

# travaux

n° 753

**WEB**

• Internet.  
La géotechnique investit le World Wide Web

**BÂTIMENTS**

• Les fondations de l'hôtel de la Fontaine à Provins

• Le nouveau siège de la compagnie Axa à Paris VIII<sup>e</sup>. Reprise en sous-œuvre du bâtiment classé avenue Matignon

• Les travaux de fondations du Palais de Justice de Grenoble

• Plus de huit kilomètres de pieux autoforés à l'air sur le site du Grand littoral à Marseille

**PONTS**

• Les fondations du viaduc du Scardon. Conception et contrôle

• Le nouveau franchissement du Rhône entre Beaucaire et Tarascon. Les travaux de fondations

**HYDRAULIQUE**

• La réhabilitation des déversoirs Châtillon Bas-Meudon et Renan Seine

• Réhabilitation de canalisations et techniques sans tranchées. Chemisage avec le procédé Inpipe

**ÉTRANGER**

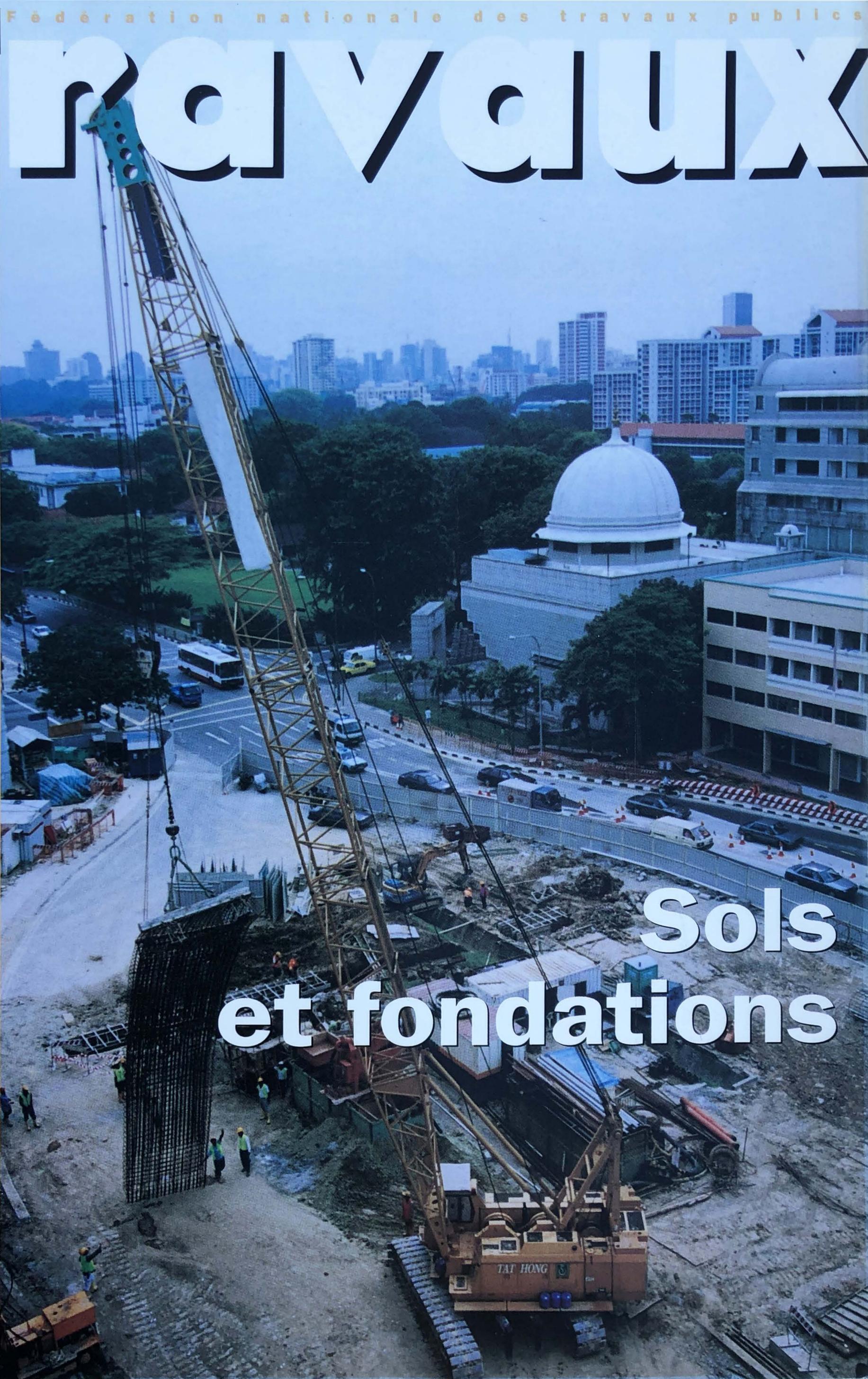
• Berlin : le plus grand chantier d'Europe. Les travaux de fondations des nouvelles voies de circulation

• Le viaduc de la Mirna en Croatie. Essais de pieux

• La North-East line du métro de Singapour. Les travaux spéciaux du contrat 705

**MATÉRIEL**

• Innovation en matière d'outillages de parois moulées



## Sols et fondations

**Daniel Tardy**  
Président  
de la FNTF



**L**a sécurité est devenue aujourd'hui un thème – presque une obsession – que l'on retrouve quotidiennement et à tout propos autour de nous. Je citerai, dans un domaine qui nous touche tout particulièrement, la forte augmentation des accidents de la route, en nombre et en gravité, les glissements de terrains de cet hiver dans les Alpes et, par dessus tout, le dramatique accident du tunnel du Mont-Blanc.

Certes, le comportement des usagers des ouvrages publics est souvent présenté, non sans raison, comme une des causes principales de l'insécurité de certains de ces ouvrages, mais je voudrais souligner ici, dans ce numéro consacré aux sols et fondations, parmi les risques présentés par les ouvrages eux-mêmes, ceux résultant d'études préalables et de fondations insuffisantes.

On sait depuis longtemps la nécessité de fondations "solides" (bâtir sa maison sur le roc et non sur le sable) et d'études préalables "réfléchies" (apprécier le nombre de ses soldats par rapport à ceux de son ennemi avant de décider de l'attaquer). Mais cette formulation simplifiée recouvre une réalité devenue deux mille ans plus tard infiniment plus complexe :

◆ les ingénieurs et les architectes conçoivent et construisent des ouvrages et des bâtiments de plus en plus importants, avec des structures de plus en plus sophistiquées développant des contraintes de plus en plus sévères dans les fondations et les sols environnants ;

◆ les ouvrages et bâtiments sont construits sur des sols très variés, là où il faut les construire (ouvrages portuaires, ponts franchissant un fleuve, bâtiments et équipements urbains) et/ou là où ils peuvent être construits après prise en compte des études d'impact et des contraintes environnementales. Et ce n'est pas toujours un hasard si ces dernières conditions conduisent à implanter certains ouvrages dans des sites où les sols sont les plus "mauvais".

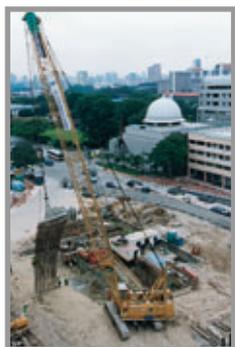
On voit donc toute l'importance du développement des connaissances des propriétés des sols (résistance mécanique, déformabilité, sensibilité à l'eau, etc.) et de la recherche fondamentale en ce domaine. Toutes les personnalités qui ont préfacé les derniers numéros de *Travaux* consacrés aux sols et fondations<sup>(1)</sup>, y compris celui-ci, ont souligné la place éminente de la France dans le génie géotechnique grâce à ses centres de recherche, ses laboratoires, ses bureaux d'études et ses entreprises spécialisées. Les uns et les autres sont souvent appelés à travailler en étroite collaboration, non seulement pour les études et recherches, mais aussi au stade de l'exécution sur les chantiers. Le rayonnement de nos techniciens dans le monde porte aussi sur la conception et la construction des fondations, avec des références à de multiples variétés d'ouvrages et de natures de sols.

Mais la "connaissance" des sols n'est pas tout. Il faut encore la "reconnaissance" des sols que l'on va rencontrer sur le site même d'implantation des fondations. Cette reconnaissance est une condition nécessaire d'une bonne étude initiale sur laquelle insistent tous les auteurs des préfaces, citées plus haut, qui soulignent qu'une économie faite à ce stade des études peut entraîner à l'exécution, des dépenses supplémentaires infiniment supérieures.

Il n'est bien sûr pas étonnant que l'on retrouve, à propos des fondations, tous les grands thèmes qui accompagnent l'acte de construire : recherche et progrès des connaissances, études préalables approfondies, partenariat et confiance entre les différents acteurs. Nos lecteurs verront en outre, dans les articles eux-mêmes, que la maîtrise de la qualité est d'autant plus nécessaire, si j'ose dire, que les fondations sont destinées à rester cachées une fois l'ouvrage fini.

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

(1) Numéros 714 (avril 1995), 725 (novembre 1996), 731 (mai 1997).



## Notre couverture

**Métro de Singapour**  
**La station Boon Keng**

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

### RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 44 13 31 44

### SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart  
Tél. : (33) 02 41 35 09 95  
Fax : (33) 02 41 35 09 96  
E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

### MAQUETTE

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

### VENTES ET ABONNEMENTS

Colette Robert  
RGRA  
9, rue Magellan - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 40 73 80 05  
E mail :  
revue.generale.des.routes.rgra@wanadoo.fr  
France : 920 FF TTC  
Etranger : 1100 FF  
Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

### PUBLICITÉ

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

**Éditions Science et Industrie S.A.**  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n° 57304



## éditorial

**Daniel Tardy**

1

## actualités

7

## matériels

14

## PRÉFACE

**Alain Pecker**

19

## WEB

◆ Internet. La géotechnique investit le World Wide Web  
- *Internet. Geotechnical engineering invests in the World Wide Web*

**R. Arnould, A. J. Bond**

20

## BÂTIMENTS

◆ Les fondations de l'hôtel de la Fontaine à Provins  
- *The foundations of the Hotel de la Fontaine in Provins*

**J.-P. Volcke**

◆ Le nouveau siège de la compagnie Axa à Paris VIII<sup>e</sup>.  
Reprise en sous-œuvre du bâtiment classé  
avenue Matignon

- *The new headquarters of the company Axa in Paris VIII. Underpinning of the scheduled building on Avenue Matignon*

**M. Botbol**

◆ Les travaux de fondations du Palais de Justice de Grenoble

- *Foundation works for the Palais de Justice in Grenoble*

**Ch. Besson**

◆ Plus de huit kilomètres de pieux autoforés à l'air sur le site du Grand littoral à Marseille

- *More than eight kilometres of open-air self-bored piles of the Grand Littoral site in Marseilles*

**R. Massat**

25

28

33

38

## PONTS

◆ Les fondations du viaduc du Scardon. Conception et contrôle

- *The foundations of the Scardon viaduct : design and testing*

**M. Bustamante, L. Gianeselli, J.-L. Dufresne**

◆ Le nouveau franchissement du Rhône entre Beaucaire et Tarascon. Les travaux de fondations

- *The new crossing of the Rhône between Beaucaire and Tarascon. Foundation works*

**Fr. Edon**

42

48

## HYDRAULIQUE

◆ La réhabilitation des déversoirs Châtillon Bas-Meudon et Renan Seine

54

# Sommaire

mai 1999

## Sols et fondations

Dans les prochains numéros

**Tunnels**

**et ponts**

**Offshore -**

**Travaux en mer**

**Environnement**

**Terrassements**

**International**

**Ponts**

**Routes**

**Travaux urbains**

**Réhabilitation**

**d'ouvrages**



- *The rehabilitation of the Châtillon Bas-Meudon and Renan Seine spillways*

**Br. Valez**

◆ Réhabilitation de canalisations et techniques sans tranchées. Chemisage avec le procédé Inpipe

- *Tranchless technical piping. Lining with Inpipe technique*

**J.-L. Naudé**



### ETRANGER

◆ Berlin : le plus grand chantier d'Europe. Les travaux de fondations des nouvelles voies de circulation

- *Berlin : Europe's biggest worksite. Foundation works for new transport facilities*

**D. Dewever**

◆ Le viaduc de la Mirna en Croatie. Essais de pieux

- *The viaduct of the Mirna in Croatia. Pile tests*

**J. Harnois, S. Schneider**

◆ La North-East line du métro de Singapour. Les travaux spéciaux du contrat 705

- *The north-east line of the Singapore Metro. Special works of contract 705*

**J.-P. Alexandre**



### MATÉRIEL

◆ Innovation en matière d'outillages de parois moulées

- *Innovations with regard to diaphragm wall tooling*

**M. Guillaud**

**identification  
professionnelle**

**formation**

**répertoire  
des fournisseurs**

57

59

62

66

70

74

76

82

**L**e secteur de la Construction traverse actuellement une passe difficile qui pourrait ne pas inciter à l'innovation. Ce serait cependant une grave erreur car l'expérience montre que les marchés se gagnent de plus en plus sur les paris technologiques et les choix qu'ils engendrent. En effet, ces innovations sont la source d'économies substantielles, en termes de coût bien sûr, mais également en termes de délais, économies auxquelles un maître d'ouvrage ne peut rester insensible.

Les fondations n'échappent pas à cette règle générale et elles constituent certainement un des domaines où les progrès, à défaut d'être les plus spectaculaires pour le non initié, peuvent être les plus générateurs d'économies. Les fondations constituent en effet la partie cachée de l'iceberg ; une fois l'ouvrage achevé, qui se souvient du mode de fondation et des techniques originales de mise en œuvre ? Un grand pont, un bâtiment à la conception architecturale audacieuse restent des témoins visibles de l'originalité de leur concepteur. Et pourtant, les contraintes imposées aux fondations sont de plus en plus sévères : prise en considération de terrains aux qualités de plus en plus médiocres, critères de plus en plus stricts vis-à-vis de la déformabilité (verticale ou horizontale), facilité d'exécution et faible coût... A ces difficultés s'ajoute le fait que le terrain dans lequel est implantée la fondation ne sera jamais parfaitement connu. Le géotechnicien en donne une image à travers la perception qu'il a des résultats des reconnaissances, mais cette image reste incomplète. Quelques sondages de reconnaissance ne pourront jamais assurer l'absence d'une anomalie ponctuelle à l'aplomb de l'ouvrage.

Toutes ces contraintes font qu'un bon projet de fondation fait appel à des disciplines variées et exige du géotechnicien une compétence étendue. Une vision synthétique et fiable du terrain nécessitera le recours à des méthodes d'investigations élaborées mais également à des techniques d'analyse sophistiquées. La discipline est actuellement en pleine évolution et les méthodes récentes de la géophysique permettent d'accéder à une vision plus globale du sous-sol tout en permettant l'obtention de caractéristiques mécaniques des terrains utilisables pour le dimensionnement (analyse spectrale des ondes de surface, par exemple) ; les méthodes d'analyse statistique des données, utilisées à bon escient, se révèlent souvent une aide précieuse à la décision. Cependant, ces techniques, ne peuvent être laissées à la seule discrétion de l'opérateur : l'utilisateur géotechnicien, qui en connaît la finalité, doit en conserver la maîtrise, au prix d'un effort de formation à ces méthodes nouvelles et parfois délicates.

Une fois le milieu environnant défini, le concepteur peut donner libre cours à son imagination et à son expérience en retenant le mode de fondation qui lui semble le mieux approprié. Cependant, il ne peut effectuer cette phase de conception sans échange avec l'entreprise de fondations. L'expérience apprend que les meilleurs projets sont toujours ceux qui ont allié, depuis la phase de gestation, l'ingénieur de bureau d'études et l'entrepreneur. C'est une des forces de l'ingénierie française d'avoir su préserver cet échange en évitant de tomber dans le travers anglo-saxon qui dissocie les deux fonctions, en ravalant souvent l'entrepreneur au simple rôle d'exécutant. A ce stade, les outils à disposition du géotechnicien, lui permettant d'aborder des problèmes de forte complexité, sont également en forte évolution : des techniques de fondations nouvelles fondées sur le ren-

forcement des sols en place voient le jour ; les méthodes d'analyse deviennent de plus en plus élaborées avec la généralisation des méthodes numériques. Plutôt que de faire preuve de nostalgie et de regretter l'époque antérieure où un projet de fondation pouvait se dimensionner "à la main", le géotechnicien doit savoir s'adapter et tirer profit de ces perspectives nouvelles. Il ne s'agit pas de croire aveuglément au calcul, mais de savoir en tirer parti comme d'un outil permettant à la fois de décharger le concepteur d'une phase fastidieuse, mais également d'effectuer à moindre effort des études de sensibilité permettant d'appréhender le comportement de l'ouvrage en situation extrême. Il apparaît donc que le géotechnicien actuel se doit de relever des défis importants. Ces défis requièrent une grande ouverture d'esprit, une disponibilité pour faire face à des enjeux nouveaux, une volonté de voir la tâche qui lui était habituellement dévolue évoluer ; pour y faire

face il dispose d'outils nouveaux qui doivent lui permettre de concevoir des systèmes de fondations novateurs ou plus fiables. C'est en effet l'un des grands enjeux du troisième millénaire que de réduire les risques encourus dans la construction. En dépit de tous les moyens que le progrès technologique met à notre disposition, la modestie doit rester la règle : toute conception est imparfaite mais il convient d'en minimiser les risques en concevant des systèmes adaptatifs qui pardonnent les erreurs ou imperfections. On retrouve dans cette démarche la notion féconde de "dimensionnement en capacité", couramment mise en œuvre en dimensionnement parasismique des structures, dont la philosophie est de dicter à la structure son comportement en situation extrême, pour éviter d'en subir les conséquences pour des événements extrêmes, même réputés imprévisibles.



■ **ALAIN PECKER**  
**Président**  
**du Comité français**  
**de mécanique**  
**des sols**

# Internet

## La géotechnique investit

**Internet : tout le monde parle de révolution, de raz de marée dans tous les domaines d'activité. La difficulté reste cependant, pour le novice, de s'y retrouver dans les présentations qui sont faites et qui restent le plus souvent très générales afin d'avoir la plus grande audience possible. L'objectif du présent article est de guider de manière très concrète. Il relève ce qui est disponible et de qualité sur le World Wide Web dans le domaine de la géotechnique, en excluant les sites plaquettes publicitaires généralement pauvres en information.**

Notre tour du monde rapide va nous amener à aborder des sujets aussi variés que les glissements de terrain, l'importance de la communication quel que soit le projet à l'âge de l'information, les organisations de recherche, les organisations professionnelles et finalement les références techniques publiées (ou) propres à Internet.

