle de l'adéquation des matériaux stockés /	Visuel Analyse granulométrique Essai de propreté (VBS) Essai PROCTOR	En continu	PC
	Contrôle des teneurs en eau	Ajustement de la teneur en eau avant et après traitement	3 à 5 par jour de traitement suivant les quantités mises en œuvre	PC
	Contrôle de la compacité (densification q4)	Mesure au gamma - densimètre (type Troxler)	1 tous les 500 m ²	Pc
	Contrôle de la portance	Essai à la plaque (Ø 600 mm) et déflexion	2 essais par profil et par sens de circulation à 28 jours de traitement	PA
TOPO	Contrôle des entrées en terre	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA
	Conformité des profils	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA

Tableau II

Contrôles de la PST traitée au liant hydraulique. Spécification : performance 100 MPa (PST traitée au LSR). ± 2 cm pour 95 % des points et ± 3 cm pour 100 % des points mesurés

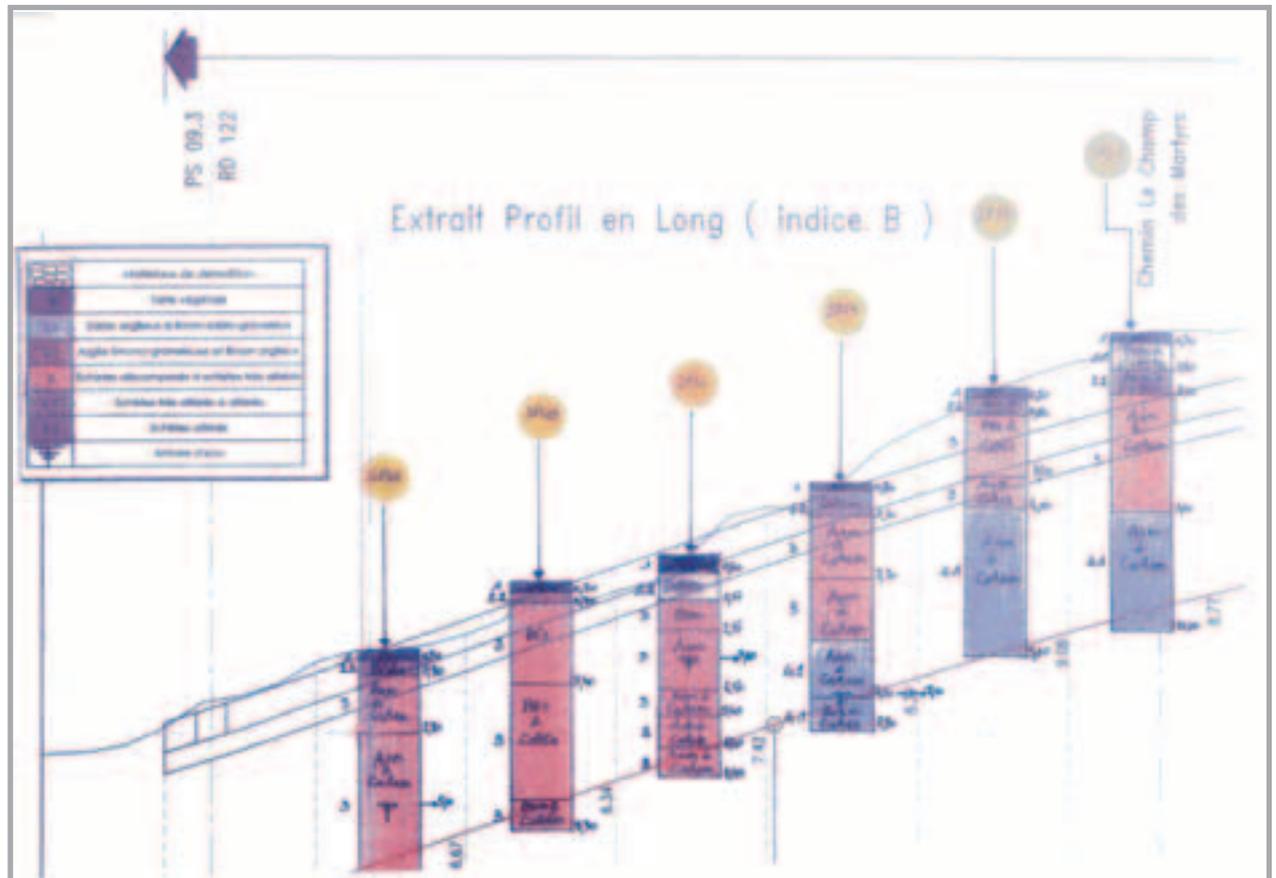
Inspection of the formation level treated with hydraulic binder. Specification: performance 100 MPa (formation level treated with special road binders). ± 2 cm for 95 % of the points and ± 3 cm for 100 % of the points measured

Tableau III
Contrôles de la PST
granulaire (GNT 0/120)
Spécification : arase
de type AR2 ≥ 50 MPa
0/+ 5 cm pour 90 %
des points mesurés
Inspection of the granular
formation level (0/120
pit-run gravel)
Specification : levelling
course of the type AR2
 ≥ 50 MPa
0/+ 5 cm for 90 %
of the points measured

Type contrôle	Opération	Nature des contrôles	Fréquence	PA/PC *
LABO	Vérification de la qualité du sol support (fond de PST à la cote arase -0,40m)	Contrôle visuel et/ou passage d'un engin lourd	En continu	PA
	Identification de la GNT 0/120	Autocontrôle du fournisseur Analyse granulométrie Essai de propreté (VBS)	hebdomadaire 2 / sem 2 / sem	PC
	Compactage	Méthode Q/S	En continu	PC
	Contrôle de la portance	Essai à la plaque (\varnothing 600 mm)	2 essais par profil et par sens de circulation	PA
TOPO	Contrôle des entrées en terre	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA
	Réception du fond de PST	altimétrie	Tous les profils	PC
	Conformité des profils	altimétrie planimétrie	Tous les profils	PA

* PA : Point d'arrêt - PC : Point de contrôle

Figure 7
Extrait
profil en long
Excerpt
of longitudinal profile



A noter que la maîtrise d'œuvre procédera à un contrôle au deflectographe après la période hivernale afin de lever le point d'arrêt (figures 7, 8 et 9).

■ PRÉVENTION

Dans son organisation, le groupement des terrassiers a mis en place un chargé de sécurité, dont la principale mission est de veiller à la sécurité des salariés et de gérer, en collaboration avec le coordonnateur SPS du chantier, les sujétions de co-activités interentreprises ainsi que les problèmes de croisement avec les voiries locales. Dans un souci d'efficacité (la sécurité ne tolère pas de délai) il lui a été adjoint une équipe autonome prête à intervenir sur n'importe quel point du chantier.

Sécurité des salariés

Un PPSPS a été établi au début du chantier, il est régulièrement mis à jour à chaque apparition d'un nouveau risque ou d'un nouveau mode opératoire. Des réunions hebdomadaires ("Quart d'heure sécurité") sont organisées par équipe, avec l'ensemble des compagnons. Ces réunions sont consacrées

à une discussion/réflexion sur la sécurité. Ces quarts d'heure sécurité sont divisés en deux parties, la première traite d'un sujet choisi par l'animateur (problème propre au chantier suite à un incident, un presque accident ou un accident, ou tout autre sujet touchant la sécurité). La deuxième partie est une tribune libre où la parole est donnée aux compagnons qui peuvent alors aborder tous les sujets liés à la sécurité.

Circulation

Cohabitation VL et engins sur le chantier : tous les véhicules circulent codes allumés + gyrophares pour les VL. Dans les zones de forte activité terrassement, le coordonnateur SPS a demandé aux autres intervenants d'éviter ces secteurs en privilégiant les voiries locales.

En ce qui concerne les interférences avec les circulations locales : différentes solutions ont été mises en œuvre selon les densités du trafic et la topographie des lieux :

- ◆ signaleurs ;
- ◆ signaleurs équipés de talkie-walkie ;
- ◆ carrefour à feux télécommandés ;
- ◆ mise en place de ponts provisoires pour les routes

Les formations d'argile limono-graveleuse (A1 m à h) et les limons argileux (A2 s à h) rencontrés en couverture du Déblai 14 ont été utilisés après traitement à la chaux vive avec 1 à 2% suivant l'état hydrique en blocs techniques d'ouvrages d'art avec la condition de vérifier $ICBR(IPI \geq 1)$ [cf. le guide de traitement des sols GTS 2000]

Matériau (suivant GTR 92)	Proctor (OPN)	Compaction	à 95% OPN à Wopt (naturel)			à 95% OPN à Wopt + 2% H ₂ O + 1% CoO			à 95% OPN à Wopt + 4% H ₂ O + 2% CoO		
			IPI	ICBR	G	IPI	ICBR	G	IPI	ICBR	G
Mélange argileux (A1 / A2 s à h)	W (%) = 12.60 pd (t/m ³) = 1.925		15	3	1.28	18	30	0	13	29	0

Légende: IPI (Indice Portant Immédiate)
ICBR (CBR après 4 jours)
G (gonflement linéaire relatif en %)

Figure 8
Etude de traitement à la chaux
Lime treatment study

Pour le traitement de la PST, deux classes de matériaux issues du Déblai 14 ont été sélectionnées et stockées, des valeurs d'IPI ont donc été mesurées sur des schistes très altérés (B5 à C05) et sur des schistes décomposés (A1 à C1A1) avec adjonction de 3% de POLAC P1 (liant hydraulique à réactivité rapide) permettant de vérifier la condition $ICBR(IPI \geq 1)$ [cf. le guide de traitement des sols GTS 2000]

Classes de matériaux (suivant GTR 92)	Passant à 0.075 mm (en %)	Argilosité (g/100g de sol)	Proctor (OPN)	Compaction à 95% OPN à Wopt		
				IPI	ICBR	G
Schiste très altéré (B5 à C05)	25 < d < 35	0.50 < YBS < 1.00	W (%) = 13.00 pd (t/m ³) = 1.655	23	73	0.04
Schiste décomposé (A1 à C1A1)	35 < d < 70	1.00 < YBS < 2.00	W (%) = 17.70 pd (t/m ³) = 1.710	20	59	0

Légende: IPI (Indice Portant Immédiate)
ICBR (CBR après 4 jours)
G (gonflement linéaire relatif en %)

Figure 9
Etude de formulation de la PST
Formation level mix design study

dont la coupure n'a pas été autorisée ou, pour celles dont la durée de coupure se révélait trop longue pour la circulation urbaine locale.

Co-activité interentreprises

Des réunions de chantier spécifiques aux problèmes de co-activités entre les entreprises ont été organisées par la maîtrise d'œuvre. Au cours de ces réunions, les plannings de travaux sont consolidés en un planning général, afin de mettre en évidence les problèmes qui peuvent mettre en cause la sécurité des travailleurs et ainsi les régler le plus en amont possible.

Sur des points particuliers, notamment la tranchée couverte et l'échangeur du RD 106, qui mettent en présence de nombreux acteurs, des sous-commissions ont été mises en place pour traiter des sujets les plus pointus.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Cofiroute

Maitre d'œuvre et entreprise générale

- SCAO (Société de Construction d'Autoroutes de l'Ouest)
- SOCASO (Société de Construction des Autoroutes du Sud et de l'Ouest)

Terrassements

Groupement GTM Terrassement - Deschiron - Helary

Ouvrages d'art courants

- Blandin Fonteneau (Eiffage)
- GTM Terrassement
- EJM Grands Travaux

Tranchée couverte

Groupement Dodin

Viaduc de la Maine

Eiffage TP

Viaduc de la RD 106

Forézienne d'Entreprises (Eiffage)

Chaussées

- Eurovia Grands Travaux
- Colas Centre Ouest

ABSTRACT

The bypass north of Angers

J. Guibert, D. Goumard

The Angers northern bypass via the A11 motorway is the missing link on the Paris-Nantes corridor. When commissioned around 2008, it will greatly reduce the volume of traffic currently transiting via the road along the river banks in the city of Angers. This section is special in that over 20 % of its route passes through a highly urbanised zone, which for obvious environmental reasons required the construction of a cut-and-cover tunnel 1 700 metres long, which by itself accounts for 800,000 cu. m of the 2,200,000 cu. m of earthworks represented by the project.

Geotechnics: The good results obtained in laboratory from research on lime and road binder treatment of the materials encountered (weathered shales topped by a layer of clayey loams) meant that the technical backfills for civil engineering structures and 60 % of the upper platform for the earthworks were able to be executed with site materials. **Monitoring and follow-up:** The last three chapters are devoted to the organisation put in place for work monitoring and follow-up in the areas of the environment, quality and risk prevention.

RESUMEN ESPAÑOL

La variante Norte de Angers

J. Guibert y D. Goumard

La variante Norte de Angers por la autopista A11 constituye el eslabón faltante del eje París-Nantes. Su entrada en funcionamiento en el horizonte 2008 permitirá disminuir de forma muy sensible el volumen del tráfico que transita actualmente por la vía de circulación en los márgenes del río que cruza la ciudad de Angers. La particularidad de este tramo reside en atravesar sobre el 20 % de su trazado una zona fuertemente urbanizada, lo que ha precisado para diversos motivos medioambientales evidentes la construcción de una zanja cubierta de 1 700 m, que representa por sí sola 800 000 m³ de movimientos de tierras de los 2 200 000 m³ que representa el proyecto.

Geotécnica: Los buenos resultados obtenidos en laboratorio durante diversos estudios de tratamiento por cal y

con ligante vial de los materiales con que se ha tropezado (esquistos alterados con una capa superior de limos arcillosos) han permitido efectuar los terraplenados técnicos de las obras de fábrica así como el 60 % de la plataforma superior de los movimientos de tierras con los materiales del emplazamiento.

Control y seguimiento: Los tres últimos capítulos están dedicados a la organización implantada para el control y el seguimiento de los trabajos en los ámbitos del medio ambiente, de la calidad y de la prevención de los riesgos.

Elargissement à 2 x 3 voies de la RN 286

Située à la hauteur de Versailles (Yvelines), la RN 286 constitue sur 7 km l'axe principal de liaison dans le secteur sud-ouest de la région Ile-de-France. Systématiquement saturée aux heures de pointe, son élargissement à 2 x 3 voies s'est avéré indispensable. La réalisation de l'élargissement stricto sensu a nécessité la prise en compte et la résolution de contraintes lourdes telles que : circulation maintenue en permanence, proximité immédiate de la circulation, site délicat sur le plan environnemental.

La gestion du chantier de la RN 286, s'est inscrite pour tous les acteurs dans le cadre d'une démarche environnementale complète : utilisation de pulvérulents à faible émission de poussière, emploi de matériaux de recyclage, MIOMS, puis recours à des matériaux enrobés à très hautes performances, le tout guidé très précisément (3D).

Au final, un chantier exemplaire en termes de développement durable et de sécurité.

■ INTRODUCTION

Située à la hauteur de Versailles (Yvelines), la RN 286 constitue l'axe principal de liaison dans le secteur sud-ouest de la région Ile-de-France. Elle assure la liaison entre les axes A12 et RN 12 à l'ouest et l'autoroute A86 sud à l'est.

D'une longueur de 7 km, schématiquement entre l'Epi d'Or et le Pont Colbert, la section travaux traverse les communes de Guyancourt, Saint-Cyr-l'Ecole, Versailles, Buc et Jouy-en-Josas (figure 1).

Actuellement à 2 x 2 voies et supportant un trafic supérieur à 100000 véhicules par jour, elle est systématiquement saturée aux heures de pointe du matin et du soir. Son élargissement à 2 x 3 voies s'est donc révélé indispensable et a été déclaré d'utilité publique en 1998 pour un montant de 80,8 M€ financé à 30 % par l'Etat et 70 % par la Région Ile-de-France. Il est réalisé par la DDE des Yvelines.

Les premiers travaux ont débuté en 2000 ; libération des emprises militaires dans le camp de Satory, mise au gabarit de six ouvrages d'art, construction de protections phoniques jusqu'en 2003. Depuis avril 2003 ont commencé les travaux de terrassement, d'assainissement et de chaussée.

■ LES TRAVAUX

Contraintes et phasage

La réalisation du marché "Terrassement, assainissement, chaussée" a nécessité la prise en compte et la résolution des contraintes suivantes :



Figure 1
Plan
de situation
*Location
drawing*

- ◆ circulation maintenue en permanence pendant toute la durée des travaux ;
- ◆ proximité immédiate de la circulation ;
- ◆ site jouxtant la forêt domaniale du château de Versailles au nord et le site militaire de Satory au sud.

Le phasage des travaux a été réalisé comme suit (figure 2, page suivante).

En plus des contraintes liées au maintien de la circulation, la réalisation du chantier a nécessité une réactivité de chaque instant et une adaptation permanente tant au niveau des terrassements, et couches de chaussées qu'au niveau des bassins.

Les bassins

Dans le cadre des travaux d'élargissement de chaussée, l'ensemble du système de collecte des eaux pluviales a dû être repris. Ce travail a consisté à

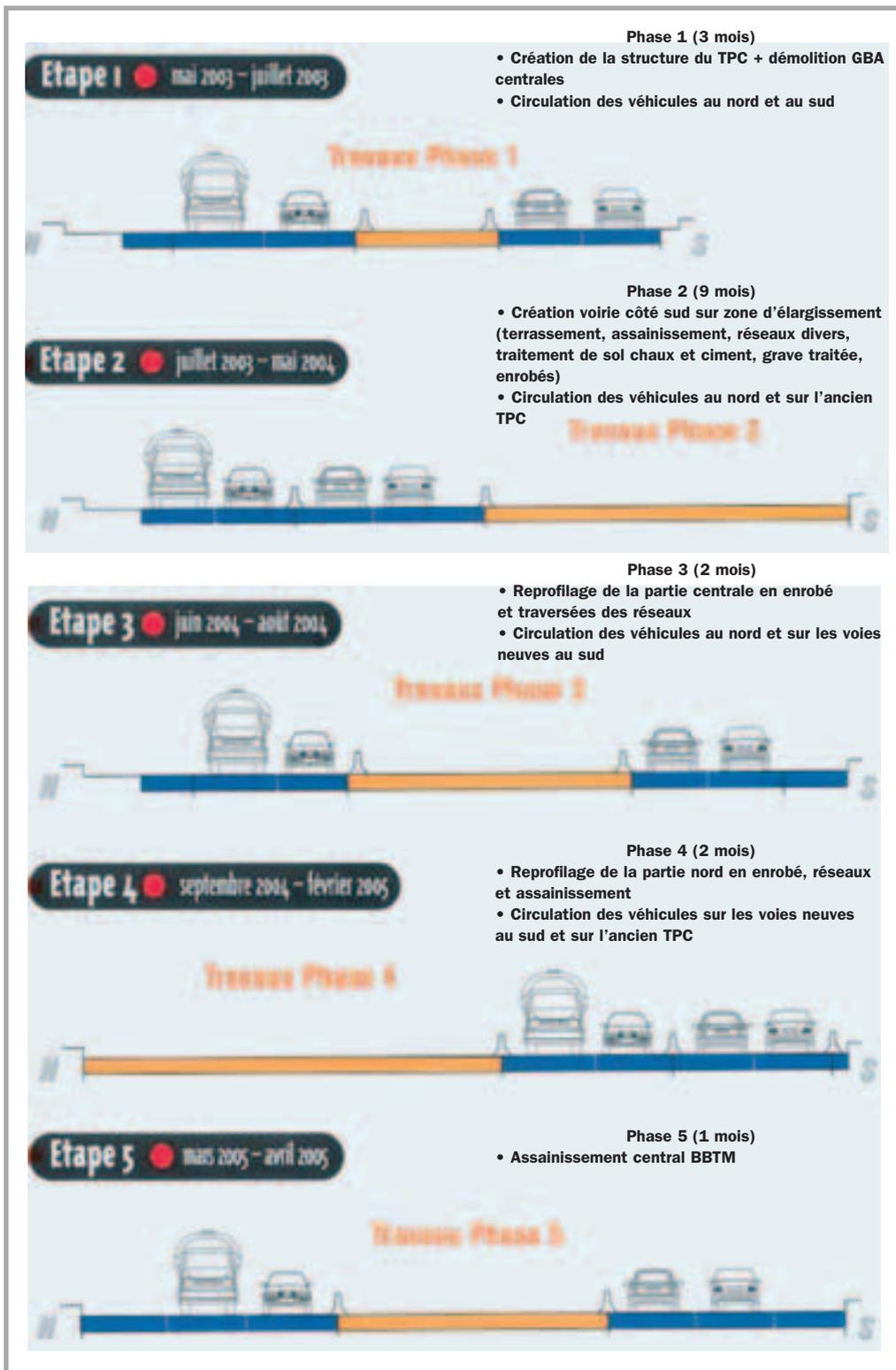


Figure 2
Détail des différentes phases

Details of the various phases



poser le long des rives, des caniveaux à ciel ouvert ou des tuyaux enterrés, du diamètre 1000 au diamètre 300, ainsi qu'à créer une série de bassins de rétention.

Au total six bassins de capacité variant entre 2100 m³ et 1000 m³ ont été réalisés, chacun équipé d'ouvrage de régulation de débit et de traitement des hydrocarbures.

Compte tenu du peu d'espace entre la chaussée et les terrains militaires, leur réalisation a parfois

nécessité un approfondissement allant jusqu'à 6 m et une consolidation à l'aide de murs en béton.

Les terrassements et chaussées de la phase 2

La nature des matériaux en place et le manque de portance rencontrés lors de la phase terrassement sont à l'origine des adaptations.

Celles-ci, résultant d'une étroite collaboration entre le maître d'œuvre le LROP et l'entreprise, ont abouti à la structure finale suivante :

- ◆ 2,5 cm BBTM ;
- ◆ 5,0 cm BBME 0/10 ;
- ◆ 7,5 cm EME 0/10 ;
- ◆ 8,5 cm Modulovia 0/14 (béton bitumineux à module élevé et très hautes performances de la gamme Eurovia) ;
- ◆ PF4 ;
- ◆ 25 cm Scorcim C (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères élaborés et traités au ciment) ;
- ◆ 40 cm LTCC (limons traités chaux-ciment) ;
- ◆ remblais renforcés.

Le principe de l'établissement de la structure, tout enrobés hautes performances sur PF4, procède de la démarche suivante :

- ◆ dans le principe des structures classiques, force est de constater que nos habitudes créent un gradient de qualité du bas vers le haut ;

- ◆ la région Ile-de-France très déficitaire en matériaux de qualité pour chaussée, une politique de gestion plus rationnelle des matériaux naturels est progressivement mise en place. Elle se traduit notamment par l'élaboration de guides techniques relatifs à l'emploi de matériaux régionaux dont l'emploi en technique routière est promu et clairement défini.

Chez Eurovia cette politique de gestion des matériaux se traduit principalement par l'emploi des matériaux régionaux naturels ou artificiels en couche de forme en forte épaisseur, avec en corollaire l'obtention d'une plate-forme support de chaussée de haut niveau. Parallèlement, la DDE dans le cadre de la charte pour une gestion durable et une utilisation rationnelle des granulats en Ile-de-France a pleinement soutenu les solutions proposées par le groupement d'entreprises.

A partir de ces constatations, il est apparu naturel de penser à rationaliser l'utilisation des matériaux dans les structures de chaussées.

La démarche a consisté à optimiser l'épaisseur et la fonction de chacune des couches :

- ◆ couche de roulement : pas de travail structurel sur cette couche ;
- ◆ couches de liaison et base : utilisation de BBME et d'EME (Renfovia) afin de soulager au maximum la couche de fondation ;
- ◆ couche de fondation : c'est la couche dimensionnante. Utilisation du Modulovia, enrobé à très hautes performances ;



Photo 1
Liant à faible émission de poussière permettant la réalisation du traitement à moins d'un mètre de l'emprise de circulation préservant l'environnement forestier. Avec 3000 t utilisées, le chantier de la RN286 est actuellement celui qui a nécessité le plus important volume de Ligex 16 EPR

Binder with low dust emissions allowing treatment to be performed less than one metre away from the trafficked area, protecting the forest environment. With 3000 tonnes used, the RN286 highway project is currently the project that has required the greatest volume of Ligex 16 EPR

◆ couche de forme : utilisation et optimisation des matériaux en place de la région parisienne (objectif : contribuer au fonctionnement de la structure et assurer la tenue au gel).

La prise en compte des contraintes de sécurité et environnementales pendant la première phase couche de forme en LTCC a imposé le choix de liant de traitement à faible émission de poussière; chaux Proviacal de Lhoist et Ligex 16 EPR des Ciments Calcia (photo 1).

La deuxième phase de la couche de forme a été réalisée en Scorcim C, Mioms (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères) traités aux liants hydrauliques. Produit mis au point et développé par SPL, filiale d'Eurovia, le Scorcim C de la Gamme Scormat entre pleinement dans la démarche de développement durable de la politique d'Eurovia. Les ressources naturelles sont préservées et les résidus ultimes des déchets ménagers sont valorisés (photo 2).

Les travaux de terrassements ont été réalisés du début septembre 2003 à fin octobre 2003 avec utilisation de matériels spécifiques tels que :

- ◆ pelle 934 et 914;
- ◆ tombereau A35;
- ◆ compacteur V5 pied de mouton.

Pour les terrassements :

- ◆ épandeurs à liant Elde 15 - Elde 17 - Panien 165-12/316-15/316-18;
- ◆ malaxeur Wirtgen WR 2500 S (670 CV - profondeur de coupe = 50 cm);



Photo 2
Vue d'ensemble pendant la réalisation du LTCC (limon traité chaux-ciment)
Overall view during production of lime/cement treated loams



Photo 3
Contrôle A.P.L du LROP sur la couche de Modulovia
A.P.L inspection by the LROP on the Modulovia layer

- ◆ tracto arroseur-enfouisseur pour l'appoint d'eau;
- ◆ niveleuse;
- ◆ compacteurs de classe V4 et classe P2.

Pour le LTCC :

- ◆ niveleuse;
- ◆ compacteurs de classe V3 et classe P2.

Pour le Scorcim C : les couches de LTCC et Scorcim C ont été mises en œuvre par guidage 3D, ce qui a permis l'obtention d'une régularité altimétrique exceptionnelle : ± 1 cm en tout point.

La plate-forme support de chaussée étant réceptionnée par déflexion à 28 jours, en tout point inférieure à 0,5 mm (PF4), les différentes couches d'enrobés commencent par le Modulovia.

La fabrication et mise en œuvre des enrobés se sont étalées de mi-février à fin avril.

Le principe retenu pour la mise en œuvre était la réalisation à la poutre de bandes de 3 à 5 ml de large avec fraisage des 20 cm du bord avant mise en œuvre de la bande suivante.

Chaque couche était réceptionnée en APL avant mise en œuvre de la suivante (photo 3).

Photos 4 et 5
 Mise en œuvre
 du Renfovia
 sur Modulovia
 Laying Renfovia
 on Modulovia



QUELQUES CHIFFRES CLÉS

- Durée totale des travaux : 5 ans
- Projet global RN 286 : ~ 81 M€
- Coût au kilomètre : ~ 11 M€
- Linéaire protections acoustiques : > 1 000 ml
- Marché "Terrassements - Assainissement - Chaussées" : ~ 15,4 M€
- Durée des travaux : 21 mois
- Linéaire assainissement : 11 500 ml
- Terrassements : 60 000 m³
- Surface traitement LTCC : 60 000 m²
- Scorcim C : 40 000 t
- Enrobés spéciaux : 100 000 t
- Grave mousse : 8 800 t

Le matériel retenu était :

- ◆ un finisseur Titan 511 équipé de poutres de réglage ;
- ◆ un finisseur ABG 325 ;
- ◆ des compacteurs CB 624 et CC 422 (photos 4 et 5).

Les travaux de reprofilage - Phase 3

Pour la mise à 2 x 3 voies de la RN 286, la rectification du profil en travers amenait à un reprofilage transversal allant de 5 à 30 cm d'épaisseur. Cette opération se situait à l'aplomb de la voie rapide côté sud.

Ce reprofilage prévu à l'origine en grave bitume GB3 a été soumis à l'agrément du maître d'œuvre en grave mousse. Ce produit de l'entreprise Eurovia est une grave traitée à la mousse de bitume.

Les intérêts de la substitution étaient très nombreux :

- ◆ réglage plus précis avec niveleuse guidée par station totale ;
- ◆ matériau plus modelable et stockable convenant parfaitement pour du reprofilage ;
- ◆ matériau plus léger que la grave bitume ;
- ◆ pas de risque de vapeur au droit de la circulation en cas de pluie ;
- ◆ utilisation d'un matériau "écologique" s'inscrivant parfaitement dans la politique de développement durable du groupe Eurovia :
- matériau froid,
- utilisation d'agrégats de recyclage et de bétons de récupération.

La formulation de la grave mousse a été établie et étudiée conjointement par le laboratoire de Bretagne et le centre de recherche de Bordeaux.

La grave mousse a été fabriquée sur le site D.L.B

de Limeil-Brevannes après vérification de l'étalonnage de la centrale et après étalonnage du banc mousse.

Après épandage d'une couche d'accrochage Emulvia fortement dosée (~ 500 g/m² résiduel).

La mise en œuvre a été réalisée en une ou deux couches à la niveleuse et le compactage par VT2 en moyenne ou faible amplitude suivi du passage de P2. Les compacités obtenues oscillaient autour de la qualité q1.

L'opération réalisée de nuit en juin 2004 représente 8800 t de grave mousse.

■ CONCLUSION

Le chantier de la RN 286 qui s'est achevé fin 2005 par la mise en œuvre du BBTM, a donc été le théâtre, en étroite collaboration avec le maître d'œuvre et le LROP, du savoir-faire Eurovia :

- adaptation à un contexte terrassement difficile ;
- valorisation des matériaux locaux naturels et artificiels ;
- économie de matériaux nobles ;
- utilisation de matériaux à très hautes performances ;
- utilisation de techniques de guidage de pointe.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Etat

Maitrise d'œuvre

DDE des Yvelines - Subdivision EGT2 Versailles

Exploitation routière

DDE des Yvelines - Subdivision autoroutière de Jouy-en-Josas

Laboratoire extérieur

LROP de Trappes

Terrassements - Assainissement - Chaussées

- Eurovia - Saint-Quentin-en-Yvelines (mandataire)
- E.J.L - Les Mureaux
- Watelet TP - Bois d'Arcy

Murs antibruit

Razel, Sysa (filiale Eurovia), BRS

Signalisation et équipements de sécurité

Somaro

Ouvrages d'art

Bouygues - DTP - Razel - Demathieu & Bard

Eclairage public

EI - ETDE - SDEL

ABSTRACT

Three-lane dual-carriageway widening of highway RN 286

G. Ragot, N. Wolff, V. Bezavada

At the level of Versailles (Yvelines), the RN 286 highway forms over 7 km the main connecting road artery in the southwest sector of the Ile-de-France region. Always saturated at peak hours, its widening to a three-lane dual-carriageway road was indispensable. To perform the actual widening work, major constraints had to be taken into account and resolved, such as: traffic constantly maintained, immediate vicinity of traffic, sensitive site from the environmental viewpoint.