### ■ PREMIERS CONTACTS

Dans le domaine de la géotechnique, un des sujets qui semble tenir particulièrement à cœur à la communauté des internautes, c'est les glissements de terrain.

#### Glissements de terrain

Le site Wasss acronyme pour Wide Area Slope Stability Server est hébergé par l'ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics d'Etat). Soutenu par le TC11, comité technique de l'ISSMGE (Société internationale de mécanique des sols et de génie

géotechnique), il a pour but de regrouper les informations disponibles sur les glissements. Il fournit aussi une étude comparative des différentes méthodes de calcul de stabilité des pentes. Sur le même sujet, l'USGS (United States Geological Survey), américain, gère un site où sont publiés quelques rapports dignes d'intérêt et où sont recensés plus de 10 000 références bibliographiques.

Des sites d'initiative individuelle sont également consacrés aux glissements de terrain. Le "Landslide Show" regroupe une collection de photos et de diagrammes gratuits à condition que leur utilisation ne soit pas commerciale et que l'auteur soit cité. Le site "Italian Landslides" présente une série de photos de glissements italiens.

#### Changement de rapport de forces...

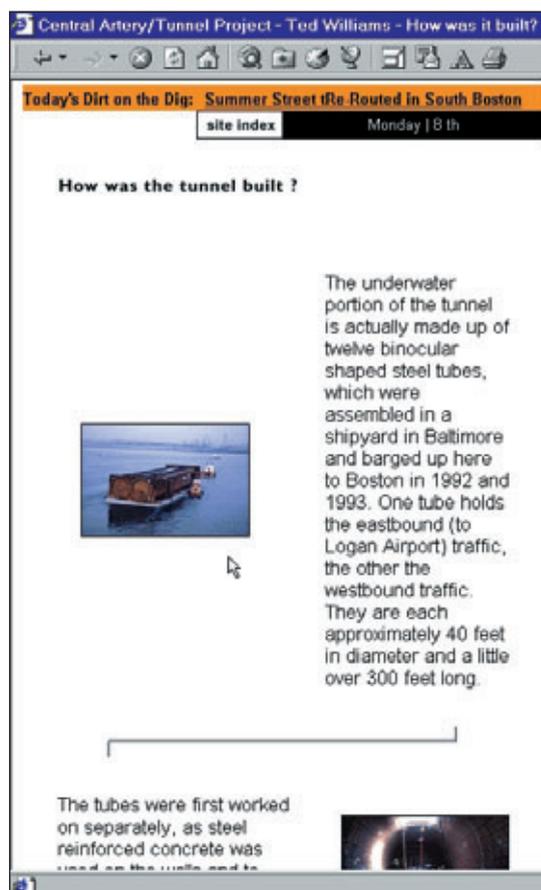
Les parties habituellement impliquées dans l'acte de construire, les entrepreneurs mais peut être encore plus leurs clients visiteront avec intérêt le site "Anheim Hills Landslide". Gerald Steiner, un riverain concerné directement par cette zone de glissement californien a utilisé habilement le web. Il a collecté toutes les informations possibles prouvant ainsi (selon son point de vue), l'incompétence et les corruptions diverses de l'administration locale. Ceci illustre la nouvelle puissance des particuliers. Il faudra une meilleure communication entre les parties intéressées pour éviter que de tels sites ne fleurissent chaque fois qu'il y a un contentieux avec les riverains ou les utilisateurs.

La leçon a déjà été retenue par les équipes en charge de deux grands projets : la Jubilee Line Extension à Londres et le Central Artery Project à Boston (figure 1); dans les deux cas, l'étendue des travaux entraîne des perturbations très importantes. Les responsables des projets informent pratiquement en temps réel les citoyens des difficultés de mise en œuvre, de l'avancement des travaux, des retards subis ; tout un chacun peut se sentir concerné par l'évolution du chantier.

#### Recherche

Dans le domaine de la recherche, le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) a mis le catalogue de ses publications en ligne (figure 2). Il manque cependant des informations plus spécifiques à la géotechnique alors que le site contient par exemple, des informations substantielles concernant certains sujets de structures. Le Centre géos-

**Figure 1**  
Les nouvelles technologies mises à profit par les intervenants dans l'acte de construire  
*Beneficial use of new technologies by organizations involved in construction*



# le World Wide Web

**Romain Arnould**

INGÉNIEUR  
GÉOTECHNICIEN SENIOR  
GCG



**Andrew J. Bond**

DIRECTEUR  
GCG



scientifique de l'Atlantique a également ses publications sur son site, et c'est original..., offre gratuitement la possibilité de poser des questions à un géologue. Ce service ne traite pour l'instant que de la géologie canadienne. Le site américain Ask-A-Geologist complète la couverture géographique de l'Amérique du Nord. Le site Eurolat, hébergé à Berlin, est la vitrine d'un réseau de scientifiques européens spécialisés dans le domaine des altérations chimiques des sols superficiels, en particulier des sols latéritiques ou tropicaux. L'internaute y trouvera la liste des membres ainsi qu'une collection de photos.

Le NGES (National Geotechnical Experiment Sites) aux Etats-Unis regroupe les études de sol effectuées sur des sites de référence bien documentés afin de favoriser les recherches futures. Une démarche intéressante proposée suggère l'utilisation de leurs feuilles de style permettant la transmission des résultats d'une étude de sol de manière standardisée. En Grande-Bretagne, l'AGS (Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists) a aussi proposé son propre format. L'approche britannique, plus complète, permet de prendre en compte tous les types d'essai et a déjà réussi à rallier une dizaine de sociétés développant des logiciels permettant de préparer des rapports de sol.

## Organisations professionnelles

La seule organisation professionnelle ayant un site francophone est la société canadienne de géotechnique. A la rédaction de cet article, la page était encore en construction alors que la partie anglophone était déjà opérationnelle. Dans les autres pays le site du Geo-Institute américain est un bon exemple de ce qui peut être fait. Cependant les informations sur ces sites restent limitées à la communication traditionnelle : prochaines réunions et conférences, adresses des différents groupes de travail. La flexibilité d'Internet pourrait être mieux exploitée.

Parmi les sociétés internationales, celle des géosynthétiques affiche un dynamisme certain. On y trouvera entre autres, les dernières nouvelles de la société, les journaux officiels de l'IGS (International Geosynthetic Society), ses publications, des sujets de recherche ouverts pour des thésards, etc. L'ISSMGE (Société internationale de mécanique des sols de génie géotechnique) pour sa part, vient juste de rajeunir son site et accueille avec bienveillance tous les commentaires (figure 3).

## DES RÉFÉRENCES ACCESSIBLES

Les sites offrant les plus grosses valeurs ajoutées sont avant tout ceux qui, non seulement proposent de grosses quantités d'information, mais de plus, savent les rendre accessibles à l'internaute débutant. Ce qui n'est pas facile à réaliser en pratique et doit être apprécié à sa juste valeur.

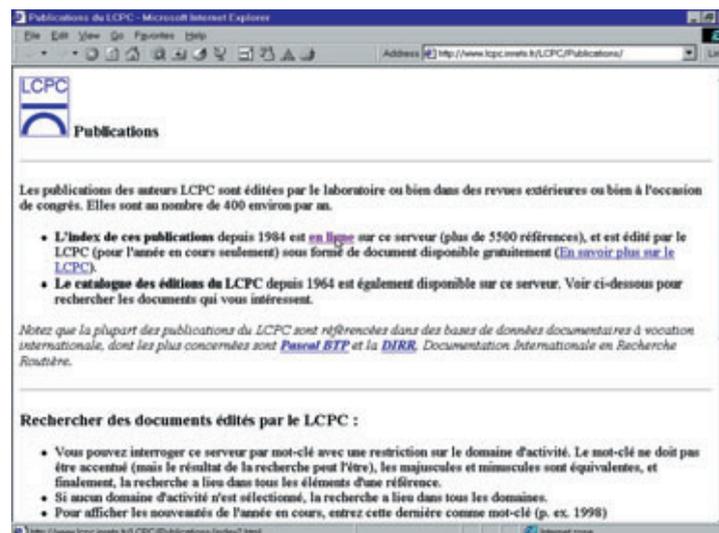


Figure 2  
Accès via Internet  
à l'index des publications  
du LCPC

On-line access to the LCPC  
publications catalogue

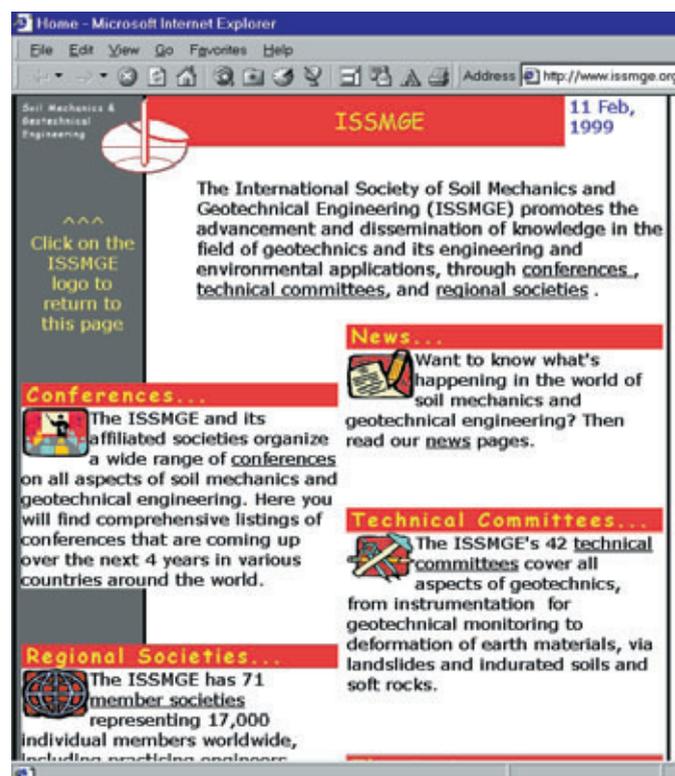
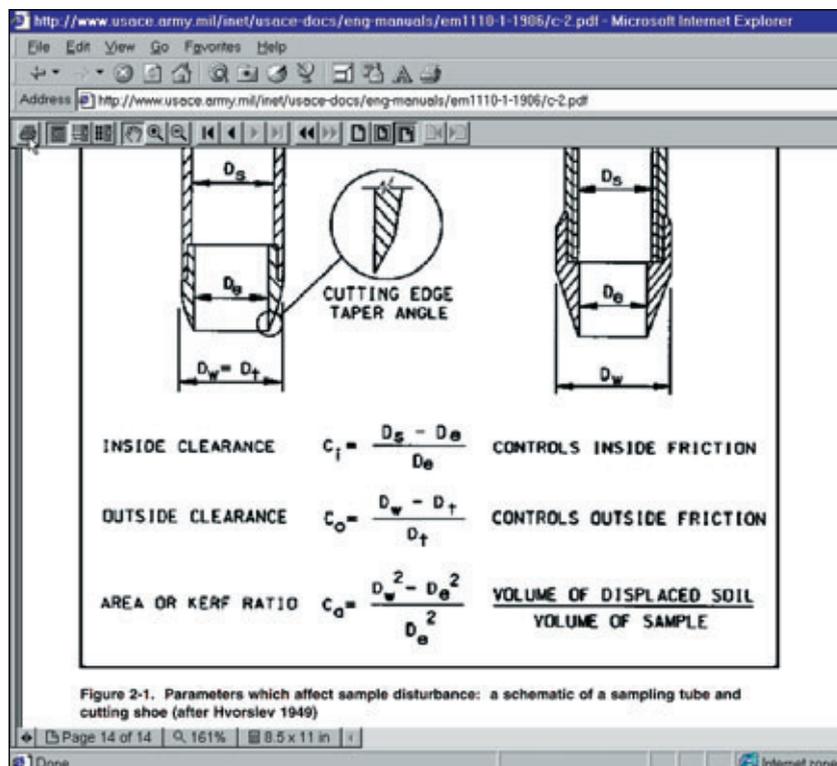


Figure 3  
Le nouveau site web  
de l'ISSMGE

The new ISSMGE  
web site

Figure 4  
Exemple  
d'un des manuels  
de l'USACE  
accessible  
par le Web  
  
Example of one  
of the USACE  
manuals which  
is accessible  
on-line



### Références techniques

Parmi ces sites, il y a ceux qui permettent de se procurer des informations techniques dont il est généralement difficile d'obtenir les copies papier. Le site du Geotechnical Engineering Office de Hong-Kong permet d'avoir accès au catalogue des Geoguides et donne tous les renseignements nécessaires pour les commander. Encore plus impressionnant est l'accès gratuit en ligne de pratiquement l'ensemble des documents techniques de USACE (United States Army Corps of Engineers), notamment les *Engineer Design Guides* et les *Engineer Manuals* (figure 4). Ces documents sont sauvegardés dans le format PDF et moyennant un petit programme (que vous pouvez vous procurer sur le site d'Adobe), il est possible de feuilleter les pages et d'imprimer les plus intéressantes depuis votre logiciel de navigation. Les éditeurs de journaux techniques suivent la même évolution. La revue canadienne de génie civil et les journaux (dont *Géotechnique*) de l'ICE (Institution of Civil Engineers) sont dispo-

**Tableau des URL**  
Taper l'URL dans la case adresse de votre logiciel de navigation, puis retour chariot. Autre solution : rendez-vous sur le site Génie Civil à l'adresse suivante : <http://www.multimania.com/geniecivil> et suivez les liens

**URL table**  
Type the URL in the address box of your browser, then press enter. Alternatively, visit Génie Civil web site at : <http://www.multimania.com/geniecivil> and follow the links

Sites	URL
WASS	<a href="http://wasss.entpe.fr/">http://wasss.entpe.fr/</a>
USGS	<a href="http://landslides.usgs.gov/landslide.html">http://landslides.usgs.gov/landslide.html</a>
Landslide Show	<a href="http://www.king.ac.uk/~ce_s011/landslid/slides.htm">http://www.king.ac.uk/~ce_s011/landslid/slides.htm</a>
Italian Landslides	<a href="http://www.geocities.com/RainForest/8211/">http://www.geocities.com/RainForest/8211/</a>
Anheim Hills Landslide	<a href="http://anaheim-landslide.com/">http://anaheim-landslide.com/</a>
Jubilee Line Extension	<a href="http://www.jle.lul.co.uk/">http://www.jle.lul.co.uk/</a>
Central Artery Project	<a href="http://www.bigdig.com/">http://www.bigdig.com/</a>
LCPC	<a href="http://www.lcpc.inrets.fr/LCPC/Publications/">http://www.lcpc.inrets.fr/LCPC/Publications/</a>
Centre géoscientifique de l'Atlantique	<a href="http://agc.bio.ns.ca/indexf.html">http://agc.bio.ns.ca/indexf.html</a>
Geologist in the classroom	<a href="http://agc.bio.ns.ca/schools/school2.html">http://agc.bio.ns.ca/schools/school2.html</a>
Ask-A-Geologist	<a href="http://walrus.wr.usgs.gov/docs/ask-a-ge.html">http://walrus.wr.usgs.gov/docs/ask-a-ge.html</a>
Eurolat	<a href="http://mindepos.bg.tu-berlin.de/eurolat">http://mindepos.bg.tu-berlin.de/eurolat</a>
NGES	<a href="http://www.unh.edu/nges/index.html">http://www.unh.edu/nges/index.html</a>
AGS	<a href="http://www.ags.org.uk/agsformt.htm#top">http://www.ags.org.uk/agsformt.htm#top</a>
Société canadienne de géotechnique	<a href="http://www.cgs.ca/french/french.html">http://www.cgs.ca/french/french.html</a>
Geo-Institute	<a href="http://www.geoinstitute.org/index.html">http://www.geoinstitute.org/index.html</a>
IGS	<a href="http://igs.rmc.ca/">http://igs.rmc.ca/</a>
Sciété internationale de mécanique des sols	<a href="http://www.issmge.org/">http://www.issmge.org/</a>
Geotechnical Engineering Office	<a href="http://www.info.gov.hk/ced/manuals.htm">http://www.info.gov.hk/ced/manuals.htm</a>
USACE	<a href="http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/">http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/</a>
Adobe	<a href="http://www.adobe.fr/products/acrobat/download/readstep.html">http://www.adobe.fr/products/acrobat/download/readstep.html</a>
Revue canadienne de géotechnique	<a href="http://www.cisti.nrc.ca/cisti/journals/rjgeo.html">http://www.cisti.nrc.ca/cisti/journals/rjgeo.html</a>
Journaux de l'ICE	<a href="http://www.t-telford.co.uk/JOL/index.html">http://www.t-telford.co.uk/JOL/index.html</a>
SGI-Line	<a href="http://public.sgi.geotek.se/sgi-line.html">http://public.sgi.geotek.se/sgi-line.html</a>
EJGE	<a href="http://geotech.civen.okstate.edu/ejge/">http://geotech.civen.okstate.edu/ejge/</a>
Pile-Info	<a href="http://www.byggforum.com/pileinfo/">http://www.byggforum.com/pileinfo/</a>
Wheretogeo	<a href="http://www.wheretogeo.com/">http://www.wheretogeo.com/</a>
GGSD	<a href="http://www.ggsd.com/">http://www.ggsd.com/</a>
Génie Civil	<a href="http://www.multimania.com/geniecivil/">http://www.multimania.com/geniecivil/</a>
Webring	<a href="http://home.t-online.de/home/eickenbrock/webring.htm">http://home.t-online.de/home/eickenbrock/webring.htm</a>
Article d'Août 1998 de Ground Engineering	<a href="http://www.wheretogeo.com/Articles/August__98/august__98.html">http://www.wheretogeo.com/Articles/August__98/august__98.html</a>

nibles sur le web de la même manière pour les abonnés qui ont demandé leurs codes d'accès.

### Références virtuelles

Les références les plus intéressantes sont sans doute celles qui ont été conçues spécialement pour le nouveau média. SGI-Line du SGI (Swedish Geotechnical Institute) permet ainsi de rechercher la base de données des publications de l'ISSMGE suivant les critères du nom de l'auteur, du titre, des mots clés ou même du texte librement choisi. On notera aussi l'EJGE, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* qui est hébergé par l'université de l'état d'Oklahoma. Des articles originaux y sont publiés depuis bientôt trois ans. Une partie appelée le magazine (par opposition au journal) se veut plus d'actualité et moins théorique.

Un autre site suédois remarquable, celui de Pile-Info (figure 5) édité par la commission suédoise de recherche sur les pieux, permet d'accéder à un répertoire exhaustif des techniques de construction de pieux. Votre technologie ne s'y trouve pas ? Qu'à cela ne tienne, vous pouvez envoyer un courrier électronique avec tous les renseignements pour permettre aux auteurs de maintenir à jour leurs bases de données.

### Où commencer sa recherche d'informations géotechniques ?

Wheretogeo répertorie tous les sites traitant de géotechnique, par grandes catégories (figure 6). En plus un système d'évaluation du contenu et du style permet d'obtenir une idée générale du site. GGSD (Geotechnical and Geoenvironmental Software Directory), un autre répertoire, recense tous les programmes dont les spécialistes de la terre peuvent avoir besoin depuis les études de sol jusqu'aux calculs aux éléments finis en passant par les programmes permettant de réaliser des représentations graphiques professionnelles.

Oui, il est encore difficile de trouver, pour un francophone, la bonne information que l'on recherche. Mais les sites naissent. Ainsi Génie Civil, un nouveau site en français est accessible à <http://www.multimania.com/geniecivil>. Le présent article ainsi que tous les liens qui y sont présentés s'y trouvent (figure 7).

### CONCLUSIONS

Les sites anglophones sont évidemment les plus nombreux, cependant les plus intéressants ne sont pas forcément américains comme pourraient le laisser croire certains alarmistes. Il faut en revanche reconnaître que le nombre de sites francophones spécifiques se compte sur les doigts de la main. Seule consolation, nos voisins européens ne sont

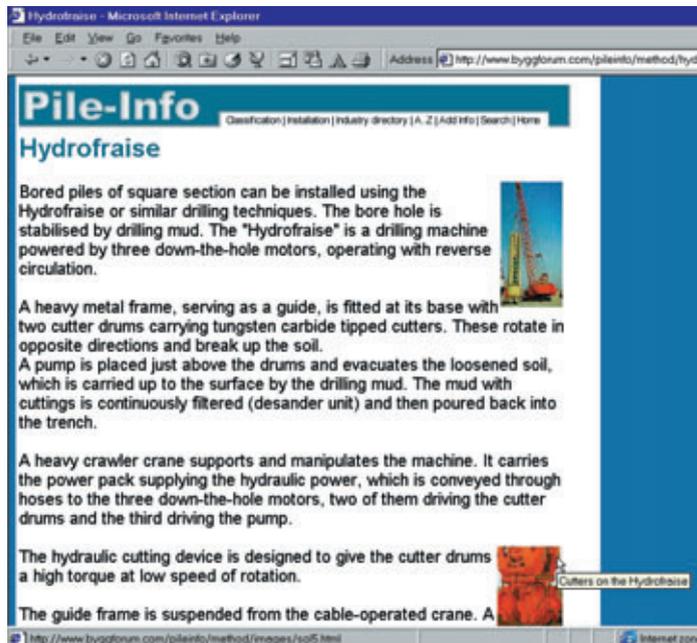


Figure 5 Exemple d'informations disponibles sur le site Pile-Info  
Example of information available from Pile-Info

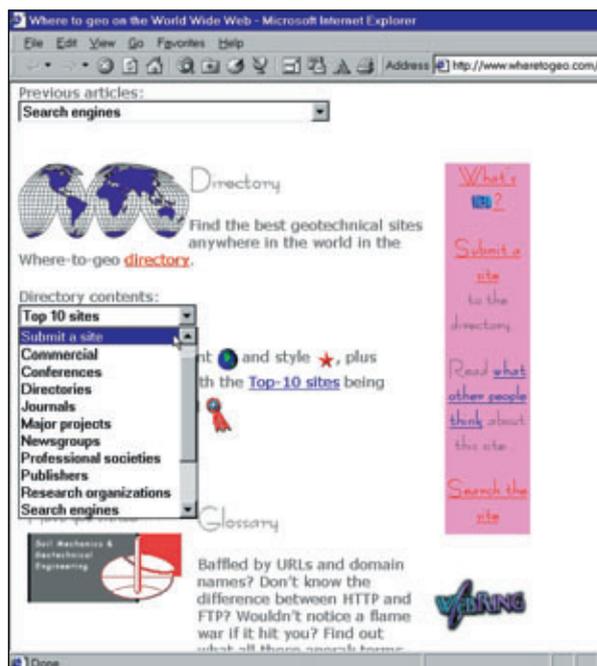


Figure 6 Wheretogeo répertorie et évalue un grand nombre de sites géotechniques  
The directory Wheretogeo evaluates a large number of geotechnical web sites

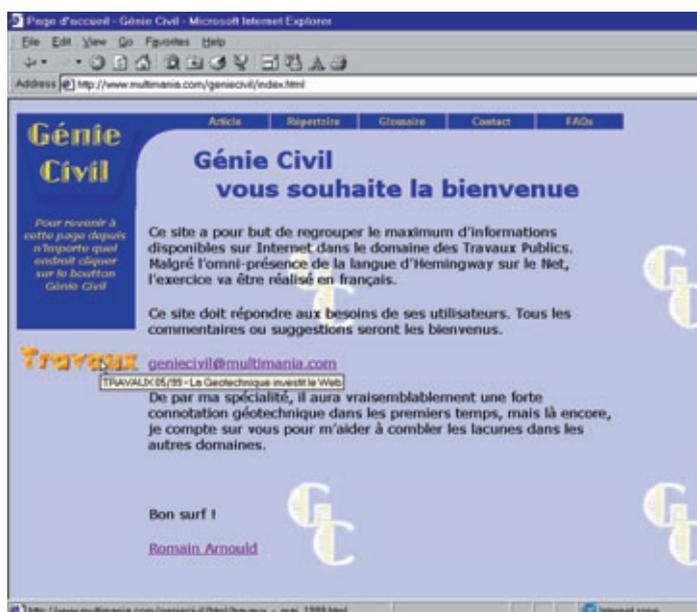


Figure 7 Le nouveau répertoire francophone pour le génie civil  
The new French directory for Civil Engineering

pas mieux lotis. Les sites sélectionnés présentent pratiquement tous une version anglophone quand ce n'est pas la seule version disponible.

A cause de la nature évolutive du Web nous ne pouvons pas être exhaustifs. Si vous voulez apparaître sur le site Génie Civil, n'hésitez pas à nous contacter à [geniecivil@multimania.com](mailto:geniecivil@multimania.com) pour nous permettre d'ajouter de nouveaux liens. Internet offre une autre bonne source d'information à consulter, les newsgroups ou mailing list. Ces derniers sortent cependant du cadre de cet article. L'article d'août 1998 de *Ground Engineering* donne davantage d'informations sur le sujet.

### LA RÉVOLUTION...

Tous les sites présentés dans le corps de cet article correspondent à des présentations connues : répertoires, lettres d'information, listes bibliographiques... Pour aller plus loin les internautes doivent aussi retenir le concept de Webring. Il s'agit de sites un peu particuliers sur lesquels les auteurs de site traitant d'un sujet commun se réunissent et s'organisent pour permettre une navigation aisée entre eux. Sur la Webring consacrée à la mécanique des sols, seuls, dix-huit sites apparaissent pour l'instant. Mais il faut reconnaître que de telles initiatives contournent une des difficultés majeures du web qui est de séparer le bon grain de l'ivraie. Cette approche a une faiblesse. Les responsables de sites doivent demander et obtenir le droit de figurer sur la Webring. Dans ces conditions de nombreux sites dignes d'intérêt manquent à l'appel.

### ABSTRACT

#### The Internet. Geotechnics infiltrates the World Wide Web

*R. Arnould, A. J. Bond*

**The Internet : everybody talks of a revolution, of a tidal wave in all business sectors. However, it remains difficult for the novice user to extract meaningful information from many reports about the web, because they are typically general in nature so as to interest the widest possible audience. The purpose of this article is to provide guidance in a very concrete manner. It reviews web sites of quality in the field of geotechnics, to the exclusion of promotional sites that are poor in information.**

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Internet. Geotechnik im World Wide Web

*R. Arnould, A. J. Bond*

**Internet: Alle sprechen von einer Revolution, von nicht aufzuhaltenden Entwicklungen in allen Tätigkeitsbereichen. Die Schwierigkeiten für den Novizen der neuen Technologien besteht darin, sich in den dortigen Präsentationen zurechtzufinden, da sie meist sehr allgemein gehalten sind, um einen größtmöglichen Personenkreis anzusprechen. Der vorliegende Artikel stellt einen ganz konkreten Leitfaden dar. Er zeigt auf, was im World Wide Web auf dem Gebiet der Geotechnik zur Verfügung steht und auch qualitativ von Interesse ist. Die Homepages nur mit Werbebroschüren praktisch ohne Informationsgehalt werden nicht berücksichtigt.**

### RESUMEN ESPAÑOL

#### Internet. La geotécnica gana terreno en el World Wide Web

*R. Arnould y A. J. Bond*

**Internet : todo el mundo habla de revolución y de maremotos en todos los campos de actividad. No obstante, la dificultad sigue existiendo, para el novicio en nuevas tecnologías, para poder encontrar lo que busca en las presentaciones que son elaboradas y que en la mayor parte de los casos se mantienen en un nivel sumamente general con objeto de conseguir la mayor audiencia posible.**

**El objeto del presente artículo consiste en servir de guía de forma perfectamente concreta. Se analiza aquello que se encuentra disponible y de calidad en el World Wide Web en el aspecto de la geotécnica, excluyendo los sitios correspondientes a los anuncios de forma publicitaria generalmente pobres en cuanto a información.**

# Les fondations de l'hôtel de la Fontaine à Provins

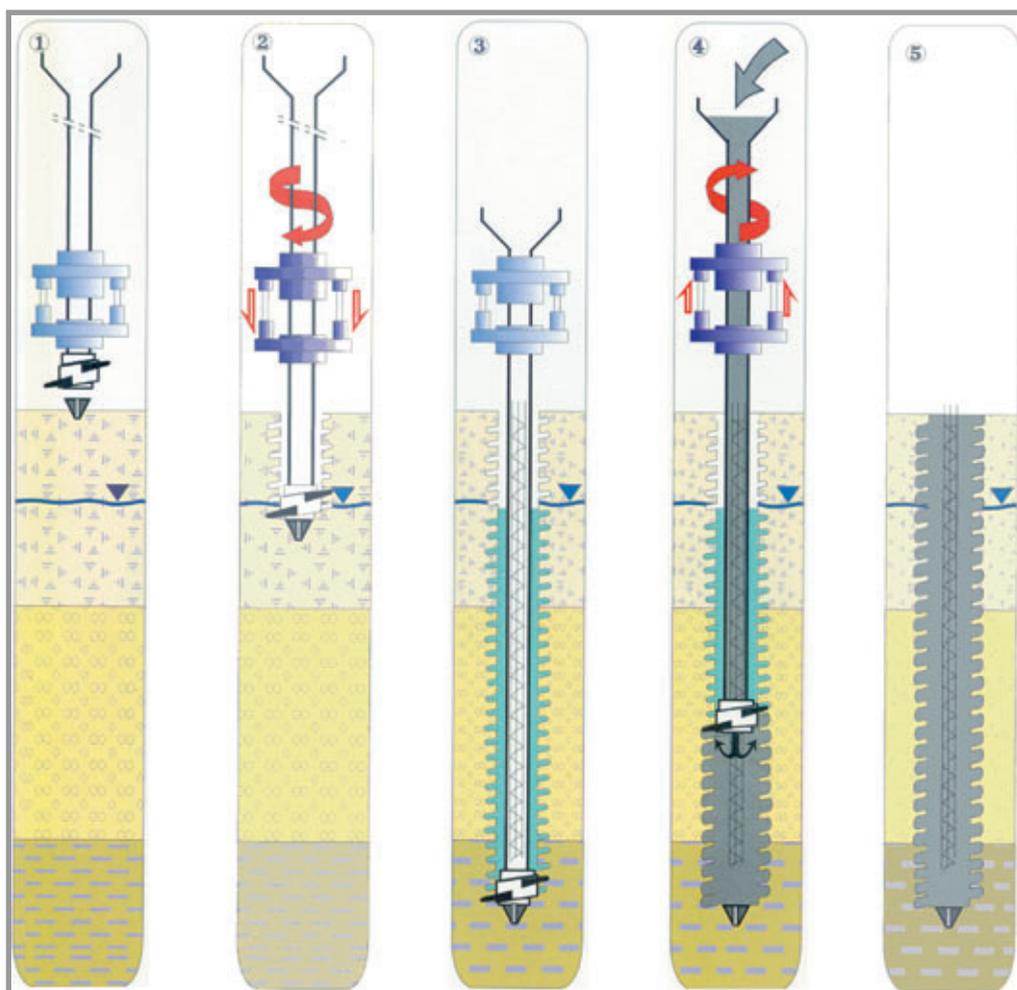
Jean-Paul Volcke

DIRECTEUR RÉGIONAL  
Franki Fondation



**Le chantier particulièrement délicat de l'hôtel de la Fontaine à Provins (accès difficiles, géologie défavorable...) a permis à Franki Fondation de proposer et mettre en œuvre un procédé qui satisfait à toutes ces contraintes : le pieu vissé moulé Atlas.**

Figure 1  
Phases d'exécution  
du pieu Atlas  
*Atlas pile execution phases*



L'opération de l'hôtel de la Fontaine à Provins réunit toutes les caractéristiques d'un chantier particulièrement délicat. Comme dans toute les villes anciennes, les rues y sont étroites et les accès aux sites sont souvent difficiles; de plus, comme dans toutes les zones urbaines, la propreté des rues est un souci permanent dans l'organisation des travaux. A ces caractéristiques désormais classiques s'ajoute une géologie défavorable. La coupe de sol habituelle de cette zone consiste en une couche épaisse (entre 12 et 20 mètres) d'alluvions médiocres et compressibles, au dessus d'un horizon plus ou moins épais de graves plus ou moins compactes. Le substratum est constitué par les craies qui ne deviennent compactes qu'à grande profondeur. Le site présente en outre le désavantage que des graves épaisses rencontrées sur une partie du site disparaissent latéralement sur l'autre.

## ■ PHASES D'EXÉCUTION DU PIEU ATLAS

Son expérience du terrain et son savoir-faire en tous types de fondations a permis à Franki Fondation de proposer et mettre en œuvre un procédé qui satisfait à toutes ces contraintes : le pieu vissé moulé Atlas (photo 1 et figure 1).

Le mode opératoire consiste dans le refoulement du sol par un mouvement de rotation associé à un enfoncement d'un outil creux, muni à sa base d'une pointe perdue. Lorsque la profondeur requise est atteinte, le béton est introduit par l'âme creuse et occupe, par injection gravitaire, le vide libéré par le dévissage de cet outil.

Cette méthodologie unique confère au pieu une géométrie caractéristique de "pieu en hélice", prise en compte dans un dimensionnement spécifique reconnu par un cahier des charges agréé par les bureaux de contrôle.

Le refoulement du sol conduit à l'absence de déblais de forage, tout au plus retrouve-t-on la terre



Photo 1  
Tête de pieu dégagée.  
On voit nettement l'hélice  
qui s'enroule autour du fût

*Cleared pile head.  
The screw around the shaft  
can be clearly seen*



qui se colle parfois sur les outils. Il est mené de façon "statique" (par opposition au refoulement dynamique des pieux battus). Il n'y a donc aucune vibration transmise au sol. De plus, les machines étant modernes, elles sont prévues insonorisées, ce qui en fait le procédé idéal pour le travail en zone urbaine (photo 2).

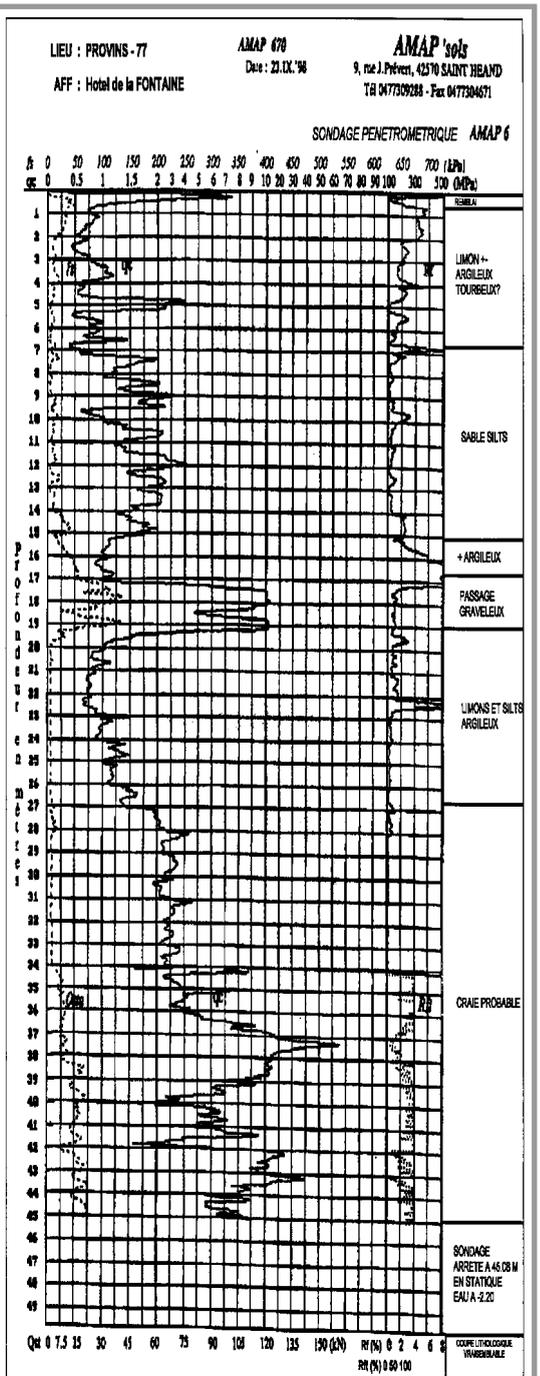
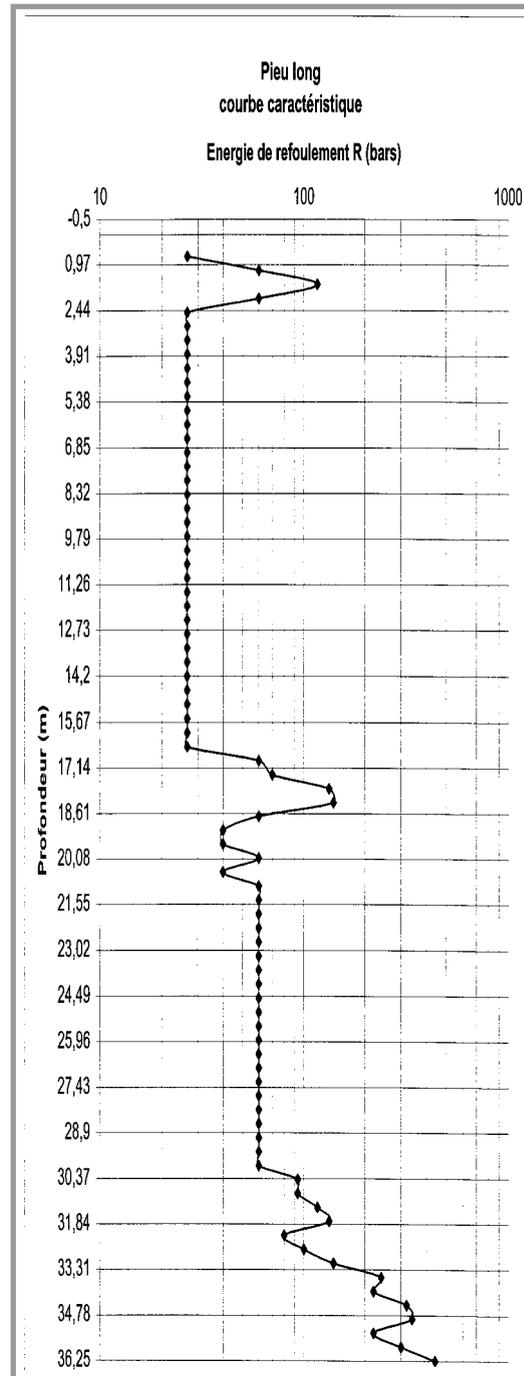
Par ailleurs, la mesure de la résistance au refoulement (que nous appelons énergie de vissage) permet de se corrélérer avec les sondages préalables. Il est en particulier possible de vérifier ainsi que la couche d'ancrage (en l'occurrence les graves) est atteinte et présente la compacité escomptée. Cela permet d'adapter la longueur de chaque pieu aux conditions ponctuelles du sol.