For all the stakeholders, management of the RN 286 highway project formed part of a comprehensive environmental policy: use of powdered products with low dust emissions, use of recycled materials, household refuse incineration clinker, followed by the use of very-high-performance coated materials, all very precisely guided (3D). In the end, an exemplary project in terms of sustainable development and safety.

RESUMEN ESPAÑOL

Ampliación a 2 x 3 carriles de la Carretera Nacional 286

G. Ragot, N. Wolff y V. Bezavada

Ubicada en las proximidades de Versailles (Yvelines), la Carretera Nacional 286 constituye sobre 7 kilómetros el principal eje de enlace en el sector suroeste de la región Ile de France. Sistemáticamente objeto de atascos durante las horas punta, su ampliación a 2 x 3 carriles resultó ser indispensable. La ejecución de la ampliación stricto sensu ha precisado la integración y la resolución de importantes imperativos como por ejemplo: tráfico mantenido permanentemente, proximidad inmediata del tráfico, emplazamiento delicado respecto al medio ambiente.

La gestión de las obras de la Carretera Nacional 286, figura para todos los protagonistas en el marco de un enfoque medioambiental completo: utilización de pulverulentos de reducida emisión de partículas, empleo de materiales de reciclado, MIOMS, y también empleo

de diversos materiales aglomerados de muy elevados rendimientos, y todo ello con una suma precisión de guiado (3D). Al final, una obra ejemplar en términos de desarrollo sostenible y de seguridad.

Les canalisateurs de Sogea des tramways

Plébiscité par les citoyens dans les années 1990, le tramway, qui circule déjà dans 15 agglomérations de l'Hexagone poursuit son grand retour en France. Quels que soient la ville et le type de matériel, le schéma d'aménagement reste invariable et le premier corps de métier à entrer en scène sont les canalisateurs venant dévier, consolider ou réhabiliter les réseaux sous l'emprise de la plate-forme. Incarnant un métier historique de Sogea Construction (groupe Vinci), présent dans la quasi-totalité des directions régionales du réseau, ceux-ci étaient à l'ouvrage sur huit des neuf projets en cours à la fin 2005.

Quinze villes équipées, neuf chantiers en cours, 13 projets... Depuis une dizaine d'années, l'invention d'Alphonse Loubat, qui était tombée en désuétude dans les années 1960, revient en force dans les centres urbains où l'aspiration à une meilleure qualité de vie et d'environnement réussit à l'imposer ville après ville. Systématiquement, l'aménagement des tramways s'accompagne en effet d'une "requalification" du paysage urbain et d'une reconquête de ses espaces par les citoyens. De façon moins visible, cette métamorphose touche aussi la face cachée des villes, c'est-à-dire leur sous-sol, où s'enchevêtrent les réseaux d'eau potable et d'assainissement, ceux d'électricité, de gaz et de télécommunications, qui doivent être déviés ou remis à niveau, voire entièrement réhabilités et aménagés pour pouvoir être entretenus, maintenus ou réparés sans compromettre l'exploitation du tramway. Ce savoir-faire qui se conjugue naturellement au terrassement et au génie civil doit plus que tout autre se plier à des contraintes : emprises réduites, accès limité, tra-

vail en hauteur, coupures et rétablissements des réseaux par les concessionnaires, aléas météorologiques, imprévisibilité du sous-sol...

De Paris à Clermont-Ferrand en passant par Valenciennes, Grenoble, Mulhouse, Bordeaux, Nice et Montpellier, tour de France des chantiers de Sogea dans les villes qui roulent pour le tramway...

■ PARIS : UN MAILLON CLÉ DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA CAPITALE

Ici et là, entre la porte d'Ivry et le pont du Garigliano, sur les 7,9 km de son tracé, achève de prendre forme le tramway des Maréchaux Sud moins d'un an avant le démarrage de son exploitation commerciale, à la fin 2006. Bien avant que ce gigantesque puzzle ne laisse entrevoir le visage d'un Paris métamorphosé et modernisé, tout a commencé en 2003 pour Sobeia Environnement, au niveau du boulevard Jourdan, où subsistaient, depuis leur aménagement à la fin des années 1870, deux énormes canalisations de 900 et 1500 mm de diamètre assurant l'alimentation du réservoir de Montsouris.

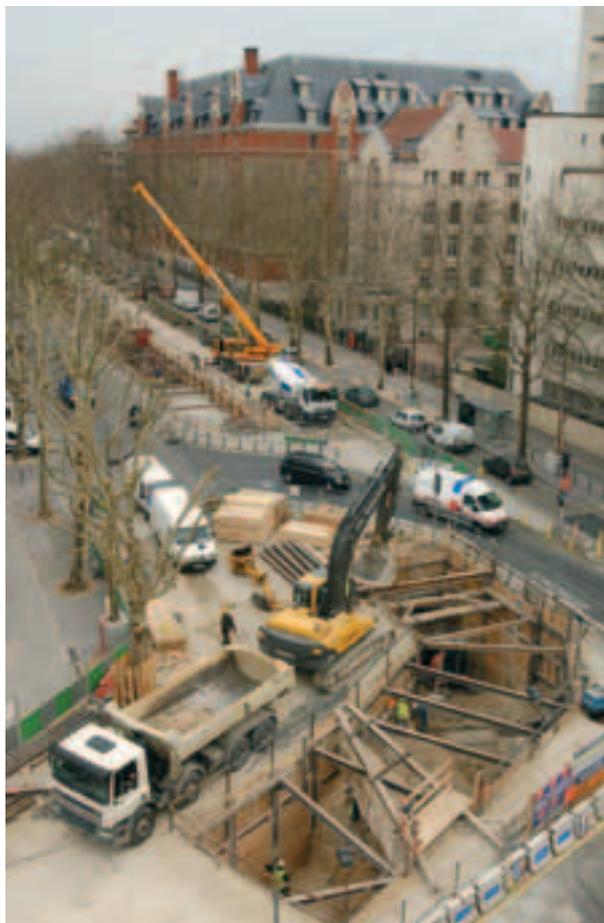
Le maintien de ces conduites installées à faible profondeur étant incompatible avec l'aménagement de la plate-forme du tramway, Sobeia Environnement, mandataire d'un groupement réunissant Darras et Jouanin et Razel, s'est vu confier la mission de remplacer les canalisations existantes, et préalablement à la mise en place du nouveau réseau, d'aménager une galerie technique destinée à le recevoir, soit un ouvrage en béton armé de grande section, réalisé entre blindages à ciel ouvert en grande profondeur sur 300 m le long du boulevard Jourdan.

"En milieu urbain, ouvrir une tranchée de 5 m de large sur 7 de profondeur en moyenne et y réaliser une galerie sur deux étages (avec un radier et des parois de 40 cm d'épaisseur) puis introduire dans cette galerie deux canalisations de 1500 mm et une de 900 mm en opérant une vingtaine de raccordements, c'est déjà un chantier de haute technicité, commente Pierre Coly, le directeur général adjoint de Sobeia Environnement, mais nous avons dû faire encore mieux, en gérant à l'heure près sur 9 mois de travaux le calendrier draconien des coupures établi par Eau de Paris (ex-Sagep), car il était évidemment exclu que nous privions d'eau les Parisiens..." (photo 1).

Photo 1

Paris, boulevard Jourdan. Située à 7 m de profondeur et longue de 1000 m au total, la galerie technique réalisée par Sobeia Environnement abrite désormais les deux canalisations d'eau potable (diamètres 1500 et 900) approvisionnant les réservoirs de Montsouris

Paris, boulevard Jourdan. Located at a depth of 7 m and of overall length 1000 metres, the pipe gallery constructed by Sobeia Environnement now contains the two potable water pipelines (diameters 1500 and 900 mm) supplying the Montsouris tanks



ouvrent la voie au retour

BOULEVARD JOURDAN

- Terrassements : 23 000 m³
- Volume de béton : 6 500 m³
- Longueur des canalisations : 1 400 m
- Nombre d'heures de travail : 80 000
- Montant des travaux : 15 M€
- Maître d'ouvrage : Eau de Paris (ex Sagep)
- Maître d'œuvre : Eau de Paris (ex Sagep)
- Début des travaux : octobre 2003
- Fin des travaux : août 2004

■ PARIS : RENFORCEMENT D'UN OUVRAGE D'ART CENTENAIRE BOULEVARD KELLERMANN

A ces premiers travaux mêlant génie civil et canalisations, concernant donc les équipes des trois agences de Sobeia Environnement en région parisienne, s'est ajoutée quelques mois plus tard une autre opération, mais de génie civil exclusivement : le renforcement de l'ouvrage d'art de la rue de la Poterne-des-Peupliers, boulevard Kellermann (XIII^e arrondissement), réalisé dans le cadre d'un groupement avec Razel (mandataire). Construit à la fin du XIX^e siècle pour enjamber la Bièvre qui amorçait là son cours parisien, l'ouvrage supporte, outre les voies de circulation du boulevard, une large contre-allée bordée de vénérables platanes. La plateforme du tramway devant être aménagée sur cette partie libre, la structure a dû être renforcée pour supporter sans dommages charges et efforts supplémentaires.

"Au droit du tracé, les travaux ont consisté à doubler la voûte en maçonnerie par une contre-voûte en béton armé, qui y est « épinglée » ; à renforcer le mur tympan par un voile en béton armé faisant office de contre-tympan et à conforter les murs en retour (prolongements du mur tympan de part et d'autre de la voûte) par apport d'un remblai de graves-ciment", explique Christophe Le Doré, le chef de secteur de l'agence de Massy de Sobeia Environnement.

Lancés à la mi-janvier 2005 avec un délai de réalisation de 27 semaines, y compris la préparation, les travaux ont commencé par d'importants terrassements sur toute la longueur de l'ancienne promenade et par l'aménagement d'une passe



Photo 2
Paris, rue de la Poterne-des-Peupliers. Côté intrados, une passe charretière a été installée pour soutenir la voûte maçonnée pendant les travaux de renforcement

Paris, rue de la Poterne-des-peupliers. On the intrados side, a truck passageway has been set up to support the masonry arch during the reinforcement works

charretière étayant la voûte maçonnée côté intrados. Au-delà de ses objectifs techniques, "c'est un projet très qualitatif", juge Christophe Le Doré, comme le montre l'aménagement d'une passerelle pour les piétons offrant un dégagement supplémentaire au niveau de la voûte, et surtout le remplacement des anciens garde-corps en béton par une balustrade en pierre de Souppes. Ajoutés aux aménagements propres au tramway (installation de candélabres et autre mobilier urbain), ces équipements contribueront à réintégrer à l'espace urbain un lieu naguère assez peu convivial (photos 2 et 3).

PONT DE LA RUE DE LA POTERNE-DES-PEUPLIERS

- Terrassements : 5 300 m³
- Épaisseur de la contre-voûte de renfort : 35 à 45 cm
- Effectif : 10 personnes
- Montant des travaux : 1,4 M€
- Maître d'ouvrage : Ville de Paris
- Maître d'œuvre : Gautrams (Groupement pour l'aménagement urbain du tramway des Maréchaux Sud)
- Début des travaux : janvier 2005
- Fin des travaux : juillet 2005

Pierre Coly
DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT
Sobeia Environnement

Christophe Le Doré
CHEF DE SECTEUR DE L'AGENCE
DE MASSY
Sobeia Environnement

Bruno Bianco
DIRECTEUR D'ACTIVITÉ ADJOINT
Sogea Nord

Christophe Beaudenon
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Sogea Nord

Maurice Collonge
RESPONSABLE DE L'AGENCE
DE GRENOBLE
Sogea Rhône-Alpes

Serge Bauer
RESPONSABLE D'AGENCE
TPHR

Joël Serre
CONDUCTEUR DE TRAVAUX
PRINCIPAL
Sogea Sud-Ouest Hydraulique

Gérard Maurice
DIRECTEUR RÉGIONAL SUD
Sogea

Christian Le Bec
DIRECTEUR RÉGIONAL ADJOINT
Campenon Bernard Méditerranée

Claude Duchêne
DIRECTEUR DE TRAVAUX
ET CHEF DE PROJET
Sobeia Auvergne



Photo 3
Paris, Poterne-des-Peupliers. La voûte ayant reçu son renfort de béton, un voile a également été coulé pour renforcer le mur tympan

Paris, Poterne-des-Peupliers. The arch having received its concrete reinforcement, a shear wall was also poured to reinforce the frontwall



■ VALENCIENNES : TRAVAUX D'ACCOMPAGNEMENT ET CONSTRUCTION DU DÉPÔT

Après trente années de crise qui ont vu Valenciennes perdre un tiers de sa population, l'aménagement du tramway est l'un des symboles les plus visibles de la renaissance de l'agglomération. Traversant le centre historique en pleine rénovation, la ligne en construction reliera à la fin 2006 le centre-ville d'Anzin, au nord-ouest, au campus de l'université du Mont-Houy, au sud. Là aussi, Sogea est intervenue en deux temps : sur les réseaux avec l'agence de Somain, et pour une opération de bâtiment réalisée en entreprise générale, la construction d'un dépôt pour l'entretien du tramway et des bus, qui a mobilisé ses équipes de Marcq-en-Barœul. "Les travaux de déviation n'ont pas été réalisés pour le compte du Siturv, le maître d'ouvrage du tramway, mais pour le Siav (Syndicat intercommunal d'assainissement de Valenciennes), en préalable à l'aménagement de la plate-forme, explique Bruno Bianco, directeur d'activité adjoint de Sogea Nord. Ils ont consisté en une série de déviations sur des tronçons de réseaux d'assainissement dans des diamètres de 200 à 1 200 (canalisations en béton armé, grès, PVC CR8 et PRV) réalisées sur bordereau de prix en 2004 et pendant le premier semestre 2005. De montants peu élevés pris isolément, ils ont atteint 2 M€ (part Sogea), un chiffre important compte tenu de la dimension de l'agence de Somain, dont l'effectif total ne dépasse pas 70 personnes."

Dans la partie nord de la ligne, au niveau de la station Saint-Waast, le dépôt a été édifié sur le site d'une ancienne cité minière de 2 ha. Ce marché de 14 M€ confié à Sogea en entreprise générale comportait plusieurs volets : des ateliers (tramway et bus); un poste central de commandement; une station-service; un hangar; des locaux de remisage ainsi que des ouvrages de "petit génie civil" (fosses pour l'entretien des rames, ouvrages destinés à l'appareillage technique, bassins), etc. Sur cette emprise de chantier classique épargnée par les difficultés des travaux en milieu urbain, tout n'était pourtant pas si facile en raison d'un délai très court de 12 mois et de la présence des nombreux corps d'état qui, au pic de l'activité, a vu l'effectif de chantier atteindre 120 personnes.

"Le délai a été tenu sans difficultés particulières car nous avons l'habitude de ce genre d'opération et, à l'exception du poste central de commandement, qui est un ouvrage sur deux niveaux entièrement en béton, les autres bâtiments s'apparentaient à des constructions industrielles avec des superstructures en charpente métallique et un bardage inox, donc d'exécution rapide", explique Christophe Beaudenon, directeur de travaux chez Sogea Nord. Sur ce chantier où 35 compagnons formaient l'équipe de gros œuvre de Sogea, trois personnes ont

par ailleurs été accueillies en insertion, conformément à une clause du contrat précisant que 7 % des heures travaillées devaient être consacrées à l'insertion mais sans obligation d'embauche.

"Sur les dix candidats proposés par l'antenne grands travaux après qu'ils eurent suivi une formation théorique de quatre semaines, nous en avons retenu trois, âgés de 25, 30 et 39 ans, tous chômeurs depuis plus de deux ans et n'ayant jamais travaillé dans le BTP, raconte Christophe Beaudenon. En fait leur motivation était telle que nous avons doublé le nombre d'heure d'insertion. A l'issue du chantier, le plus jeune a décidé de s'orienter vers une formation de carreleur et nous avons embauché le plus âgé. C'est une expérience bénéfique pour tout le monde : pour ceux qui peuvent ainsi retrouver un emploi, pour l'entreprise qui a du mal à trouver des gens, et pour les compagnons sur les prennent en tutorat sur le chantier, qui se trouvent valorisés par l'aide qu'ils apportent."

VALENCIENNES

- Construction de la ligne Transvilles : 9,5 km (19 stations)
- Maître d'ouvrage : Siturv (Syndicat intercommunal pour les transports urbains de la région de Valenciennes)
- Architecte (dépôt) : Jacques Ferrier
- Maître d'œuvre technique : Setec
- Montant des travaux (dépôt) : 14 M€
- Début des travaux : 23 juin 2004
- Réception des bâtiments : juin 2005
- Effectif de pointe : 120 personnes

■ GRENOBLE ET MULHOUSE : LES CONTRAINTES MAÎTRISÉES DE CHANTIERS LOCAUX

Aujourd'hui tous deux achevés et centrés sur des déviations de réseaux, les chantiers réalisés à Grenoble pour l'aménagement de la troisième ligne, et à Mulhouse, pour les deux lignes du "tram-train", un tramway à double profil voué à desservir Mulhouse et à relier plusieurs localités sur longue distance, illustrent bien le cadre général et la dimension locale de ce type de projet.

A Grenoble, attributaire d'un des quatre lots de déviation de réseaux (eau potable, eaux usées, eaux pluviales) du projet, à réaliser sur les communes de Seyssins et de Seyssinet-Pariset, et mandataire d'un groupement l'associant à Rampa, Sogea s'est trouvé confronté aux contraintes d'organisation d'un chantier où il fallait fournir des plans de phasage un mois à l'avance et qui, "en terme d'exécution et de rendement n'a rien à voir avec un chantier linéaire, juge Maurice Collonge, le responsable

de l'agence grenobloise de Sogea, *car en zone urbaine on se retrouve parfois avec trois conduites dans une même fouille.*"

Autre effet d'une forte densité de réseaux souvent mal répertoriés, les conducteurs de travaux, sont amenés à établir une grande quantité de DICT (déclaration d'intention de commencement de travaux) à adresser aux concessionnaires avant toute intervention, et il faut procéder à de nombreux sondages. Au demeurant, c'est un chantier qui n'aura pas posé de problème particulier (ni dépassement de budget, ni dépassement de délai) et dont le trait le plus marquant reste, pour Maurice Collonge, *"la construction d'une conduite en encorbellement sous le tablier du pont de Catane"* (photos 4 et 5) et l'exécution de deux chambres de vannes par le Syndicat Intercommunal des Eaux de la Région Grenobloise (SIERG).

GRENOBLE

- Chantier de la ligne n° 3 (environ 10 km)
- Maître d'ouvrage : SMTC (Syndicat mixte des transports urbains)
- Maître d'ouvrage délégué : Territoire 28
- Maître d'œuvre : groupement SIAS
- Montant du marché : 7,9 M€
- Début des travaux : juillet 2003
- Fin des travaux : mars 2005
- Effectif de pointe : 50 personnes

A Mulhouse, TPHR est intervenu sur les deux lignes du "tram-train" (12 km environ) à trois moments et dans trois cadres différents. Le premier est l'appel d'offres général, où l'entreprise a remporté les lots de déviation d'un réseau d'assainissement et de deux réseaux d'eau potable (montant cumulé : 1,4 M€ HT), exécutés pour l'essentiel en 2003; le deuxième, la sous-traitance du lot "infra" (assainissement des eaux pluviales), réalisée sur 2004-2005 pour le compte des entreprises chargées des voiries à l'exclusion des rails (montant cumulé : 2,3 M€); le troisième recouvre divers travaux d'accompagnement du projet exécutés à la demande du maître d'ouvrage : réseaux, terrassements, signalisation de chantier, fouilles archéologiques, déviation du réseau câblé local (montant cumulé : 750 000 €).

En butte aux contraintes propres aux travaux urbains – respect des arrêtés de circulation, maintien de la circulation des autos, des bus et des piétons, barriérage systématique de sécurité des emprises, etc., les chantiers de TPHR ont eu à gérer *"la difficulté de travaux en fouille profonde (6 m) pour les réseaux d'assainissement (diamètre 1000), note Serge Bauer, le responsable d'agence de TPHR, ainsi que la pression des entreprises de réseaux secs et de voirie qui devaient intervenir après nous."*



Photo 4
Grenoble. Entre les étais du blindage et les réseaux transversaux, mise en place d'un nouveau collecteur en fond de fouille

Grenoble. Between the armoring stays and the transverse networks, laying a new main drain at the bottom of excavation



Photo 5
Grenoble. Sur le pont de Catane, qui relie Grenoble à Seyssinet-Pariset, l'aménagement de la plate-forme a également entraîné des travaux de réseau. Pour minimiser leur impact sur la circulation, ceux-ci se sont majoritairement déroulés de nuit

Grenoble. On the Catane bridge linking Grenoble to Seyssinet-Pariset, development of the subgrade also entailed work on the networks. To minimise their impact on traffic, this work was mostly carried out by night

Photo 6
Mulhouse. Pour TPHR, la réalisation des réseaux d'assainissement en diamètre 100 à 6 m de profondeur a représenté une des principales difficultés du lot de déviation de réseaux

Mulhouse. For TPHR, execution of the sewerage networks of 100 mm diameter at a depth of 6 metres was one of the main difficulties of the network diversion work section

Moins complexe, le lot "infra" s'est révélé plus important en terme de volume puisqu'il portait sur l'aménagement du réseau d'eaux pluviales de la plate-forme (avaloirs, collecteurs, etc.) sur la moitié du tracé total (photo 6).

MULHOUSE

- Chantier du tram-train : 2 lignes, soit environ 12 km
- Maître d'ouvrage : Sitram (Syndicat intercommunal des transports de l'agglomération mulhousienne)
- Maître d'ouvrage délégué : Serm
- Maître d'œuvre : groupement TTM, B2000, cabinet Merlin, Service des eaux de Mulhouse
- Début des travaux : fin 2002
- Fin des travaux : novembre 2005
- Effectif de pointe : 30 personnes
- Longueur totale des canalisations : 400 à 500 m pour les réseaux d'assainissement, 700 à 800 m pour les réseaux d'eaux pluviales



Photo 7
Bordeaux. Pour assurer la sécurité du chantier et celle des véhicules, l'emprise est resserrée au maximum et les voies de circulation sont rigoureusement balisées

Bordeaux. To ensure site safety and safety for vehicles, the construction site is kept as small as possible and the traffic lanes are marked out precisely



chissant la Garonne, auront surtout représenté pour le groupement un très important chantier de canalisations, dont la longueur totale avoisine 8 000 m dans des diamètres allant de 160 à 1 600 et à des profondeurs de 2,50 à 5,50 m. Ses particularités ? Les contraintes de raccordement d'ouvrages en service, c'est-à-dire des dérivations, des pompages et des aménagements de by-pass internes pour éviter de polluer les bétons. Mais plus que ces aspects techniques, partie intégrante classique des travaux de réseaux, "la vraie difficulté, estime Joël Serre, aura été ici la complète coactivité avec les autres entreprises intervenant en déviation des réseaux de gaz, d'électricité, de réseaux télécoms, etc., qui impliquait de la part du groupement, une disponibilité permanente en moyens et en hommes, pour répondre aux inévitables remaniements de la planification. Pour autant, la logique de travail, qui aurait supposé que les réseaux les plus profonds, c'est-à-dire d'assainissement, soient traités les premiers, n'a pas toujours prévalu. Le maintien du service obligeait à la réalisation des nouveaux réseaux de distribution, doublant ainsi les obstacles à l'accès au niveau inférieur."

Sur la ligne B, dont le tracé suit le cours de la Garonne sur son premier tiers avant de s'orienter sud-ouest en direction de Pessac, des ouvrages remarquables se sont ajoutés aux prestations de base du marché. D'une part le dévoiement du "collecteur des quais Ø 4 500" par un bâti de 3 m x 2 m coulé en fouille à 5,50 m de profondeur au droit des immeubles des Quais, d'autre part des systèmes de régulation et de vannage télécommandés ont été installés sur cet ouvrage qui sert de réservoir-tampon aux eaux de pluie, et les stocke avant qu'elles ne s'écoulent ou soient pompées dans la Garonne, selon le niveau du fleuve. Dans ce même quartier des anciens docks, entièrement requalifiés en espace de loisirs, le local technique d'une station de rejet en Garonne est construit suivant les prescriptions de l'architecte de "l'Aménagement des Quais". Ce bâtiment a été baptisé "La Guinguette", de par sa similitude à la buvette construite dans le cadre de l'Aménagement des Quais (photos 7 et 8).

Photo 8
Bordeaux. En fond de fouille, l'imbrication des ouvrages d'assainissement neufs et des réseaux en service qui doivent être démolis est une bonne illustration de la complexité des opérations de déviation

Bordeaux. At the bottom of excavation, the intertwining of new sewerage structures and the networks in service that are to be demolished is a good illustration of the complexity of the diversion operations



► **BORDEAUX : SUR DEUX LIGNES À LA FOIS**

Changement d'échelle à Bordeaux, où le montant global des travaux réalisés par Sogea Sud-Ouest Hydraulique, mandataire d'un groupement comprenant Chantiers Modernes, Sobeco et SOC sur deux des trois lignes en construction (lignes A et B) franchit la barre de 15 M€.

"Ces travaux portent essentiellement sur des déplacements de réseaux d'assainissement d'eaux usées et d'eaux pluviales et sont réalisés dans le cadre de marchés à commandes dans des fourchettes comprises entre 3 et 12 M€ pour la ligne A et entre 2 et 8 M€ pour la ligne B ; ils englobent aussi des lots de canalisations classiques au bordereau et des ouvrages de génie civil (chambres, collecteurs coulés en fouille, poste de rejet en Garonne, etc.) traités sur proposition de prix. En fait un peu de tout et toute la palette de nos savoir-faire", résume Joël Serre, en charge de la direction des travaux chez Sogea Sud-Ouest Hydraulique. Commencés en mai-juin 2004, les travaux de la ligne A, qui joindra Mérignac à Bassens en fran-

BORDEAUX

- Chantier des lignes A (19 km, 38 stations) et B (15 km, 30 stations)
- Maître d'ouvrage : CUB (Communauté urbaine de Bordeaux)
- Maître d'ouvrage délégué : Tysa
- Maître d'œuvre : Lyonnaise des Eaux
- Début des travaux : mai-juin 2004
- Effectif de pointe : 60 personnes, dont 25 pour Sogea
- Montant des travaux (part Sogea) : 10 M€

■ MONTPELLIER : OFFRE TECHNIQUE ET ACTIONS D'INSERTION

Après avoir participé à l'aménagement de la première ligne, exploitée depuis l'été 2000, Sogea n'en est pas à son coup d'essai à Montpellier, et l'entreprise est très présente sur le chantier de la ligne n° 2, qui reliera Jacou, au nord-est, à Saint-Jean-de-Védas, au sud-ouest, dès la fin 2006.

"Sogea a remporté trois principaux marchés, indique Gérard Maurice, le directeur régional : la conduite d'eau potable de l'avenue de Toulouse, une canalisation de 1 km en diamètre 900 réalisée en groupement (part Sogea : 1 M€); les travaux de déviation de réseaux d'assainissement du quartier Pedro de Luna, un chantier complexe avec franchissement d'un ruisseau en siphon, lui aussi réalisé en groupement (part Sogea : 3 M€); enfin, la réalisation du collecteur d'eaux pluviales de Chambéry, du nom d'un ruisseau local, en diamètre 2800, réalisé par Sogea seule pour un montant de 1,2 M€."

A ces trois chantiers, dont les deux premiers sont aujourd'hui en voie d'achèvement, s'ajoutent la déviation d'un réseau "chaud-froid" aménagé en son temps par Sogea (1 M€) ainsi que les travaux de déviation de réseaux liés à la construction de la plate-forme du futur tramway. Après avoir soumis avec Eurovia (groupe VINCI) pour quatre des sept lots qui composent la nouvelle ligne, Sogea réalisera à l'extrémité Est du tracé les déviations des lots F et G, soit un réseau de près de 8000 m pour un montant cumulé de 4,3 M€.

Dans le quartier de la gare, Sogea est chargée du génie civil du viaduc de Saint-Roch (1 M€), un ouvrage peu spectaculaire, puisqu'il ne surplombe le sol que de 1 m de hauteur, mais d'exécution délicate en raison de sa situation dans un quartier qui est un nœud de circulation.

"D'une façon générale, la densité du trafic et l'absence d'espace contribuent à rendre ces travaux techniques assez pointus sur le plan de la sécurité et très importants en terme d'image, juge Gérard Maurice. Ainsi, le chantier de Chambéry, qui est réalisé à 8 m de profondeur sous l'avenue de Nîmes, où transitent chaque jour quelque 50 000 véhicules, a été emporté par Sogea pour la qualité de son offre technique puisque celle-ci n'était pas la moins disante."

Comme à Valenciennes et sur la plupart des autres chantiers d'aménagement de tramway, qui nécessitent une part importante de main-d'œuvre, les marchés de travaux étaient à Montpellier, dans une des régions les plus touchées par le chômage, assortis de clauses d'insertion. "Toutes les entreprises étaient associées à une antenne insertion animée par le maître d'ouvrage en relation avec la FRTP et l'ANPE, explique Gérard Maurice, et chacune devait recruter 5 % de son effectif à l'occasion du chantier, assurer sa formation et le fidéliser."



Photo 9
Montpellier. Sa situation en plein centre-ville et dans une zone inondable rend complexe l'exécution du collecteur de Chambéry (diamètre 2800), une conduite sera en permanence en charge complète

Montpellier. Its location right in the town centre and in an area subject to flooding makes laying the main sewer of Chambéry (diameter 2800 mm) a complex task; one conduit will be constantly under full load



Photo 10
Montpellier. Dans une fouille profonde de 5,80 m, déviations de réseaux d'eau potable (diamètre 600) et d'eaux usées (diamètre 800) du quartier Pedro de Luna

Montpellier. In an excavation 5.80 metres deep, potable water network (diameter 600 mm) and sewage network (diameter 800 mm) diversions in the Pedro de Luna district

Cette démarche s'est ajoutée à la signature d'une convention dite RMA + avec le conseil général de l'Hérault, soutenue par les centres d'insertion et les réseaux passerelles locaux. Elle a permis à ce jour à Sogea d'intégrer cinq chômeurs en fin de droit qui n'avaient jamais travaillé dans le BTP. Parallèlement aux contraintes administratives que cela représente, cette intégration supposait de mettre en œuvre un tutorat permanent des nouveaux arrivés. La situation n'a pas pris l'entreprise au dépourvu, puisqu'elle compte dans ses rangs une dizaine de tuteurs formés issus de toutes les catégories professionnelles (compagnons, Etam, cadres) (photos 9 et 10).