Enfin, le site présentait des conditions assez exceptionnelles :

- ◆ d'une part, le calcul donnait pour les pieux les plus profonds une fiche de plus de 30 mètres, mais pour les pieux "courts" une fiche de "seulement" 17-18 mètres ;

- ◆ d'autre part, l'expérience des terrains compressibles faisait craindre des surconsommations supérieures à 50 % (à noter qu'en pieux forés les surconsommations sont encore plus importantes). Aussi, des dispositions particulières qui ont démontré leur efficacité à travers la réalisation d'un pieu d'essai de 36 mètres ont été mises en place. Pour valider son dimensionnement, des essais complémentaires – des pénétromètres statiques jus-

**Courbes caractéristiques des sondages**  
*Characteristic boring curbs*



**LES PRINCIPALES QUANTITÉS**

- 87 pieux Ø 36 à 56 tous armés
- Longueurs comprises entre 16,90 m et 36,25 m
- Linéaire total : 1963 m
- Volume total de béton : 606 m<sup>3</sup>

**LES PRINCIPAUX INTERVENANTS**

**Maitre d'ouvrage**  
Indivision Robillard et Frym

**Maitre d'œuvre**  
M. Leclerc

**Bureau de contrôle**  
Socotec

**Entreprise générale**  
Batiteg

**Lot fondations spéciales**  
Franki Fondation

qu'à la profondeur de 45 mètres –, ont été réalisés. La délimitation des zones "courtes" et "profondes" a ensuite été affinée par des vissages à blanc, dont le seul objectif fut la reconnaissance du banc de graves en épaisseur et compacité.

## ■ CONCLUSION

Ce chantier hors norme est la parfaite illustration des qualités nécessaires au métier des fondations spéciales :

- ◆ maîtrise des procédés, tant au point de vue de l'exécution que de la conception et du dimensionnement ;
- ◆ imagination, pour choisir dans la palette toujours plus large des techniques le procédé le plus adapté et participer à la mise au point technique de l'ensemble du projet ;
- ◆ faculté d'adaptation, pour toujours mieux répondre aux problèmes propres à chaque projet et à chaque coupe de sol.

**Photo 2**  
**Pieu en cours de vissage.**  
**On observe l'absence totale de déblais**  
**Pile during screwing. The total absence**  
**of cuttings is noted**



## ABSTRACT

### The foundations of the Hotel de la Fontaine in Provins

J.-P. Volcke

The particularly difficult project of the Hotel de la Fontaine in Provins (difficult access, unfavourable geology, etc.) enabled Franki Foundation to propose and implement a process meeting all these constraints : the Atlas screwed-cast pile. The procedure consists in upsetting the soil by a rotary movement associated with the sinking of a hollow tool equipped at its base with a disposable point. When the required depth has been reached, the concrete is introduced through the hollow core and, by gravity injection, fills in the void left by the unscrewing of this tool.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Die Fundamente des Fontaine-Stadthauses in Provins

J.-P. Volcke

Für die sehr schwierigen Bauarbeiten am Fontaine-Stadthaus in Provins (beschränkte Zugangsmöglichkeiten, ungünstige Geologie usw.) hat Franki Fondation ein alle Vorgaben erfüllendes Verfahren angeboten und eingesetzt : der Schraub-Guß-Pfahl Atlas. Hierbei wird der Untergrund in einer Drehbewegung zurückgedrängt, wobei gleichzeitig ein Hohlwerkzeug mit einer im Erdreich verbleibenden Spitze eingetrieben wird. Wenn die erforderliche Tiefe erreicht ist, wird der Beton durch den hohlen Kern eingespritzt und füllt schwerkraftmäßig den durch das Heraus-schrauben des Werkzeugs gebildeten freien Raum aus.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Los cimientos del hotel de la Fontaine, en Provins

J.-P. Volcke

Las obras particularmente delicadas del hotel de la Fontaine de Provins (dificultades de acceso, geología desfavorable, etc.) han permitido a Franki Fondation proponer y poner en aplicación un procedimiento que cumpla con todos estos imperativos : el pilote de rosca moldeado Atlas. El método ope-

ratorio consiste en la hinca en el suelo mediante un movimiento de rotación combinado con una penetración de una herramienta hueca, provista en su base de una punta perdida. Una vez que se ha alcanzado la profundidad requerida, se introduce el hormigón por la parte hueca y ocupa, por inyección gravitatoria, el vacío liberado al desenroscar dicha herramienta.

Situé 23/25 avenue Matignon, en plein cœur de Paris, dans un quartier d'affaires prestigieux, ce projet concerne la réhabilitation d'un ensemble de bâtiments, délimitant deux cours. Cet ensemble va subir une restructuration lourde qui mettra en valeur l'architecture du lieu et permettra d'offrir aux nouveaux usagers, des bureaux de grand confort dans des espaces intérieurs de qualité conformes aux normes actuelles.

Photo 1  
Hôtel  
de la Vaupalière  
  
Hotel  
de la Vaupalière



nouveaux usagers, des bureaux de grand confort dans des espaces intérieurs de qualité conformes aux normes actuelles.

Le nouveau siège social d'Axa Assurance-Vie, sera constitué d'un bâtiment central et de deux ailes. Le bâtiment central, l'Hôtel de la Vaupalière, est un bâtiment en pierre de taille datant du XVIII<sup>e</sup> siècle classé à l'inventaire des Monuments Historiques (photo 1). Le projet de réhabilitation de ce dernier tout comme la construction des deux ailes a été conçu par l'architecte Riccardo Bofill.

L'hôtel de la Vaupalière a été repris une première fois en sous-œuvre en 1967 lorsque six niveaux de parking furent réalisés. Le bâtiment actuel repose depuis lors, sur un réseau de poutres en béton armé de 1,96 m de hauteur, lui-même s'appuyant sur une série de huit poteaux profondés.

### Description du projet général

Le projet global comporte un ensemble de trois bâtiments répartis en 12 600 m<sup>2</sup> en infrastructure sur six sous-sols et 5 000 m<sup>2</sup> en superstructure sur quatre niveaux.

En superstructure, le projet général prévoit la réhabilitation de l'Hôtel de la Vaupalière et la construc-

## ■ PRÉSENTATION DU PROJET

### Description de l'existant

Situé 23/25 avenue Matignon, en plein cœur de Paris, dans un quartier d'affaires prestigieux, ce projet concerne la réhabilitation d'un ensemble de bâtiments, délimitant deux cours. Cet ensemble va subir une restructuration lourde qui mettra en valeur l'architecture du lieu et permettra d'offrir aux

tion de deux ailes entourant une cour intérieure qui constitueront les nouveaux espaces de bureaux. En sous-sol, il est prévu la création d'une salle polyvalente de 450 personnes, l'aménagement de plusieurs salles de réunion, la création de locaux techniques et de stockage ainsi que la transformation d'une zone existante de parking en cuisine et salons de réception. Enfin, aux étages inférieurs, la mise en place de locaux techniques et le réaménagement de 238 places de parking sont planifiés.

### Description de la reprise en sous-œuvre

La création d'une salle polyvalente de 450 personnes sous l'Hôtel de la Vaupalière nécessite l'élimination de deux des huit poteaux qui supportent le bâtiment. VSL a proposé une solution de reprise des efforts des poteaux effectuée par la création de deux poutres en béton précontraint et par le renforcement par précontrainte extérieure d'une poutre existante en béton armé.

## ■ CONCEPTION DE LA REPRISE EN SOUS-ŒUVRE

### Principe de la solution

#### Description des solutions techniques initiales

Plusieurs techniques ont été envisagées pour répondre au problème de la suppression des deux poteaux :

- ◆ la reprise des efforts par des poutres en béton armé : technique rejetée car elle ne respectait pas les contraintes de déformée à long terme. En effet, les calculs ont montré que cette solution n'était pas envisageable du fait de la retombée des poutres limitée à 1,96 m et des flèches à long terme définies par le maître d'œuvre ;

- ◆ une autre solution consistait à réaliser des poutres en béton armé vérinées afin que la déformée instantanée des poutres soit reprise par le vérinage. Cette solution très technique n'a pu aboutir du fait du système de poutraison existant. En effet, l'enchèvement avec la nouvelle poutre de reprise, ne permettait pas de vérinage différentiel entre les poutres existantes et les futures poutres de reprise ;

- ◆ autre technique proposée mais rejetée pour des problèmes de mise en œuvre : les poutres métal-



Photos Jérôme Pont-Senac

## classé avenue Matignon

liques. En effet, celles-ci ne pouvaient pas être installées sous les poteaux à démolir sans l'utilisation d'étalement au droit des poteaux à éliminer.

### Contraintes liées au projet

Les solutions techniques admissibles furent limitées par les contraintes liées au projet qui étaient de deux ordres : contraintes de calculs (limitation de flèches) et contraintes de construction (délai, encombrement).

#### Contraintes de calcul

Les contraintes de calcul aux états limites de service sont très strictes. En particulier, les déformées à court et long terme ont été très sensiblement limitées. Cette contrainte sur la limitation des flèches était justifiée car les murs de façade du bâtiment qui reposent sur les poutres ne peuvent tolérer que des déformations minimales.

Une autre contrainte de calcul était la compatibilité du système de poutres existantes avec le nouveau système de poutres de reprise. En particulier, il a fallu analyser le système de poutres existantes afin de bien prendre en compte la répartition des efforts. Une attention toute particulière devait être portée sur les effets secondaires dus à l'élimination des poteaux porteurs.

#### Contrainte de construction

La réhabilitation de l'Hôtel de la Vaupalière a dû être exécutée dans des délais extrêmement tendus.

Autre contrainte importante du projet : l'exiguïté des lieux accrue par le précieux maintien en l'état des murs et plafonds de ce prestigieux bâtiment. Enfin, l'entrepreneur général, Bouygues Ouvrage Fonctionnel, a demandé d'éviter de mettre l'hôtel particulier sur étalement pendant la construction des poutres précontraintes.

### La solution retenue (figure 1)

Elle est constituée de deux poutres précontraintes de 1,96 m de retombée et d'une largeur variante de 1,25 m à 1,95 m. Afin de pouvoir satisfaire à toutes contraintes – délai, conception et mise en œuvre – les études et l'exécution ont été menées en étroite collaboration avec Bouygues et Scyna 4.

### Dimensionnement général

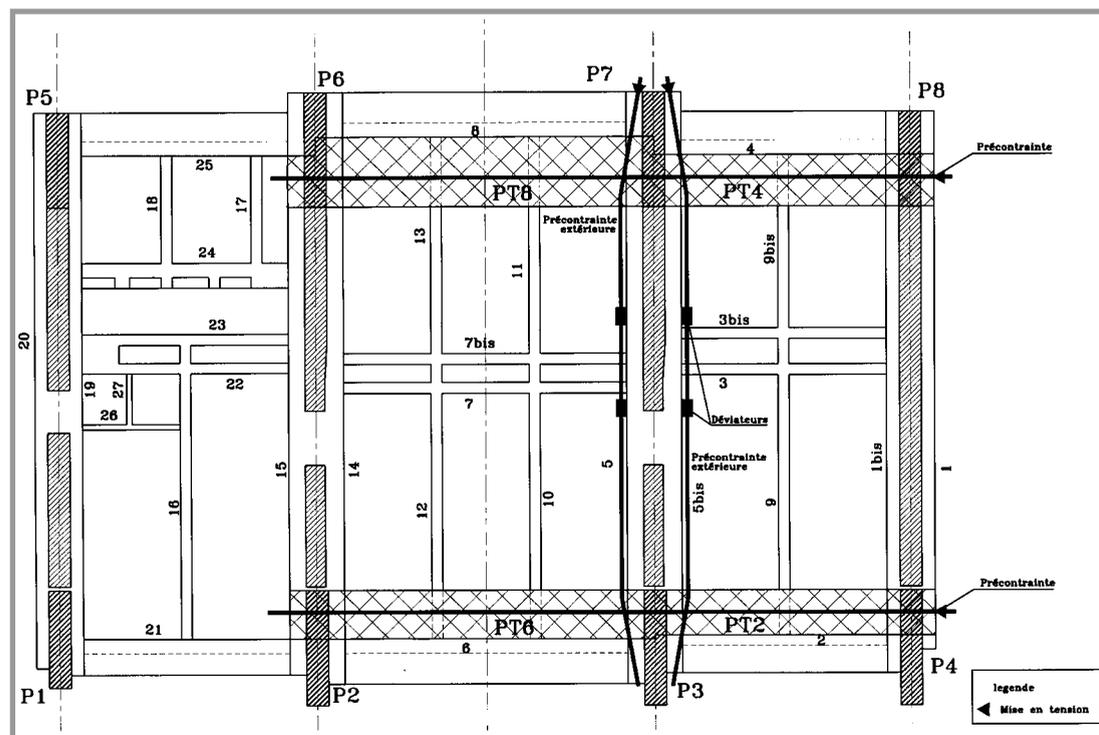
Le dimensionnement général de la reprise en sous-œuvre de la précontrainte a été effectuée par le centre technique VSL. Les études générales ont

été menées en Suisse en utilisant les règles du BPEL. Les études de détails ont été faites en France, ainsi que la coordination avec les autres intervenants.

Le challenge technique sur ce projet était double : d'une part, il s'agissait de reprendre en sous-œuvre – pour la seconde fois – un bâtiment classé, ce qui impliquait une technique de calcul très poussée. D'autre part, les descentes de charges ne pouvaient pas être modifiées pendant les phases de construction. Les poteaux porteurs, en particulier ne devaient pas être enlevés avant d'avoir réalisé les nouvelles poutres précontraintes.

**Figure 1**  
Plan général des poutres existantes et du nouveau système de poutres précontraintes

General plan of existing beams and new system of pre-stressed beams



### Analyse en 3D

L'analyse de la structure est décomposée en deux parties : l'existant et la nouvelle reprise en sous-œuvre. VSL n'était pas en possession des notes de calcul d'origine, mais les plans ont pu être récupérés. La structure étant hautement hyperstatique, tout l'existant a été remodelé de façon à bien le comprendre et l'appréhender. Ce n'est qu'une fois cette étude achevée qu'une solution de reprise en sous-œuvre a pu être proposée. L'analyse a été faite par une modélisation aux éléments finis à l'aide du logiciel STATIK. Ce logiciel développé à l'origine par VSL est un logiciel de calcul aux éléments finis permettant de prendre en compte la

**Photo 2**  
**Carottage des poutres existantes pour passage des câbles précontraints**  
*Coring of existing beams for the passing of prestressing cables*



**Photo 3**  
**Tracé des câbles de précontrainte**  
*Trace of prestressing cables*



**Photo 4**  
**Déviateur en structure mixte acier-béton**  
*Deviator in composite steel-concrete structure*



précontrainte. Ce programme a permis aux ingénieurs VSL d'analyser l'influence de la précontrainte sur le système existant. Cependant, cette seule analyse aux éléments finis ne suffisait pas. En effet, la structure de reprise

des efforts existants étant en béton, une redistribution des moments sur les poutres existantes demeurerait possible.

### **Problème de modélisation**

Modéliser le système de reprise en sous-œuvre existant est très complexe. Il requiert une bonne compréhension de la structure pour faire les bonnes hypothèses de modélisation et notamment celles des connexions entre les poutres.

Les liaisons entre les poutres précontraintes et les poutres existantes ont été particulièrement difficiles à modéliser (figure 1).

Le réel problème est lié au comportement du béton : une bonne modélisation demande de vérifier les capacités de reprise des efforts dans les connexions.

Pour reprendre l'exemple délicat de la connexion entre les poutres précontraintes neuves, et les poutres 9 et 9 bis on observe que le ferrailage existant est capable de reprendre les efforts sans pondération, donc il faut modéliser la connexion comme une connexion encastree. Or si nous utilisons les coefficients de sécurité du BAEL ou BPEL sur les charges, les aciers passifs de transfert des moments dans les poutres 9 et 9 bis ne sont plus suffisants. Il faut donc aussi modéliser la connexion comme une connexion transmettant uniquement les efforts tranchants. On ne peut pas se limiter au second type de modélisation car celle-ci n'est pas forcément plus critique pour le calcul. Dans ce cas précis VSL a modélisé les deux types de connexions, et pris les courbes enveloppes pour le dimensionnement des poutres précontraintes.

D'autres problèmes comme la distribution des efforts dans les poutres existantes en béton armé sont apparus par exemple en étudiant la bipoutre en béton armé 5 et 5 bis. Cette bipoutre repose sur deux appuis P3 et P7 qui devaient être éliminés. L'analyse du ferrailage a permis de considérer la poutre comme étant encastree sur ses deux appuis. Les armatures principales existantes sont donc disposées en partie supérieure de la poutre, aux deux extrémités, et non en partie inférieure, à mi-portée. La modélisation qui consistait à encastree la bipoutre dans la poutre précontrainte donnait des efforts acceptables dans la bipoutre.

La poutre précontrainte pouvait, de plus, être dimensionnée pour reprendre les efforts de l'encastrement de la bipoutre en effort de torsion. Bien que correct ce schéma de transfert des efforts – bipoutre, encastrement, torsion dans poutre BP, encastrement en torsion des poutres BP sur appuis – n'a pu être accepté. En effet, la déformation à long terme des poutres précontraintes sous la torsion ne permettait pas de prendre en considération l'encastrement bipoutre. Suite à cette modélisation, considérant que la bipoutre n'était pas encastree dans la poutre précontrainte, cette dernière a été renforcée par précontrainte additionnelle.

### Dimensionnement des poutres précontraintes

Une fois la modélisation réalisée, le dimensionnement des poutres précontraintes a respecté le BPEL 91. Dans ce cadre, le critère de déformée à court et à long terme est particulièrement important. L'objectif visait une déformation nulle sous les charges réelles à "t = 0".

Le réel problème sur ce projet, était la prise en compte des contraintes de construction et de phasage. En effet, les poutres précontraintes devaient passer à travers les poteaux existants pour ne pas mettre le bâtiment sur étaie. L'entreprise Bouygues OF s'est donc chargée des carottages (photo 2) dans les poteaux et les poutres précontraintes afin de faire passer les câbles de précontrainte et les armatures passives. Dès lors, le tracé de câblage de la précontrainte ainsi que la réalisation des plans d'armatures passives s'en sont trouvés sérieusement compliqués (photo 3).

### Dimensionnement du renforcement des poutres existantes

Plusieurs possibilités de dimensionnement du renforcement ont été envisagées : renforcement en matériaux composite VSL, renforcement par plat collé ou renforcement par précontrainte additionnelle. C'est cette dernière solution qui fut adoptée sans difficulté car les efforts à reprendre n'admettaient pas d'autres alternatives.

Le dimensionnement a montré que deux câbles 6-19 (19T15) étaient nécessaires pour reprendre le déficit d'armatures passives en travée de la bipoutre 5 et 5 bis.

Les zones d'ancrage de la précontrainte additionnelle et le transfert des forces de compression dans les poutres existantes ont fait l'objet d'une attention toute particulière. Enfin, un déviateur de structure mixte béton-acier a été introduit au centre des câbles 6-19 (photo 4).

## ■ MISE EN ŒUVRE

### Conditions de travail

La reprise en sous-œuvre pour ce qui est du béton et des aciers passifs a été réalisée par l'entreprise Bouygues. VSL pour sa part, s'est chargée de la mise en place de la précontrainte. Malgré les difficultés (carottage dans les poutres existantes pour Bouygues, par exemple), les délais imposés ont été tenus grâce à l'étroite collaboration des deux équipes.

L'exiguïté des lieux a rendu les conditions de travail sur site particulièrement éprouvantes. Par exemple, il a fallu démolir, sur place, la dalle existante sur toute la partie en contact avec les deux nouvelles poutres précontraintes (photo 5). De plus, pour limiter les interventions dans l'hôtel, une gran-

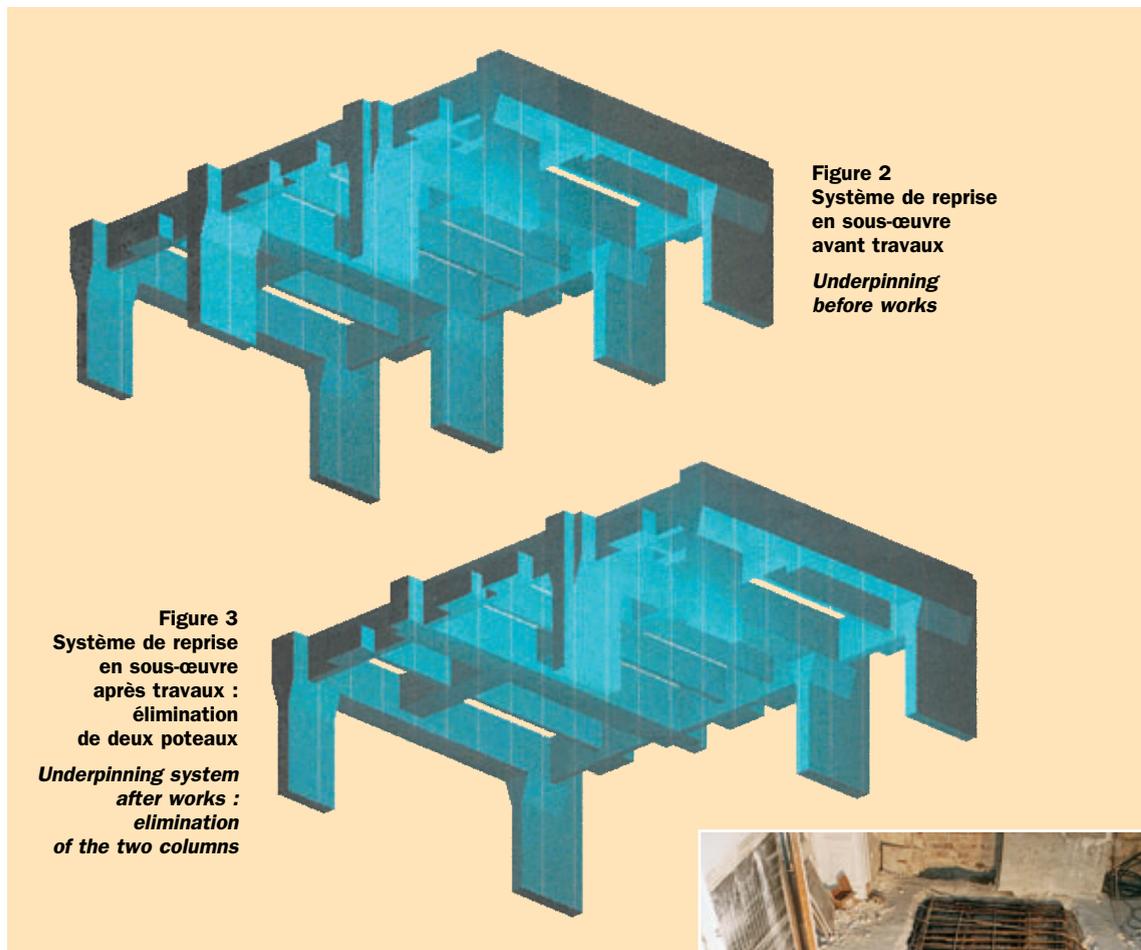


Figure 2  
Système de reprise en sous-œuvre avant travaux  
*Underpinning before works*

Figure 3  
Système de reprise en sous-œuvre après travaux : élimination de deux poteaux  
*Underpinning system after works : elimination of the two columns*

Photo 5  
Découpage de la dalle existante avec conservation des aciers passifs

*Break-up of the existing slab to conserve the passive reinforcement*



Photo 6  
Exiguïté des travaux  
*Narrow worksite*

de partie du ferrailage fut mis en place par dessous (photo 6).

### Phasage des travaux (figures 2 et 3)

Une attention toute particulière a été portée au phasage des travaux en relation très étroites avec les contraintes de calcul. Une vérification des efforts s'est faite pour toutes les phases importantes du projet. Défini par VSL ce phasage ne peut être décrit en détail mais on en retiendra les grandes lignes.

Le principe général consiste en une mise en tension progressive de la précontrainte des poutres



neuves, entraînant simultanément une diminution de la charge des poteaux porteurs. Ceci a été rendu possible par une réduction progressive de la capacité des poteaux par sciage. C'est l'équipe Travaux de Bouygues qui a réalisé cette délicate opération. La mise en tension des câbles de précontrainte extérieure fut tout aussi critique et un système de contrôle des efforts dans chaque vérin a permis de garantir une mise en tension symétrique de la bipoutre 5 et 5 bis.

## ■ CONCLUSION

Trois points importants sont à retenir de ce projet :

- ◆ pour ce type de travaux les études sont prépondérantes et il est extrêmement difficile d'en appréhender la globalité dès le début de l'affaire ;
- ◆ la précontrainte est un excellent moyen pour faire un transfert de charge sans déformation ;
- ◆ seule une entreprise spécialisée dans les méthodes et calculs de reprise en sous-œuvre peut mener à bien ce type de travaux complexes.

Ce chantier est un succès technique pour VSL car nous avons obtenu une déformation instantanée inférieure aux 5°/cm sur les poutres précontraintes neuves.

Le coût global des études de réalisation ainsi que celui de la précontrainte est de l'ordre de 1 million de francs.

## ABSTRACT

**The new headquarters of the company Axa in Paris VIII Underpinning of the scheduled building on Avenue Matignon**

*M. Botbol*

Located at 23/25 Avenue Matignon in the heart of Paris, in a prestigious business district, the new headquarters of Axa Assurance is undergoing rehabilitation.

The central building, Hotel de la Vaupalière, dates back to the XVIII century and is listed in the inventory of Historical Monuments. An initial underpinning operation in 1967 placed the hotel on eight pre-founded columns. The creation of a new multi-purpose hall for 450 people in the basement called for the elimination of two of the eight load-bearing columns.

VSL proposed and implemented an underpinning solution consisting in creating two pre-stressed-concrete beams and reinforcement by external prestressing of an existing reinforced-concrete beam.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

**Der neue Firmensitz der Versicherungsgesellschaft Axa in Paris, 8. Arrondissement Arbeiten an der Gründung des unter Denkmalschutz stehenden Gebäudes der Avenue Matignon**

*M. Botbol*

Die Nummer 23/25 der Avenue Matignon in einem berühmten Geschäftsviertel im Herzen von Paris wird der neue Sitz der Versicherungsgesellschaft Axa Assurance derzeit saniert. Das aus dem 18. Jahrhundert stammende zentrale Gebäude, das Hôtel de la Vaupalière, steht als historisches Monument unter Denkmalschutz. 1967 war es bei ersten Arbeiten an der Gründung bereits auf acht Pfeiler gestellt worden. Da ein Mehrzwecksaal mit Platz für 450 Personen im Untergeschoß geschaffen werden soll, müssen zwei dieser acht tragenden Pfeiler demontiert werden. VSL hat eine Lösung für die Gründungsarbeiten angeboten und ausgeführt, die darin besteht, zwei Pfeiler

aus Spannbeton neu zu bauen und einen Stahlbetonpfeiler durch externe Vorspannung zu verstärken.

## RESUMEN ESPAÑOL

**El nuevo domicilio social de la Compagnie Axa en París octavo distrito Recalce de los cimientos del edificio declarado de interés artístico en avenida Matignon**

*M. Botbol*

Ubicado 23/25 de la avenida Matignon, en pleno centro de París, en un barrio de negocios de gran prestigio, el nuevo domicilio de Axa Assurance se encuentra en fase de rehabilitación. El edificio central, el palacio de la Vaupalière, se remonta al siglo XVIII y figura clasificado de interés artístico en el inventario de los Monumentos históricos. Un primer recalce de los cimientos efectuado en 1967 a permitido soportar el palacio sobre ocho pilares precimentados. La creación de una nueva sala polivalente para 450 personas en sótano ha precisado la eliminación de dos de los ocho pilares de carga. VSL ha propuesto y sucesivamente puesto en aplicación una solución de recalce de los cimientos que consiste en crear dos vigas de hormigón pretensado y reforzar por pretensado exterior una viga ya existente de hormigón armado.



# Les travaux de fondations du Palais de Justice de Grenoble

L'article présente les travaux du lot Fondations nécessaires aux travaux d'infrastructure du Palais de Justice de Grenoble. Ces travaux ont la particularité d'intégrer la mise en œuvre d'un béton immergé comme fond "étanche" provisoire de la fouille sous nappe, de s'inscrire dans un site hydraulique complexe et d'avoir été confrontés à des difficultés de tenue des ancrages verticaux vibro-battus, en traction.

## ■ PRÉSENTATION DU PROJET

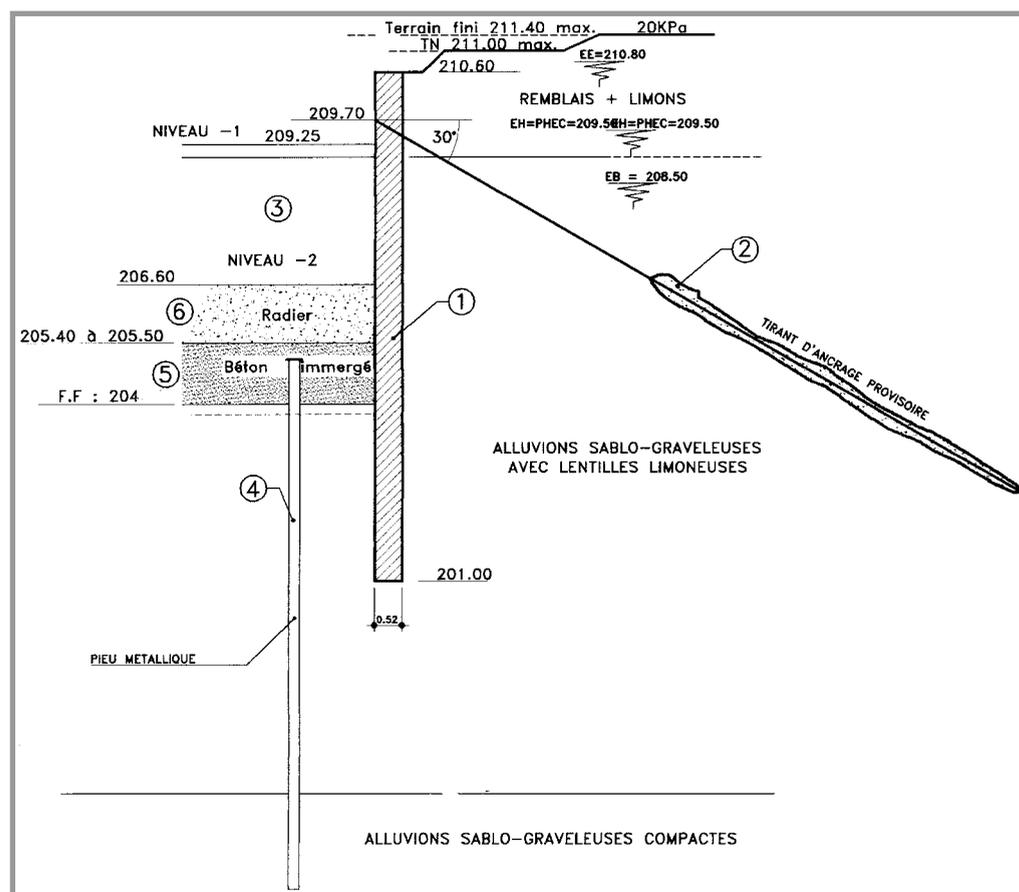
Dans le cadre d'un programme pluriannuel et face aux besoins d'extension et de regroupement des juridictions de Grenoble, le ministère de la Justice a choisi de construire un nouveau Palais de Justice sur le site d'Europole. Le terrain retenu d'une superficie de 7 133 m<sup>2</sup>, situé entre la rue Pierre Sénard, la rue de l'Arménie et la future coulée verte, permettra l'édification d'un bâtiment de près de 24 000 m<sup>2</sup> de surface hors œuvre nette comprenant en sous-sol un parking de 314 places.

Le ministère de la Justice a retenu, après concours de maîtrise d'œuvre, le projet de l'architecte Claude Vasconi. L'appel d'offres a été lancé en corps d'état séparés et Intrafor a été retenu, en solution de base conforme, pour le lot n° 1 "Fondations Spéciales". Ce lot comprend la réalisation, en infrastructure, d'une "boîte" cuvelée comprenant le radier définitif de l'ouvrage; les parois moulées constituant les quatre côtés de l'ouvrage ont également un caractère définitif.

L'équipe de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre qui avait présenté en solution de base, deux options pour la réalisation du fond provisoire de la "boîte", a finalement opté pour la mise en œuvre d'un béton immergé ancré au dépens de la solution plus traditionnelle en France d'un fond injecté, et c'est là, la première originalité de cette opération de fondations spéciales. La seconde singularité aura été constituée par la découverte, en cours de travaux, d'un comportement frottant des alluvions étonnant et d'un système hydraulique complexe.

## ■ LE PHASAGE DES TRAVAUX

La coupe type de l'ouvrage est représentée à la figure 1. Dans un site alluvionnaire de forte épaisseur, avec une nappe se situant aux environs de la cote 209 NGF (TN à 211,50 NGF) mais susceptible d'atteindre le niveau 211 NGF, il est pro-



**Figure 1**  
**Coupe courante**  
**Cross-section**

céder successivement aux opérations suivantes :

- ◆ exécution de la paroi moulée ①;
- ◆ première phase de terrassement et exécution des tirants ②;
- ◆ terrassement sous eau jusqu'à la cote 204,00 NGF (203,50 NGF au droit des fosses) ③;
- ◆ mise en place des ancrages de traction par vibro-battage de profilés HP 220 équipés d'une tête ④;
- ◆ réalisation du béton immergé ⑤;
- ◆ vidange de la fouille;
- ◆ exécution du radier en béton armé ⑥;
- ◆ cuvelage.

On précisera que préalablement à la mise en pla-

**Photo 1**  
Mise en place  
des ancrages  
de traction

*Placing  
of traction anchors*



**Photo 3**  
Exécution  
des tirants d'ancrage

*Execution  
of anchoring tie-rods*



**Photo 2**  
Paroi moulée en cours d'excavation  
*Diaphragm wall during excavation*

► ce des profilés d'ancrage, un plot d'essai de mise en œuvre de plusieurs unités vibro-battues était prévu pour confirmer les hypothèses de frottement des ancrages de traction (photo 1) et pour valider l'importance des nuisances sonores et vibratoires apportées aux riverains, le battage étant *a priori* proscrit.

## ■ LA GÉOLOGIE ET L'HYDROLOGIE DU SITE

Le terrain est situé à proximité du confluent de l'Isère et du Drac, dans la partie supérieure des dépôts alluviaux du Drac surmontant l'alluvionnement plus fin de l'Isère. Il s'agit de formations sablo-graveleuses, parfois assez grossières, entrecoupées de niveaux décimétriques à métriques de sables fins à très fins, pouvant aller jusqu'à des silts, et de niveaux sablo-limoneux identifiés sur le site dans les 15 mètres supérieurs du terrain.

Le substratum rocheux des calcaires et autres roches sédimentaires n'a pas été rencontré par la reconnaissance de sol qui a atteint la profondeur de 35 mètres.