MONTPELLIER

- Chantier de la ligne n° 2 (19 km, 34 stations)
- Maître d'ouvrage : agglomération de Montpellier
- Maître d'ouvrage délégué et exploitant : TAM (Transports de l'agglomération de Montpellier)
- Maître d'œuvre : groupement (Semaly mandataire)
- Début des travaux : 2004
- Fin des travaux : mi-2006 (mise en service après essais à la fin 2006)
- Effectif de pointe : 40 à 50 personnes
- Montant cumulé des travaux : 11 M€ (part Sogea)

Photo 11
Nice. Chantier
de remplacement
du collecteur central :
neuf mois de travaux

*Nice. Project for replacement
of the main sewer: nine
months' work*



Photo 12
Nice. Mise en place
de l'un des 900 éléments
du nouveau grand
collecteur

*Nice. Laying one
of the 900 parts
of the new large sewer*



Photo 13
Nice. Aménagement du grand
collecteur : passage sous le pont SNCF
Thiers, préparé par des opérations
de renforcement

*Nice. Development
of the large main sewer: passage
under the Thiers railway bridge,
prepared by reinforcement operations*



Photo 14
Nice. L'enchevêtrement des réseaux
transversaux, leur vétusté et la présence
de câbles électriques sous tension
dans le sous-sol ont rendu impossibles
des terrassements traditionnels
et ont contraint à utiliser
un camion-aspirateur

*Nice. The intertwining of cross networks,
their obsolescence and the presence
of energised electric cables in the subsoil
made traditional earthworks impossible
and a vacuuming truck had to be used*



Photo 15
Nice. Pour les travaux de réfection des réseaux
transversaux (lot 13), 3,5 km de clôture
ont été utilisés

*Nice. For revamping work on the cross networks
(work section 13), 3,5 km of fencing were used*

■ NICE : UN GRAND CHANTIER EN HYPER CENTRE-VILLE

54 ans auront passé entre l'ultime trajet du tramway de jadis, en 1953, et la mise en service de la nouvelle ligne, qui inscrit son tracé de près de 8,6 km en forme de "V" entre le centre de maintenance Nice-Nord, à l'ouest, et la station Pont-Michel, à l'est, en passant par la place Masséna, au sud, son point le plus proche de la mer. C'est sur la branche ouest de ce V, sous les avenues Mausséna et Jean-Médécine, deux axes de circulation très importants de la ville, que se situent les principaux lots* réalisés par Campenon Bernard Méditerranée (Sogea) en groupement avec Cari (mandataire) et TP Spada : la réfection des réseaux transversaux (lot 13, 7 M€), et surtout la démolition-reconstruction du collecteur central d'eaux pluviales, un ouvrage long d'environ 2 km situé sous la plate-forme du tramway (12 M€).

"Il ne s'agit pas d'une canalisation, précise Christian Le Bec, directeur régional adjoint de Campenon Bernard Méditerranée, mais d'un « cadre » en béton armé de 4 x 2 m aménagé à 4 m de profondeur sous le niveau de la plate-forme, dont nous avons également réalisé les chambres d'accès." Démoli par tronçons de 4 à 5 m environ, l'ancien ouvrage a été reconstruit en travail posté de jour à l'aide d'éléments préfabriqués de 4 x 2 x 2,50 m, acheminés par semi-remorque depuis l'usine Bon-

* À l'écart du centre-ville, sur la branche Est du tracé, près de la station Université, Sogea Sud-Est a traité un second collecteur, de plus petites dimensions (2 x 1,50 m) long de 400 m et pour un montant de 6 M€ – un lot échappant aux contraintes de circulation, et d'exécution beaucoup plus simple.

na Sabla de la Durance. Ces travaux ont été réalisés entre la mi-août 2004 et juin 2005 pour le collecteur, et janvier 2005 et la fin de l'année pour les réseaux transversaux, des délais courts, compte tenu de la situation du chantier en hyper centre-ville, des restrictions de circulation et de l'organisation à mettre en place, par exemple pour approvisionner les 900 éléments préfabriqués, qui étaient livrés par 2 (soit 450 voyages). La complexité de réalisation du second lot, due à la forte densité des réseaux et à la présence de câbles électriques sous tension dans le sous-sol ont conduit le groupement à recourir à des méthodes non conventionnelles pour le terrassement, c'est-à-dire à un camion-aspirateur, pour ouvrir l'équivalent de 18 km de tranchées (eau potable, eaux usées, réseau EDF, gaz, opérateurs télécom, etc.), et à organiser pour le personnel, avec le concours de Sogeform (l'organisme de formation de Sogea), une formation en vue d'obtenir la qualification HOVBOV (photos 11, 12, 13, 14 et 15).

NICE

- Longueur de la ligne 8,6 km. Nombre de stations 21
- Maître d'ouvrage : Canca
- Maître d'œuvre : groupement Thalès-Ingerop
- Début des travaux : août 2004
- Fin des travaux : fin 2005
- Effectif de pointe : 150 personnes
- Montant cumulé des travaux : 25 M€, dont part Sogea : 8 M€

■ CLERMONT-FERRAND : GÉNIE CIVIL ET TRAVAUX ROUTIERS

(photos 16 et 17)

Est-ce une surprise dans une ville marquée depuis plus de 100 ans par l'empreinte de Michelin, le tramway de Clermont-Ferrand sera monté sur pneumatiques. Ça n'est pas la seule originalité du projet. Ayant lancé un appel d'offres sur performances, le SMTC (Syndicat mixte des transports en commun), maître d'ouvrage, assisté par différents spécialistes, tel Systra, traite directement avec le groupement formé autour de Lohr, le fournisseur des rames (mandataire), et des entreprises chargées des différents lots : génie civil et travaux routiers en centre-ville (Sobea Auvergne); structure routière (Eurovia); infrastructures rail (Wossloh); énergie (Cegelec).

"Les dévoiements des réseaux ont été directement traités en amont par les concessionnaires, indique Claude Duchêne, directeur de travaux et chef de projet pour Sobea Auvergne, et les travaux ont commencé en avril 2004 avec un délai de 20 mois. Ils



Photo 16
Clermont-Ferrand. Tout le long du tracé, Sobea Auvergne réalise les massifs d'ancrage des mâts des "lignes aériennes de contact" (LAC), qui supporteront notamment les câbles d'alimentation électrique du tramway

Clermont-Ferrand. All along the route, Sobea Auvergne builds the foundation blocks for anchoring the poles of the "overhead contact lines" which will support, in particular, the electric power cables for the tramway



Photo 17
Clermont-Ferrand. L'installation des clôtures de protection de 2 m de haut autour du chantier et l'aménagement des voies de circulation automobiles et piétonnières, particulièrement soignées, sont une clause contractuelle du marché

Clermont-Ferrand. The installation of protective fencing 2 m high around the works and very meticulous adaptation of the automotive and pedestrian traffic lanes are a contractual requirement of the work contract

ont pris du retard en raison de nombreuses acquisitions foncières et de différents problèmes d'interface, mais Sobea devrait avoir bouclé 70 à 80 % de sa prestation avant l'été 2006."

Celle-ci se partage donc entre génie civil, avec la réalisation des murs de quai des 31 stations, des ouvrages hauts de 60 cm qui doivent être réalisés avec une grande précision puisqu'ils serviront de marchepied au public pour embarquer à bord du tramway; les 600 à 650 massifs de fondation des mâts de "lignes aériennes de contact" et une partie des structures de chaussées. Côté travaux routiers, Sobea Auvergne est intervenu sur toute la longueur du tracé en posant les 28 km de bordures en granit de la plate-forme et devra réaliser en centre-ville les terrassements et la dalle béton de la plate-forme sur 3 km.

► "Les difficultés ici ne sont pas tant d'ordre technique qu'organisationnel ; ainsi, la gestion des interfaces et de leurs multiples sous-faces a été confiée à un bureau extérieur chargé de coordonner les plannings des différents intervenants", indique Claude Duchêne. La protection des riverains, quant à elle, a été réglée au départ par l'installation d'une clôture continue de 2 m de haut, isolant l'emprise du chantier des voies de circulation automobiles et piétonnières. Une protection si efficace qu'à l'approche des fêtes de fin d'année, les Clermontois avaient sollicité une dérogation au marché afin de faciliter leurs déplacements...

CLERMONT-FERRAND

- Longueur de la ligne 14 km. Nombre de stations 31
- Maître d'ouvrage : SMTC (Syndicat mixte des transports en commun)
- Début des travaux : avril 2004
- Fin des travaux : printemps 2007
- Effectif de pointe : 40 à 50 personnes (y compris intérimaires)
- Montant cumulé des travaux : 130 M€, dont part Sobeas : 16 M€

ABSTRACT

The Sogea channellers open the way for the return of the tramways

Various authors

Plebiscited by city dwellers in the 1990s, the tramway, which is already operating in 15 urban areas in France, continues its major comeback in France. Whatever the town or the type of equipment, the development pattern remains invariable, and the first trade involved is the channellers who divert, consolidate or rehabilitate the networks under the land covered by the subgrade. Incarnating an historic activity of Sogea Construction (Vinci group), present in nearly all the regional branches of the network, they were at work on eight of the nine projects in progress at the end of 2005.

RESUMEN ESPAÑOL

Los canalizadores de Sogea abren el camino para la vuelta de los tranvías

Autores diversos

Plebiscitado por los habitantes de las ciudades durante los años 1990, el tranvía, que ya circula en 15 aglomeraciones urbanas del Hexágono está prosiguiendo su gran vuelta en Francia. Sea cual fuere la ciudad y el tipo de material, el esquema de ordenación sigue siendo sin variaciones y las primeras especialidades del sector de la construcción que salieron a la escena fueron los canalizadores que desviaron, consolidaron o rehabilitaron las redes presentes en la propia zona de la plataforma. Personificando una actividad histórica de Sogea Construction (grupo Vinci), presente en la casi totalidad de las direcciones regionales de la red, los canalizadores actuaron en ocho de los nueve proyectos en curso a finales de 2005.

Le tramway des Maréchaux Sud

Après 60 ans d'absence, le tramway va reprendre place à Paris sur le boulevard des Maréchaux Sud. Ce premier tronçon d'une longueur de 7,9 km desservira 17 stations entre le pont de Garigliano et la porte d'Ivry.

La Ville de Paris a souhaité insérer le tramway sur les boulevards des Maréchaux en menant une véritable opération de requalification urbaine des quartiers traversés. Dans cette très importante opération, le groupement d'entreprises Eiffage TP - Appia réalise les deux marchés RATP de plate-forme des XVe et XIVe arrondissements, ainsi que le marché Ville de Paris d'infrastructures du XVe arrondissement.

Les premiers travaux de déviation de concessionnaires ont débuté en juillet 2003; le chantier se déroule selon le planning prévisionnel et la mise en service interviendra donc à la fin de l'année 2006.

Frédéric Dupouy

CHEF DE PROJET T3
RATP



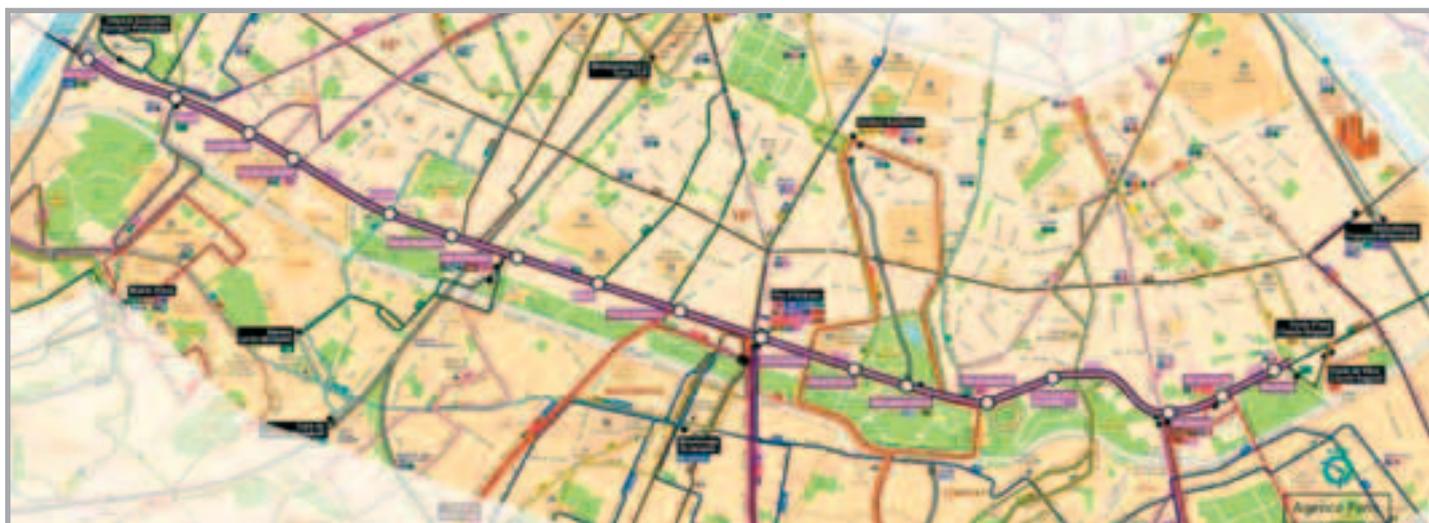
Ghislaine Geffroy

RESPONSABLE MISSION
TRAMWAY
Ville de Paris



Jean Bourzeix

DIRECTEUR
D'EXPLOITATION
Eiffage TP



© RATP

LE TRAMWAY T3 SUR LES MARÉCHAUX SUD DE PARIS

Disparu de Paris il y a une soixantaine d'années, le tramway sur les boulevards des Maréchaux sud marque le retour du tramway à Paris.

Toutefois, au-delà de son aspect transport, la mise en place d'une ligne de tramway sur les boulevards des Maréchaux est un véritable projet de ville et de requalification urbaine d'un secteur qui a beaucoup subi l'urbanisation des cinquante dernières années sans en tirer les profits que sa situation pouvait lui donner.

Augmenter l'offre en transport

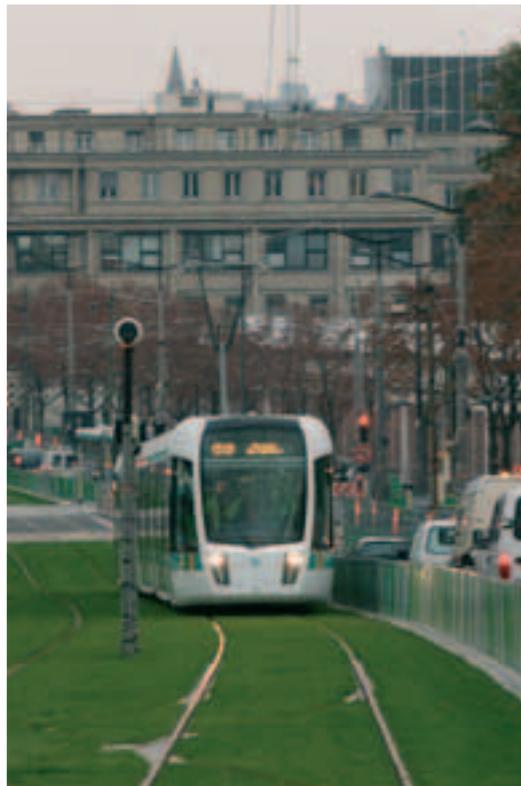
Diminuer la part de l'automobile dans les déplacements quotidiens n'est possible que si parallèlement l'offre de transports publics est améliorée

et optimisée. Ainsi la mise en place d'un tramway sur les boulevards des Maréchaux permet de répondre aux besoins de déplacements des Parisiens et des Franciliens en remplacement de la ligne de bus PC1 dont toutes les études montrent qu'elle aurait été saturée d'ici quelques années. Le tramway va offrir un saut qualitatif en matière de service aux voyageurs avec 38 % d'augmentation de la vitesse commerciale et surtout un service régulier et fiable, grâce à un site propre intégral pour le tramway et une priorité aux feux en carrefour. L'offre de transport sera pratiquement doublée pour atteindre 100 000 voyageurs par jour. D'une longueur de 7,9 km, cette ligne desservira 17 stations et sera en correspondance avec cinq lignes de métro, deux lignes de RER et 37 lignes de bus. La future ligne de tramway T3 va permettre d'offrir un véritable maillage des transports en commun du sud de Paris (figure 1).

Améliorer le confort est aussi un souci permanent

Figure 1
Plan de la ligne avec bus et métro
Layout of the line with bus and underground railway

Photo 1
Photo
du tram
Photo
of the tram



© RATP



© Ville de Paris

Photo 2
Projet du tramway
(porte de Châtillon)
Tramway project
(Porte de Châtillon)



pour la RATP. Ainsi son choix s'est porté sur un matériel roulant moderne, confortable et accessible à tous permettant d'accueillir 304 voyageurs dont 78 places assises. Vingt-et-une rames seront nécessaires à l'exploitation de la ligne T3.

Développé par la société Alstom, le matériel de la gamme Citadis 402 présente une longueur de 44 m, une largeur de 2,65 m, un plancher bas intégral et une ventilation réfrigérée. Sa traction électrique fait de ce tramway un mode de transport non polluant.

Par ailleurs la volonté est d'offrir un matériel agréable et totalement ouvert sur la ville et les quartiers traversés.

Le design extérieur et intérieur a été particulièrement soigné. Pour l'habillage extérieur, le tramway dispose d'une face avant unique et d'une livrée personnalisée aux couleurs du réseau de la RATP avec une écharpe verte enrichie en surimpression de symboles de la vie parisienne. A l'intérieur, les sept

modules qui composent le tramway ont chacun leur couleur et une ambiance végétale a été choisie pour le tissu des sièges (photo 1).

Le projet urbain

En accompagnement de la mise en place de cette ligne de tramway la Ville de Paris a souhaité une véritable opération de requalification urbaine des quartiers traversés. Retisser des liens entre Paris et les communes limitrophes grâce au tram est un des objectifs confiés à l'équipe de concepteurs choisie par la Ville de Paris pour travailler sur le projet d'insertion urbaine du tramway sur les boulevards des Maréchaux.

L'équipe constituée autour d'Antoine Grumbach et de Michel Desvignes a conçu un projet permettant de donner aux boulevards un caractère de boulevards "parisiens" où il fait bon se promener à l'instar des boulevards haussmanniens : faire des boulevards des Maréchaux des boulevards "jardinés" comme l'explique Antoine Grumbach.

A dominante végétale le projet d'insertion du tramway répond aux exigences de la vie locale, qu'il s'agisse d'activités économiques, de livraison, de stationnement ou d'itinéraires cyclables.

La plate-forme du tramway est implantée, sur les deux tiers de l'itinéraire, dans l'axe du boulevard ; à peu près les 2/3 de sa longueur sont engazonnés (plus de 36000 m²). Plus de 1000 arbres seront plantés sur les boulevards des Maréchaux (trottoirs et stations), ou à proximité immédiate des boulevards. Les arbres d'alignement auront une hauteur de 6 à 8 m dès leur plantation, grâce à une mise en culture en pépinière, ils atteindront à terme 15 à 30 m. Les essences choisies pour ces plantations sont celles que l'on trouve déjà sur les boulevards des Maréchaux : platanes à feuilles d'érables, micocouliers, marronniers rouges, frênes à fleurs...

Sur les quais des stations il est également prévu une centaine d'arbres nouveaux, principalement des arbres à fleurs : cerisier à grappe, merisier blanc, magnolier du Japon, poirier de Chine, amélanchiers... Ces arbres font de 4 à 5 m au moment de leur plantation, pour 5 à 10 m à l'âge adulte (photo 2).

Une attention particulière est portée aux principales portes de Paris traversées par le tramway : elles seront réaménagées en de véritables places urbaines. Par exemple, place de la porte de Versailles où l'aménagement permettra d'offrir aux piétons et usagers du tramway un lieu convivial, porte d'Italie, porte de Châtillon, etc.

Le boulevard sera réaménagé sur l'ensemble de sa largeur. Ainsi quand la plate forme est axiale, on trouvera de part et d'autre une chaussée de 5,60 m, une bande de service avec le stationnement et les livraisons (quand la largeur le permet), une piste cyclable et un large trottoir planté pour

les piétons. Quand le tramway est implanté le long du trottoir sud, un aménagement pour les piétons est mis en place le long (photo 3).

Sur les trottoirs, sur les chaussées et sur les stations, les matériaux utilisés sont des matériaux classiquement utilisés à Paris en aménagement urbain : des enrobés sur la plupart des chaussées, asphalté et pavés en granit pour les trottoirs avec, en quelques points particuliers comme les places ou les carrefours et les stations, l'utilisation de dalles en granit.

Le site d'exploitation et de maintenance

Il est implanté dans une voirie fermée à la circulation, la rue du Général Lucotte (Paris XV^e), reliant l'avenue de la porte de Sèvres à la rue Lucien Bosoutrot, en bordure sud des installations de la Défense Nationale, et en bordure nord du boulevard périphérique.

Le terrain existant de 1,8 hectare, long de 650 m et large de 8 m a été élargi à 22 m environ en supprimant le talus longeant la bretelle de sortie rue Carlo Sarrabezolles et en modifiant la voie d'accès au périphérique intérieur depuis l'avenue de la porte de Sèvres afin de libérer la surface nécessaire aux installations.

Cette création est nécessaire à l'exploitation de la ligne tramway des Maréchaux Sud. Le parc de matériel roulant sera de 21 rames ; en prévision de l'extension à l'Est jusqu'à la porte de Charenton, le site a été dimensionné pour recevoir quatre rames supplémentaires. Ce complexe est donc conçu pour offrir les infrastructures nécessaires à l'exploitation, au garage et à la maintenance de 25 rames de tramway de 44 m de longueur.

Ce site permettra d'assurer les opérations de maintenance préventive et de petit curatif mais également les opérations de nettoyage commercial (extérieur et intérieur) et de dégraffitage.

Il est relié à la ligne par une voie de raccordement empruntant l'avenue de la porte de Sèvres.

Le site regroupe également les locaux d'exploitation de régulation de la ligne, les locaux nécessaires aux entreprises de nettoyage des tramways, la centrale d'aspiration et deux postes de redressement électrique (de l'atelier et de la ligne).

Le financement et l'organisation du projet

L'opération de mise en place du tramway sur les boulevards des Maréchaux sud est menée en maîtrise d'ouvrage par la RATP et la Ville de Paris. La RATP assure la maîtrise d'ouvrage du système de transport et la Ville de Paris la maîtrise d'ouvrage de l'aménagement urbain. Par ailleurs, la Ville de Paris assure la coordination de l'opération. La mise en place du tramway sur les boulevards



© Ville de Paris

Photo 3
Coupe en travers
Cross section



Photo 4
Recyclage des pavés
Paving stone recycling

des Maréchaux sud est une opération inscrite au contrat de Plan Etat-Région 2000-2006, son coût total est estimé à 214,11 M€ HT (CE janvier 2003), financé par la région Île-de-France, l'Etat, la RATP et la Ville de Paris.

Par ailleurs, la Ville de Paris finance l'aménagement qualitatif tant au niveau des boulevards des Maréchaux qu'au niveau des stations du tramway pour un montant de 44,4 M€ (CE janvier 2003) et la RATP finance le matériel roulant pour un montant de 53 M€ (CE janvier 2003).

Développement durable, innovations techniques

Chantier important par son ampleur et la multitude des entreprises engagées, ce chantier est aussi exemplaire en matière de développement durable. En effet, cette volonté des maîtres d'ouvrage se concrétise non seulement au niveau du choix d'un tramway électrique mais se retrouve dans de nombreux choix techniques :

- ◆ en matière d'éclairage où la rénovation de l'ensemble de l'éclairage public et les choix de matériels faits vont engendrer d'importantes économies d'énergie ;
- ◆ dans le domaine de la réutilisation des pavés de granit enlevés sous la chaussée : 55 000 m² de granit seront ainsi réutilisés après nettoyage et sciage (photo 4) ;
- ◆ les chambres d'éclissage, élément permettant

Photo 5
Pose dalles
préfabriquées

Laying
prefabricated slabs



Photo 6
Déviaton
Diversion



© Sagep

► d'amortir les vibrations du rail pour l'environnement immédiat sont constituées à partir de pneus recyclés ;

- ◆ le système d'arrosage automatique du gazon de plate-forme fonctionne grâce à des capteurs électroniques reliés à une station météo qui détermine les quantités précises d'eau nécessaires à l'entretien du gazon ;
- ◆ les poubelles des stations du tramway seront équipées d'un tri sélectif...

Cet objectif est largement partagé par l'ensemble des entreprises qui interviennent sur le chantier. La plupart d'entre elles, utilisent par exemple le vélo pour se déplacer sur le chantier et proposent l'utilisation de matériaux et techniques moins polluants qu'il s'agisse de produits utilisant des matériaux de réemploi ou des matériaux utilisant moins d'énergie à la fabrication.

Ce chantier a vu et verra la mise en place d'innovations techniques importantes. Ainsi sous l'impulsion de la maîtrise d'ouvrage, la réalisation de plates-formes tramways préfabriquées a permis de limiter les nuisances de mise en œuvre, dans la réalisation des traversées de carrefours. En tout, 24 carrefours dont ceux de la porte d'Orléans, d'Italie, de Vanves et de Versailles ont été traités avec

cette méthode innovante (photo 5). Par ailleurs la mise en place de la pelouse sur la plate-forme a aussi permis quelques innovations en matière de qualité de substrat utilisé sur voie publique. Enfin, pour améliorer la sécurité de tous les usagers et optimiser le fonctionnement des carrefours le choix a été fait d'utiliser des capteurs vidéo dans le système de régulation des feux de signalisation tricolores.

Le planning

L'opération a été engagée dès 2001 et les premiers travaux sont intervenus en 2003.

Ainsi, dès juillet 2003 les gestionnaires de réseaux souterrains ont engagé les déviations de réseaux. Cette phase s'est achevée au cours du 1^{er} trimestre 2005 (photo 6).

Parallèlement la Ville de Paris a engagé certains travaux préparatoires :

- ◆ à partir de l'automne 2003 : comblement du passage souterrain Italie qui s'est achevé mi-2004 ;
- ◆ à partir de septembre 2003 et jusqu'en juin 2004 : la bretelle du boulevard périphérique porte de Sèvres a été démolie et reconstruite afin de permettre à la RATP d'engager les travaux de mise en place de l'atelier garage sur la rue du général Lucotte (photo 7).

Enfin, depuis juin 2004, les travaux d'aménagement des boulevards des Maréchaux dans le XV^e arrondissement ont débuté au niveau de la porte de Sèvres et depuis d'août aux abords de la porte Brancion. Les travaux ont débuté aux abords de la porte de Versailles fin 2004-début 2005

En 2004, dès la fin du mois de septembre et le début du mois d'octobre les travaux ont été engagés dans le XIV^e (abords de la porte de Montrouge) et dans le XIII^e (abords de la porte de Gentilly).

L'objectif est une mise en service du tramway au 4^e trimestre 2006.

LES CHANTIERS DU GROUPEMENT EIFFAGE TP/APPIA

Les travaux sous maîtrise d'ouvrage RATP

Il s'agit des deux marchés de travaux d'infrastructure et d'aménagement urbains lancés par la RATP pour le XV^e et le XIV^e arrondissement et plus précisément :

- ◆ sur une longueur de 2860 ml, du pont de Gargliano à la porte de Vanves pour le XV^e arrondissement ;
- ◆ sur une longueur de 2800 ml, de la porte de Vanves à la rue "Cité Universitaire" pour le XIV^e arrondissement.

Les travaux ont lieu essentiellement dans la zone

définie par le Gabarit limite d'obstacle (GLO) de la ligne (soit une largeur de 6,25 m à 6,70), ainsi que dans les zones affectées aux stations (elles sont au nombre de six par marché).

Les principales quantités à mettre en œuvre sont reportées en encadré.

La RATP assure la maîtrise d'œuvre pour ces deux marchés.

Travaux sous maîtrise d'ouvrage Ville de Paris

Ces travaux comprennent les prestations d'infrastructures de voirie entre le pont de Garigliano et la porte de Vanves, soit pour l'ensemble du XV^e arrondissement.

Il est réalisé par le groupement Eiffage TP - Appia en co-traitance avec :

- ◆ AER (Appia Equipement de la Route);
- ◆ SNTPP, La Moderne et Linea BTP, trois Scops qui ont en charge la moitié des zones de trottoirs. Les principales quantités de ce marché sont reportées en encadré.

Le maître d'œuvre de ce projet est Gautrams, groupement de :

- ◆ Beture;
- ◆ Grumbach;
- ◆ Semaly;
- ◆ Scetauroute;
- ◆ Desvigne;
- ◆ Segic;
- ◆ Isis;
- ◆ Light Cibles.

LES CONTRAINTES DU PROJET ET LES SOLUTIONS APPORTÉES

Forte densité des réseaux urbains enterrés

Pour les travaux des secteurs des XIV^e et XV^e arrondissements, la plate-forme du tramway se situe en totalité en partie axiale des boulevards, bordée de part et d'autre par la voirie (chaussée, piste cyclable, trottoirs).

Les travaux préalables de déviations de réseaux ont permis de limiter les points durs lors de la déconstruction-construction de plate-forme.

Il en va différemment pour les travaux menés dans les zones de voirie. L'implantation des fondations des poteaux porte-lac sur les trottoirs existants a nécessité de nombreuses études d'adaptation des principes de massifs prévus (pieu + massif tête de pieu dans le cas courant, massif poids en présence d'ouvrage souterrain). En effet, ce sont plus de 80 notes de calculs qui se sont avérées nécessaires pour l'adaptation avec différents contextes rencontrés pour la réalisation des 357 massifs des secteurs XIV^e et XV^e. Dès lors qu'elle était en pos-



Photo 7
Zone Lucotte
(aérienne)

Lucotte area
(aerial view)

© Ville de Paris

session des éléments de fouille de reconnaissance, la cellule d'études mise en place sur site par le groupement d'entreprises a permis, par sa forte réactivité, de limiter les incidences plannings des adaptations nécessaires.

Pour la création des chambres de tirage des réseaux éclairage public et signalisation lumineuse tricolore (SLT), la solution d'utiliser des pièces préfabriquées fut rapidement abandonnée : l'encombrement du sous-sol et la densité des réseaux existants ont conduit à réaliser des chambres maçonnées aux dimensions adaptées dans chaque cas à l'espace disponible entre réseaux ou multitubulaires existants.

Dans certains carrefours, la présence des galeries d'accès aux stations de métro, amène une telle densité de réseaux en surface (les fourreaux ne pouvant être déviés en profondeur) que la réalisation des massifs nécessaires à la signalisation tricolore devient problématique et ne peut se régler que sur place.

Les riverains

Les premiers travaux de déviation de concessionnaires ayant débuté à l'été 2003, certaines zones de tracé connaîtront donc une activité de chantier pendant plus de 3 ans : sans précaution particulière, on peut imaginer que sur une telle durée, le mécontentement finirait tôt au tard par s'installer chez bon nombre de riverains.