Ainsi, en dessous des remblais superficiels (de 0 à 2 mètres) comprenant des blocs provenant des occupants précédents, on trouve donc jusqu'à 22 mètres de profondeur des graves sableuses (qc de 10 à 90 MPa et PI de 1,8 à plus de 2,5 MPa) surmontant des sablons très homogènes (qc de 15 à 20 MPa). Des zones de limons ou de sable limo-

neux, imaginées à l'étude, présentes en lentilles discontinues, ont été identifiées (elles seront définies, au niveau du site, comme plus proches d'un niveau continu au vu d'une campagne pénétrométrique et hydraulique complémentaire réalisée durant les travaux). En matière de frottement le rapport de sol d'origine préconisait un qs de 80 kPa. Sur le plan hydraulique un certain nombre de piézomètres ont mis en évidence une forte pente de la nappe (5 à 7 ‰) se dirigeant vers l'Isère. Il s'en suit une dénivellée de 0,6 à 0,7 m entre le sud et le nord du projet. Un essai de pompage dans la couche des graves sableuses avait conclu, au stade de la reconnaissance initiale, à une perméabilité de  $1.10^{-3}$  m/s et à une transmissivité de l'ordre de 700 m<sup>2</sup>/h. En réalité les mesures faites sur l'ensemble de la fouille associées à la lecture et à l'interprétation d'un dispositif de cellules de la pression interstitielle mettront en évidence une transmissivité de 70 m<sup>2</sup>/h, et, par conséquent pour une perméabilité horizontale de 10<sup>-3</sup> m/s, à une anisotropie moyenne équivalente de l'ordre de 50 à 80. Enfin l'étude hydraulique complémentaire lancée pendant les travaux avec les conseils du bureau d'études, Mecasol, devait mettre en évidence au droit du projet, pendant la période de mesure (fin 1998 - début 1999), la présence de trois "niveaux" de circulation hydraulique : un écoulement superficiel tel qu'explicité plus haut, un écoulement profond dans les sablons homogènes, avec une pente d'écoulement sensiblement identique à celle de la nappe supérieure mais en charge par rapport à celle-ci, et

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée : 4 900 m<sup>2</sup> épaisseur 0,60 m
- Tirants d'ancrage : 114 unités de 60 t
- Fondations par barrettes : 4 unités
- Terrassement : 45 000 m<sup>3</sup>
- Pieux HP : 1 010 unités
- Béton immergé : 10 000 m<sup>3</sup>
- Radier de l'ouvrage : 7 710 m<sup>3</sup>
- Cuvelage : 11 600 m<sup>2</sup>

enfin un écoulement dans l'horizon intermédiaire de pente sensiblement plus faible (voire opposée) et de charge hydraulique inférieure aux écoulements profonds et superficiels.

## ■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

Les travaux de paroi moulée et de barrettes (photo 2) ont été exécutés au moyen de deux ateliers constitués chacun par une grue de forage Linkbelt LS 180 et d'une grue de manutention. Ils se sont déroulés sur une période de cinq semaines et ont précédé la mise en place des tirants exécutés eux par une foreuse de type Haussher (durée sept semaines) (photo 3).

La première phase de terrassement (12 000 m<sup>3</sup>), hors d'eau, a été conduite à l'aide d'une pelle Caterpillar 330 B. La seconde phase de ces terrassements (33 000 m<sup>3</sup>), sous eau, a été conduite par la pelle précédemment nommée et par une pelle Liebherr à bras long (15 mètres), cette dernière procédant au réglage du fond de fouille. La découverte de terrains pollués imposa à cette phase de terrassement qu'elle se fasse en deux étapes pour permettre la mise en évidence de l'étendue de la pollution et son traitement par stockage, triage et évacuation des terres souillées.

Parallèlement au démarrage de la paroi moulée, il était procédé aux essais de pieux sur une série de six unités vibro-fonçées. Les résultats de cette première campagne, traduits en terme de courbe effort-déformation, surprenaient par le faible et aléatoire effort de traction mesuré (cf. § "Le comportement des ancrages à l'arrachement") et conduisaient à une deuxième campagne d'essais. Celle-ci était menée en modifiant un certain nombre de paramètres (longueur, mode de mise en œuvre (par battage), injection à l'avancement, injection après mise en place), en équipant deux des pieux de jauges de déformation et en essayant de mettre en évidence un éventuel effet de groupe. Après analyse, trois solutions furent imaginées :

- ◆ densification des tirants ;
- ◆ prétension ;
- ◆ injection.

Après un dernier test en situation réelle (après terrassement), c'est une combinaison des trois solutions qui fut retenue : léger resserrage du maillage (2,80 x 2,80), prétension systématique et injections dans les zones les plus critiques.

Ainsi 1 000 pieux ont été vibro-battus puis prétendus. Leur longueur est de 12 m à l'exception de 25 % d'entre eux qui ont une profondeur de 18 m, 20 % de ces 1 000 unités sont injectés.

Il a ensuite été procédé à la réalisation du béton immergé (voir § "Réalisation du béton immergé") avec préalablement à cette phase, mise en place de cellules de pression interstitielles sous le futur béton immergé, pour mesurer et suivre, dans la si-



**Photo 4**  
**Coulage**  
**du béton immergé**  
*Pouring*  
*of immersed concrete*

tuation hydraulique complexe déjà évoquée, la pression exacte agissant sous le radier.

Préalablement à la vidange, des boules de "tassement" utilisées dans ce cas précis en soulèvement ont été mises en place pour suivre les mouvements du béton immergé au fur et à mesure de sa vidange. Celle-ci s'est passée sans problème particulier et a permis la réalisation de la dernière étape, l'exécution du radier béton. L'épaisseur de celui-ci est de 1,10 m et il intègre un ensemble de canalisations et de réseaux. Il est coulé en 23 plots d'environ 350 m<sup>3</sup> avec intercalation d'un certain nombre de lacunes pour permettre le retrait en évitant un ferrailage conséquent (estimé à 200 kg/m<sup>3</sup> avant mise en œuvre des lacunes).

## ■ RÉALISATION DU BÉTON IMMERGÉ

Comme il a été indiqué au niveau de la présentation du projet, une des originalités de celui-ci en terme de fondations consistait à exécuter le "fond" provisoire de la boîte, non pas par injection, comme c'est généralement le cas, non pas par pompage (le rejet des eaux en égout ou par réalimentation de la nappe était strictement limité), mais au moyen d'un béton immergé (photo 4). Celui-ci, d'une surface de 7 000 m<sup>2</sup>, a été exécuté non par cantons comme initialement prévu mais en une seule phase sans interruption du coulage. Cette proposition acceptée par le maître d'œuvre a eu pour intérêt de réduire le délai et de garantir un travail de meilleure qualité. Préalablement au coulage, deux opérations ont été nécessaires : d'abord traiter de façon spécifique les deux fosses d'ascenseur, procéder ensuite au nettoyage du fond de fouille et à son dévasage.

Le coulage du béton (près de 10 000 m<sup>3</sup>) spécifiquement adjuvanté a été exécuté au moyen de deux pompes à béton alimentant un Dobber (photo 5)



**Photo 5**  
**Le Dobber au travail**  
*The Dobber at work*

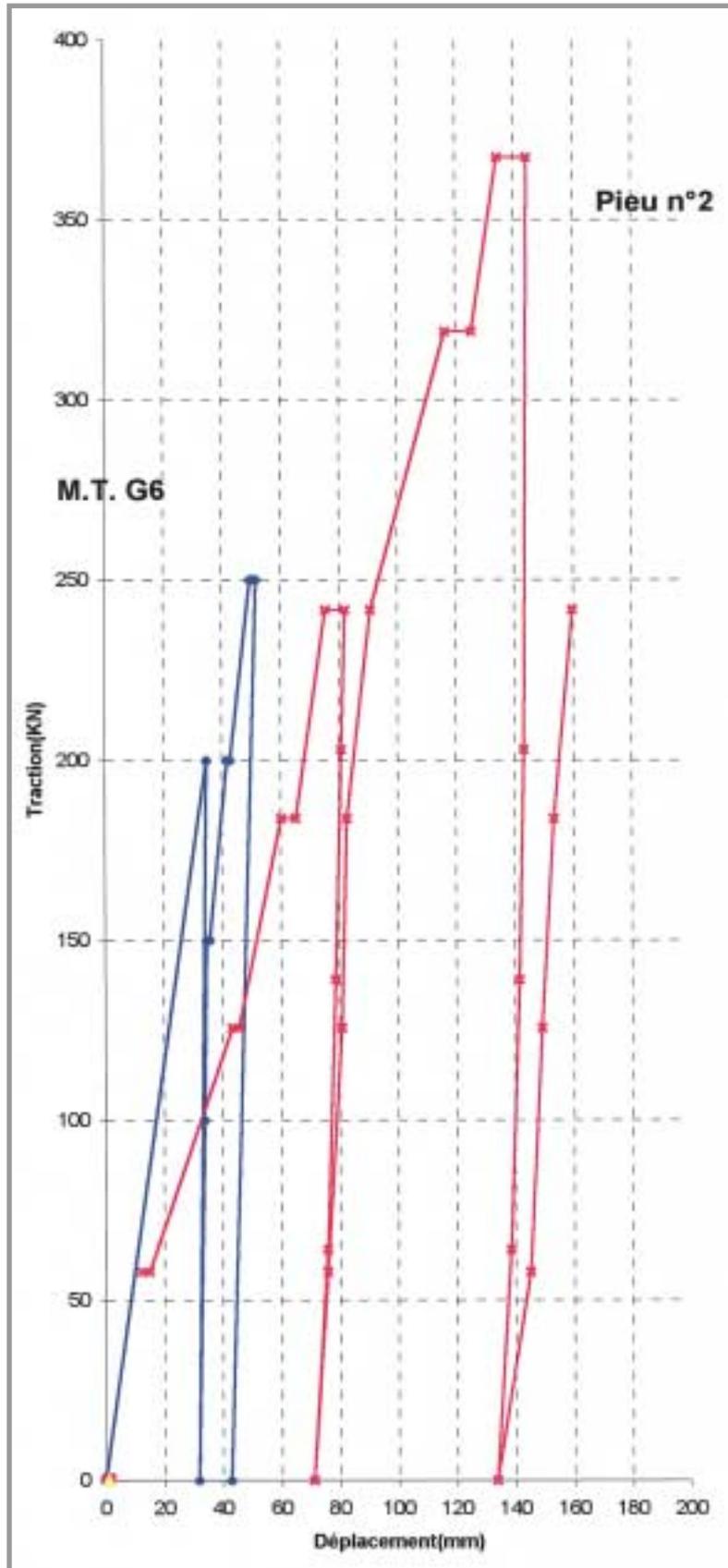


Figure 2  
Courbe  
effort-déformation  
Stress-strain  
curve

pour exécuter ce travail particulièrement délicat en période hivernale.

Après vidange le débit était d'environ 140 m<sup>3</sup>/h et a conduit, compte tenu d'un débit contractuel (obligation de résultat) de 100 m<sup>3</sup>/h, à l'injection au moyen de résines aquaréactives de deux fissures principales. Après injection le débit a été ramené à 40 m<sup>3</sup>/h.

La fouille achevée, après coulage du béton immergé et avant coulage du radier définitif est visible sur la photo 6.

### LE COMPORTEMENT DES ANCRAGES À L'ARRACHEMENT

Ce fut la deuxième particularité de cette opération. A titre d'exemple, la courbe effort-déformation (figure 2) de deux des pieux d'essai (pieux n° 2 et 66) montre le problème auquel le chantier s'est trouvé confronté : des valeurs dispersées et inhabituelles de déplacement pour des efforts de traction relativement modestes ( $q_s$  moyen = 20 kPa). Les valeurs rencontrées lors de la toute première campagne d'essais avaient été considérées comme improbables et imputées aux difficultés d'exécution des essais. Confirmées et précisées dans leur aspect aléatoire par le test de six unités au début du chantier, elles conduisirent à une double démarche : adapter le projet à cet aspect inattendu dans ce type de terrain et essayer de comprendre le phénomène pour assurer une totale pérennité à la stabilité du béton immergé, élément clé dans la réussite de l'ensemble des travaux, combien même cette phase n'est-elle que provisoire.

Une deuxième série d'essais de six autres pieux associant une campagne pénétrométrique puis une troisième série exécutée après terrassement permirent de mieux appréhender la fourchette des résultats potentiels, d'apprécier la relative régularité de la raideur de l'ancrage après une première mise en charge, de déterminer l'étendue des phénomènes de fluage et enfin de mettre en évidence la seule influence positive de l'injection par rapport à toutes les autres méthodes testées.

Après analyse et synthèse, la solution pré-tension fut retenue offrant l'énorme avantage de tester tous les ancrages et de pouvoir adapter au mieux les compléments nécessaires au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Elle fut en effet associée à un resserrage du maillage, minimisé essentiellement par crainte de difficultés ultérieures dans la mise en œuvre du béton immergé et à l'injection dans les zones les plus critiques (injection systématique écartée pour des questions de coût).

Quant à la démarche de recherche de la compréhension du phénomène, elle est à ce jour inaboutie et l'on reste dans le domaine des hypothèses :

▶ sans interruption, en quatre jours, soit à une cadence moyenne de 110 m<sup>3</sup>/h. Pour éviter toute rupture d'alimentation, trois centrales de préparation de béton prêt à l'emploi ont été utilisées, deux centrales de secours étant éventuellement prêtes à intervenir. L'entreprise Pellegrims a utilisé deux barges

- ◆ présence de bancs de graves assez grossiers pour conduire à créer un vide partiel le long de l'âme du profilé ;
- ◆ lubrification due à la présence de limons ou peu vraisemblablement liée à la pollution ;
- ◆ gradient hydraulique ascendant (mise en évidence notamment par des profils de polarisation spontanée) ;
- ◆ présence dans la composition minéralogique de particules s'intercalant entre les grains et réduisant considérablement le frottement entre ceux-ci (analyses en cours) ;
- ◆ ou... combinaison de plusieurs de ces causes !



**Photo 6**  
 La vidange est achevée. L'exécution du radier définitif peut commencer  
*Drainage has been completed. The execution of the final foundation floor can begin*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maitre d'ouvrage**

Ministère de la Justice

### **Conducteur d'opération**

DDE de l'Isère

### **Maitre d'œuvre**

Architectes Claude Vasconi (mandataire)  
 et André Izoard

### **BET structures**

Betrec

### **Bureau de contrôle**

CEP

## ABSTRACT

### Foundation works for the Palais de Justice in Grenoble

*Ch. Besson*

The article presents the work on the Foundation section required for the infrastructure of the Palais de Justice (Law Court) of Grenoble. These works were distinguished by the use of immersed concrete as a temporary "waterproof" bottom during the excavation in groundwater, by being located in a complex hydraulic site and having been confronted with difficulties relative to the resistance of vibration-driven vertical anchors under traction.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Gründungsarbeiten am Justizpalast von Grenoble

*Ch. Besson*

Der vorliegende Artikel beschreibt die Arbeiten des im Rahmen der Infrastrukturmaßnahmen am Grenobler Justizpalast vergebenen Gründungslozes. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß hier als provisorische "dichte" Sohle der Baugrube unterhalb des Grundwasserspiegels auch Beton eingesetzt wird, daß die Baustelle vom hydraulischen Standpunkt her hochkomplex ist und daß bei den vibrationstechnisch eingestampften senkrechten Verankerungen Haltbarkeitsprobleme aufgetreten sind.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Los trabajos de cimentación del Palacio de Justicia de Grenoble

*Ch. Besson*

Se presentan en este artículo los trabajos del lote Cimientos necesarios para las obras de infraestructura del Palacio de Justicia de Grenoble. Estas obras presentan la particularidad de integrar la aplicación de un hormigón sumergido como fondo de "impermeabilización" provisional de la zanja bajo el nivel freático, y asimismo situarse en un emplazamiento hidráulico complejo y haber sido preciso vencer las dificultades de comportamiento de los anclajes verticales vibrohincados, en tracción.

# Plus de huit kilomètres de le site du Grand Littoral

La construction d'un centre commercial Leroy Merlin sur le site du Grand Littoral à Marseille, a nécessité la réalisation de fondations profondes.

Pour s'affranchir de l'hétérogénéité des 40 ml de remblais de couverture et venir ancrer les fondations dans le substratum marneux à des profondeurs allant jusqu'à 55,00 ml, Sefi a mis au point la technique du pieu autoforé à l'air et réalise sur ce chantier 8 200 ml de pieu.

Sur un site dominant la rade de Marseille et dans l'enceinte du centre commercial Grand Littoral, la construction d'un centre commercial Leroy Merlin vient compléter l'aménagement du site des anciennes tuileries de Marseille. Ce nouveau complexe offrira aux Marseillais une surface de 9 550 m<sup>2</sup> dédiée au bricolage ainsi qu'une galerie commerciale de 3 800 m<sup>2</sup> pour une surface de parking de 16 000 m<sup>2</sup>.

## ■ UNE TECHNIQUE APPROPRIÉE AU SITE FONDATION PAR PIEUX AUTOFORÉS À L'AIR

Le principe de fondation retenu par la maîtrise d'œuvre a été la solution technique proposée par la société Sefi (groupe Fayat/Menard).

Pour déjouer les pièges d'un terrain très hétérogène Sefi a appliqué une technique nouvelle dans le domaine des fondations, celle du pieu autoforé à l'air. Cette dernière a permis de s'affranchir de l'hétérogénéité des 35 à 40 m de remblais de couverture pour venir ancrer les fondations dans le substratum à des profondeurs allant jusqu'à 55,00 ml.

## ■ CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

Les deux campagnes de reconnaissance réalisées en 1994 et 1997 ont fait ressortir la succession de couches suivantes :

- ◆ de 0 à 33 ml, matériaux de remblai hétérogène avec passages de blocs voire d'embrochements ;
- ◆ de 33 à 41 ml, argiles rougeâtres ;
- ◆ au-delà de 41 ml, marnes grises du Stampien.

Si cette coupe matérialise les natures de sol du site, il est à souligner que le toit des marnes du Stampien restait très variable dans l'emprise du projet.

En raison d'un relief très caractéristique, le terrain ne comporte pas de nappe franche, mais le pendage reste toutefois le siège de circulations erratiques, sensibles à la pluviométrie.

Afin de vérifier les caractéristiques de sol, deux essais de chargement ont été nécessaires.

Le pieu d'essai M1 a été réalisé suivant une méthode d'injection dont les séquences de mise en œuvre sont décrites ci-après.

## ■ UNE TECHNIQUE DE SCELLEMENT BREVETÉE (IGU SEFI™)

### Phase 1 : forage

La hauteur d'ancrage ayant été définie par les enregistrements de paramètres de forage préalables, l'armature tubulaire est équipée d'un sac obturateur positionné juste au-dessus du toit de la zone d'ancrage.