C'est pourquoi, les équipes de la Ville de Paris et de la RATP apportent une attention particulière à la sécurité des usagers et à la limitation des nuisances :

LES PRINCIPALES QUANTITÉS DES CHANTIERS EIFFAGE TP/APPIA

Les travaux sous maîtrise d'ouvrage RATP

XV^e arrondissement

- Clôtures et GBA : 6 000 ml
- Terrassement et démolitions : 20 000 m³
- Fourreaux : 100 km
- Éléments granit : 5 600 ml
- Massifs porte-lac : 173 unités
- Montant HT : 9,7 millions d'euros

XIV^e arrondissement

- Clôtures et GBA : 6 000 ml
- Terrassement et démolitions : 20 000 m³
- Fourreaux : 100 km
- Éléments granit : 5 200 ml
- Massifs porte-lac : 150 unités
- Montants HT : 9,0 millions d'euros
- Délai : 31 mois à partir du 13 mai 2004, identique pour les deux marchés

Photos 8 et 9
Simulation
porte de Versailles
Porte de Versailles
simulation



- ▶ ◆ l'accès aux commerces, aux habitations et aux établissements publics est maintenu ;
- ◆ les lignes de bus empruntant les boulevards des Maréchaux restent en service mais elles sont adaptées au fur et à mesure de l'évolution du chantier ;
- ◆ les voies de circulation sont maintenues sur les boulevards ; sur certains tronçons et à certaines périodes, quelques restrictions de circulation sont nécessaires ;
- ◆ des équipes d'"Info de proximité" tiennent des permanences dans trois points "Info Tramway" installés sur le tracé, un par arrondissement. Pour le groupement Eiffage TP - Appia, ces dispositions se traduisent ainsi :
- ◆ un souci constant du bon état des barrières et du cheminement des piétons ; en particulier, le vendredi après-midi, une équipe inspecte et renforce si nécessaire l'ensemble des clôtures et cheminement en prévision du week-end ;
- ◆ une équipe d'astreinte est en place tous les jours de la semaine, alternativement entre les différentes entreprises d'infrastructures du projet
- ◆ lorsqu'un sinistre se produit néanmoins (chute de barrière sur véhicules par grand vent par exemple), il est fait en sorte d'indemniser la victime dans les plus brefs délais.

L'espace majeur de la porte de Versailles

Cette future station située à une porte de Paris et à proximité du Parc des Expositions et du Palais

des Sports, fait l'objet d'importants aménagements paysagers et urbains.

L'espace est réorganisé pour faciliter la circulation des piétons, avec la création de vastes traversées piétonnes entre les deux côtés du boulevard Victor ; la station du tramway sera placée en position centrale, en bordure d'un terre-plein aménagé en véritable place avec de nombreux arbres.

Pour l'entreprise, cette zone de chantier représente des quantités importantes de granit à mettre en œuvre :

- ◆ 5 000 m² de pavés ;
- ◆ 5 000 m² de dallage granit ;
- ◆ 1 300 ml de bordures,

avec de plus 65 fosses d'arbres, la station du tramway proprement dite, etc.

Les travaux sensibles ne pouvant se dérouler que sur les deux seuls mois d'été d'arrêt du Parc des Expositions, il est donc nécessaire de mettre en œuvre une coordination très fine entre les différents acteurs.

La situation la plus délicate à gérer pour l'instant concerne le salon Nautique. En effet, faire arriver et repartir de la porte de Versailles des convois longs de 35 m, pour certains monocoques, ou des catamarans larges de 7,50 m au beau milieu des travaux de voirie, représente un petit exploit à mettre au crédit de tous les participants : maîtrises d'œuvre et d'ouvrage, OPC, préfecture, Parc des Expositions, entreprises (photos 8 et 9).

■ BILAN UN AN AVANT LA MISE EN SERVICE

Planning respecté

Le chantier du tramway est aujourd'hui dans sa dernière ligne droite, et le chantier se déroule suivant le planning prévisionnel, ce qui permettra une mise en service commerciale du tramway au 4^e trimestre 2006 et la fin des principaux travaux au cours de l'été 2006.

En effet ces derniers mois, des étapes importantes ont été franchies tant au niveau des aménagements urbains qu'au niveau des aménagements du système de transport et si aujourd'hui l'ensemble des 8 km sont en chantier, dès le 4^e trimestre 2005 des tronçons ont été achevés.

Depuis l'été 2005, plusieurs caps importants sont passés pour un chantier de cette ampleur :

- ◆ au niveau du système de transport :
 - mise en place des poteaux supports de ligne aérienne de contact dans l'ouest du XV^e,
 - tirage de la ligne aérienne et mise sous tension de cette ligne dans la partie ouest du XV^e,
 - mise en place des premières zones engazonnées sur la plate-forme dans le XIV^e et XV^e,
 - et l'arrivée de la première rame le 8 septembre 2005 suivie de 20 autres et l'engagement des pre-

miers essais sur le tronçon Garigliano-Balard le 12 octobre,

- le fonctionnement des carrefours a été testé (photos 10 et 11);

◆ au niveau de l'aménagement :

- mise en place des premiers candélabres et des potelets (dessinés par Willmotte) : principalement dans le XV^e pour les candélabres, dans l'ensemble des arrondissements pour les potelets,

- les équipements de signalisation tricolores sont en cours d'installation,

- poursuite des travaux sur les trottoirs : de très nombreux secteurs sont pratiquement achevés dans le XIV^e et XV^e : près de 20 000 m² de dalles de granit sont déjà en place sur les trottoirs (soit environ 30 % des dalles prévues), près de 60 % des bordures de trottoirs sont déjà mises en place sur les 29 km prévus.

Les "espaces majeurs" : véritables liens entre le tram, Paris et les communes limitrophes qui marqueront les entrées dans Paris sont en cours de travaux et des modifications importantes sont déjà visibles portes de Versailles, d'Orléans, de Châtillon, d'Italie...

Plus de 300 arbres ont été plantés au printemps 2005.

Dans les prochaines semaines le chantier va se poursuivre avec, pour l'aménagement urbain, des travaux qui s'achèvent à certains endroits et se poursuivent dans d'autres. Ainsi, les barrières de chantier sur trottoirs vont disparaître dans le XV^e arrondissement, les chaussées définitives seront quant à elles réalisées au printemps 2006.

Dans les XIV^e et XIII^e arrondissements les trottoirs définitifs pourront être en grande partie livrés au cours du second semestre 2006 et les chaussées réalisées à l'été 2006. Parallèlement l'ensemble du mobilier urbain (potelets, bancs...) du mobilier d'éclairage et de signalisation sera installé.

Ces prochains mois verront aussi l'aménagement des espaces majeurs (les grandes portes). Ainsi par exemple :

◆ porte d'Italie, où le souterrain voitures a disparu en 2004, l'aménagement définitif est en cours; la fin des travaux est prévue pour mi-2006;

◆ secteur de la Poterne des Peupliers : après mise en place d'un cheminement piéton le long du pont surplombant la rue de la Poterne des Peupliers, l'aménagement de la plate-forme est en cours;

◆ porte de Châtillon : l'aménagement de la place qui offrira un vaste espace piétonnier planté est en cours, sa livraison est prévue au printemps 2006;

◆ et la porte de Versailles, dont l'aménagement en cours offrira une véritable place et donnera à cet espace un caractère particulier par l'utilisation de granit et la plantation de nombreux arbres.

Enfin, l'automne et l'hiver 2005-2006 permettront la plantation de plus de 600 arbres sur l'itinéraire du tramway et dans les voies adjacentes qui vien-



© RATP P/L - Didier Dupuy

Photo 10
Appareils de voie
Points and crossings

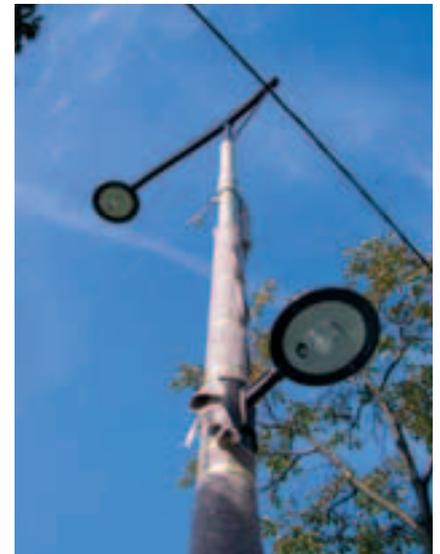


Photo 11
Poteau éclairage et porte-lac
Light post and overhead contact line carrier



Photo 12
Simulation station
Cité universitaire
Simulation
of the "Cité universitaire"
station

dront s'ajouter au 350 déjà plantés sur les boulevards des Maréchaux et sur les voies transversales (photo 12).

Hygiène et sécurité

Si, le respect du planning prévisionnel représente un succès indéniable pour ce type de chantier pourtant soumis à de nombreux impondérables, il s'est néanmoins réalisé en appliquant des règles de sécurité strictes et dans le souci permanent du respect de l'intégrité physique des hommes. Sur l'ensemble des secteurs, aucun accident grave n'est à déplorer. Pour le groupement Eiffage TP - Appia, sur 320 000 heures comptabilisées à la fin

novembre 2005, sur les trois marchés du projet, le taux de fréquence s'établit à 21 et le taux de gravité à 0,3 (à comparer aux taux nationaux du BTP pour l'année 2003 qui sont TF = 56 et TG = 3,24).

Et demain

Le tramway sera mis en service à la fin de l'automne 2006. Son extension est d'ores et déjà à l'étude et le débat public va s'engager dès le début de l'année 2006.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS DES CHANTIERS EIFFAGE TP/APPIA

Les travaux sous maîtrise d'ouvrage Ville de Paris

- Barriérage : 13 000 ml
- Rabotage : 60 000 m²
- Terrassement, démolition : 25 000 m³
- Remblais : 10 000 m³
- Mélange terre-pierre (pour fosses d'arbres) : 3 200 m³
- Fourreaux : 60 km
- EME, enrobés et grave bitume : 30 000 tonnes
- Asphalte : 35 000 m²
- Bordures : 27 000 ml
- Dalles et pavés : 35 000 m²
- Montant HT : 17,7 millions d'euros HT
- Délai : 28 mois à partir du 8 mars 2004

ABSTRACT

The Maréchaux Sud tramway

Fr. Dupouy, G. Geffroy, J. Bourzeix

After 60 years' absence, the tramway will be reintroduced in Paris on boulevard des Maréchaux Sud. This first section, 7,9 km long, will serve 17 stations between Pont de Garigliano bridge and Porte d'Ivry.

The City of Paris wanted to integrate the tramway on the "boulevards des Maréchaux" by carrying out a veritable urban renovation project in the districts passed through. In this very extensive project, the Eiffage TP/Appia consortium is carrying out the two RATP sub-grade contracts for the 15th and 14th "arrondissements", and the City of Paris infrastructure contract for the 15th "arrondissement".

The first utility diversion works began in July 2003; the project is in line with the forecast schedule and commissioning will therefore take place at the end of 2006.

RESUMEN ESPAÑOL

El tranvía de los bulevares circulares en el Sur de París

Fr. Dupouy, G. Geffroy y J. Bourzeix

Tras haber desaparecido durante 60 años, el tranvía reaparecerá en París en la parte Sur de los bulevares circulares. Este tramo preliminar de una longitud de 7,9 km pondrá en comunicación a 17 estaciones entre el puente de Garigliano y la puerta de Ivry.

La Villa de París ha deseado insertar el tranvía en los bulevares circulares denominados "Boulevards des Maréchaux" emprendiendo una verdadera operación de recalificación urbana de los barrios atravesados. En esta operación muy significativa, la agrupación de empresas Eiffage TP - Appia ha obtenido los dos contratos RATP de plataforma de los distritos XV y XIV, así como el contrato Villa de París de infraestructuras del distrito XV.

Los primeros trabajos de desviación temporal de los concesionarios dieron comienzo en julio de 2003; la obra se desarrolla según la planificación previsual y la entrada en servicio tendrá lugar, por consiguiente, a finales del año 2006.

Le projet Tram-Train mulhousien

Yves Haller
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Eiffage TP

Christian Caye
RESPONSABLE ÉTUDES ET QUALITÉ
Eiffage TP

Tanocrède
Bonnet-Eymard
CONDUCTEUR DE TRAVAUX
Eiffage TP

Dans le cadre du projet Tram-Train mulhousien, Eiffage TP est attributaire de l'un des cinq marchés de réaménagement de la voirie d'accompagnement du tramway. Les travaux comprennent la reprise des réseaux, des bordures et des revêtements de voirie et de plate-forme, outre la mise en place du mobilier urbain. Ce chantier de 9 M€ dans un contexte urbain aux multiples interfaces a présenté quelques particularités comme la gestion de la logistique d'approvisionnement des éléments en pierre et l'adaptation constante à des phasages complexes. Autre élément notable également : l'application de BBTM 0/6 en milieu urbain.

Ce projet répond aux exigences de mobilité des habitants de la région mulhousienne et qui se rendent au centre-ville mais sans nécessairement y habiter. Les échanges entre l'agglomération et la région environnante représentent un quart du trafic automobile au centre.

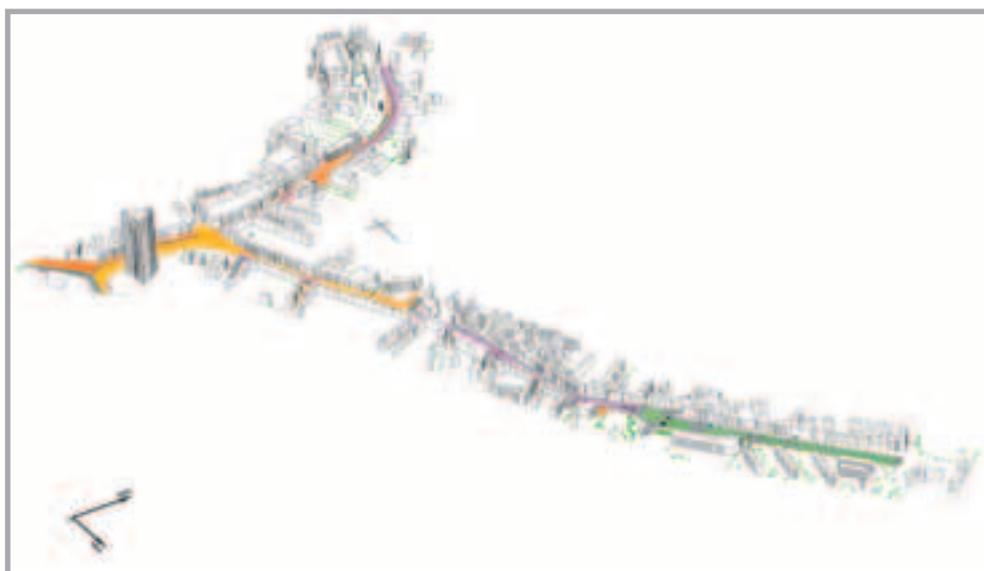
Le tramway desservira les quartiers de la ville de Mulhouse ainsi que cinq communes immédiatement attenantes. Avec le tram-train et la réorganisation des lignes de bus, le Syndicat intercommunal des transports de l'agglomération mulhousienne (SITRAM) veut doter l'agglomération d'un réseau de transports publics moderne et efficace.

Le tram-train mulhousien sera le premier de son genre à être mis en service en France : sa particularité est de pouvoir circuler à la fois sur ses voies propres en milieu urbain et sur les voies ferrées existantes. Ainsi ce moyen de transport permet de rejoindre des zones éloignées sans rupture de continuité pour les passagers.

■ CHIFFRES CLÉS DU RÉSEAU URBAIN

Ces chiffres concernent l'ensemble du réseau urbain du tram-train (marchés en cours et marchés à venir) :

- ◆ deux lignes : est-ouest (8,7 km) et nord-sud (11 km) ;
- ◆ 38 stations de tramway : 17 sur la ligne est-ouest et 21 sur la ligne nord-sud ;
- ◆ 27 rames de 32,5 m à plancher bas, type Citadis d'Alstom, alimentation par caténaies à 750 V. 20 km/h de vitesse moyenne pour un maximum de 70 km/h pour 231 passagers dont 56 assis ;
- ◆ service de 5 heures à 24 heures ;
- ◆ 87 000 voyageurs/jours prévus en 2010 ;
- ◆ 45 km de rails posés, 38 000 m³ de béton de plate-forme.



Vue en trois dimensions de l'étendue du chantier

Three-dimensional view of the extent of the project

■ MISSION EMPLOI

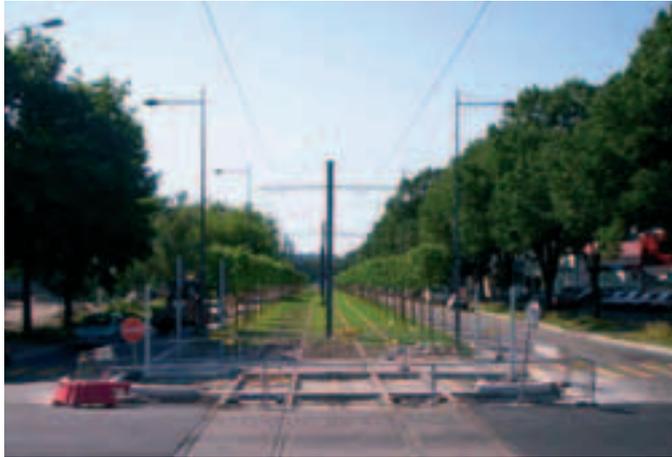
Le SITRAM a signé une convention de collaboration avec différents partenaires pour créer la Mission Emploi TramTrain (METT) dont est chargé le Plan local pour l'insertion et l'emploi (PLIE) de la région mulhousienne. La METT s'occupe de la recherche des candidats, du suivi des personnes placées, du contact avec les entreprises et de l'analyse de leurs besoins en personnel, outre des actions de formation.

■ LE MARCHÉ CONFIE À EIFFAGE TP

Le marché confié à Eiffage TP, dénommé "VEP4" est essentiellement composé des travaux d'aménagement de la voirie d'accompagnement de la plate-forme tramway, sur deux tronçons des lignes nord-sud et est-ouest, plus la zone d'interconnexion de celles-ci, sur la place "Porte Jeune".

Voirie réaménagée
sur le boulevard
de la Marseillaise

Rehabilitated roads
on "boulevard
de la Marseillaise"



- ◆ les structures de chaussées y compris remblais et couches d'enrobés ;
- ◆ la pose du mobilier urbain (barrières, corbeilles, grilles d'arbres...);
- ◆ le génie civil et revêtement des stations ;
- ◆ la signalisation directionnelle et de police (verticale et horizontale).

Le délai contractuel initial est de 18 mois à compter de janvier 2004 et le montant du marché de base est de 9 M€.

■ ASPECTS PARTICULIERS DU CHANTIER

Fourniture des bordures et revêtements en pierre naturelle – Difficultés liées à l'approvisionnement

Le projet comporte le remplacement des bordures et revêtements existants par de nouvelles fournitures. Pour le seul marché VEP4, il s'agit de 12000 m de bordures en granit et près de 20000 m² de revêtements en granit ou porphyre, dont la fourniture est à la charge de l'entreprise.

Le carnet de détails des bordures du marché compte environ 120 types différents de bordures ; en effet, les architectes ont pris le parti de réaliser des bordures propres aux multiples rayons de courbures prévus par le projet, ainsi que les raccords correspondants, afin notamment d'éviter le plus possible de recourir à l'inesthétique solution des virages à pans coupés.

S'ajoutent également à cela les différentes largeurs de bordures selon les exigences (entourages d'arbres, cunettes...).

Ces exigences qualitatives impliquent néanmoins une gestion complexe des commandes et des stocks, difficultés renforcées par l'éloignement des lieux de production.

En effet, les fournitures ont été commandées en Extrême Orient (sauf les dalles en porphyre, qui proviennent d'Italie), pour des raisons de coût mais aussi de par la capacité du fournisseur à livrer les grandes quantités demandées par le projet dans les délais demandés. Ceci engendre de longs délais (de l'ordre de 3 mois) pour ces livraisons, qui s'effectuent par voie maritime.

Toute modification de projet concernant les bordures est par conséquent de nature à perturber cette logistique lourde et rigide.

Il est à remarquer également que certaines des entreprises titulaires des autres marchés de voirie "VEP" se sont rapprochées, lors de la consultation des fournisseurs présumés, pour obtenir des conditions identiques et avantageuses de la part du fournisseur retenu. De même, elles ont imposé à ce dernier la mise en place d'un site de stockage près de Mulhouse à partir duquel il gère les livraisons

Le tramway en essais
sur l'avenue de Colmar
*The tramway being tested
on avenue de Colmar*



La longueur traitée est de l'ordre de 2,1 km et présente deux particularités :

- ◆ la localisation en hypercentre ;
- ◆ la proximité de l'atelier dépôt, donc nécessité de procéder à des mises à disposition échelonnées afin de permettre le démarrage des essais.

Les travaux à réaliser pour Eiffage TP sont de deux natures :

- ◆ ensemble des travaux enterrés, sauf plate-forme tramway ;
- ◆ ensemble des revêtements en voirie et sur la plate-forme tramway.

Ils comprennent :

- ◆ les terrassements et démolitions ;
- ◆ l'assainissement de la voirie réaménagée ;
- ◆ l'installation des réseaux secs (fourreaux, chambres et massifs) pour réseaux d'éclairage public, signalisation routière, vidéo-surveillance ;
- ◆ la réalisation des massifs béton d'ancrage de la ligne d'alimentation (massifs LAC) ;
- ◆ la pose de bordures et revêtements en pierre (granit et porphyre) en voirie ;
- ◆ les revêtements de plate-forme (hors zones traitées en espaces verts) en béton désactivé ou en pierres naturelles ;

sur chantier. Ceci a permis aux entreprises d'éviter d'avoir elles-mêmes des aires de stockage importantes correspondant aux quantités prévues, le type de transport impliquant des livraisons par grandes quantités.

L'entreprise s'est cependant chargée de la dernière phase de la logistique d'approvisionnement des pièces selon le système suivant : les éléments arrivent par semi-remorques sur le chantier depuis le site de stockage du fournisseur, conditionnés par palettes entières comportant environ 10 éléments. Les pièces sont ensuite distribuées sur le chantier selon les besoins.

Si ce système fonctionne bien pour des palettes "homogènes", faites d'un seul type de bordures, il n'en va pas de même lorsque la palette concernée comporte seulement quelques pièces nécessaires le jour donné, le reste de la palette devant être stocké localement sur la base vie du chantier et répertorié pour un usage futur.

Phasages et interfaces

Les phasages des travaux ont été définis par un document annexé au marché, le "Cahier des contraintes environnementales des chantiers". Ce document précise l'ordre dans lequel les différentes activités (plate-forme voies et travaux de voirie, essentiellement) se déroulent en fonction des conditions de circulation (une ou deux voies, présence de bus...).

Cette organisation s'est trouvée modifiée sur le tronçon 2, sur lequel les travaux de la plate-forme tramway ont été réalisés avant les travaux de voirie, et ce dans l'intérêt général du projet et avec quelques conséquences sur le planning d'exécution.

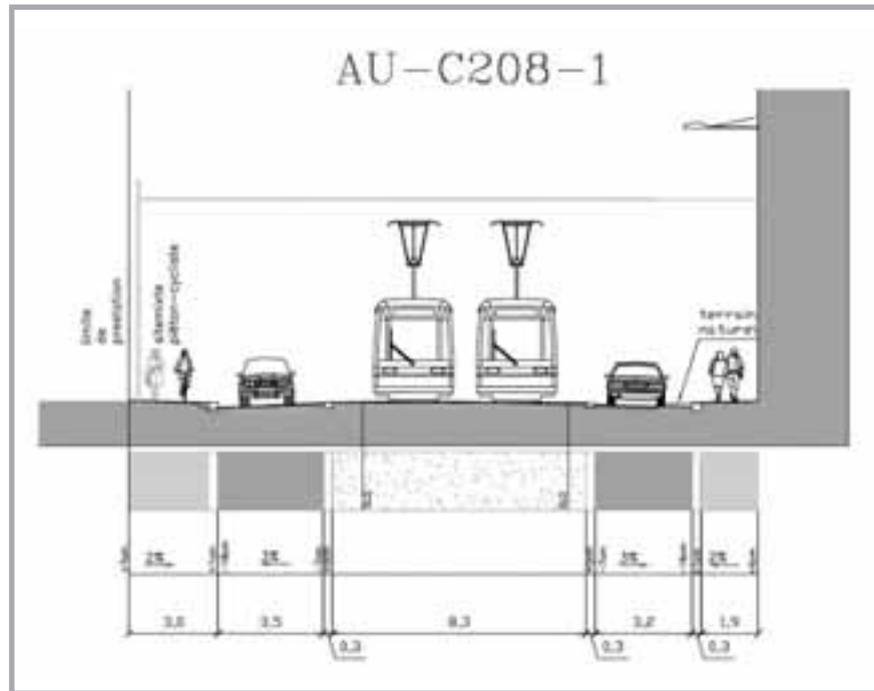
Par ailleurs, la configuration du tronçon 2 (l'avenue de Colmar), présentant de nombreuses rues perpendiculaires a entraîné un morcellement important des emprises de travaux de par les exigences de maintien de la circulation publique, rendant l'organisation des travaux et les cadences de production moins efficaces que dans une configuration plus classique.

Superposition avec d'autres lots

Les travaux de voirie se sont trouvés, notamment vers la fin du chantier en co-activité avec d'autres marchés d'équipement (courants faibles, ligne de contact, plantations...). Outre les ordinaires problèmes de circulation d'engins ou d'occupation d'emprises de travail, ce sont des métiers différents qui se sont trouvés côte à côte, chacun d'eux avec ses propres spécificités.

Etudes massifs LAC

La réalisation des 70 massifs de support de la LAC (Ligne aérienne de contact) a été une phase déli-



Coupe type d'aménagement urbain entre façades

Typical cross section of urban development between facades



Station Franklin
Franklin Station

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 25 000 m³ de terrassements et démolitions
- 12 000 m de bordures en granit
- 16 000 m² de revêtements en granit (pavés et dalles)
- 4 000 m² de revêtements en dalles de porphyre
- 9 000 m² de revêtements de plate-forme en béton désactivé
- 11 000 t d'enrobés dont 1 000 t de BBTM en voirie

Station Mairie
"Mairie"
(town hall) Station



La zone d'interconnexion
entre les tronçons 2
(vers la droite) et 6

*The interconnection area
between sections 2
(to the right) and 6*



cate du chantier, qui s'est étalée de manière discontinue sur 10 mois en 2005.

La réalisation de ces semelles, d'une hauteur de 1,30 m et de section variant de 1,50 x 1,50 m à 3,10 x 3,10 m environ, a souvent dû s'effectuer en présence de réseaux de concessionnaires en activité, se situant à des profondeurs variables (1,00 m environ).

La mise au point de ces massifs devait tenir compte à la fois des contraintes souterraines (réseaux, ouvrages enterrés) et de surface (positionnement des poteaux respectant les gabarits de passage en trottoir ou en limite de voirie).

Ainsi, pour optimiser l'interface massifs LAC/réseaux/emprises, une campagne systématique de sondages a été effectuée sur le tronçon 6 (avenue

Kennedy) avant dimensionnement des semelles. Chaque adaptation nécessitait un nouveau calcul des efforts par l'entreprise titulaire du marché "ligne aérienne", et un nouveau dimensionnement de la semelle sur la base de ceux-ci par le bureau d'études.

Pose des fourreaux pour réseaux secs et réception par les autres lots

Après leur pose, les gaines pour réseaux secs ainsi que les massifs supports d'éclairage public sont réceptionnés, en présence de la MOE, par l'entreprise titulaire du marché d'équipement. Ces réceptions ont fait apparaître certaines non-conformités lors des tests d'aiguillage des fourreaux, et qui ont fait l'objet d'une démarche spécifique de l'entreprise.

Différentes causes peuvent être à l'origine de l'impossibilité à aiguiller et donc à passer les câbles d'équipement : rayons de courbure, écrasement, bouchage...

Des actions correctives ont été entreprises dès l'apparition de ces problèmes pour éviter la reproduction des non-conformités découvertes.

■ PRINCIPALES VARIANTES AU MARCHÉ DE BASE EN COURS D'OUVRAGE

Béton désactivé

Le marché prévoyait le revêtement de la plateforme, pour environ 9 000 m², avec des enrobés grenailés, mais ils ont été remplacés par du béton désactivé dont les agrégats ont fait l'objet d'une recherche des architectes pour lui conférer une teinte particulière.

Revêtements de plate-forme en pierres naturelles

La limite de prestation entre le lot "Voie" (plate-forme béton et pose des rails) et notre marché se situe à 16 cm sous le niveau fini. Le revêtement de plate-forme faisait en effet partie du marché de voirie afin de garder une homogénéité avec les revêtements de voirie adjacents réalisés par nos soins. Ce souci esthétique génère néanmoins une interface complexe entre les deux lots.

En conséquence, le choix entre les deux options prévues au marché :

- ◆ pose "souple" : lit de pose en sable et jointoiement au bitume de synthèse ;

- ◆ pose "rigide" : lit de pose et jointoiement avec des mortiers spéciaux, a été effectué par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage en faveur de la solution rigide.

Enrobés de voirie

Le projet a prévu la réalisation de la couche de roulement en BBTM 0/6 à liants modifiés, dans le but de garantir un meilleur confort sonore aux riverains. La mise en œuvre de ce matériau est cependant plus difficile car exclusivement mécanisée. Ceci peut poser quelques problèmes d'application particulièrement dans les zones à forte densité d'émergences.

Dans un souci d'obtenir un aspect régulier, cette couche de roulement a été réalisée par zones de surfaces conséquentes, à la différence des couches inférieures dont la mise en œuvre a suivi le morcellement lié au phasage évoqué plus haut. Afin de ne pas trop perturber la circulation, la mise en œuvre de ces BBTM (pour environ 1 000 t) a été réalisée en plusieurs opérations de nuit au cours de l'été 2005.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

SITRAM (Syndicat intercommunal des transports de l'agglomération mulhousienne)

Maitrise d'ouvrage déléguée

SERM (Société d'équipement de la région mulhousienne), société d'économie mixte affiliée au réseau SCET, filiale du groupe Caisse des Dépôts

Maitrise d'œuvre

TTM (Tram-Train Mulhousien) : groupement de bureaux d'études et d'architectes (Systra, Arcadis, IRH, AABD - Atelier d'architecture Bruno Dumétier, Atelier du Paysage d'Alsace)

Bureaux de contrôle

Veritas et Socotec avec des missions de vérification des plans des ouvrages en béton armé (massifs LAC et quais de stations), ainsi que la vérification avant bétonnage

Consultant extérieur de la maîtrise d'ouvrage

Bureau Epsilon (Lyon) pour la mise en œuvre des enrobés de voirie

Entreprises participantes

- Transroute (Groupe Eiffage) - Reguisheim (68) : Enrobés de voirie
- Pontiggia - Wittenheim (68) : Terrassements
- TPHP - Kingersheim (68) : Assainissement
- Muller - Illkirch (67) : Assainissement
- SNEE - Balgau (68) : Réseaux secs
- SPP - Villeneuve-le-Roi (94) : Pavage
- Eurochape - Ahuy (21) : Béton désactivé

ABSTRACT

The Mulhouse Tram-Train project

Y. Haller, Ch. Caye, T. Bonnet-Eymard

Within the framework of the Mulhouse Tram-Train project, Eiffage TP has been awarded one of the five contracts for rehabilitation of the road system accompanying the tramway. The work involves reworking the networks and the road and subgrade edges and surfacings, in addition to the installation of street furniture. This €9m project in an urban context with multiple interfaces involved a few special features such as logistics management for the procurement of stone parts and constant adaptation to complex scheduling requirements. Another significant factor was also the application of very thin 0/6 asphalt in an urban environment.

RESUMEN ESPAÑOL

El proyecto Tranvía-Tren de Mulhouse

Y. Haller, Ch. Caye y T. Bonnet-Eymard

En el marco del proyecto de Tranvía-Tren de Mulhouse, Eiffage TP ha conseguido uno de los cinco contratos de reordenación de las infraestructuras viarias ubicadas en las inmediaciones del tranvía. Los trabajos incluyen la consolidación de las redes, de los bordillos y de los revestimientos de las vías de circulación así como de la plataforma, e incluyen además la instalación del mobiliario urbano. Esta obra de 9 M€ que se sitúa en un contexto urbano con múltiples interfaces ha presentado diversas particularidades como por ejemplo, la gestión de la logística de suministro de los elementos de piedra y la adaptación permanente a las etapas complejas del proyecto. También cabe mencionar otro elemento destacado: la aplicación en un entorno urbano de hormigones bituminosos muy finos (BBTM 0/6).

La 3^e ligne de tramway

Quand la plate-forme tramway doit

Dans le cadre de la construction de la 3^e ligne de tramway de l'agglomération grenobloise, cinq ouvrages d'art ont dû être construits pour franchir les quatre principaux obstacles du tracé, et pour supprimer les "vestiges" des constructions routières urbaines des années 1960.

Ces ouvrages, représentant plus de 30 M€ de travaux, ont nécessité l'utilisation de nombreuses techniques du BTP, pour permettre d'ajouter aux infrastructures existantes la plate-forme tramway.

L'ancien pont de Catane, enjambant le Drac et l'A480 a été renforcé et le profil en long modifié. Un nouveau pont mixte de 280 m a été construit en parallèle pour maintenir les voies de circulation routières.

A l'autre bout de la ligne, un passage routier a dû être creusé dans la nappe phréatique, sous les voies SNCF et la future voie du tramway, en intégrant un giratoire dénivelé pour permettre le développement d'un pôle d'échange multimodal.

Un pont poutrelle enrobé et une série de cadres ont aussi été nécessaires, pour franchir une route départementale, et réserver les emprises du futur stade d'agglomération.

Ces travaux d'envergure dans des zones fortement urbanisées ont été menés à bien en 30 mois.

■ DESCRIPTION DU PROJET

La 3^e ligne de tramway de l'agglomération grenobloise représente 13,5 km de ligne nouvelle qui traverse l'agglomération d'est en ouest, de Gières à Seyssins. Elle comprend des interconnexions avec les deux lignes existantes ce qui permet d'améliorer la desserte du domaine universitaire, de réhabiliter les grands boulevards de Grenoble, et de participer à la création d'un pôle d'échange multimodal avec les réseaux de bus et de TER au niveau de la gare de Gières (figure 1).

Les travaux ont démarré avec les déviations de réseaux début 2003, rapidement suivis par les premiers travaux d'ouvrages d'art qui ont débuté en août 2003.

La majorité des travaux d'infrastructure et de pose de rail ont été terminés à l'automne 2005, suivis des premiers essais tramways, avec un objectif de mise en service au printemps 2006.

Le tracé choisi, en plus des contraintes usuelles rencontrées lors de la construction d'un tramway, comprenait le franchissement d'obstacles importants, représentant cinq chantiers d'ouvrages d'art répartis sur quatre sites le long du tracé.

Ouvrage de franchissement du RD6

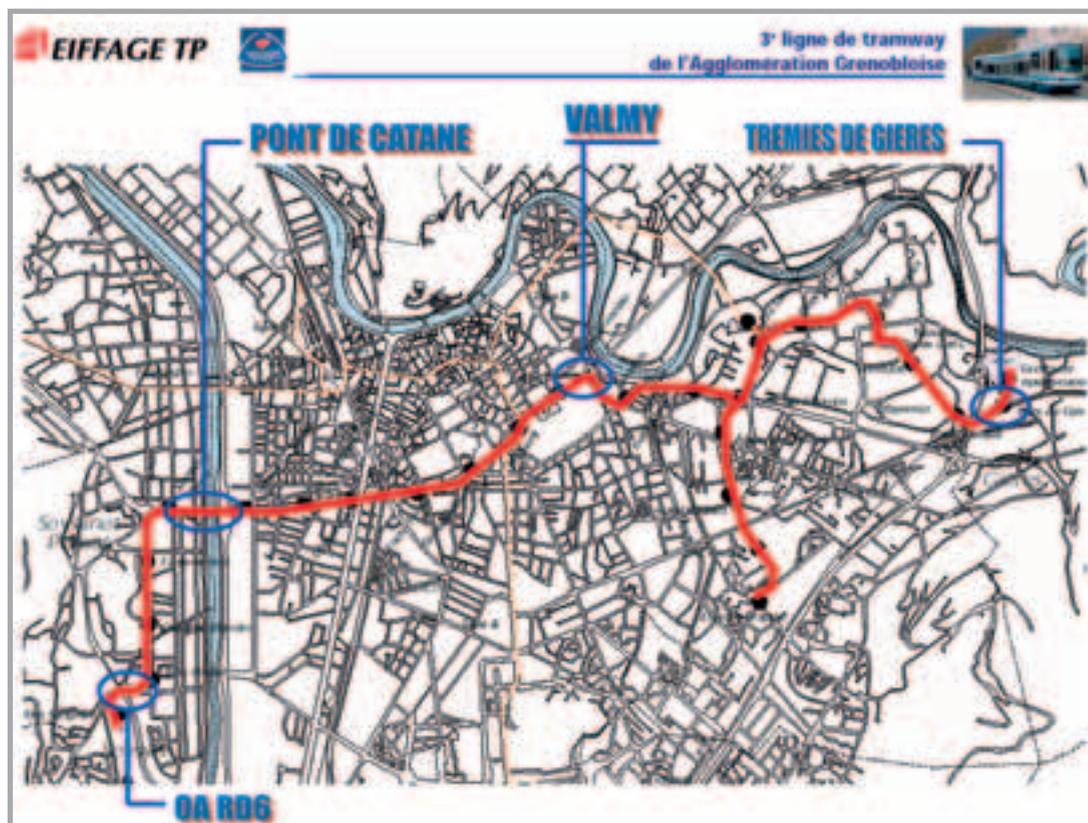
Situé juste avant le terminus de la ligne nouvelle, le tramway franchit le RD6 parallèlement à un ouvrage existant, par un pont à trois travées à poutrelles enrobés de 50 ml, présentant une pente de 4,8 %, prolongé d'une rampe d'accès soutenue par un mur de 138 ml, variant de 0 à 4 m de hauteur (photo 1).

Mur de soutènement du stade

La campagne de sondages géotechniques a révélé que les ouvrages étaient situés au droit d'une zone argileuse gorgée d'eau, de qualité médiocre et d'épaisseur supérieure à 30 m.

Compte tenu de l'exigence de tassement différentiel "0" imposée par la structure rigide de la fondation du tramway (19 cm + 25 cm de béton sous le rail pour une portance > 20 MPa), il a fallu réaliser un renforcement de sol en colonnes ballastées sous les fondations du mur de soutènement. Ces dispositions avaient pour objectif double de limiter le tassement des structures, notamment après mise en œuvre de l'ensemble des charges permanentes, et de réduire l'effet de rotation du

Figure 1
Plan du réseau
Layout of the network



de Grenoble

passer sur des ouvrages d'art



© Actophoto - Régis Bouchu

Photo 1
Vue du RD6
View
of county road RD 6

mur suite aux efforts dynamiques de passage des tramways (pris en compte, par analogie à 5 t/m² en tête de mur, sur une largeur avoisinant les 7 m). Ensuite, le génie civil a été effectué de manière traditionnelle, à l'aide d'une grue mobile évoluant en tête de talus, entre septembre et octobre 2004.

Tablier mixte du RD 6

Chaque appui de l'ouvrage est fondé sur huit pieux de diamètre 800, de longueur moyenne 22 m, forés à la bentonite. Les pieux ont été dimensionnés de manière à prendre en compte les efforts de tassement négatif induit par un remblai d'environ 10 m de haut réalisé en sortie d'ouvrage sous la plate-forme du tramway.

Les deux culées et les deux piles sont classiques (hauteur < 6 m); elles ont été réalisées dans la continuité des piles de l'ancien ouvrage.

Compte tenu de la longueur de l'ouvrage, les poutres ont été divisées en trois parties, raboutées par éclissage. Pour leur mise en place, le RD6 restant en service pendant toute la durée de travaux, les poutrelles enrobées (HEB 450) ont été pré-assemblées par lot de trois au sol, avec les entretoises et les contreventements, puis mises en place en une nuit à l'aide d'une grue automotrice de 140 t.

Pour limiter les opérations au droit de la circulation, les coffrages perdus avaient été fixés entre les poutres avant mise en place sur la charpente, puis, les corniches en béton préfabriqué ont été ré-

glées et fixées avant le bétonnage du tablier, pour servir de coffrage.

Le tablier a la particularité d'être "cloué" par pré-contrainte à la culée haute, pour reprendre les efforts tangentiels transmis par la structure tramway qui arrive sur ce point en descente et en sortie de courbe.

L'ouvrage a été réalisé entre mai et septembre 2004.

En complément du génie civil, dans une logique

RD6 : LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton : 900 m³
- Acier HA : 90 t
- Poutrelles : 130 t
- Traitement de sol : 1 100 m²
- Remblais : 5 500 m³
- Pieux diamètre 800 : 700 ml
- Montant des travaux : 1 856 K€

RD6 : LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Groupement d'entreprises

Eiffage TP - Campenon Bernard Régions (mandataire)

BET structure

SGI Sectra

Sous-traitants

- Pieux : Botte Sade
- Colonnes ballastées : Ménard Soltraitement
- Ferrailage : L.G.A
- Etanchéité : Asphalteurs Réunis
- Terrassement : Carron SA
- Garde-corps : DR Equipements
- Voiries : Appia

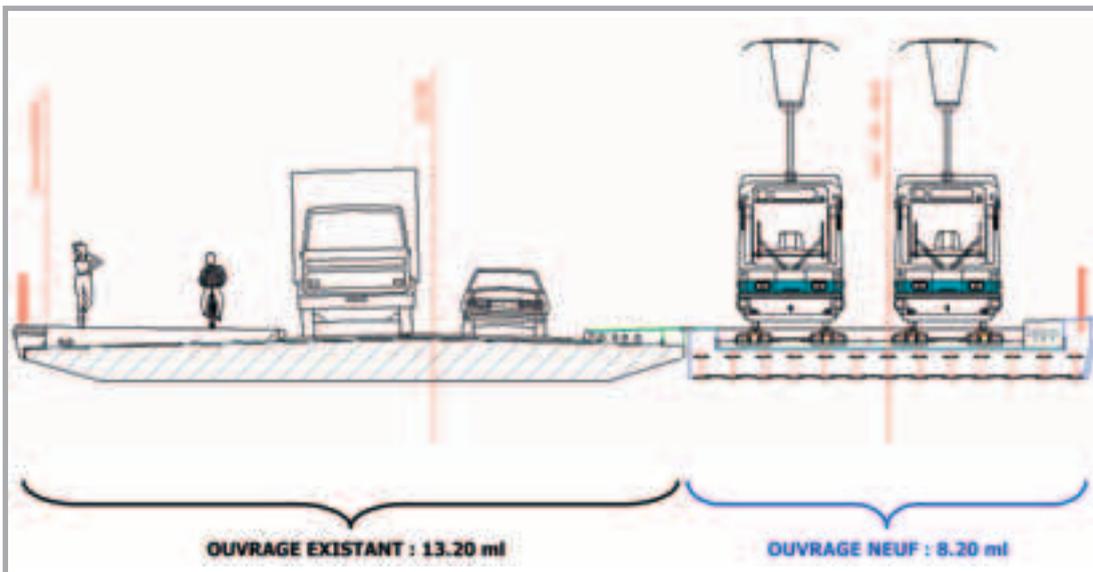
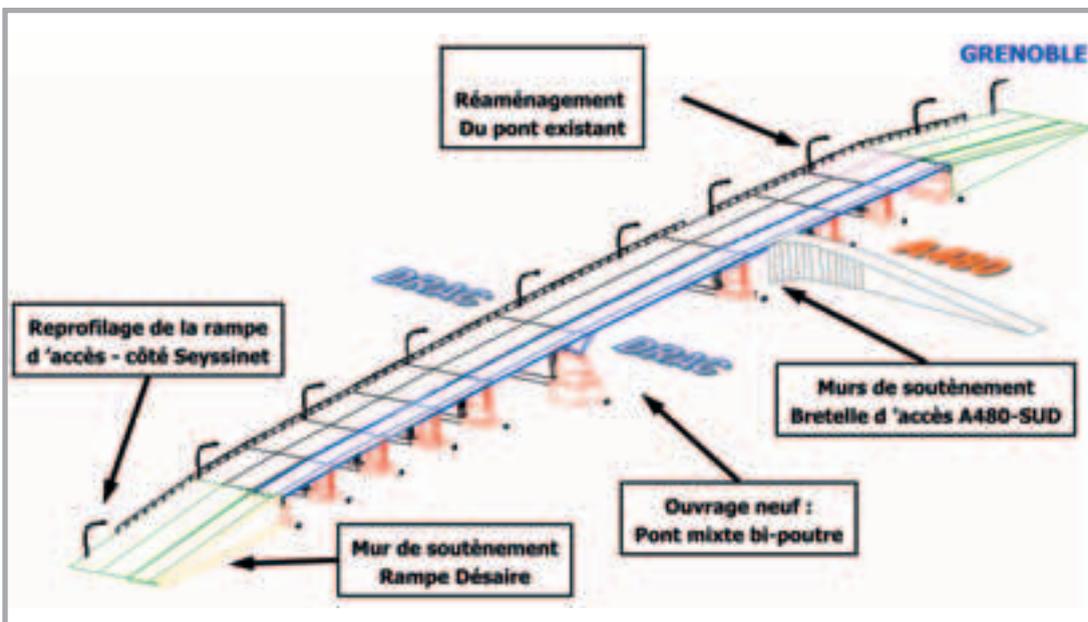


Figure 2
Coupe transversale
du RD6
*Cross section
of county road RD 6*

Photo 2
Pile
en rive droite
*Pier
on the right bank*



Figure 3
Vue 3D du pont de Catane
+ coupe transversale
*3D view of the Catane
bridge + cross section*



d'aménagement urbain, les superstructures de l'ancien ouvrage ont été entièrement refaites, avec une modification du profil en travers pour intégrer une piste cycles et piétons de 4,5 m. La jonction des deux ouvrages s'est faite à l'aide d'une dalle en béton désactivé pour assurer la continuité visuelle avec les plates-formes contiguës (figure 2).

AMÉNAGEMENT ET DOUBLEMENT DU PONT DE CATANE

Le chantier d'aménagement et de doublement du pont de Catane avait été identifié dès les premières planifications du projet comme un des points les plus critiques du tracé compte tenu des contraintes imposées par le site.

En effet, le tramway doit franchir successivement : l'A480 (60 000 véhicules jours/sens) au niveau d'un important échangeur d'accès à Grenoble, le Drac (100 m de large), un site de transformation RTE, avant de redescendre ensuite vers la mairie de Seyssinet par une rampe qui doit être raccourcie des deux tiers de sa longueur, en incluant la modification du profil en long de deux travées iso-statiques du pont existant.

Pour compléter, la plate-forme tramway, dans la continuité des grands boulevards de Grenoble, est centrale, ce qui contraint à la faire passer sur l'ancien ouvrage en béton armé de 1959, non dimensionné pour supporter ces nouvelles charges, et à

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS : AMÉNAGEMENT DU PONT DE CATANE

Groupement d'entreprises

- Eiffage TP - Campenon Bernard Régions (mandataire)
- BET structure : Cogeci
- BET sol : Eiffage TP

Sous-traitance

- Micropieux : Resirep - Cofex
- Paroi clouée : Resirep - Cofex
- Palplanches - Estacade : Pommier
- Ferrailage : L.G.A
- Etanchéité : Asphalteurs Réunis
- Terrassement : Carron SA
- Démolition : E.G.T
- Garde-corps : DR Equipements
- Renforcement carbone : Freyssinet
- Vérinage joints de chaussée : Freyssinet
- Sciage : TB38
- Travaux acrobatiques : Hydrokarst
- Voiries : Appia
- Charpente : Gagne

construire un ouvrage parallèle pour maintenir les 2 x 2 voies de circulation de la route nationale (figures 3 et 4).

Planning général

Ce chantier fut le premier à démarrer en août 2003, et le planning a été articulé autour de la seule période où la circulation sur la nationale pouvait être réduite à 2 x 1 voie, entre août 2004 et novembre 2004, période dévolue aux terrassements de la rampe Seyssinet et à l'abaissement de deux travées du pont existant, avec démolition et reprise en sous-œuvre des appuis (une pile et une culée). Un des objectifs prioritaires fut de minimiser les restrictions de circulation sur cette partie de nationale, empruntée par 40 000 véhicules/jours.

Phase 1 (août - septembre 2003) : travaux préparatoires, démolition des réseaux existants et des superstructures en béton côté sud.

Phase 2 (octobre 2003 - juillet 2004) :

- ◆ fondations profondes - Micropieux de 15 à 30 m de profondeur;
- ◆ blindages pour la réalisation des murs et des culées de l'ouvrage neuf;
- ◆ mur de soutènement sud de la nouvelle rampe.

Appuis + tablier ouvrage neuf (quatre travées), côté Seyssinet, pour mise en service partielle pendant l'abaissement de la rampe et de l'ouvrage existant. Réalisation d'une estacade sur pieux battus dans le Drac pour réalisation de la pile en rivière (photo 2).

Phase 3 (août 2004 - novembre 2005) :

- ◆ mise à 2 x 1 voie de la RN, avec basculement entre le nouveau et l'ancien ouvrage au niveau des travaux d'abaissement du profil en long;
- ◆ reprise en sous-œuvre de l'ouvrage existant et dévêrinage des travées isostatiques (400 m² chacune);
- ◆ terrassement de la rampe existante et enlèvement des blindages en palplanches qui soutenaient la circulation pendant la réalisation des soutènements de la nouvelle rampe;
- ◆ réalisation des derniers appuis du pont neuf;
- ◆ mise en place de la charpente métallique et du hourdis du pont neuf, à la grue depuis l'ouvrage existant;
- ◆ renforcement carbone en sous-face de l'ancien ouvrage au droit de la plate-forme tramway;
- ◆ mise en œuvre de la multitubulaire sous l'ouvrage existant;
- ◆ voiries provisoires et réseaux dans la nouvelle rampe (photos 3 et 4).

Phase 4 (novembre 2004 - décembre 2004) :

- ◆ mur de soutènement nord de la nouvelle rampe;
- ◆ réseaux sous ouvrage;
- ◆ fin de réalisation du tablier de l'ouvrage mixte neuf pour une mise en service le 17 décembre 2004.

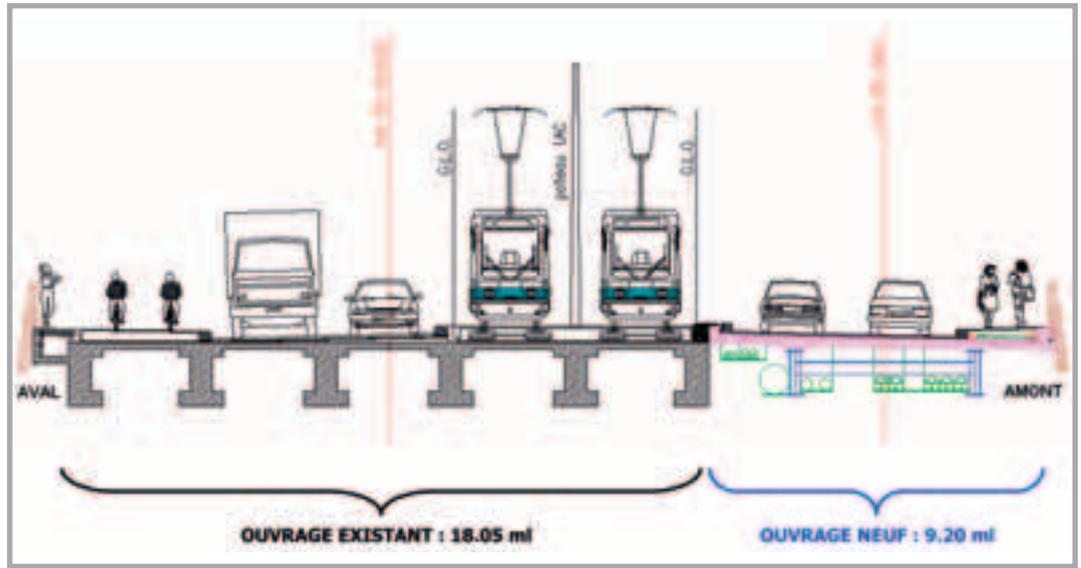


Figure 4
Catane : coupe transversale
Catane : cross section



Photo 3
Démolition rampe Désaire
Demolition of the Désaire ramp

LES PRINCIPALES QUANTITÉS : AMÉNAGEMENT DU PONT DE CATANE

- Béton : 6 200 m³
- Acier HA : 465 t
- Charpentes : 545 t
- Palplanches : 250 t
- Micropieux : 1 390 ml
- Déblais : 33 000 m³
- Remblais : 8 000 m³
- Etanchéité : 7 500 m²
- Revêtement de surface (hors voiries) : 6 500 m²
- Voiries : 5 000 m²
- Montant des travaux : 15 M€



Photo 4
Estacade en rivière
Breakwater in the river



Photo 5
Ouvrage Catane depuis la digue du Drac
Catane structure from the Drac embankment

© Actophoto - Régis Bouchu

Photo 6
Murs rampe Désaire
+ blindage
*Walls of the Désaire
ramp + armoring*



© Actophoto - Régis Bouchu

► **Phase 5** (janvier 2005 - mars 2005) :

- ◆ restructuration de l'ancien ouvrage, démolition des renformis et des étanchéités;
- ◆ création de longrines;
- ◆ étanchéité;
- ◆ aménagement des trottoirs nord (béton désactivé, sables, garde-corps...);
- ◆ voiries (bordures calcaires, enrobés, joints de chaussée).

Phase 6 (avril 2005 - juin 2005) :

- ◆ aménagement de la plate-forme tramway sur et hors ouvrage, y compris réseaux secs massifs supports de caténaires et bétons de fondation;
- ◆ suite du renforcement carbone sous poutre et sur le hourdis de l'ouvrage.

Phase 7 : (mai 2005 - septembre 2005) :

- ◆ pose des voies tramway.

Phase 8 : (septembre 2005 - novembre 2005) (fin des travaux) :

- ◆ revêtements de plate-forme;
- ◆ joints de chaussées sous tramway;
- ◆ raccords sur les lots mitoyens (photo 5).

■ MODE DE RÉALISATION DES OUVRAGES

Ouvrages neufs

Soutènements

Pour séparer la zone circulée de l'ouvrage à construire, des soutènements de hauteur allant jusqu'à 11 m ont été nécessaires. Côté Grenoble ils ont été traités en paroi clouée dans les remblais de l'ouvrage existant. Côté Seyssinet, un double rideau de palplanches tiranté a été réalisé pour soutenir un ancien mur maçonné et les voies de circulation de la RN (photo 6).

Appuis

Le nouveau pont de Catane est constitué par trois ouvrages mixtes de successivement quatre, trois puis deux travées, représentant une longueur totale de 283 ml.

Les deux ouvrages au-dessus du site RTE et de l'autoroute ont une inertie constante. L'ouvrage traversant le Drac a une inertie variable, pour une travée principale au-dessus du fleuve d'une longueur de 70 m.

Suite aux évolutions du lit du Drac dans la cuvette grenobloise, le sous-sol est constitué principalement de sables et graviers dans lequel se sont formées par place, des "poches argileuses" de faible compacité, et a des profondeurs très variables.

La campagne géotechnique détaillée a permis de traiter chaque appui par le mode de fondation le plus approprié, ce qui a conduit à réaliser sur le même ouvrage, à moins de 20 m d'intervalle des fondations superficielles, semi-profondes ou profondes.

Ces dernières sont constituées de séries de 14 à 24 micropieux verticaux descendant jusqu'à 30 m de profondeur pour la pile située au milieu de l'A480. Cette pile-culée reprend les efforts sismiques du tablier central et du tablier côté Grenoble, et compte tenu des mauvaises caractéristiques des couches supérieures de terrain, il a fallu raidir le système micropieux par des caissons en palplanches pour limiter les déplacements de la semelle en cas de séisme.

Pour accéder à la pile en rivière une estacade provisoire sur pieux battus a été construite. La loi sur l'eau et les débits de crue du Drac (crue décennale) ne permettaient pas de réaliser une piste en enrochement dans son lit. L'estacade a permis de réaliser le batardeau, les terrassements avec une pelle mécanique à bâti long (17 m), le génie civil de la pile à la grue mobile, puis les accès sous le tablier pour la mise en œuvre des réseaux suspendus.

Les fondations de l'ouvrage neuf sont réalisées contre celles de l'ouvrage existant, ce qui a induit un désaxement des appuis par rapport au tablier, et a contraint le chantier à adapter les

géométries en fonction de la taille réelle des anciennes semelles.

Pour la pile en rivière, et afin de réaliser le batardeau en palplanches, il a fallu "faire le tour" des enrochements de protection existants contre les affouillements de l'ancienne pile, blocs de 0,5 à 1,5 m³, empilés sur une profondeur de 6 m, et représentant 4 fois la surface de la nouvelle semelle.

Ces travaux ont permis de mieux comprendre les travaux en rivière de nos aînés, entre 1956 et 1958, avant la création des barrages hydroélectrique et avant l'endiguement du Drac pour la création de l'autoroute. Avec le lit du fleuve plus large de 50 m, ils profitaient des périodes d'étiage pour déporter le cours du lit principal et réaliser les fondations "au sec" avec des moyens traditionnels. Les fouilles des fondations étaient ensuite "enrochées" avec des blocs extraits des falaises du Vercors distant de quelques kilomètres.

Le parti architectural de l'actuel projet voulait que la pile en rivière s'inscrive dans le prolongement de l'ancienne, et que visuellement elles ne fassent plus qu'une. Ceci nous a amenés à réaliser un moulage des parements pierres existants pour créer la matrice à appliquer sur les parements du nouvel ouvrage (photo 7).

Pour les travaux en rivière, compte tenu du caractère torrentiel du Drac, des systèmes d'alerte ont été mis en place, complétés par une convention avec GEH Dauphiné (gestion des barrages hydroélectriques) qui communiquait au chantier les prévisions de débit et plus particulièrement les hausses rapides de niveau.

Tabliers

Prenant en compte les emprises de chantier limitées à l'encombrement des ouvrages, ainsi que les contraintes de météo hivernale à Grenoble, le chantier opta pour la préfabrication et l'assemblage d'un maximum d'éléments en usine pour limiter les interventions sur site.

C'est l'entreprise Gagne qui fut chargée de la charpente métallique. Les bipoutres de 5,80 m de large ont été assemblés au Puy-en-Velay (42).

Les pièces ainsi constituées, variant en longueur entre 22 et 31 m et pesant au plus 60 t, ont été acheminées à Grenoble par convoi exceptionnel pour être mises directement en place de nuit, à l'aide de grues automotrices de 200 ou 300 t positionnées sur les poutres de l'ancien ouvrage.

Il ne restait plus sur le chantier qu'à réaliser les rabotages des poutres principales à l'abri des cabines de soudure.

Sur la pile en rivière, afin de rappeler la géométrie de l'ancien ouvrage, un bracon métallique a été installé sous le bipoutre, nécessitant en phase provisoire, la création d'une palée provisoire en rivière, pour assurer la stabilité de la pièce.

Par sécurité, ce bracon a été assemblé sur une pla-



© Actophoto - Régis Bouchu

Photo 7
Pile en rivière
Pier in the river

te-forme située à 500 m du chantier, puis transporté et mis en place de nuit en une pièce, à l'aide de deux grues (photo 8).

Le hourdis béton a été réalisé en éléments préfabriqués à l'usine de Comptoir de la Préfabrication à Pontcharra (38), puis livré et mis en place à la grue en flux tendu de nuit. Les seules opérations de génie civil restant à effectuer concernaient le clavage des pièces et les longrines de reprise d'efforts sismiques.

Equipements de l'ouvrage

Dans le cadre du réaménagement urbain lié au tramway, les revêtements de l'ouvrage ont été traités de manière identique à ceux des voiries d'accès, c'est-à-dire avec des trottoirs en béton désactivé, des bordures calcaire, et des garde-corps spécialement conçus pour ce projet.

Le pont de Catane étant une des rares traversées possibles du Drac, l'ensemble des concessionnaires utilise l'ouvrage : sous trottoirs on trouve les 11000 lignes France Télécom et fibres optiques, sous le hourdis, un diamètre 800 d'eau potable, quatre réservations pour les 20 KVA et 63 KVA des compagnies électriques, plus une réservation pour le chauffage urbain.

Les réseaux secs sous ouvrage sont suspendus sous le hourdis et ont été mis en œuvre par lançage depuis une culée sur les 280 m de l'ouvrage.

Ouvrages existants

Modification du profil en long de la rampe existante

La commune de Seyssinet était coupée en deux par la nationale, qui passait sur un remblai en sor-



© Actophoto - Régis Bouchu

Photo 8
Vue du bracon
View of the bracket

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS : OUVRAGES DE GIÈRES

Groupement d'entreprises

Eiffage TP - Campenon Bernard Régions (mandataire) - Maia Sonnier

BET structure

- Cogeci (partie SNCF)
- IOA (partie SMTC)

Sous-traitance

- Terrassements : Carron
- Palplanches : Spie Sud-Est - Pommier (partie SMTC)
- Palplanches : Maia Sonnier (partie SNCF)
- Ferrailage : L.G.A
- Etanchéité : Smac Aciéroid
- Gros Levage : Mediac
- Etanchéité cuvelage : fourniture du Prepruf (Grace), pose par le groupement
- Garde-corps : Mice
- Electricité : Cegelec
- Travaux de voies : ETF

LES PRINCIPALES QUANTITÉS : OUVRAGES DE GIÈRES

- Béton : 5900 m³
- Béton immergé : 4100 m³
- Acier HA : 620 t
- Palplanches : 800 t
- Déblais : 33000 m³
- Etanchéité cuvelage : 6000 m²
- Montant des travaux : ensemble ouvrage routier : 8,9 M€
- Passage souterrain pour piétons : 0,6 M€

► tie du pont de Catane et coupait des voiries communales au niveau de deux passages inférieurs. La mairie située à proximité était "étriquée" au pied de cet axe principal. Dans le cadre des travaux du tramway, afin de rendre un centre-ville et une continuité à cette commune, le projet a prévu de réduire cette rampe des deux tiers (de 300 m à 100 m), pour mettre à niveau les deux carrefours avec les voiries communales.

Pour respecter la pente maximale admissible par le tramway (6,5 % environ), il a été nécessaire de rectifier le profil en long de l'ouvrage existant sur deux travées, en réalisant un abaissement de 70 cm au niveau de la culée.