Le tube est percé de trois trous de Ø 10 mm en

Plate-forme remblayée du site du Grand Littoral  
*Backfilled platform of the Grand Littoral site*



Forage de pieux autoforés à l'air en talus jusqu'à 55 m  
*Open-air self-bored piles on slope down to 55 m*





# pieux autoforés à l'air sur à Marseille

partie haute de l'ancrage (50 cm sous le sac obturateur) et de trois trous  $\varnothing$  10 mm en partie basse de l'ancrage (50 cm au-dessus du tricône).

Le gonflage du sac obturateur (à l'aide d'un coulis de ciment) permettra d'éviter la remontée de coulis dans la zone des remblais et ainsi de minimiser les effets éventuels du frottement négatif sur le fût du pieu métallique.

## Phase 2 : coulis de remplissage

Après séchage du coulis dans le sac obturateur le remplissage gravitaire de l'espace annulaire de la zone d'ancrage ainsi que le remplissage gravitaire de l'intérieur du tube métallique est réalisé en positionnant un obturateur hydraulique, de diamètre adéquat, à mi-hauteur entre les percages supérieurs et inférieurs jusqu'à résurgence d'un coulis propre en tête de forage.

Le coulis utilisé est dosé à  $1200 \text{ kg/m}^3$  de ciment CPA CEM 52,5 PM (C/E = 2).

## Phase 3 : injection haute pression

L'obturateur est déplacé au droit du passage supérieur. L'injection avec le même coulis est réalisée à une pression d'environ 30 à 50 bars.

De cette façon, la base du pieu au niveau de l'ancrage est parfaitement scellée au terrain. Le règlement DTU 13.2 permet dans ces conditions d'utiliser les coefficients de frottement latéral et de pointe des micropieux de type 4.

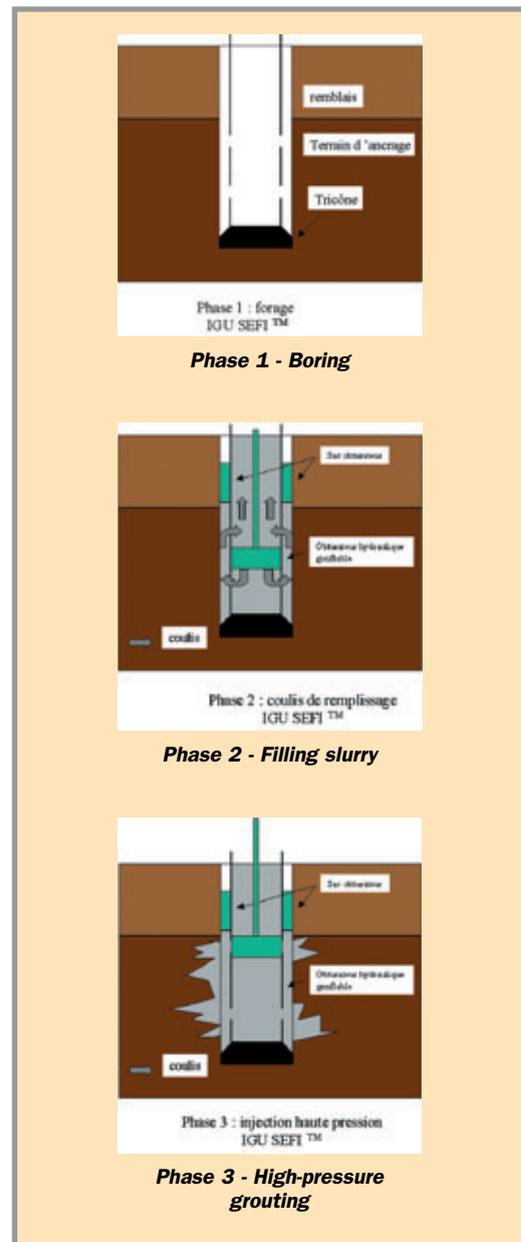
Sefi a confié au LCPC et au bureau Agisco le soin de réaliser les essais de chargement.

Un tube acier  $\varnothing$  40,4/48,3 positionné à l'intérieur de l'armature du pieu constitué d'un tube en acier N 80 épaisseur 12,7 mm, a permis de disposer des extensomètres.

## ■ MATÉRIELS DE MESURE ET D'ESSAI

Le dispositif de réaction, conçu et installé par Sefi est constitué par un chevêtre métallique permettant de mobiliser 5 MN de réaction. Les charges d'épreuve ont été appliquées à l'aide d'un ensemble constitué :

- ◆ d'une pompe électrique type Paul couplée à une pompe à main Enerpac, débit 6 l/mn à 300 bars, équipée d'un manomètre 0 - 600 bar ;
- ◆ d'un vérin Freyssinet K-350 N de section  $490 \text{ cm}^2$  et 250 mm de course.

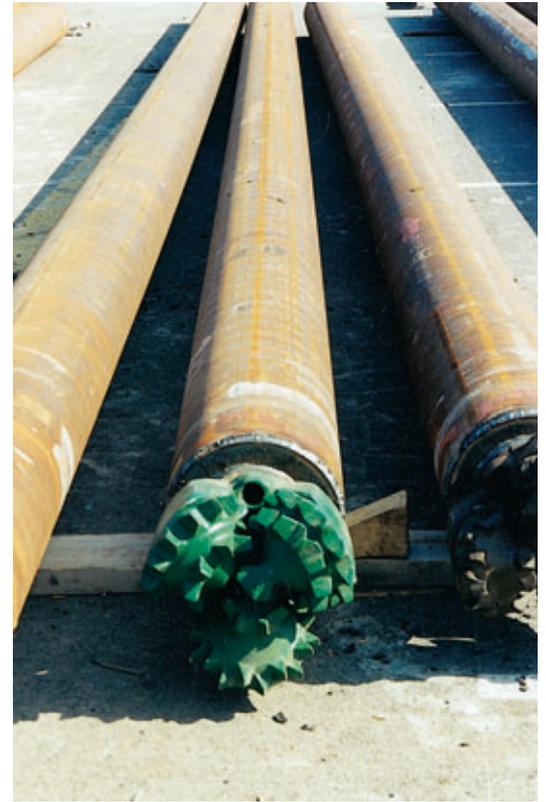
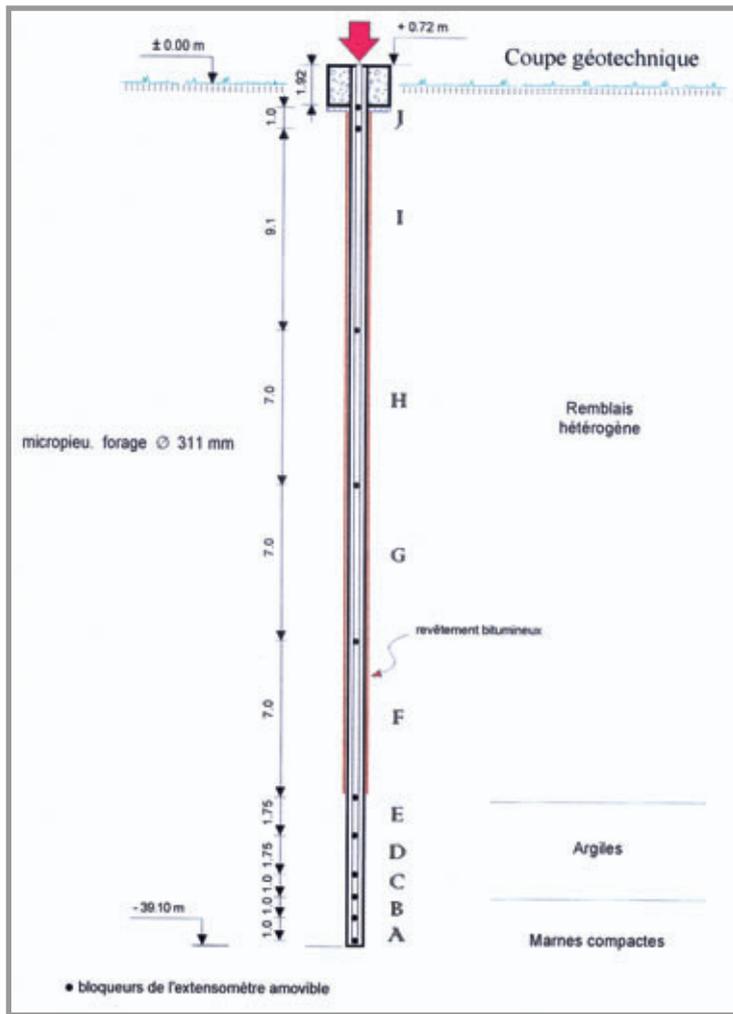


Concernant les matériels de mesure, préalablement étalonnés par Agisco, Sefi a utilisé :

- ◆ un peson annulaire à jauges LCPC/Agisco de 2 MN, pour le contrôle des charges ;
- ◆ deux comparateurs à fil PSI-Tronix au  $1/10^{\text{e}}$  mm (course 1000 mm) ;
- ◆ deux comparateurs Kyowa au  $1/100^{\text{e}}$  mm (course 50 mm), montés sur bases de référence réputées fixes, pour la mesure des enfoncements de la tête du pieu ;
- ◆ un chapelet d'extensomètres amovibles à bloqueurs miniaturisés  $\varnothing$  36 mm, délimitant dix tron-

**Micropieu d'essai.  
Dispositif des bloqueurs  
de l'extensomètre**

**Test micropile.  
Extensometer  
logging device**



**Equipement tubulaire  
et de forage perdu  
(tricône de diamètre 380)**

**Tubular equipment  
and disposable boring  
(380-mm diameter tricône bit)**

**Essai  
de chargement  
sur pieu**

**Loading test  
on pile**



► çons de mesure, et disposés au soin du fût, pour la mesure des raccourcissements unitaires  $\Delta 1/1$ . La réalisation de pieux battus traditionnels dérogeait aux contraintes imposées par les pièces du marché et les DTU (nuisances sonores à proximité du centre commercial, battage de tube en acier N 80, etc.). De ce fait, pour répondre aux exigences imposées par les pièces écrites d'une part et pour s'assurer

de traverser les différentes couches de terrain du site, l'entreprise a mis au point la technique du pieu autoforé à l'air.

Cette méthode a permis de s'affranchir des couches de remblais récents constitués de matériaux argileux compacts sur une épaisseur de 25,00 ml mais surtout, des couches de remblais anciens venant recouvrir une ancienne décharge et rencontrés à des profondeurs allant jusqu'à 35,00 ml et dans lesquelles il a fallu traverser des matériaux de toutes sortes : bois, métal, acier, matelas, voire carrosserie de voiture...

Malgré les difficultés de forage sur ce type de terrain, il a néanmoins été possible, grâce à la méthode proposée, de reporter les charges en profondeur pour assurer l'ancrage des pieux dans les couches argileuses et marneuses du substratum jusqu'à des profondeurs de 55,00 ml.

## ■ ADAPTATION DU MATÉRIEL AU CHANTIER

La mise en œuvre a nécessité une préparation et une adaptation du matériel pour réaliser le chantier dans les meilleures conditions. Il fallait en ef-

fet que le matériel de forage réponde aux trois critères suivants :

- ◆ vitesse de rotation élevée (optimisation du rendement de l'outil de forage) ;
- ◆ possibilité de poussée sur l'outil (traversée des couches dures) ;
- ◆ débit d'air important (évacuation des *cuttings*).

Le travail de préparation des ingénieurs et techniciens du service matériel de Sefi a permis après modification des moteurs hydrauliques de trois foreuses de pieux traditionnelles (Llamada, Soilmec, Liebherr) de passer d'une vitesse habituelle de 17 tours/minute à une vitesse de 50 tours/minute. Le débit d'air était assuré par le couplage de deux compresseurs de 25 000 l à 25 bars par foreuse. Les équipements étaient complétés par une grue de manutention nécessaire à la mise en place des tubes rabotés par soudure et par une centrale d'injection de coulis de ciment.

## ■ 8 200 MÈTRES DE PIEUX AUTOFORÉS

Pour assurer la réalisation de fondations profondes, 184 pieux représentant un linéaire de 8 200 ml de forage et reprenant chacun des charges nominales (ULS) allant de 1,3 à 3,72 (MN) ont été nécessaires. Chaque pieu autoforé était équipé d'un tricône perdu de diamètre 311 ou 380 mm soudé sur le tube de base, les tubes étant rabotés par soudure en éléments de 12,00 m.

Pour compenser les frottements négatifs, la longueur de tube traversant les remblais était revêtue d'une couche de bitume évitant ainsi l'adhérence entre le terrain et l'équipement du pieu.

Pour ce chantier, Sefi a confirmé que l'évolution des techniques dans le domaine des fondations passe systématiquement par l'innovation et une adaptation spécifique du matériel.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maitre d'ouvrage**

Trema/SNC Grand Littoral

#### **Maitre d'œuvre**

Delta Ingeniering

#### **Architecte**

Renaud Tarrazi

#### **Bureau d'études**

BET Garnier

#### **Bureau de contrôle**

Socotec

#### **Entreprise de fondations spéciales**

Sefi - Agence de Vitrolles

### ABSTRACT

**More than eight kilometres of open-air self-bored piles of the Grand Littoral site in Marseilles**

*R. Massat*

**The construction of a Leroy Merlin shopping centre at the Grand Littoral site in Marseilles required the provision of deep foundations.**

**To deal with the heterogeneity of the 40 m of cover fill and anchor the foundations in the marly substratum at depths down to 55,00 m, Sefi developed the technique of the open-air self-bored pile and used 8,200 ml of piling on this project.**

### DEUTSCHES KURZREFERAT

**Mehr als acht Kilometer pneumatisch selbstgebohrte Pfähle auf der Baustelle des Grand Littoral in Marseille**

*R. Massat*

**Für die Errichtung eines Einkaufszentrums von Leroy Merlin am Standort des Grand Littoral in Marseille waren Tiefgründungen erforderlich.**

**Um die Heterogenität der 40 Linear-meter Deckaufschüttung zu bewältigen und die Gründung in bis zu 55,00 Linear-meter Tiefe in einer mergelhaltigen Unterschicht zu verankern, hat Sefi die Technik des pneumatisch selbstgebohrten Pfahls entwickelt und im Rahmen dieser Baumaßnahme 8.200 Linear-meter Pfähle realisiert.**

### RESUMEN ESPAÑOL

**Más de ocho kilómetros de pilotes autopercorados al aire en el emplazamiento del Gran Litoral de Marsella**

*R. Massat*

**La construcción de un centro comercial Leroy Merlin en el emplazamiento del Gran Litoral de Marsella, ha precisado la ejecución de cimientos profundos.**

**Para salvar las dificultades derivadas de la heterogeneidad de los 40 ml de materiales de relleno de cubierta y proceder al anclaje de los cimientos en el substrato margoso, a profundidades que han alcanzado hasta 55,00 ml, Sefi**

**ha desarrollado la técnica del pilote autopercorado al aire y ejecutado en esta obra 8 200 metros lineales de pilotes.**

# Les fondations du viaduc

## Conception et contrôle

Remarquable à plus d'un titre, tant sur le plan architectural que de la conception structurale mais aussi de la réalisation, le viaduc du Scardon a déjà fait l'objet de publications auxquelles on se reportera pour ce qui concerne les points cités.

Le présent article se propose de traiter plus en détails des problèmes des fondations. Et cela parce qu'un environnement et un contexte géotechnique particuliers ont conduit à adopter une technique de pieux assez inhabituelle pour un ouvrage de cet importance, et à réaliser une campagne d'essais préalables et de contrôles relativement conséquente dont on rapporte l'essentiel des résultats.

On rappellera que le viaduc du Scardon [1], d'une longueur de 1022 m et reposant sur 22 appuis, devait franchir une vallée comportant trois zones caractéristiques :

- ◆ les flancs nord (côté Boulogne) et sud (côté Amiens);
- ◆ la partie du fond de la vallée traversant l'étang de l'Hermitage sur quelque 150 m;
- ◆ le fond de la vallée hors étang mais qui comporte deux petits cours d'eau, le Scardon et la Drucat, et par endroit des pièces d'eau réservées à la pisciculture.

Alors que les flancs sud et nord de la vallée sont constitués par des craies altérées puis franches recouvertes de limons, le profil du fond de vallée est plus complexe. S'il comprend toujours les li-

mons de couverture, ceux-ci recouvrent une forte épaisseur de dépôts tourbeux sous lesquels on trouve des graves qui peuvent être parfois très denses, puis les craies dont le toit est très altéré. En fond de vallée donc, ces dernières ne deviennent vraiment plus denses qu'à partir de 25 m environ de profondeur. Il faut noter aussi que les craies en flancs de vallée sont hors nappe, alors que celles en fond de vallée sont noyées.

### ■ LA CONCEPTION DES FONDATIONS

La différenciation du profil géotechnique le long du tracé, caractérisé surtout par la présence de sols très compressibles sur la moitié du tracé, mais aussi de matériaux considérés problématiques comme la craie altérée noyée, ont conduit à fonder la majorité des piles sur pieux. Seules les culées C.0 et C.21 et la pile P 1, ont été mises sur semelles superficielles.

Deux types de pieux ont tout d'abord été considérés : forés et battus. On en vint très rapidement à ne retenir que des pieux uniquement battus, constitués par des tubes ou des profilés H. Ce premier choix effectué, l'analyse des descentes de charges et la géométrie de la base de la pile ont conduit à envisager un total de 25 à 35 pieux par appui, capables de reprendre chacun 1.14 MN aux E.L.S Q-P (quasi-permanent), et 2.14 MN aux E.L.U F (fondamental).

Pour des raisons de protection d'une zone de captage proche, il a été envisagé au niveau de l'étude d'avant-projet, de fonder les appuis P 2 à P 6 sur tubes acier fermés Ø 508 mm, les appuis restants étant mis sur profilés H enrobés, du type de ceux utilisés à Gauchy en 1994. La transposition de ce type de pieu au viaduc du Scardon a été décidée en raison des qualités qu'il avait démontré sur le site de la station d'épuration de Gauchy, où la présence de craies altérées sous nappe artésienne avait obligé à imaginer une solution de fondation adaptée [2]. Le principe général de construction de ce type de pieu, mis au point à Gauchy par le LCPC et l'entreprise Durmeyer, est schématisé sur la figure 1.