Pour mener à bien cette phase, il a fallu construire une déviation provisoire des réseaux présents dans l'ancien ouvrage (France Télécom et EDF), au niveau de la rampe, démolir les deux passages inférieurs au raz de la circulation de la route nationale (distance < 2 m), démolir l'ensemble des infrastructures existantes et terrasser 18000 m³ en deux semaines en centre-ville, puis retirer les palplanches et tirants avant de procéder aux travaux de plate-forme et de voiries.

Dans le même temps, les deux travées de l'ouvrage existant ont été étayées et vérinées afin de permettre la démolition partielle en sous-cœuvres de la culée et de la première pile, puis la reconstruction des chevêtres aux nouvelles cotes.

Compte tenu de la proximité des palées d'étalement (50 cm du nu des appuis), ces travaux ont dû être réalisés avec des modes opératoires adaptés. La culée a été démolie de manière traditionnelle (sciage au disque puis démolition à l'aide de petits engins mécaniques depuis les remblais). La pile a été découpée au câble en blocs d'environ 10 t qui ont été ripés latéralement avant d'être évacués. La reconstruction a été réalisée sans moyens de levage avec l'aide de matériel manu portable. L'ensemble des travaux d'abaissement ont été réalisés en 2 mois entre début août 2004 et fin septembre 2004.

Renforcement carbone de l'ouvrage existant

La vérification du dimensionnement de l'ouvrage existant a mis en évidence un déficit d'acier sous les charges tramway. Un renforcement en carbone a été réalisé par Freyssinet en TFC (tissu de carbone) en sous-face de poutre ou sur le hourdis sous l'étanchéité suivant les cas.

Restructuration de l'ouvrage existant

Comme pour le RD6, l'ensemble des superstructures de l'ancien ouvrage ont été démolies afin de rhabiller le pont selon le descriptif du tramway (piste cycles, bordures calcaires...).

Compte tenu de la longueur de l'ouvrage et de la présence d'un échangeur autoroutier au milieu de celui-ci, de manière identique aux travaux de pla-

te-forme en centre-ville, il a fallu intégrer dans les superstructures les réseaux secs et humides nécessaires au bon fonctionnement du tramway.

Une des principales difficultés de cette phase a été d'intégrer les ancrages des poteaux supports de ligne aérienne (hauteur 13 m) à la structure de l'ancien ouvrage. La solution a été de reconstituer des poutres butons placées entre les poutres principales de l'ouvrage, et d'y intégrer le système de reprise des efforts des mâts en traversant le hourdis. Ces pièces ont dû être mises en œuvre avec des méthodes acrobatiques sur corde par des alpinistes pour la zone située au-dessus du Drac.

■ OUVRAGES DE GIÈRES – PASSAGE INFÉRIEUR, GIRATOIRE DÉNIVELÉ

A l'autre bout de la ligne, à deux stations du centre de maintenance, le tramway longe la plate-forme ferroviaire de la ligne Grenoble-Montmélian-Chambery. A proximité de la gare de Gières, le passage à niveau existant qui ne pouvait plus accepter le trafic tramway, doublé du trafic ferroviaire, a été remplacé par un passage inférieur.

La proximité de la rocade sud de Grenoble rendait idéal ce site pour la création d'un pôle d'échanges multimodal tramway - bus - train.

Pour faire cohabiter ces différents moyens de transport dans un site exigu, il a fallu :

- ◆ creuser à l'abri de batardeau un giratoire de 2000 m² dénivelé à - 5 m/TN raccordé sur deux trémies d'accès et le passage inférieur sous les voies SNCF;

- ◆ aménager un passage routier sous les voies et quais SNCF composé de quatre tabliers poutrelles enrobés, dont deux préfabriqués, puis mis en place sous interception et deux tabliers de quais préfabriqués en béton;

- ◆ construire un mur de soutènement de 180 ml et de hauteur maximale 3,50 m, le long d'une zone pavillonnaire, pour "marier" la plate-forme tramway à celle de la SNCF;

- ◆ édifier un passage inférieur pour piétons desservant les différents quais SNCF et tramway;
- ◆ réaliser les travaux préalables à la réalisation future d'une voie train supplémentaire.

Ces différents ouvrages ont fait l'objet de deux marchés distincts, sous maîtrise d'ouvrage SMTC pour la partie tramway, et RFF-SNCF pour la partie ferroviaire.

Compte tenu de la dimension de ces ouvrages situés à proximité du centre-ville de Gières, une attention particulière a été apportée à l'architecture. L'architecte a notamment fait intégrer des calepinages de matrices, de baguettes et de lasures, réaliser des garde-corps particuliers, habiller certaines élévations en pavés basalte, et traiter l'éclairage avec des diodes colorées (photo 9).

Les principales contraintes des chantiers de Gières

Sur un même site, deux chantiers se sont superposés avec des maîtrises d'ouvrage différentes, ayant chacune leur propre planification, axée sur la mise en service des premiers tramways pour le SMTC, et imposée par les dates d'interception de voie prédéfinie à l'avance pour la SNCF. Ces contraintes et l'obligation de maintenir en permanence une circulation pour les piétons aux abords du chantier, ont imposé le cloisonnement des différentes trémies par des rideaux de palplanches, et la multiplication des moyens de coffrages et de levage par phases.

Le chantier étant "coincé" entre deux zones pavillonnaires et coupé en deux par les voies ferrées, dont une électrifiée, le stockage dans les zones de travail devait être réduit à son strict minimum, imposant aux équipes de nombreuses maintenances, et à l'encadrement de maîtriser le planning des livraisons, notamment des aciers et des coffrages (figure 5 et photo 10).

La nappe phréatique en cas de crue peut atteindre le niveau du TN, ce qui a imposé la réalisation d'un cuvelage extérieur. Le niveau d'eau moyen étant situé à environ 4 m sous le niveau du TN, 80 % des radiers des ouvrages sont situés sous la nappe.

Les principales techniques utilisées

Blindages

Compte tenu de la présence d'eau, l'ensemble des soutènements a été réalisé en palplanches, avec un niveau de butons pouvant être démonté après bétonnage du radier.

Sous les voies SNCF, les blindages ont été réalisés de nuit sous interception de voie. Pour chaque opération, d'une durée de 7 heures un rideau d'environ 10 m de long par 17 m de profondeur a été vibré, inclus les dépose-repose des tronçons de rail et terrassements - remblais nécessaires. Dans ces zones, compte tenu de la présence des camarteaux des tabliers auxiliaires, un second lit de butons a dû être mis en place.

Terrassements - Bétons immergés

Afin d'optimiser le dimensionnement des structures et limiter les profondeurs de terrassement à 11 m, les bétons immergés ont été ferrailés et connectés aux palplanches par l'intermédiaire de profilés soudés.

Dans les zones les plus profondes, passage inférieur tramway et giratoire, afin de faire participer le béton immergé à la structure définitive, celui-ci a été liaisonné au radier de l'ouvrage au niveau des HEB supports de butons complété par des lignes d'acier HA20.

Ces dispositions ont permis d'économiser plus d'un



Photo 9
Giratoire de Gières
et entrée du passage
sous les voies

*Gières roundabout
and underpass
entrance*

Figure 5
Plan de masse

Layout plan

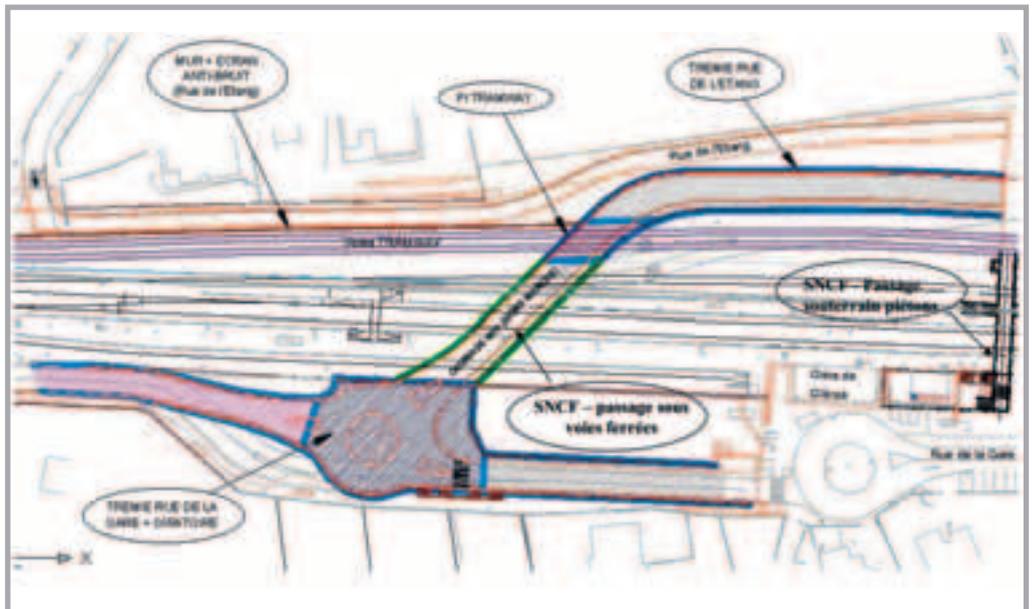


Photo 10
Trémie de l'étang

*Underpass
approach
to the pond*

Photo 11
Giratoires : ferrailage
béton immergé

Roundabouts :
submerged concrete
reinforcement



© Actophoto - Régis Bouchu



mètre cinquante d'épaisseur de béton entre les bétons immergés et les radiers.

Dans les trémies les terrassements ont été effectués avec des moyens classiques. Avant mise en œuvre des bétons immergés, compte tenu du faible niveau d'eau, le réglage du fond de fouille a été réalisé avec une pelle araignée.

Sous les tabliers auxiliaires des voies ferrées, des mini-pelles ont excavé les matériaux pour les sortir de l'emprise des voies puis ils ont été repris avec une pelle à bras télescopique pour être évacués. Un rabattement du niveau de l'eau dans le batardeau a été nécessaire pour permettre la circulation de ces petits engins.

Pour le giratoire, compte tenu de la nature du terrain limoneux-sabloneux, après mise en place des butons, le terrassement a dû être réalisé en une passe avec une pelle à bâti long. Le réglage du niveau du fond de fouille était suivi à l'avancement depuis une barque, puis un réglage plus fin a été réalisé par une équipe de plongeurs.

Les matériaux extraits sous le niveau de l'eau ont dû être stockés dans l'enceinte du chantier déjà exigu pour s'essorer pendant environ 24 heures avant d'être transportables pour évacuation en décharge.

Le ferrailage des bétons immergés a été préfabriqué par morceaux, puis mis en place à la grue. Les connexions entre les différentes parties immergées ont été faites avec les équipes de plongeurs (photo 11).

Cuvelage

Afin de pouvoir assurer l'étanchéité par cuvelage de ces ouvrages en prenant en compte la présence des connecteurs, le chantier a mis en œuvre la membrane "Prepruf" de la société Grace. Elle présentait ici l'avantage d'adhérer au béton, ce qui permettait de traiter les nombreux points singuliers avec un composant spécifique (le Bituthène LM) compatible avec la membrane.

Ce procédé étant appliqué pour la première fois en France sur un ouvrage d'art, un soin particulier a été apporté à sa mise en œuvre avec, en plus du suivi effectué par un conducteur de travaux spécialement affecté à cette tâche, un contrôle complémentaire a été assuré par la société Grace, et un contrôle extérieur effectué par le bureau Veritas.

Un an après application, aucune fuite n'a été détectée.

Travail dans l'emprise ferroviaire

Pour la réalisation des travaux sous les voies SNCF, deux opérations particulières ont été planifiées en novembre 2004 et août 2005 pour la mise en place des blindages et tabliers auxiliaires, puis pour celle des tabliers définitifs.

La seconde opération, avait la particularité de concentrer différentes difficultés. En plus des travaux "courants" de remplacement de tablier auxiliaire par un tablier de voie, le passage souterrain étant situé au milieu d'une gare, il a fallu mettre en œuvre les quais préfabriqués en béton dans le même intervalle.

Compte tenu de la place disponible, la grue de 650 t nécessaire au levage des éléments préfabriqués a dû être transférée d'un côté des voies à l'autre dans les 14 heures séparant deux nuits consécutives, avec démontage et remontage des douze semi-remorques d'équipements (photo 12).

Douze mois seulement ont été nécessaires à la construction de ces travaux depuis les premiers coups de pelle. Depuis le mois d'août 2005, les équipements et les voiries ont été réalisés pour une mise en service effective à la mi-novembre 2005.

Description sommaire du passage souterrain

Cet ouvrage a été complété par un passage piétonnier souterrain qui dessert les différents quais SNCF et tramway. Il est constitué d'un cadre de 3 m x 2,5 m sur une longueur de 30 ml, construit à l'abri de blindage sous les tabliers auxiliaires. Trois ascenseurs et trois escaliers permettent d'accéder aux différents quais.

■ OUVRAGES DE VALMY

Contournement du stade d'agglomération

En complément des ouvrages précédents il a fallu, réaliser 200 ml de cadre le long du futur stade d'agglomération de Grenoble pour permettre la cohabitation des deux infrastructures, et réserver sous



Photo 12
Travaux sur l'ouvrage
SNCF de nuit

*Work on the railway
structure by night*



Finitions ouvrage Valmy

*Finishing work
on the Valmy structure*

le tramway l'accès au parking souterrain du stade. Compte tenu de la nature compressible des terrains et de la présence d'un collecteur maçonné de diamètre 3600 sous l'emprise du tramway, les ouvrages ont dû être fondés sur pieux, et les terrains situés sous les plates-formes adjacentes renforcés par CMC (colonnes à modules compensés). Les pieux choisis pour ce chantier en centre-ville étaient du type Oméga, pieux réalisés par refoulement pour permettre de diminuer les mouvements

de matériaux. De la même manière, l'ensemble des plans de terrassement ont été réalisés de façon à minimiser les mouvements de terre.

Le type de structures des ouvrages était classique : longrines, poteaux poutres, dalles. La particularité du chantier à trait plutôt à la rapidité d'exécution du génie civil : commencé en mars 2005, terminé (y compris l'étanchéité et les équipements) début juin 2005, pour recevoir la structure voie.

Les ouvrages étant situés au niveau d'une courbe inclinée, les rails ont été scellés dans les dalles en béton réalisées sur l'étanchéité. Pour respecter les tolérances demandées par les poseurs de voies, un réglage à ± 3 mm a été nécessaire sur 800 m² de dalles (parallèlement au rail) (photo 13).



Photo 13
Ouvrage Valmy
Valmy structure

LES PRINCIPALES QUANTITÉS : OUVRAGES DE VALMY

- Béton : 3800 m³
- Acier HA : 260 t
- Pieux Oméga 1530 ml
- CMC : 1900 m²
- Déblais : 7400 m³
- Remblais : 5500 m³
- Etanchéité : 1900 m²
- Montant des travaux : 3,9 M€

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS : OUVRAGES DE VALMY

Groupement d'entreprises

Eiffage TP (mandataire) - Campenon
Bernard Régions

BET structure

SGI

Sous-traitants

- Pieux Oméga, CMC : Franki
- Terrassements : Moulin TP
- Ferrailage : S.A.M.T
- Etanchéité : Asphalteurs Réunis

Compte tenu de la proximité de la mairie de Grenoble et du projet de réaménagement de la zone (parc Paul Mistral par le cabinet Chemetof), les élévations des différents murs ont été matriciées, et des fruits ont été intégrés pour rappeler les remparts situés de l'autre côté de la rue. Des systèmes de gradins en béton rattrapent les différences de niveaux entre les diverses infrastructures.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Travaux tramway

Maitre d'ouvrage

S.M.T.C - Syndicat mixte des transports en commun de l'Agglomération grenobloise

Maitre d'ouvrage délégué

Territoire 38

Maitre d'œuvre

Groupement S.I.A.S (Semaly, Ingérop, Attica, Sogreah)

Contrôleur technique

Veritas

Coordinateur sécurité

Groupement Cossec-Present

Architecte ouvrages de Catane

Cabinet Strates

Conduite d'opérations ouvrage de Catane

DDE 38

Groupement d'entreprises

Eiffage TP - Campenon Bernard Régions

Travaux SNCF

Maitre d'ouvrage

R.F.F

Maitre d'ouvrage délégué

SNCF - Direction de Chambéry

Maitre d'œuvre travaux

SNCF - EVEN Isère

Maitre d'œuvre études

SNCF - PRY Lyon

Coordinateur sécurité

SNCF - Direction de Chambéry

Groupement d'entreprises

Eiffage TP - Campenon Bernard Régions - Maia Sonnier

ABSTRACT

The third tramway line in Grenoble. When the tramway subgrade has to pass over engineering structures

J.-P. Feltz

As part of the construction of the third tramway line for the Grenoble urban area, five engineering structures had to be built to cross over the four main obstacles on the route, and to remove the "relics" of urban road construction dating from the 1960s.

These structures, representing more than €30 m in works, required the use of numerous building and construction industry techniques to enable the tramway subgrade to be added to the existing infrastructure.

The old Catane bridge straddling the Drac river and the A480 motorway was reinforced and the longitudinal profile was altered. A new 280-metre composite bridge was built in parallel to maintain the road traffic lanes.

At the other end of the line, a road crossing had to be dug in the water table, under the railway tracks and the future tramway track, incorporating a grade-separated roundabout to allow the development of a multimodal exchange pole. An asphalted girder bridge and a series of frames were also required, to cross over a county road and reserve the land requirements for the future town stadium.

These large-scale works in highly urbanised areas were carried out in 30 months.

RESUMEN ESPAÑOL

La tercera línea de tranvía en Grenoble. Cuando la plataforma de tranvía debe pasar sobre diversas obras de fábrica

J.-P. Feltz

Situándose en el contexto de la construcción de la tercera línea de tranvía de la aglomeración urbana de Grenoble, se han tenido que construir cinco obras de fábrica para franquear los cuatro principales obstáculos del trazado, y para suprimir los "vestigios" de las construcciones de vialidad urbana de los años 1960.

Estas estructuras, que representan más de 30 millones de euros de trabajos,

han precisado la utilización de numerosas técnicas del sector de la construcción y obras públicas, para permitir la incorporación en las infraestructuras ya existentes de la plataforma de tranvía. El antiguo puente de Catane, que salva el río Drac y la autopista A480 se ha consolidado y se ha modificado el perfil longitudinal. Un nuevo puente mixto de 280 metros fue construido en paralelo para mantener las vías de tráfico vial.

En el lado opuesto de la línea, se ha tenido que perforar un paso vial en la capa freática, bajo las vías SNCF y la futura vía del tranvía, integrando una glorieta a desnivel para permitir el desarrollo de un polo de intercambio multimodal.

Un puente de viga y una serie de pórticos también fueron necesarios, para salvar una carretera departamental, y reservar las zonas de dominio del futuro estadio de aglomeración.

Estos trabajos sumamente importantes que están ubicados en zonas ampliamente urbanizadas fueron llevados a buen término en 30 meses.

Parking Paul Klee à Paris : un "clés en main" qui passe par la maîtrise des travaux géotechniques

Les parkings souterrains donnent lieu à des travaux géotechniques importants et délicats qui représentent une part notable de l'opération, tant du point de vue du coût que des risques.

Il peut être de l'intérêt du maître de l'ouvrage d'opter pour un marché d'entreprise générale avec une entreprise générale capable de concevoir et de réaliser elle-même cette partie délicate, complexe et aléatoire que constituent le soutènement et la mise hors d'eau de la fouille nécessaires à la construction de l'ouvrage proprement dit.

Le propos est illustré par la réalisation du parking Paul Klee par Solétanche Bachy France dans le cadre d'un contrat clés en main.

■ DE L'INTÉRÊT DES CHANTIERS INTÉGRÉS

Un parking souterrain, du fait qu'il est souterrain, comporte souvent une part notable de travaux géotechniques. Notons que c'est également le cas d'autres ouvrages souterrains comme, par exemple, les réservoirs enterrés.

Il est reconnu que les travaux géotechniques se caractérisent par une complexité et des aléas plus élevés que ceux rencontrés dans les travaux de génie civil et les corps d'état secondaires.

Solétanche Bachy, qui est historiquement une entreprise de travaux géotechniques et qui occupe le plus haut rang mondial dans cette spécialité, a développé depuis des années une activité d'entreprise générale. Cette position lui permet de proposer à ses clients une offre globale dans laquelle elle contrôle totalement la partie complexe et spécialisée des travaux géotechniques.

Solétanche Bachy conçoit les soutènements et la mise hors d'eau des fouilles à l'abri desquels elle vient ensuite construire l'ouvrage. Elle réalise ces travaux spéciaux avec ses moyens propres, très performants. Il en résulte la meilleure optimisation possible, autant dans la conception que dans l'exécution, avec les avantages qui en découlent en matière de délai et de prix, sans oublier l'élimination des litiges entre intervenants en cascade.

La conséquence pour le client est un service à la fois confortable, fiable et compétitif.

L'expérience de Solétanche Bachy en matière de parkings souterrains est aussi vieille que la technique de la paroi moulée et s'est forgée à la cadence moyenne d'un parking par an depuis plus de quinze ans.

Pour ne citer que quelques applications de parkings publics et privés, en France seulement :



◆ Saint-Tropez-Les-Lices, Paris Amboise Paré et Paris Passy qui ont été exécutés à ciel ouvert, dans des conditions classiques ;

◆ Paris Baudoyer devant la mairie du IV^e exécuté sous les arbres existants conservés en place ;

◆ Lyon Bourse et Paris Saint-Martin exécutés en taube, c'est-à-dire sous une dalle coulée avant d'excaver au-dessous ;

◆ Paris Saint-Michel, sous le boulevard Saint-Michel, Paris Sébastopol sous le boulevard Sébastopol, qui sont implantés sous les "axes rouges" de Paris et ont été réalisés en conservant la totalité du flux de circulation ;

◆ des parkings circulaires, dont Paris Harlay, qui est le plus profond de France avec dix niveaux de sous-sols sur l'île de la Cité, au milieu de la Seine. Depuis cinq ans Solétanche Bachy prend en charge la conception et la réalisation de l'ensemble du parking, c'est le cas pour :

Patrice Divet



DIRECTEUR DE L'AGENCE
GÉNIE CIVIL
Solétanche Bachy France

Thierry Beaulieu

ARCHITECTE

Daniel Marchand



DIRECTEUR
COMMERCIAL
DE L'AGENCE
GÉNIE CIVIL
Solétanche Bachy France

Photo 1
Finition de chaussée
au-dessus du parking,
entre les deux immeubles
qui le bordent

*Pavement finishing
above the car park,
between the two adjacent
buildings*

Photo 2
Réalisation de la paroi
moulée
Execution
of the diaphragm wall



Photo 3
Construction de la dalle
supérieure
Construction
of the upper slab



Photo 4
Pose de la chaussée
sur la dalle supérieure.
A gauche et à droite
les chantiers
des immeubles mitoyens
Laying pavement
on the upper slab.
To the left and right,
the sites of the adjoining
buildings



Photo 5
Terrassement en taupe sur une hauteur
correspondant à deux niveaux
Underground earthworks over a height corresponding
to two levels



- ◆ Bois-Colombes Eglise, mis en service en 2003 ;
- ◆ Paris Paul Klee, dont la mise en service est prévue début 2006 ;
- ◆ Châteaurenard, en Provence, en cours de réalisation.

■ LE PARKING PAUL KLEE À PARIS

Le parking Paul Klee est situé tout près de la gare d'Austerlitz. C'est un parking public souterrain de 354 places sur six niveaux. Il est implanté entre deux immeubles R + 8 qui ont été construits dans la continuité (photo 1). Cette configuration a nécessité, dès que la dalle de tête a été achevée, de réduire l'emprise du chantier par rapport à la surface au sol du parking.

Les travaux ont commencé par la paroi moulée périmétrale et la jupe injectée qui la prolonge jusqu'à un horizon géologique peu perméable, de manière à réaliser les côtés et le fond d'une boîte relativement étanche (photo 2).

La phase suivante a été la réalisation de la dalle de couverture, de son étanchéité et du remblai (photo 3).

Ont suivi immédiatement les travaux de voirie de manière à rétablir les circulations en surface (photo 4).

Le terrassement a été effectué "en taupe", sous la dalle. Un pompage par puits a été installé pour rabattre la nappe dans la boîte. L'excavation en taupe a été réalisée avec un chargeur à chenilles (photo 5). Le chargeur poussait les déblais vers la trémie d'évacuation où ceux-ci étaient repris par une pelle à benne-preneuse qui les déposait, en surface, sur les camions.

Les planchers ont été construits niveau par niveau,

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée : 4 300 m², épaisseur 0,60 m, profondeur 20 m
- Jupe injectée sous la paroi : hauteur 12 m
- Planchers, dalle et radier : 12 000 m²
- Montant du marché : 10 M€
- Durée des travaux : 22 mois



Photo 6
Table coffrante pour les planchers
Flying form table for the floors

en descendant, selon un processus itératif. Les terrassements sur la hauteur de chaque niveau ont été réalisés à l'identique et la paroi moulée a été rabotée en temps masqué.

Les structures verticales et les rampes ont été construites en remontant, en utilisant deux trémies réservées dans la dalle de couverture.

Les coffrages consistaient en une table coffrante pour les parties courantes et en coffrage traditionnel pour les zones plus complexes. Les manutentions étaient opérées par une grue mobile car il était interdit d'installer une grue à tour en raison de la proximité des chantiers voisins.

La séquence courante se décomposait comme suit :

- ◆ excavation sur deux niveaux N et N-1 ;
- ◆ on laisse deux risbermes latérales sur la hauteur du niveau N-1, pour buter les côtés en paroi moulée ;
- ◆ les rails de la table coffrante sont fixés sur la paroi moulée ;
- ◆ le plancher bas du niveau N est réalisé sur la table coffrante, et sert de buton pour la paroi moulée (photo 6) ;
- ◆ la séquence suivante commence sur les niveaux N-1 et N-2.

Le choix a été fait d'un pompage permanent pendant toute l'exploitation du parking. Sous le plancher bas du dernier niveau de sous-sol on a mis en place un radier drainant avec ses collecteurs renvoyant l'eau de pompage permanent dans un déversoir d'orage.

L'architecte a voulu que les accès et les circulations soient particulièrement clairs et commodes pour les usagers, ce qui passe par une signalétique utilisant des pictogrammes très explicites (photo 7).

Les escaliers, les ascenseurs et les colonnes sèches sont regroupés dans les structures verticales. Les dimensions et les finitions sont particulièrement



Photo 7
Accès avec repérage des niveaux par pictogrammes
Access with identification of levels by icons

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

SEMAPA : Société d'économie mixte de la Ville de Paris

Maître d'œuvre

Thierry Beaulieu Architecte/Bureau d'Ingénierie

Bureau de contrôle

Véritas

Entreprise générale

Solétanche Bachy France

Sous-traitants :

- Terrassements : TDLM
- Etanchéité : SNA
Etandex
- Ascenseurs : Sacamas
- Ventillation : Costa
- Electricité : EMI
- Chaussées : Jean Lefebvre

Artiste peintre

Cuzin

généreuses et soignées, conférant une ambiance d'une exceptionnelle qualité (photos 8 et 9). La sécurité est complétée par un dispositif de vidéo-surveillance par des caméras qui couvrent toute la surface du parking.

Pendant des années, bien des usagers vont emprunter ce parking sans se douter qu'il représente la solution d'un problème géotechnique et sans rien imaginer de son mode de construction.



Photo 8
Cage d'escalier et d'ascenseur
pour accès des piétons
*Stairwell and lift shaft
for pedestrian access*

Photo 9
Vue en enfilade du 3^e niveau
View looking down the third level



ABSTRACT

Paul Klee car park in Paris: turnkey project requiring expertise in geotechnical works

P. Divet, Th. Beaulieu, D. Marchand

Underground car parks involve major, tricky geotechnical works which represent a large proportion of the project, from both the cost and risk viewpoints.

It may be in the client's interest to opt for a general contracting arrangement with a main contractor capable of designing and executing by itself the difficult, complex and uncertain operations involved in supporting and roofing-in the excavation as required for construction of the structure properly speaking. This is illustrated by the construction of the Paul Klee car park by Solétanche Bachy France under a turnkey contract.

RESUMEN ESPAÑOL

Aparcamiento Paul Klee en París: una obra "llaves en mano" que pasa por el dominio de los trabajos geotécnicos

P. Divet, Th. Beaulieu y D. Marchand

Los aparcamientos subterráneos dan origen a diversos importantes y delicados trabajos geotécnicos que representan una parte significativa de la operación, tanto desde el punto de vista económico como a nivel de los riesgos. El interés de la empresa contratante puede consistir en optar por un contrato de empresa general con una empresa general capaz de concebir y ejecutar por sí misma esta parte delicada, compleja y aleatoria que constituyen el sostenimiento y la puesta al resguardo de las aguas de las excavaciones necesarias para la construcción de la obra propiamente dicha.

Semejante propósito viene ilustrado mediante la ejecución del aparcamiento Paul Klee por Solétanche Bachy France en el marco de un contrato llaves en mano.

Travaux d'assise pour la tour Granite

Jean-Luc Fouillade
DIRECTEUR D'EXPLOITATION
Botte Fondations

Stéphane Sérisé
CONDUCTEUR DE TRAVAUX
RESPONSABLE DU PROJET
Botte Fondations

Evelyne Fiorin
RESPONSABLE DES RESSOURCES
HUMAINES
Botte Fondations

En février 2005, Botte Fondations (Sogea Construction) et GTM Terrassement, deux entreprises de Vinci Construction, ont commencé à l'extrême pointe ouest du quartier de la Défense les soutènements d'une fouille de 90 000 m³. D'une profondeur atteignant jusqu'à 21 m sous le niveau des voiries adjacentes, cet ouvrage servira d'assise à la tour Granite, un nouvel immeuble de grande hauteur édifié pour la Société Générale, à proximité immédiate des tours Chassagne et Alicante, où la banque a installé son siège social voici une dizaine d'années.

■ UNE FOUILLE DE 90 000 M³

Au printemps 2008, dans le quartier de la Défense, un nouvel immeuble de grande hauteur (IHG) flanquera les tours Chassagne et Alicante, édifiées en 1994 pour la Société Générale. Maître d'ouvrage de ce nouveau projet, le premier jamais construit en HQE (cf. encadré "Démarche HQE"), la banque en a confié la conception à l'architecte Christian de Portzamparc et la construction à un groupement de quatre entreprises de Vinci dans le cadre d'un contrat de promotion immobilière associant à égalité Vinci et Nexity. Au printemps 2005, les équipes de Botte Fondations (Sogea Construction) et les terrassiers de GTM Terrassement, présentes sur le site depuis le 21 février, poursuivaient les travaux d'aménagement de la fouille qui servira d'assise au futur bâtiment.

"Nous exécutons un chantier de soutènement qui met en œuvre des techniques de fondations. Les démolitions préalables, hors marché, ont été réalisées depuis longtemps. Quant aux fondations proprement dites, elles seront assurées par un radier de 2 m d'épaisseur sur lequel prendra appui le noyau de béton du bâtiment, et elles seront réalisées par les entreprises de gros œuvre", résume Jean-Luc Fouillade, le directeur d'exploitation de Botte Fondations.

■ UNE "BOITE" PROFONDE DE 21 M

Dans l'entrelacs des voies de circulation qui environnent le site, où le viaduc du boulevard des Bouvets a été provisoirement amputé sur une centaine de mètres, le chantier se découvre dans toute son étendue depuis le boulevard de Pesaro. Délimité au niveau supérieur et côté ouest par une voirie longeant le cimetière de Puteaux, et côté Est par la rue des Longues-Raies, il se présentait à la mi-

avril 2005 comme un amphithéâtre dont le niveau bas était celui de la chaussée de la N314 et dont les bords supérieurs s'ébauchaient sur les deux autres côtés. A l'issue des travaux, la fouille sera une "boîte" triangulaire de 90 m de côté et de 21 m de profondeur sous le niveau des voiries les plus hautes, soit un ouvrage en creux de 90 000 m³.

"Diverses solutions techniques existent pour réaliser les soutènements, explique Jean-Luc Fouillade. Dans tous les cas, il s'agit d'établir une paroi de soutènement en reprenant les efforts des terres soit à l'intérieur de la fouille avec des systèmes de butons, soit dans le sous-sol et dans le sol périphérique par des pieux ou au moyen de clous ou de tirants." La dimension de la fouille excluant l'uti-

En mars 2005, au pied des tours jumelles de la Société Générale, la fouille, qui à terme sera profonde de 21 m, s'esquisse tout juste

In March 2005, at the base of the twin towers of Société Générale, the excavation, which will ultimately be 21 metres deep, is just apparent



DÉMARCHE HQE : DES EXIGENCES CENTRÉES SUR LA CONCEPTION

Etablissements d'enseignement, logements, bureaux et maintenant IGH : la démarche haute qualité environnementale se généralise. Pour le projet Granite, les quatre cibles (sur 14) sur lesquelles sera recherché le niveau de performance maximal, sont le confort hygrométrique (cible 8), la qualité sanitaire de l'air (13), la gestion de l'énergie (4) et le confort visuel (10). Pour la phase fondations du projet, l'impact de la démarche se limite pour l'essentiel à la gestion des déchets, "un aspect sur lequel nous travaillons à l'échelle de Vinci, indique Stéphane Sérisé, et qui concerne en particulier le traitement des cartouches de graisse et les huiles de vidange, car pour le reste, nous manipulons surtout des bétons et de la terre et nous ne produisons pas beaucoup de gravats."

Trois ateliers caractéristiques d'un chantier de fondations : les terrassements (1^{er} plan) ; l'atelier de béton projeté (2^e plan) ; le forage de pieux de la paroi parisienne (3^e plan)

Three characteristic sets of equipment on a foundation construction site: earthworks (in the foreground); the shotcreting plant (in the background); pile drilling for the Paris-type retaining wall (far background)



La machine utilisée pour la réalisation des pieux peut forer jusqu'à 30 m de profondeur en diamètre 500 à 1 200 mm

The machine used for construction of the piles can bore at diameters of 500 to 1,200 mm down to a depth of 30 m



LA PAROI PARISIENNE À LA LOUPE

Dans la paroi parisienne, variante de la paroi berlinoise, la première opération consiste à forer des pieux régulièrement espacés pour assurer l'équilibre des efforts de butée et de poussée. Le terrassement est ensuite effectué par passes avant la mise en place des armatures et la projection de béton. Au fur et à mesure de la réalisation de la paroi et de l'approfondissement de la fouille, des tirants d'ancrage dont la longueur peut atteindre 15 m sont mis en place et en tension pour reprendre les efforts de poussée.



lisation de butons, la solution retenue ici met en œuvre des parois parisiennes (cf. encadré "La paroi parisienne") sur deux côtés et une paroi clouée côté cimetière, proposée en variante par Botte Fondations. A la limite de la chaussée même de la N314, un engin à chenilles Soil-Mec R 518 est en train de forer à la tarière l'un des quelque 50 pieux de 800 mm de diamètre du chantier, dont les plus longs atteindront 26 m.

"Sur la colline de La Défense, le terrain est plutôt bon, commente Jean-Luc Fouillade. De haut en bas, on y trouve 3 m de remblai, 9 m de marnes et de caillasses marneuses, 6 m de marnes et de caillasses calcaires, enfin une couche de calcaire grossier dans laquelle s'ancrera le fond de fouille sur 3 m. C'est aussi dans cette assise solide qui ne sera pas facile à terrasser que sera coulé le radier de la tour."

COHABITATION ET COORDINATION

Sur ce chantier qui a la particularité d'"être" la fouille et où chaque aire de stockage ou installation est provisoire, les équipes et les ateliers de Botte Fondations et de GTM Terrassement cohabitent en coordonnant rigoureusement leurs opérations. Non loin de la foreuse, la grue à chenilles utilisée pour la mise en place des ferrillages déplace ainsi deux containers atelier de chantier d'une zone où vont intervenir les terrassiers.

Côté ouest, où les premières "passes" de la paroi clouée en béton projeté ont été réalisées et arborescent les marques rouges des emplacements de clous, repères indispensables pour l'entreprise générale dans les phases ultérieures, certaines étapes de la mise en œuvre de la technique – coffrage, ferrillage, déblaiement – apparaissent en divers points. *"L'atelier de béton projeté, alimenté par un compresseur de 25 000 l et une trémie de stockage de 7 m³, mobilise trois opérateurs : un machiniste, un projeteur et un aide, explique Stéphane Sérisé, le conducteur de travaux responsable de projet pour Botte Fondations, et il sera réalisé en travail posté pour accélérer la cadence."*

DÉMARRAGE RETARDÉ

Sur un chantier de fondations, l'imprévu ne peut jamais être totalement exclu. Il s'est manifesté ici sous la forme d'une conduite de gaz desservant un cabanon à l'intérieur du cimetière, placée exactement dans l'alignement des pieux du côté Est. Si une solution de remplacement pour l'alimentation a rapidement pu être mise en place par le groupement, il a fallu attendre plus longtemps pour que la conduite soit "dégazée" et que les forages de pieux puissent démarrer. Ceux-ci achevés, la construction de l'impressionnant bâti métallique qui accueillera le poste de terrassement a pu commencer. Une fois qu'elle sera installée, les pelles pourront déblayer la butte de terre qui sert de rampe d'accès aux camions des terrassiers. L'approvisionnement du chantier et l'évacuation des matériaux se feront dès lors au niveau de deux estacades sur le point d'être aménagées, l'une au pied de la grue, l'autre sur la N314, que le préfet vient tout juste d'autoriser les entreprises à emprunter.

"L'interdépendance, la nature des opérations et la diversité des techniques mises en œuvre font des fondations des travaux complexes qui ne peuvent être organisés en rotations comme des bétonnages de voiles et de planchers, souligne Jean-Luc Fouillade, d'où l'importance cruciale d'une vraie préparation." Concernant la tour Granite, cet aspect n'a pas été négligé, et un travail de préparation de plusieurs mois – faisant en outre jouer des synergies de groupe – a été réalisé : un atout de réussite sup-

plémentaire à un moment où, de toute évidence, le chantier monte en régime pour tenir son délai.

■ UNE NOUVELLE DONNE DANS LA PROFESSION

Si les fondations de la tour EDF, alias tour Hines, alias tour PB6, étaient, au seuil de 1999, le chantier symbole d'un développement rendu possible par le rapprochement de Botte BTP (Campenon Bernard SGE) et du Service fondations spéciales de Sade, celui de la tour Granite marque de nouveau un tournant dans la vie de l'entreprise.

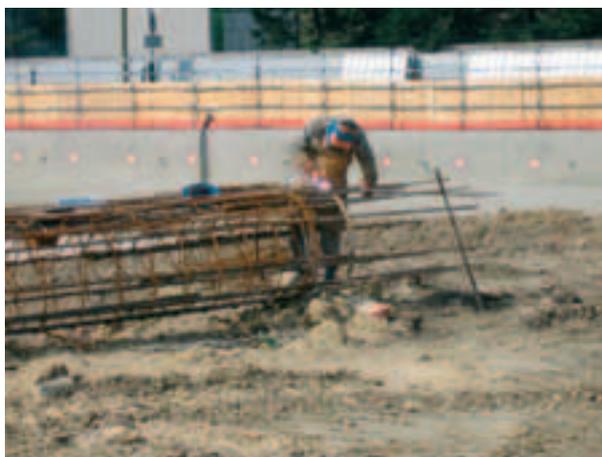
"Nous avons changé de braquet", affirme Jean-Claude Albrecht, le directeur de Botte Fondations. Après avoir fait l'acquisition en 2002 d'une benne hydraulique (KS 3000) qui a démultiplié ses performances en réalisation de paroi moulée, l'entreprise s'est équipée d'un "cutter" (une hydrofraise) qui va lui permettre de réaliser des parois moulées en terrain rocheux. "Cette acquisition va changer la donne sur le marché, poursuit Jean-Claude Albrecht, car des quatre premières entreprises de fondations en France, Botte Fondations était la seule qui ne possédait pas ce matériel."

■ FONDATIONS DE PYLÔNES ET D'ÉOLIENNES

Pas de croissance sans équipement. La conviction qui a donné naissance à la société et jalonné sa progression en particulier entre 2000 et 2004 où le chiffre d'affaires est passé de 37 à 64 M€, est toujours l'un des axes forts de sa stratégie de croissance. Un autre axe, s'appuyant sur le réseau du groupe, reste le développement à l'export, en particulier en Europe et dans les DOM-TOM, sur le modèle du chantier réalisé en 2004 pour Vinci Construction Grands Projets sur un lot du CTRL (Channel Tunnel Rail Link) outre-Manche. Dans la même logique, Botte Fondations se positionne sur de nouveaux marchés et défrixe de nouvelles activités, telles les fondations de pylônes et d'éoliennes. Prochainement l'entreprise doit remettre une offre commune avec Omexom (Vinci Energies) à RTE (Réseau de transport d'électricité) à l'occasion du renouvellement d'un marché-cadre.

■ UNE FORMATION "AD HOC" POUR ASSURER L'AVENIR

Tournée vers l'avenir de son activité en prospectant de nouveaux marchés en travaillant à faire connaître ses champs d'expertise, Botte Fondations se soucie aussi de ses ressources humaines. Confrontée aux difficultés de recrutement que connaît le secteur, mais rendues plus aiguës par l'absen-



Les armatures de pieux sont assemblées en "juste à temps" avant d'être mises en place

The pile reinforcements are assembled on a "just-in-time" basis before being put in place



Quand le terrain est stable, le terrassement préalable à la réalisation d'une nouvelle passe ne nécessite pas de blindage provisoire

When the ground is stable, the earthworks prior to execution of a new layer require no temporary armoring

Au premier plan, le compresseur de 25000 l de l'atelier de béton projeté. Au 2^e plan, la foreuse utilisée pour la mise en place des clous et des tirants

In the foreground, the 25,000-litre compressor of the shotcreting plant. In the background, the driller used for placing studs and tension members



Mise en place des ferrailages de pieux

Placing pile reinforcements



Forage préliminaire à la mise en place de tirants.
La machine utilisée est une foreuse Domine DCH 114 de 21 t, capable de réaliser des forages horizontaux jusqu'à 15 m de longueur au diamètre 172 mm

Preliminary drilling before placing tension members. The machine used is a 21-tonne Domine DCH 114 driller, capable of performing horizontal drilling at a diameter of 172 mm over lengths of up to 15 m

► ce de filière spécifique, elle s'est engagée voici plus d'un an avec sa consœur Cofex (spécialisée dans les forages de petit diamètre) et Sogeform, l'organisme de formation de Sogea Construction, dans le montage d'une formation de "techniciens de travaux spéciaux" en partenariat avec le CFC Sylvain Joyeux d'Egletons. Vingt-quatre jeunes âgés de 18 à 23 ans et de niveau BTS, bac pro et CAP se sont vu proposer une formation en alternance de 8 mois. "On leur apprend ce que sont les fondations spéciales. Sur les chantiers, ils sont ensuite affectés à tous les postes, d'abord comme aides-foreurs, et les meilleurs deviendront chefs de chantier", explique Evelyne Fiorin, responsable des ressources humaines chez Botte Fondations. A l'issue de la première session, qui a vu arriver en mai les premiers jeunes sur les chantiers – dont un sur celui de la tour Granite –, Botte Fondations s'apprête d'ores et déjà à renouveler l'initiative.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Société Générale

Maître d'œuvre

Atelier Christian de Portzamparc

Promoteur

Vinci et Nexity

Lot fondations

Botte Fondations (soutènements)
GTM Terrassements (terrassements)

Gros œuvre :

- Bateg (mandataire)
- GTM Bâtiment
- Campenon Bernard Construction
- Dumez Ile-de-France

ABSTRACT

Foundation work for the Granite tower

J.-L. Fouillade, St. Sérisé, E. Fiorin

In February 2005, Botte Fondations (Sogea Construction) and GTM Terrassement, two companies of the Vinci Construction group, began work on the supporting structures for a 90,000 cu. m excavation at the western tip of the "Défense" district. At a depth of up to 21 metres below the level of the adjacent roads, this structure will serve as a foundation block for the Granite tower, a new high-rise building constructed for Société Générale bank, in the immediate vicinity of the Chassagne and Alicante towers, where the bank set up its head office about ten years ago.

RESUMEN ESPAÑOL

Trabajos de terreno de cimentación para la torre Granite

J.-L. Fouillade, St. Sérisé y E. Fiorin

En febrero de 2005, Botte Fondations (Sogea Construction) y GTM Terrassement, ambas empresas filiales de Vinci Construction, dieron comienzo en la punta extrema oeste del barrio de negocios de La Défense a los sostenimientos de una excavación de 90 000 m³. De una profundidad que alcanza hasta 21 metros por debajo del nivel de las vías de circulación adyacentes, esta obra servirá de terreno de cimentación para la torre Granite, un nuevo edificio de gran altura construido para la Société Générale, en las inmediaciones de las torres Chassagne y Alicante, en las cuales el banco instaló su domicilio hace ya diez años.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 50 pieux de diamètre 800 à 1 000 mm
- 5 180 m² de béton projeté
- 200 tirants
- 500 clous
- Montant du marché : 2,7 M€
- Délai de réalisation : 3,5 mois

Sofia Plaza : 32 m sous le sol de Kiev et 131 m au-dessus

Michel Rollet

DIRECTEUR GÉNÉRAL
ADJOINT
Osnova Solsif



Natacha Barmina

DIRECTRICE
DE LA COMMUNICATION
Osnova Solsif



Osnova Solsif, la filiale de Solétanche Bachy en Ukraine, réalise les fondations et le gros œuvre du centre de bureaux et de commerce de Sofia Plaza à Kiev. Avec ses quatre sous-sols dans une enceinte en paroi moulée de 32 m de profondeur, ce projet est, de par son architecture moderne et sa situation au centre d'un futur quartier d'affaires, non seulement l'ouvrage souterrain le plus profond d'Ukraine mais encore le plus prestigieux de Kiev.

Osnova Solsif, filiale ukrainienne de Solétanche Bachy, réalise l'ensemble des fondations et du gros œuvre du projet Sofia Plaza, immeuble à usage de bureaux et de commerces (figure 1). En effet, Osnova Solsif, en plus de son métier de base qui est celui des fondations, a développé ces dernières années une importante activité dans le bâtiment, le génie civil, les transports et la fabrication de béton. C'est en tant qu'entreprise générale de gros œuvre qu'Osnova Solsif réalise ce projet.

Autour du centre Sofia Plaza, d'autres projets verront le jour. C'est tout un nouveau quartier d'affaires qui se crée à Kiev, au carrefour des plus importantes artères de la capitale que sont le boulevard Lesi Ukrainky, la rue Vassilkovskaya, la rue Shovkovychna et la rue Mechnykova.

Ce quartier jouit d'une infrastructure urbaine bien développée. Son architecture moderne est à la hauteur de l'ambition d'en faire un grand pôle de la ville de Kiev. Le projet Sofia Plaza, sur lequel Osnova Solsif met en œuvre à grande échelle sa technologie de fondations spéciales, est actuellement un des chantiers phares de la capitale ukrainienne. Il présente deux contraintes majeures. La première est l'exiguïté du site, en forme de triangle coincé entre le boulevard Lesi Ukrainky et la rue Mechnykova. La seconde est la dénivellée importante, jusqu'à 7 m, entre les extrémités (photo 1). C'est aussi l'un des premiers projets à inclure plusieurs niveaux de parking souterrains. Ceci devrait inciter la municipalité et les autres développeurs à intégrer des parkings souterrains dans les immeubles afin de pallier le manque de places de parkings publics à Kiev.

■ LES FONDATIONS

Les premiers travaux ont consisté à réaliser un soutènement en paroi berlinoise avec tirants d'ancrage le long du boulevard, afin de pouvoir terrasser



Figure 1
Vue d'artiste
du Sofia Plaza
*Artist's view
of Sofia Plaza*



Photo 1
La fouille
entre le boulevard
Lesi Ukrainky et la rue
Mechnykova

*Excavation between
Lesi Ukrainky boulevard
and Mechnykova street*

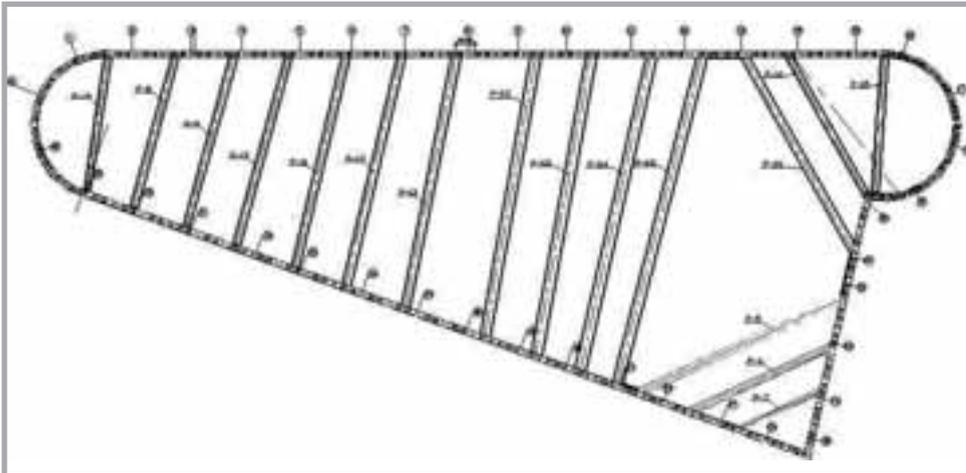


Figure 2
La paroi moulée et les butons
The diaphragm wall and stays



Photo 2
La dalle annulaire
sous les butons
*The annular slab
under the stays*



Figure 3
Les pieux
et les barrettes
*The piles and supporting
wall units*



l'ensemble de la fouille et créer ainsi une plate-forme de travail horizontale à la cote + 144,00.

Depuis cette plate-forme a été réalisée une paroi moulée de 265 m de périmètre, d'une épaisseur de 80 cm et d'une profondeur de 32 m. Cette paroi moulée permet la construction des quatre niveaux de sous-sol. Le fond de fouille est à la cote + 132,00.

A ce jour, c'est l'ouvrage souterrain le plus profond d'Ukraine.

Le niveau piézométrique est à 2 m sous la plate-forme. La profondeur de la paroi moulée est justifiée par son ancrage dans le substratum d'argile marneuse étanche, nécessaire pour réaliser une boîte étanche. Au-dessus de ce substratum, les terrains rencontrés sont des limons, des sables et des bancs d'argile. Les caractéristiques géotechniques des sables sont très irrégulières. On en trouve de très compacts mais aussi de très lâches, car ce sont les dépôts d'une ancienne rivière dans l'axe de la rue Mechnykova.

La paroi a été réalisée avec un atelier à benne à câble travaillant 12 heures par jour. Il a fallu installer un dessableur de forte capacité pour traiter la boue bentonitique très chargée par les terrains alluvionnaires excavés.

L'hétérogénéité des sables a conduit à renoncer à l'exécution de tirants d'ancrage pour soutenir la paroi moulée. C'est donc une solution de butonnage qui a été retenue. Cette solution est mixte compte tenu qu'une partie de la construction est réalisée selon la méthode "top down". Elle comporte ainsi (figure 2 et photo 2) :

- ◆ des butons métalliques s'appuyant sur la paroi moulée juste au-dessus du plancher du niveau - 1;
 - ◆ une dalle annulaire en béton au niveau du - 3.
- Sur la partie en dehors de l'emprise de la tour, 579 pieux ont ensuite été réalisés à 23 m de profondeur par la technique de la tarière continue. Puis

les butons métalliques ont été installés afin de permettre le terrassement jusqu'au niveau - 3 à la cote + 137,00. Depuis cette plate-forme ont été réalisées les barrettes de fondation de la tour, avec à un outillage spécial comportant une grue à flèche courte et une benne courte permettant de travailler dans la hauteur de 6 m disponible sous les butons. Ces barrettes de section 2,80 m x 1,00 m, dont le béton a été arrêté au niveau de la sous-face du radier, ont été équipées de poteaux métalliques afin de pouvoir supporter la dalle anneau au niveau - 3. Cette solution par barrettes constituait une variante par rapport au projet initial permettant d'optimiser les quantités et la durée des travaux (figure 3).

Une fois les barrettes réalisées, la dalle annulaire du niveau - 3 a été coulée sur le sol et les poteaux métalliques sur l'ensemble de la fouille, sauf les rampes circulaires.

Il a fallu déplacer une bouche de ventilation du métro de Kiev qui se trouvait dans l'emprise du chantier. Des travaux d'injection et de micropieux ont été réalisés à cet effet.

■ LE GROS ŒUVRE

Hormis le noyau, le gros œuvre a été exécuté de manière traditionnelle à l'aide d'une grue à tour de grande hauteur. Le chantier a travaillé 24 heures sur 24, avec des équipes de nuit pour les opérations de maintenance et de décoffrage. Jusqu'à 160 personnes ont travaillé simultanément sur ce chantier (photo 3).

Pour la réalisation de la superstructure du noyau central de la tour, Osnova Solsif a utilisé, et ceci est une première en Ukraine, des coffrages hydrauliques auto-grimpants Doka SKE-50. En effet l'exiguïté du site ne permettait l'installation que d'une seule grue à tour. Celle-ci devant être utilisée pour l'exécution des planchers, l'exécution du noyau central devait donc se faire de manière autonome, c'est-à-dire sans grue (photo 4).

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Mandarin Plaza

Bureau d'études

BIP PM

Fondations

Osnova Solsif, groupe Solétanche Bachy

Gros œuvre

Osnova Solsif, groupe Solétanche Bachy

Coffrages

Doka



Photo 3
Début de la superstructure
Start of the superstructure



Photo 4
Exécution de la tour de 131 m de hauteur
Construction of the 131-metre-high tower

► Grâce à ce type de coffrage, on a pu réaliser au moins trois niveaux par mois dans de très bonnes conditions de qualité et de sécurité pour le personnel.

Le noyau central, d'une longueur de 24 m et d'une largeur de 8 m comporte, en plus du voile périphérique, six voiles intérieurs, pour un volume total de 150 m³ de béton par niveau. Cette méthode a permis d'obtenir des cycles répétitifs (coffrage, ferrailage, bétonnage, levage du coffrage) et réguliers avec un personnel réduit et un rythme de production élevé malgré la difficulté des travaux pendant le rude hiver ukrainien.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Paroi moulée

Périmètre 265 m ; épaisseur 0,80 m ; profondeur 32 m

Barrettes de fondations de la tour

52 unités dont 42 équipées de poteaux pré-fondés

Pieux de fondation du bâtiment, hors tour

579 unités de diamètre 820 mm et de profondeur 23 m

Gros œuvre

- 4 niveaux souterrains : 12 206 m²
- Tour de 31 étages : 60 000 m²
- Hauteur totale de la tour : 131 m
- Béton : 47 600 m³

Délai d'exécution

De mai 2003 (début des fondations) à octobre 2005 (fin du gros œuvre)

ABSTRACT

Sofia Plaza: 32 m under the ground in Kiev and 131 m above

M. Rollet, N. Barmina

Osnova Solsif, Solétanche Bachy's subsidiary in Ukraine, is executing the foundations and structural work for the Sofia Plaza office and shopping centre in Kiev. With its four basements in a diaphragm wall enclosure 32 metres deep, this project, through its modern architecture and its location in the centre of a future business district, is not only the deepest underground structure in Ukraine but also the most prestigious in Kiev.

RESUMEN ESPAÑOL

Sofia Plaza: 32 metros por bajo del suelo de Kiev y 131 metros por encima

M. Rollet y N. Barmina

Osnova Solsif, la filial de Solétanche Bachy en Ucrania, está ejecutando las cimentaciones y la obra gruesa del centro de oficinas y de comercio de Sofia Plaza en Kiev. Con sus cuatro sótanos en un recinto de pantalla continua de 32 metros de profundidad, este proyecto constituye, debido a su arquitectura moderna y su ubicación en el centro de un futuro barrio de negocios, no sólo la estructura subterránea más profunda de Ucrania sino también la más prestigiosa de Kiev.

Discrétion et urbanité : signes distinctifs d'une fille de grande lignée géotechnique

Les travaux géotechniques en site urbain, et tout particulièrement les remplissages de carrières souterraines en région parisienne, doivent être exécutés en ne créant qu'un minimum de gêne. Ces chantiers, tout comme les icebergs, se caractérisent par une partie visible proportionnellement très réduite. Ils doivent être menés avec efficacité, discrétion, rapidité et sans rien abîmer. Cela demande des matériels adaptés, de faible encombrement et à faible niveau sonore bien que puissants, des opérateurs particulièrement entraînés et une organisation rigoureuse. Une grande entreprise n'est pas forcément compétente. Une trop petite non plus. Le compromis proposé par Solétanche Bachy France prouve son efficacité depuis plusieurs années déjà.

■ DE LA TAILLE DES CHANTIERS ET DE CELLE DES ENTREPRISES

Il n'est pas besoin d'être grand clerc pour imaginer que les travaux urbains ne consistent pas qu'en des chantiers spectaculaires mettant en œuvre des moyens énormes, mais qu'ils comptent aussi nombre de petites opérations qui donnent lieu à des petits chantiers réalisés avec des petites machines. Ils comportent également des opérations d'importance moyenne qui doivent être réalisées de manière discrète et rapide pour gêner le moins possible. C'est de ces chantiers forcément peu visibles, donc moins connus, et de la manière de les conduire, que traite cet article. Le milieu urbain impose sa loi : les passants, les habitants des logements, les employés des bureaux, les commerçants et tout autant les usagers des voiries ou des espaces publics doivent être dérangés le moins possible.

Discrétion, silence, faible encombrement et rapidité sont les vertus requises. Elles ne sont pratiquées que par des spécialistes hautement entraînés et disposant de matériels et de méthodes adaptés au contexte urbain. Sans trop pousser la comparaison militaire, on pourrait songer aux commandos d'opérations spéciales et à leur différence par rapport aux forces conventionnelles lourdes destinées aux théâtres d'opération ouverts.

Il ne faut pas imaginer que la discrétion de l'intervention et le faible encombrement du matériel sont obtenus au détriment de la force de frappe. La technologie, l'expérience des opérateurs et une organisation rigoureuse donnent des résultats étonnants d'efficacité.

Une petite entreprise est-elle mieux adaptée qu'une grosse pour réaliser des petits travaux urbains ? Non. L'équation petits travaux = petite entreprise n'est pas exacte. Il sera souvent de l'intérêt du client qui souhaite mener à bien son opération

de la confier à une organisation puissante et fiable qui dispose de grands réservoirs de compétences et de moyens et qui offre les meilleures garanties de solidité financière. Encore faut-il que l'entreprise, grande ou petite, soit outillée pour répondre à cette demande spécifique, et aussi, bien sûr, qu'elle propose un prix compétitif.

Solétanche Bachy, entreprise générale de travaux et technologies du sol et leader mondial dans ce domaine, réalise des chantiers de toutes tailles et elle est évidemment plus connue pour ses records mondiaux en terme de grandeur que pour ses records en terme de petitesse, de discrétion, de moindre nuisance. Pour apporter sa réponse au sujet des petits chantiers et des chantiers urbains, elle a posé l'équation petits chantiers = petite entité spécialisée au sein d'une grande agence d'une très grande entreprise. C'est ainsi qu'a été créée il y a cinq ans l'entité IdF Confortement au sein de l'agence Paris & Centre de Solétanche Bachy France.

■ TRAVAUX CONCERNÉS

La caractéristique commune à tous les travaux auxquels s'intéresse Idf Confortement est qu'ils ont recours à ce qu'on appelle la petite perforation. Sous cette appellation – qui n'est pas très flatteuse – on regroupe les forages dont le diamètre est inférieur à environ 200 mm, quelle que soit la technique de forage : percussion, roto-percussion, vibro-percussion, rotary, marteau fond-de-trou, carottage, à l'air, sous boue, à la mousse, tubé ou non, etc. (photos 1 et 2).

Les techniques qui reposent sur de tels forages sont essentiellement :

- ◆ les micropieux ;
- ◆ les tirants passifs et les clous ;
- ◆ les tirants précontraints ;

Hubert Grunewald



DIRECTEUR DE IDF
CONFORTEMENT
AGENCE PARIS & CENTRE
Solétanche Bachy France



Photo 1
Cloutage du mur de l'église de Saint-Ouen
Studding the wall of Saint-Ouen church



Photo 2
Micropieux dans un escalier
à Saint-Quentin-en-Yvelines
*Micropiles in a stairway
in Saint-Quentin-en-Yvelines*

Photo 3
Carrières de Paris.
Lire le nom des rues
sur les plaques!
*Paris quarries. Read
the street names
on the plates!*

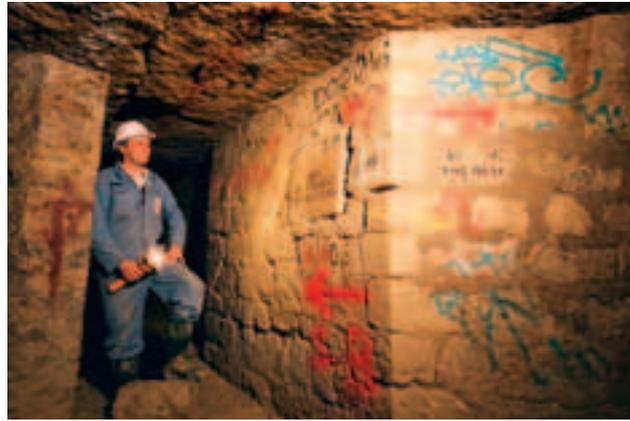


Photo 4
Carrières à Gravelle
dans le bois de Vincennes
*Quarries at Gravelle
in Vincennes woods*



Photo 5
Réalisation d'un barrage
dans la carrière
de Gravelle
avant comblement
*Construction of a barrier
in the Gravelle quarry
before filling*



Photo 6
Réhabilitation d'égout
rue Diderot à Pantin
*Rehabilitation of a sewer
in Diderot street
in Pantin*



- ◆ les comblements de carrières, de cavités de dissolution de gypse, ou d'autres vides ;
- ◆ le jet grouting ;
- ◆ l'amélioration de sol par injection solide ;
- ◆ le traitement d'imperméabilisation ou de consolidation de terrain par injection ;
- ◆ les injections pour la réhabilitation des égouts et autres ouvrages souterrains.

Pour chacune de ces techniques, l'objectif est de s'adapter en permanence aux exigences des travaux urbains dans un contexte difficile.

Les comblements de carrières représentent une part importante de l'activité (photos 3, 4 et 5).

■ COMMENT TRAVAILLER SUR DES SITES EXIGUS

La première des contraintes auxquelles est confrontée l'entreprise est l'exiguïté des emprises disponibles pour ses installations. Par principe, un client souhaite toujours fournir les emprises d'installation et de travaux les plus limitées, de manière à occasionner une moindre gêne.

Solétanche Bachy ajuste ses équipements au gabarit routier, avec du matériel dont la largeur n'exède pas 2,50 m (photo 6). En outre, un soin particulier est apporté aux limites d'emprise, avec diverses possibilités de palissades sur plots, dont les hauteurs notamment, sont variables entre 1 et 2 m. Ces palissades peuvent être installées et déplacées rapidement et l'entreprise les maintient en bon état pour que l'esthétique extérieure soit irréprochable (photo 7).

Les centrales de fabrication et d'injection quant à elles sont de plus en plus compactes (photo 8). Il en va de même pour les machines de forage dont le gabarit a été considérablement réduit sans diminuer, bien au contraire, les performances (photo 9).

■ LA PROPRETÉ AVANT TOUTE CHOSE

La moindre des choses est de ne pas salir le lieu des travaux. Lorsqu'on exécute des forages sous boue, ou des forages à l'air produisant de la poussière, lorsqu'on manipule du ciment pulvérulent et du coulis de ciment sous pression, il faut déployer des trésors de précaution et d'ingéniosité pour respecter cette exigence de propreté (photo 10).

La propreté commence à l'intérieur des bâtiments. Les parois intérieures sont protégées par des écrans. Les rejets de produits d'injection ainsi que les eaux de lavage sont collectés dans un système de canalisation.

Le chantier de l'école Simon Bolivar dans le XIX^e arrondissement de Paris en est une bonne illustration (photo 11).



Photo 7
Comblement de carrières rue Watteau à Vitry-sur-Seine
Filling in quarries in Watteau street in Vitry-sur-Seine



Photo 8
Centrale d'injection
rue Lancry à Paris
Cement grouting plant
in Lancry street in Paris



Photo 9
Foreuse à gabarit réduit
pour injections rue Compans
à Paris
Small-size drilling machine
for cement grouting
in Compans street in Paris



Photo 10
Injections de vides de dissolution
gare de l'Est à Paris. Travail de nuit
Cement grouting of dissolution
interstices in gare de l'Est railway
station in Paris. Night work



Photo 11
Injections dans l'école
Simon Bolivar à Paris
Cement grouting
in Simon Bolivar school
in Paris

■ L'ENVIRONNEMENT EST PROTÉGÉ

Le sujet est devenu à la mode et les réglementations sont sévères. Solétanche Bachy qui a toujours accordé une grande attention la protection de l'environnement et dont le groupe compte deux filiales spécialisées dans l'environnement, n'est jamais prise de court sur ce sujet. L'environnement est à prendre dans son sens écologique mais aussi, et d'abord, dans son sens primaire : "ce qui est autour".

Par exemple, les arbres sont systématiquement protégés par des planches et des films synthétiques empêchant les chocs et les projections (photo 12). Les façades bénéficient, lorsque c'est nécessaire de protections en matériau non tissé ou en film synthétique (photo 13).

Les stockages de fluides sont particulièrement sécurisés pour prévenir le risque de fuite. Ainsi, les cuves de stockage de fuel sont-elles systématiquement équipées de bacs de rétention dont le volume est au moins égal à celui de la cuve.

Le risque de déperdition de produits pulvérulents, comme le ciment lorsqu'il est mis en œuvre dans la fabrication de coulis, est également maîtrisé. On constatera que le nuage de poussière grise qui ré-



Photo 12
Forages pour comblement
de carrières
dans le bois de Vincennes
Boring for filling quarries
in Vincennes woods



Photo 13
Centrale à mortier pour comblement de carrières
à Vitry-sur-Seine
Mortar mixing plant for filling quarries in Vitry-sur-Seine

gnait autour des centrales de fabrication de coulis à base de bentonite et de ciment est une image qui appartient au passé.

Avec le tri sélectif généralisé, la récupération des déchets a fait de gros progrès. Toutes les eaux de lavage issues des centrales sont systématiquement passées dans des décanteurs, ce qui permet de ne lâcher dans les réseaux que des liquides clairs.

Pour limiter les nuisances sonores, au bénéfice des riverains bien sûr, mais aussi pour l'hygiène de son personnel, l'entreprise a recours à des matériels performants dont le niveau sonore répond aux normes les plus sévères. D'immenses progrès ont été faits dans ce domaine et certains matériels, comme les compresseurs et les marteaux, qui produisaient jadis un bruit assourdissant sont devenus beaucoup moins agressifs pour l'oreille.

■ CONCLUSION

L'agence Paris & Centre de Solétanche Bachy France a créé la structure IdF Confortement pour être à même de répondre dans tous les cas à ses clients publics et privés, sans considération ni de la taille des affaires ni de la difficulté du contexte. C'est ainsi que les petits chantiers sont traités avec la même rigueur, le même professionnalisme et la même réactivité que les gros, mais avec des méthodes et des moyens différents adaptés aux différences de conditions d'exécution.

ABSTRACT

Discretion and urbanity: the hallmarks of a noble tradition in geotechnical engineering

H. Grunewald

Geotechnical works on urban sites, especially the filling of underground quarries in the Paris region, must be performed with a minimum of nuisances. Such projects, just like icebergs, are characterised by a visible part that is proportionally very small. They must be carried out efficiently, discreetly, rapidly and without damaging anything. That requires appropriate equipment, of small size and with a low noise level despite its power, and very well trained operators and strict organisation. A large firm is not necessarily competent. Neither is an excessively small one. The compromise proposed by Solétanche Bachy France has already proved its effectiveness for several years now.

RESUMEN ESPAÑOL

Discreción y urbanidad: signos distintivos de una hija de gran descendencia geotécnica

H. Grunewald

Los trabajos geotécnicos en entorno urbano, y muy particularmente los rellenados de canteras subterráneas en la región parisense, se deben ejecutar limitando las molestias al mínimo. Estas obras, del mismo modo que un iceberg, se caracterizan por una parte visible proporcionalmente muy reducida y se deben ejecutar con la máxima eficacia, discreción, rapidez y sin causar cualesquiera daños. Todo ello presupone disponer de materiales adaptados, de reducida dimensión y de bajo nivel acústico pero potentes, de operadores particularmente adiestrados y una organización rigurosa. Una gran empresa no está forzosamente competente. Una demasiado pequeña tampoco. El compromiso propuesto por Solétanche Bachy France ha demostrado su eficacia desde hace ya varios años.

Photos 2 et 3
Construction du mur poids
en gabions suivant
les règles de l'art,
norme NF P 94325-1

*Construction of the gabion
gravity wall in accordance
with good engineering
practice, French Standard
NF P 94325-1*



- poids spécifique saturé (γ_{sat}) : 1,9 t/m³;
◆ pour le terrain de fondation :

- angle de frottement interne (φ) : 30°,
- cohésion (C) : 5 kPa,

- poids spécifique saturé (γ_{sat}) : 1,9 t/m³.

En ce qui concerne les cages gabions remplies, il faut retenir 15,6 kN/m³ poids unitaire apparent.

■ CONTRAINTES DU SITE

Une surcharge d'exploitation sur la plate-forme amont de 1,0 t/m² a été prise en compte dans nos calculs.

■ MISE EN ŒUVRE (photos 2 et 3)

La mise en œuvre a été effectuée conformément à la norme NF P 94325-1 "Exécution des ouvrages en gabion".

Préparation du site et de l'assise du remblai

Le sol d'assise a été débarrassé de la couche de terre végétale; les gabions ont alors été directement installés sur le sol en place de fondation, sans réalisation de semelle en gros béton, que ce soit sous le massif ou sous le parement.

Drainage

En cas de fortes venues d'eau, un dispositif de drainage efficient et pérenne a été mis en œuvre à l'arrière du mur. Son action vient compléter le rôle, par nature, drainant des gabions, qui est bien souvent suffisant dans des conditions hydrogéologiques normales.

Exécution

En ce qui concerne les cages, un grillage double torsion certifié NF Acier à maille hexagonale 100 x 120 mm avec un fil galvanisé de type Galfan classe A (diamètre 3,0 mm) a été retenu. Un géotextile anti-contaminant à l'interface gabion-remblai a été mis en place.

Le mur gabion est directement adossé à l'ouvrage existant sans remblai intermédiaire.

■ PAREMENT MINÉRAL

Les cages sont remplies avec des matériaux durs, non friables et non gélifs. Les pierres en contact des mailles ont une dimension au moins égale à 1,5 fois D, D étant la distance entre les deux côtés torsadés de l'hexagone. La plus grande di-

► ■ SOLUTION TECHNIQUE PROPOSÉE

La solution mur poids en gabions est adaptée. Le mur, incliné de 6° pour une meilleure stabilité de l'ouvrage, aura une hauteur de 4,0 m avec des gradins extérieurs, et une longueur de 32 m.

Le choix de cette solution s'est imposé par les qualités intrinsèques des ouvrages en gabions :

- ◆ souplesse permettant aux structures de suivre d'éventuels tassements sans aucun dommage pour la stabilité;
- ◆ grande capacité drainante qui permet d'éviter tout problème relatif aux poussées hydrostatiques;
- ◆ monolithisme et continuité des structures en acier;
- ◆ durabilité des structures (marquage NF) (figure 1).

■ HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES

Pour le dimensionnement de l'ouvrage, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- ◆ pour le terrain de remblai :
- angle de frottement interne (φ) : 30°,
- cohésion (C) : négligée,

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 230 m³ de gabions maille 100 x 120 fils 3 mm Galfan
- Travaux effectués en janvier et février 2005



Vue d'ensemble de l'ouvrage fini
Overall view of the finished structure

mension doit rester inférieure à la moitié de l'épaisseur du gabion.

L'esthétique du parement et la stabilité de l'ouvrage s'obtiennent par une mise en œuvre des gabions avec mise en place de tirants horizontaux dans les cages de gabions et coffrage du parement pendant le remplissage. Une fois le gabion rempli et, avant de le refermer, les cages sont remplies de petits éléments pour assurer une bonne assise du niveau supérieur.

■ VÉRIFICATIONS DE STABILITÉ

Sur la base des hypothèses citées précédemment, les stabilités interne et externe (glissement et renversement) le mur poids en gabions a été vérifié avec le logiciel GAWAC qui reprend les caractéristiques propres du gabion.

La contrainte maximale sous la fondation a été estimée à 60 kN/m². Le coefficient obtenu pour la stabilité générale est de 1,41.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Commune de Bizanet

Maitre d'œuvre

DDE de Narbonne

Assistance maître d'œuvre

CETE d'Aix en Provence

Entreprise

GTS (Guintoli) agence de Castanet Tolosan (31)

ABSTRACT

Ground subsidence at the plaster works at Bizanet, Aude region

R.-N. Trouilhas

The Bizanet district (Aude) has over many years been subjected to violent precipitation which results in ground movements and subsidence. The last collapse in an old gypsum quarry abandoned since 1931 formed a 300 sq. m crater in a private property and 1,000 cu. m of earth disappeared. In addition, on the surface, numerous cracks appeared in the enclosing walls located above.

Work was carried out to stop up the cavities by filling with materials and keying concrete, and a gabion retaining wall was constructed to consolidate the heavily damaged concrete wall.

RESUMEN ESPAÑOL

Hundimiento de terreno en una antigua cantera de yeso en Bizanet en el Departamento del Aude

R.-N. Trouilhas

El municipio de Bizanet (Aude) es objeto desde unos años de precipitaciones violentas que acarrear diversos movimientos y hundimientos de terreno. El último hundimiento situado en una antigua cantera de yeso abandonada desde 1931 originó un cráter de 300 m² en una propiedad privada y la desaparición de 1 000 m³ de tierras. Además, han aparecido en la superficie, numerosas grietas en los muros de recinto ubicados en la zona superior.

Los trabajos llevados a cabo permitieron colmar las cavidades mediante rellenos de materiales y hormigón de sostenimiento y se ha realizado un muro de sostenimiento en gaviones para consolidar el muro de hormigón fuertemente estropeado.

Un microtunnelier de traverse le sous-sol de ni connu

Les travaux sans tranchée constituent une solution d'avenir dans les villes. Ils permettent d'enterrer les réseaux aériens existants et de réaliser de nouveaux réseaux souterrains en surmontant les difficultés dues à l'encombrement grandissant du sous-sol et en évitant les nuisances souvent rédhibitoires des travaux de pose à ciel ouvert. L'exemple offert par les aménagements menés actuellement par la Communauté d'Agglomération de Poitiers donne l'occasion d'expliquer et d'illustrer la technique du microtunnelier.

■ LES GRANDES LIGNES DU PROJET DE POITIERS ET SES CONTRAINTES

La Communauté d'Agglomération de Poitiers améliore son réseau d'assainissement de manière à éviter les déversements dans la rivière la Boivre en temps de pluie consécutifs aux débordements du déversoir d'orage Fiat. Cette opération s'inscrit clairement dans une politique de protection du milieu naturel.

Il s'agissait de construire deux canalisations de liaison Ø 1 200 mm de 1 799 m de longueur entre le déversoir d'orage Fiat et la station de pompage du Moulin Apparent, l'une servant au transfert des eaux usées de temps sec et de petites pluies vers la nouvelle station d'épuration de La Folie, et l'autre servant à diverses utilités.

La variante proposée par le groupement Solétanche Bachy, MCCF, CSM Bessac, Feljas & Masson, Sobebo a été retenue, consistant à rassembler toutes les conduites et fourreaux dans un même tuyau Ø 1 600 mm.

Le sous-sol est encombré. La surface également, notamment place Jean de Berry et avenue de Paris. Il en résulte de nombreuses contraintes auxquelles doit s'adapter le projet.

La place Jean de Berry est une des entrées principales de Poitiers. Sur chacun des axes qui la traversent on enregistre un trafic de 10 000 véhicules par jour. Dans ce secteur s'ajoutent d'autres contraintes. Le tracé croise la Boivre qui coule dans un cadre en maçonnerie reposant sur des pieux de bois. Puis il passe sous les voies SNCF et notamment sous les fondations en béton et palplanches du pont de chemin de fer. Enfin, tous les concessionnaires ont abondamment garni le sous-sol de réseaux divers.

Ainsi, la pose d'une conduite dans une tranchée apparaissait plus que problématique.

C'est donc la solution du microtunnel qui a été retenue, avec passage en siphon. Le tracé du microtunnel a été défini en fonction des disponibilités foncières permettant la réalisation des puits d'accès, aboutissant à une longueur forcée cumulée de 310 m à environ 12 m de profondeur.

Un peu plus loin vers l'aval c'est un problème différent qui a dicté la solution par microtunnel. Le collecteur doit traverser la rivière le Clain. Là encore, la solution choisie est un siphon constitué de deux puits et d'un microtunnel de 39 m de long à 11 m de profondeur, de préférence à un ensouillage de conduite dans le lit de la rivière.

Une partie des travaux a déjà été effectuée en 2004. La réalisation des siphons par puits et microtunnel a commencé en mai 2005 et durera environ un an.

■ QUELLES CONNAISSANCES DE BASE FAUT-IL AVOIR SUR LES MICROTUNNELIERS ?

Les travaux sans tranchée connaissent un développement grandissant, surtout en milieu urbain, pour deux raisons. La première est que la population des villes tolère de moins en moins le caractère disgracieux des réseaux aériens et l'embaras des chantiers d'enfouissement. La deuxième résulte du progrès technologique qui permet aujourd'hui de proposer des solutions fiables et économiques par microtunnel pour les conduites d'adduction, d'assainissement ou de passage de câbles.

Les machines qu'on appelle microtunneliers sont naturellement issues de la technologie des tunneliers utilisés pour réaliser des tunnels de grand diamètre. Les microtunneliers assurent, de la même façon que les grands, les trois fonctions : creusement, soutènement et marinage. Le marinage est l'évacuation des déblais.

Leur pilotage se fait depuis un container placé en surface. Les opérateurs n'interviennent que très rarement dans la machine.

Le creusement est réalisé par une roue placée à l'avant du microtunnelier. Cette roue est équipée d'outils dont la nature dépend des terrains à excaver : rabots ou molettes.

La roue évolue dans une chambre étanche. Une circulation hydraulique assure le confinement et le transport des déblais abattus.

La séparation des matériaux est faite en surface, soit par décantation, soit par criblage mécanique. Le revêtement du microtunnel est réalisé par poussage – on dit aussi fonçage – de tuyaux de revêtement à partir du puits d'entrée. Le premier tuyau de la canalisation est emboîté sur le microtunnelier.

L'ensemble est poussé dans le terrain par une station hydraulique comportant de puissants vérins. L'assemblage entre deux éléments de tuyau est assuré par une bague avec joint d'étanchéité.

Ces dernières années, le champ d'application de ces matériels s'est considérablement étendu, tant en ce qui concerne la nature des terrains creusés que le diamètre des ouvrages.

C'est la géologie qui détermine le choix de la tête

LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU MICROTUNNELIER

- Longueur machine : 3 750 mm
- Longueur tube suiveur : 3 000 mm
- Diamètre extérieur : 1 770 mm (avec élargisseur)
- Couple de rotation : 258 kNm
- Vitesse de rotation : 0 à 5,4 t/mn dans les deux sens
- Nombre de moteurs : 4
- Nombre de vérins de guidage : 3
- Force des vérins de guidage : 752 kN
- Course des vérins de guidage : 60 mm
- Diamètre marinage en tunnel : 100 mm

CSM Bessac Poitiers, ni vu,

Jean-Noël Lasfargue



DIRECTEUR
COMMERCIAL
CSM Bessac

Frédéric Lamotte



RESPONSABLE
EXPLOITATION
MCCF

d'abattage et des outils qui la garnissent. Elle détermine également le diamètre minimum de l'ouvrage et la longueur des tronçons entre puits. Il existe des matériels adaptés à toutes les variétés de terrain : argiles, alluvions, roches.

Les diamètres vont de 500 mm jusqu'à environ 2 m. Au-dessus de 1,80 m on commence à passer dans le domaine des tunneliers et la présence de l'homme est possible dans la machine. Dans cette catégorie supérieure de diamètre, le revêtement peut alors être constitué de voussoirs et l'abattage peut être réalisé par attaque ponctuelle si nécessaire.

La longueur d'un tronçon entre deux puits dépend du frottement du terrain sur les tuyaux foncés. Pour des diamètres inférieurs à 1,20 m on évitera de dépasser 150 m. Pour des diamètres supérieurs à 1,20 m, il est possible de placer des stations intermédiaires de poussée sur la conduite foncée, ce qui permet de réaliser des tronçons de longueur beaucoup plus importante. Ainsi, sur un chantier réalisé par CSM Bessac à Bogota on pu atteindre 1300 m entre deux puits.

Les trajectoires des fonçages peuvent être courbes. On adaptera la longueur des éléments de canalisation au rayon de la courbe. L'évolution et la miniaturisation des systèmes de guidage permettent maintenant de réaliser des ouvrages courbes même lorsqu'ils sont de petite section.

CSM Bessac est forte d'une expérience de 30 ans portant sur la réalisation de 100 km d'ouvrages souterrains. L'entreprise intervient sur le marché des tunnels pour l'eau, l'assainissement et les galeries techniques, avec le double statut de fabricant de matériel et d'entrepreneur.

■ MÉTHODE D'EXÉCUTION DES MICROTUNNELS POUR LES SIPHONS DE POITIERS

Le microtunnelier est introduit par un puits de départ. Il retiré par un puits d'arrivée. En fonction de la longueur à réaliser et des caractéristiques géotechniques du terrain, des puits intermédiaires peuvent être nécessaires pour réaliser le microtunnel en plusieurs tronçons.

C'est ainsi que le siphon de la place Jean de Berry comporte trois puits. Le microtunnelier a donc été mis en place dans le puits de départ "Parking" pour un premier forage de 115 m vers le puits d'arrivée "Sarraïl" à l'extrémité amont du siphon. Il est

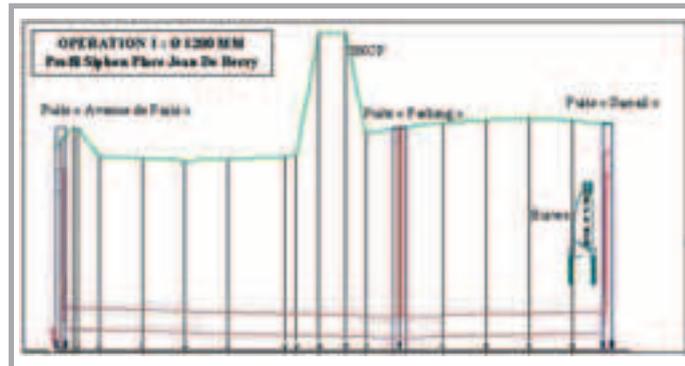


Figure 1
Profil en long du siphon
de la place
Jean de Berry

*Longitudinal profile
of the siphon
in Jean de Berry square*



Photo 1
Microtunnelier à roue
pour creusement
dans la roche

*Wheeled
microtunneller
for digging into rock*

ensuite réinstallé dans le puits "Parking" pour le forage de 195 m vers le puits "Avenue de Paris" à l'extrémité aval (figure 1).

Le siphon du Clain, quant à lui, en raison de la faible longueur de 39 m du microtunnel, sera réalisé en un seul bond et ne comporte que deux puits dénommés "Prés Richard" et "Lavoir".

Dans les deux siphons, le terrain foré par le microtunnelier est constitué de roche calcaire. La charge d'eau est de 8 m.

Le microtunnelier est un Herrenknecht AVN 1200 TC (photo 1) dont les caractéristiques sont reportées dans l'encadré page précédente.

La machine est pourvue d'une trappe de visite du front de taille permettant de changer les outils de coupe en cours de route s'ils sont usés prématurément.

Au fur et à mesure du forage sera mis en place un fourreau de diamètre 1600 mm en PRV.

Photo 2
Container
de pilotage
Control system
container



Photo 3
Poste de pilotage :
l'écran de visualisation
Control station :
the visual display unit



Photo 4
Poste de pilotage :
le pupitre de commande
Control station :
the control console



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur microtunnel : 349 m
- Tronçon de microtunnel le plus long : 195 m
- Station de poussée intermédiaire : 1 u
- Déblais de microtunnel : 840 m³
- Palplanches : 1 200 m²
- Terrassement de puits : 1 800 m³
- Forages d'injection : 1 900 m
- Coulis injectés : 235 m³



Photo 5
La station principale de poussée dans le puits de départ
The main pushing station in the outgoing shaft

Le microtunnelier est piloté à partir d'un container de pilotage en surface (photo 2) :

- ◆ dimensions (L x l x H) 4,20 x 2,50 x 3,20 m ;
- ◆ poids 12 t ;
- ◆ puissance installée pour la rotation 110 kW – 0 à 230 l/mn ;
- ◆ puissance installée pour la poussée 30 kW – 38 l/mn ;
- ◆ réservoir d'huile biologique hydraulique 1 000 litres – type HLP 46.

Le pilotage comporte un système de navigation UNS conçu pour la réalisation de tracés courbes, avec un pupitre de conduite permettant la visualisation totale de tous les paramètres de conduite (photos 3 et 4) :

- ◆ vitesse de rotation de la roue de coupe ;
- ◆ sens de rotation de la roue de coupe ;
- ◆ pression d'huile dans le circuit de rotation ;
- ◆ pression et course de chacun des trois vérins de guidage ;
- ◆ position ouverte ou fermée des vannes de by-pass ;
- ◆ position ouverte ou fermée des vannes du circuit de marinage ;
- ◆ vitesse de rotation des pompes d'amenée et de retour ;
- ◆ débit dans chacune des conduites de marinage ;
- ◆ pression hydraulique dans le circuit de poussée ;
- ◆ indice de colmatage des filtres hydrauliques ;
- ◆ contrôle de toutes les pompes y compris la pompe de bentonite.

La station principale de poussée, dans le puits de départ (photo 5), a les caractéristiques suivantes :

- ◆ longueur : 4 200 mm ;
- ◆ largeur : 2 880 mm ;
- ◆ hauteur : 2 500 mm ;
- ◆ poids : 17 t ;
- ◆ force de poussée : 520 t.

Une station intermédiaire de poussée (photo 6) est prévue :

- ◆ vérins de poussée : 8 x 70 t ;
- ◆ force de poussée : 560 t.

Le fourreau de revêtement du microtunnel est de marque Hobas (photo 7) :

- ◆ matériau : PRV ;
- ◆ diamètre extérieur : 1720 mm ;
- ◆ diamètre intérieur : 1580 mm ;
- ◆ longueur d'un élément : 3000 mm.

Les produits de marinage sont traités dans une station de dessablage d'une capacité de 200 m³/h (photo 8).

■ ÉQUIPEMENTS DES MICROTUNNELS DE POITIERS

Une fois les microtunnels exécutés par CSM Bessac, revêtement compris, il seront équipés par MCCF avec neuf canalisations et fourreaux aux usages divers (figure 2) :

- ◆ une canalisation Ø 400 mm en PEHD pour les eaux usées, débit de temps sec ;
- ◆ une canalisation Ø 1000 mm en PRV pour les eaux pluviales, débit de temps de pluie ;
- ◆ une conduite Ø 355 mm en PEHD pour l'eau potable ;
- ◆ six fourreaux Ø 160 mm en PEHD pour le tirage de câbles électriques, dont un câble haute tension, pour EDF.

Ensuite, l'espace entre ces tuyaux et le revêtement du microtunnel sera injecté avec un coulis bento-nite-ciment.

■ LA CONSTRUCTION DES PUITS DE POITIERS

Les puits ont une section de 5 m x 5 m et une profondeur d'environ 12 m. Ils ont été réalisés par MCCF en palplanches vibrofoncées et battues au refus jusqu'au toit du calcaire (photo 9).

Ces puits pénétrant de 8 m sous la nappe phréatique, il a fallu les rendre étanches par injections. Ainsi, un bloc de terrain injecté a-t-il été réalisé jusqu'à 15 m de profondeur, avant terrassement, pour assurer le collage du pied des palplanches sur le calcaire et pour traiter le calcaire fissuré au-dessous (photo 10).

Le terrassement de l'intérieur des puits a suivi. Dans la partie des alluvions argileuses, des liernes et des bracons ont été posés à l'avancement pour soutenir le rideau de palplanches. Pour le terrassement du calcaire au fond, on a eu recours à un brise-roche hydraulique monté sur pelle. Dans certains puits, la dureté du calcaire a nécessité l'explosif.

Après achèvement des microtunnels, y compris les



Photo 6
La station intermédiaire de poussée
The intermediate pushing station



Photo 7
Le tuyau de fonçage en PRV 1600 mm
The driving pipe in 1600 mm GRP



Photo 8
Le dessableur
The grit chamber

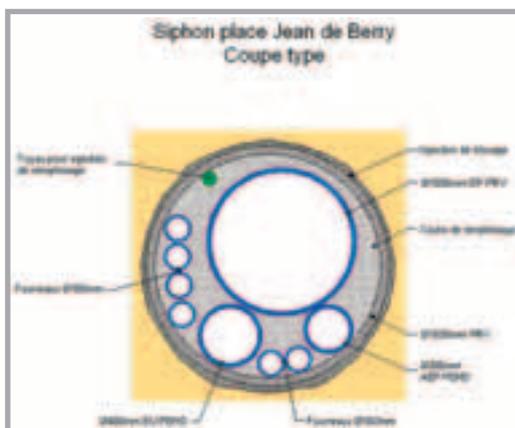


Figure 2
Coupe du microtunnel et du faisceau de conduites et fourreaux

Cross section of the microtunnel and the bundle of conduits and sheaths



Photo 9
Terrassement du calcaire au brise-roche hydraulique dans le puits "Parking"
Earthworks in limestone by hydraulic rock breaker in the "Car park" shaft



Photo 10
Injections du puits "Sarrail"
"Sarrail" shaft cement grouting



Photo 11
Sortie du microtunnelier dans le puits "Sarrail"
Microtunneller exit in the "Sarrail" shaft

► huit canalisations et fourreaux qui les équiperont et leur scellement au coulis comme décrit plus haut, sera réalisé le génie civil dans les puits, et leur équipement hydraulique intérieur. Le génie civil est réalisé par Sobebo et les équipements par Feljas et Masson.

CONCLUSION

Les travaux au tunnelier ou au microtunnelier pour l'exécution de canalisations hydrauliques ou de passages de câbles constituent une variante très prisée par rapport aux ouvrages traditionnels procédant par pose en tranchée. La technique est parfaitement maîtrisée. Contrairement à une idée reçue, les prix sont compétitifs dès lors que la machine est disponible, même lorsque la longueur est petite. L'arrivée d'un tunnelier dans son puits de réception est toujours un moment émouvant, quand bien même il ne s'agit que d'un microtunnelier (photo 11).

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Communauté d'Agglomération de Poitiers

Maitre d'œuvre

Beture Cerec

Contrôleur technique

Apave

Coordinateur SPS

M. Seguin

Groupe d'entreprises

- Mandataire : Solétanche Bachy France
- Fondations spéciales et puits : MCCF (groupe Solétanche Bachy)
- Microtunnel : CSM Bessac (groupe Solétanche Bachy)
- Génie civil : Sobebo
- Equipement des puits, métallerie, vantellerie : Feljas et Masson

ABSTRACT

A CSM Bessac microtunneller passes through the subsoil of Poitiers, unobserved

J.-N. Lasfargue, F. Lamotte

Trenchless works are a solution of the future in towns. They allow the existing above-ground networks to be placed underground and allow new underground networks to be built by overcoming the difficulties due to the growing congestion of the subsoil, and avoiding the often prohibitive nuisances of open-air installation works. The example of the development works carried out currently by the Poitiers inter-municipal association ("Communauté d'agglomération") is an opportunity to explain and illustrate the microtunneller technique.

RESUMEN ESPAÑOL

Una microtunelera de CSM Bessac atraviesa el subsuelo de Poitiers, ni visto, ni oído

J.-N. Lasfargue y F. Lamotte

Los trabajos sin zanja constituyen una solución de futuro en las ciudades. Estos trabajos permiten enterrar las redes aéreas existentes y proceder a la realización de nuevas redes subterráneas salvando las dificultades derivadas de la acumulación cada vez mayor del subsuelo y evitando las molestias frecuentemente redhibitorias de los trabajos de tendido a cielo abierto. El ejemplo propuesto por las ordenaciones emprendidas actualmente por la Mancomunidad de Municipios de Poitiers brinda la ocasión de explicar y de ilustrar la técnica de la microtunelera.