Après déviation de la zone de captage et une étude plus approfondie des conditions hydrogéologiques de la zone concernée, la maîtrise d'œuvre a conclu qu'il n'était pas nécessaire d'imposer des tubes Ø 508 mm dans la zone des piles P 2 à P 6. Il fut décidé de fonder la totalité de l'ouvrage sur

Photo 1  
Vibrofonçage d'un profilé en fond de vallée avec gaine perdue. Pile P 12

Vibration sinking of an H-section at bottom of valley with disposable duct. Pier P 12



Photo 2  
Vue des pieux non gainés après leur exécution. Cas de la pile P 20

View of piles without ducts after their execution. Case of pier P 20



# du Scardon

Appui (n°)	Semelle ou pieu	Pieux par appui	Fiche dans le sol (m)	Gaine (m)	Charge E.L.S Q-P* (E.L.U F)** (MN)
C.O, C.21, P.1	semelle H (310×310×79)	- 32	- 8	-	- 1.44 (2.14)
P.2, P.3	H (310×310×79)	32	13 à 14	-	1.44 (2.14)
P.4 à P.6	H (310×310×79)	32	16 à 17.5	7	1.44 (2.14)
P.7 à P.9 (étang)	H (305×110)	32	14.5 à 20	7 à 11	1.44 (2.14)
P.10 à P.17	H (310×310×79)	32	13.5 à 14 17.5 à 22	7 à 11	1.44 (2.14)
P.18 à P.20	H (310×310×79)	32	8 à 13	-	1.44 (2.14)

\* E.L.S Q-P ou Etat Limite de Service *quasi-permanent*  
 \*\* E.L.U F ou Etat Limite Ultime *fondamental*

un même type de pieu, à savoir des profilés H enrobés. A quelques adaptations près, on s'en est tenu à la procédure de construction illustrée par la figure 1. Dans le cas des pieux à flancs de vallée, on a finalement adopté des profilés H, toujours vibrofoncés et enrobés mais sans gaine perdue.

Le tableau I synthétise les caractéristiques des pieux finalement mis en œuvre pour l'ensemble du viaduc.

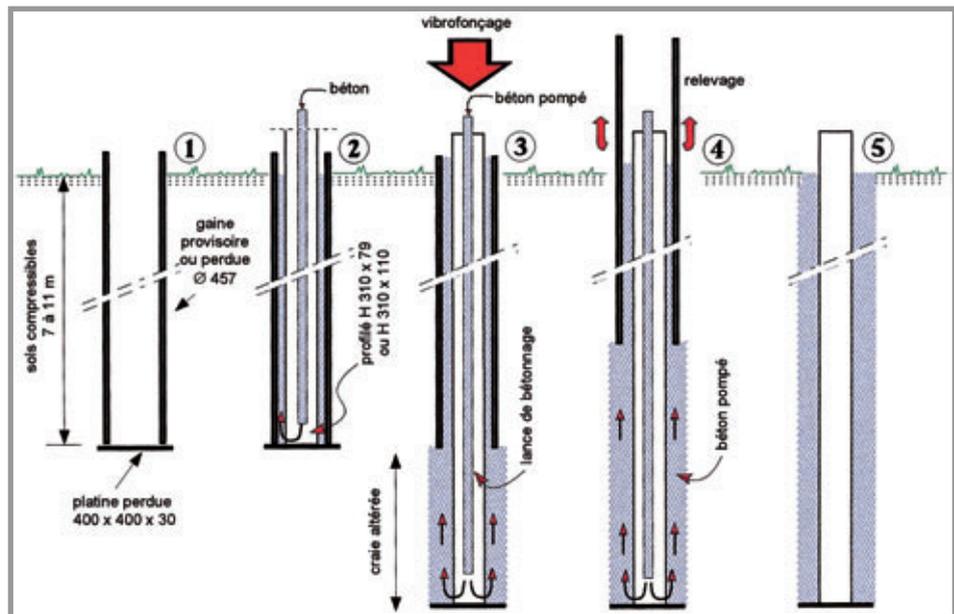
Les photos 1 et 2 montrent deux séquences caractéristiques de la mise en œuvre des pieux sur le site du Scardon.

## LE PROGRAMME D'ESSAIS

La médiocrité et la nature des matériaux rencontrés en fond de vallée, fortes épaisseurs de tourbes et craie altérée noyée, et cela à l'aplomb des 15 appuis parmi les plus chargés, ont conduit à valider le dimensionnement des pieux en procédant à des essais de chargement sur pieux réels. Le programme des essais a été le suivant :

- ◆ une première série de trois essais verticaux préalables sur pieux isolés n'appartenant pas à l'ouvrage ;
- ◆ série de huit essais de chargements verticaux à raison d'un essai par appui, mais sur pieu définitif installé au sein du groupe de 32 pieux ;
- ◆ un essai de chargement horizontal sur l'un des pieux définitif, installé également au sein d'un groupe de 32 pieux.

Le programme des essais de chargement est résumé par le tableau II, il précise également l'implantation de ces essais et les caractéristiques des pieux concernés. La figure 2 situe les différents



**Figure 1**  
 Principe d'installation d'un pieu vibrofoncé, avec enrobage simultané du profilé sous pression

- 1 - Vibrofonçage d'une gaine avec sa platine perdue.
- 2 - Mise en place du profilé H avec sa lance et remplissage de la gaine.
- 3 - Vibrofonçage avec bétonnage simultané sous pression.
- 4 - Relevage de la gaine et récupération de la lance d'injection.
- 5 - Exemple de pieu fini sans gaine pour flanc de vallée

**Principle of the installation of a vibration-driven pile, with simultaneous coating of the sectional steel under pressure**

- 1 - Vibration driving of the duct with its disposable tip.
- 2 - Placing of H-section with its lance and filling of duct.
- 3 - Vibration sinking with simultaneous concreting under pressure.
- 4 - Lifting of duct and recovery of grouting lance.
- 5 - Example of finished pile without duct for a valley side

pieux d'essais par rapport au tracé de l'ouvrage. Ce programme de chargement sur pieux a été complété par le contrôle des mouvements des piles lors de la construction du tablier.

### Les essais préalables sur pieux isolés

Ceux-ci, au nombre de trois, ont été réalisés pour confirmer la validité du dimensionnement des pieux vis-à-vis des craies, noyées ou non, mais aussi pour adapter la mise en œuvre des pieux aux conditions du terrain avant de passer à la phase définitive des travaux. On a choisi de travailler sur deux plots distincts et très caractéristiques du contexte géotechnique, c'est-à-dire sur le plot n° 1 installé en

### Michel Bustamante

DOCTEUR INGÉNIEUR  
 LCPC



### Luigi Gianceselli

TECHNICIEN SUPÉRIEUR  
 LCPC



### Jean-Luc Dufresne

DIRECTEUR TECHNIQUE  
 ADJOINT  
 Groupe Razel



**Tableau I**  
 Caractéristiques des pieux installés au droit des appuis concernés  
 Characteristics of piles installed at the location of the supports concerned

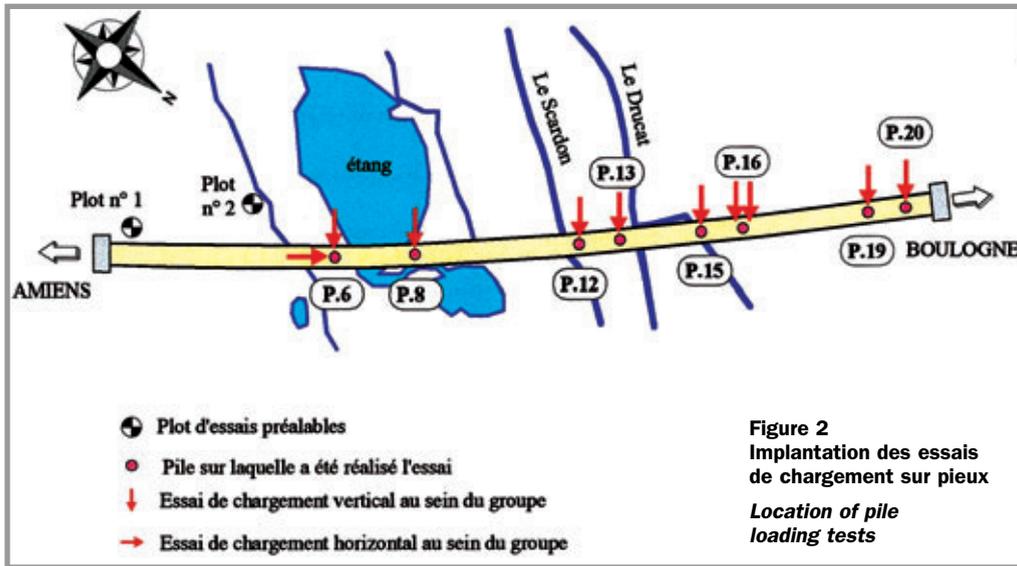


Figure 2  
Implantation des essais  
de chargement sur pieux  
Location of pile  
loading tests

parfaitement représentatifs des sols mis en évidence lors de la première campagne de reconnaissance, réalisée pour reconnaître la totalité du tracé et qui a servi de référence pour dimensionner les fondations de l'ouvrage. La figure 3 montre, à titre indicatif, une synthèse des conditions géotechniques du sous-sol en fond de vallée, au droit du plot n° 2.

Les trois pieux d'essais préalables étaient en tous points semblables aux pieux définitifs choisis pour le viaduc. Ils ont été mis en œuvre à l'aide d'un équipement Fundex F.12-S et d'un vibreur ICE-420. Tous les pieux étaient équipés de deux tubes-logements diamètre 54/60 mm, soudés aux profilés H, et destinés à loger deux trains d'extensomètres amovibles LPC (photo 3).

Dans le cas du pieu tubulaire PT.1, les tubes-logements étaient soudés aux génératrices. Les extensomètres amovibles ont permis de délimiter dix tronçons de mesure sur toute la hauteur des pieux [3].

Le dispositif de réaction commun pour les trois essais, conçu et installé par l'entreprise EMCCF adjudicataire du marché des fondations, est illustré sur la photo 4.

Les chargements ont été réalisés suivant la procédure du LCPC n° 31, c'est-à-dire par paliers croissants de 0.3 MN, d'une durée limitée à 60 minutes [4]. Suite aux mesures, on a établi les relations caractéristiques suivantes :

- ◆ la courbe d'enfoncement de la tête du pieu  $S_0$  et de sa pointe sous la charge  $Q_0$  appliquée en tête, pour chaque palier (figure 4) ;
- ◆ la relation  $S_0$ -log t traduisant l'évolution du fluage pour chaque palier ;
- ◆ la vitesse de fluage sous la charge d'épreuve ;
- ◆ la distribution des efforts le long du fût (figure 5) ;
- ◆ les courbes de mobilisation du frottement latéral unitaire pour chacun des dix tronçons de mesure.

Deux de ces relations caractéristiques sont représentées sur la figure 4 pour les trois pieux, et sur la figure 5 uniquement pour le pieu PH.2. On aura noté qu'en raison des limites du chevron de réaction, la charge limite  $Q_u$  correspondant à 10 % d'enfoncement de la pointe n'a pas été atteinte pour deux pieux, PH.1 et PH.2. Le tableau III récapitule les caractéristiques des pieux et les résultats les plus significatifs : les charges limites réelles ou extrapolées  $Q_u$ , les efforts sous la pointe  $Q_p$  et le frottement total  $Q_s$  sous la charge maximale d'épreuve  $Q_{max}$ , enfin les enfoncements bruts respectifs associés,  $S_{max}$  sous les charges maximale d'épreuve et  $S_{N,ELS}$  correspondant aux E.L.S Q-P du projet.

Au niveau du dimensionnement définitif des profilés H enrobés, on a adopté les valeurs caractéristiques ci-après. Pour le frottement unitaire :

- ◆  $q_s = 0$  le long de la gaine ;
- ◆  $q_s = 50$  kPa pour les craies de  $pl < 1.5$  MPa ;

Pieu	Implantation	Essai	Chargement	Instrumentation	Remarques
PH.1	plot n°1 (Fl.)	préalable	V	extenso. amov.	craie hors nappe, H enrobé béton
PH.2	plot n°2 (Fo.)	préalable	V	extenso. amov.	craie sous nappe, H enrobé mortier
PT.1	plot n°2 (Fo.)	préalable	V	extenso. amov.	craie sous nappe, tube $\phi 507$ mm acier
n°22 n°22	pile n°6 (Fo.)	viaduc	V H	-	craie sous nappe, H enrobé
n°15	pile n°8 (Fo.)	viaduc	V	-	craie sous nappe, H enrobé
n°11	pile n°12 (Fo.)	viaduc	V	-	craie sous nappe, H enrobé
n°15	pile n°13	viaduc	V	-	craie sous nappe, H enrobé
n°22	pile n°15 (Fo.)	viaduc	V	-	craie sous nappe, H enrobé
n°16 n°17	pile n°16 (Fo.)	viaduc	V	-	craie sous nappe, H enrobé
n°18	pile n°19 (Fl.)	viaduc	V	-	craie hors nappe, H enrobé
n°18	pile n°20 (Fl.)	viaduc	V	-	craie hors nappe, H enrobé

Tableau II  
Essais de chargements réalisés sous les différents appuis

Load tests conducted under the different supports

Fl : Flanc de vallée - Fo : Fond de vallée - V : Vertical - H : Horizontal

flanc de vallée avec un seul pieu d'essai PH.1, et sur le plot n° 2 en fond de vallée avec deux pieux, PH.2 et PT.1.

Les deux plots ont fait l'objet d'une reconnaissance particulière, comprenant :

- ◆ 3 sondages pressiométriques réalisés dans l'axe des pieux d'essai ;
  - ◆ 4 sondages de pénétration SPT ;
  - ◆ 2 sondages pénétrométriques statiques Andina.
- L'examen de ces essais complémentaires a bien confirmé que les sols à l'aplomb des plots étaient



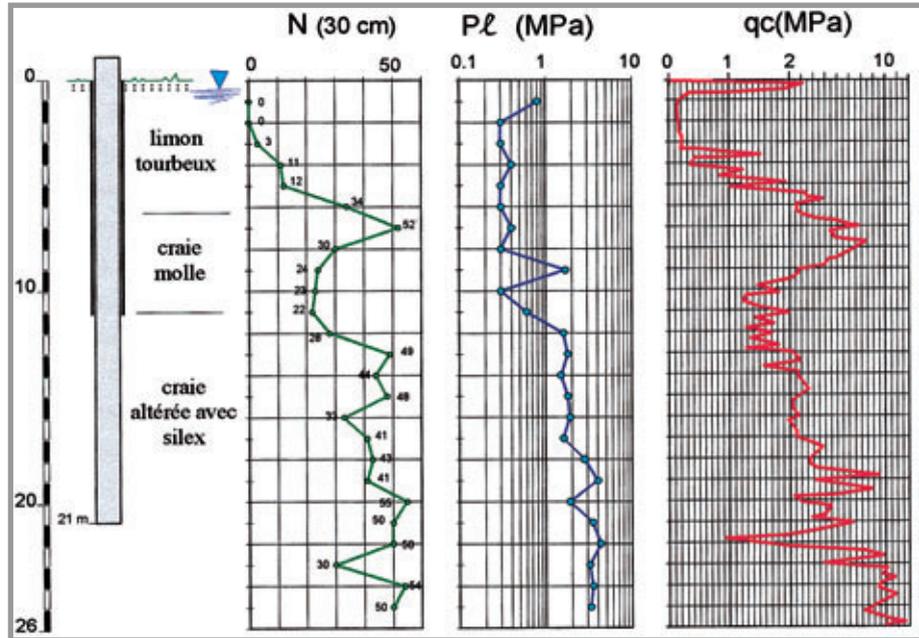
**Photo 3**  
Insertion d'un train d'extensomètre amovible dans le profilé PH.2, avant de procéder à l'essai de chargement  
*Insertion of a removable Extensometer train in the H-section PH.2 before proceeding with load testing*

◆  $q_s = 100 \text{ kPa}$  pour les craies de  $p_l \geq 3.0 \text{ MPa}$  ;  
et  $k_p = 2.2$  pour la pointe dans des craies de  $p_l \geq 3.0 \text{ MPa}$ .

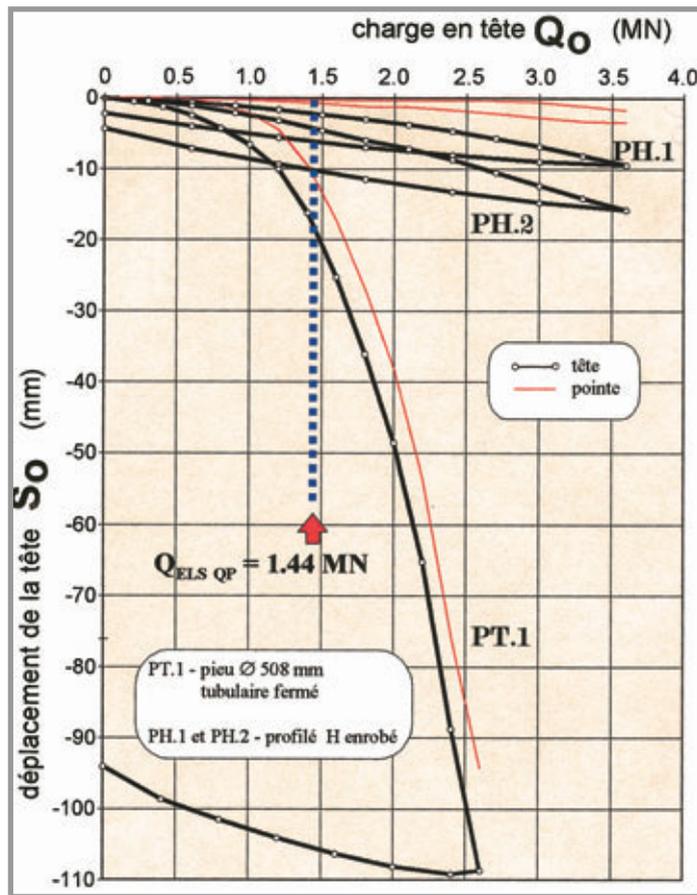
### Les essais sur pieux définitifs implantés au sein du groupe

Ceux-ci ont donc été réalisés sur l'un des pieux faisant partie de la fondations définitive, après que la totalité des 32 pieux ait été mise en place. Les photos 5 et 6 montrent la réalisation de l'un de ces essais sur un pieu en flanc de vallée. Le tableau IV récapitule les caractéristiques des pieux et les résultats les plus significatifs de ces essais, qui sont cette fois les déplacements verticaux ou horizontaux des têtes de pieux, c'est-à-dire  $S_{NV, \max}$  et  $S_{NH, \max}$  sous la charge maximale d'épreuve  $Q_{\max}$ , mais aussi les enfoncements  $S_{NV, ELS}$  correspondant à la charge aux E.L.S  $Q-P$  du projet. Ces essais ont été également réalisés par paliers de 30 minutes, avec un palier de longue durée sur le pieu n° 22 de la pile P 6, maintenu 1150 minutes.

Si l'on se réfère au tableau IV, la comparaison des enfoncements  $S_{N, ELS}$  des pieux implantés au sein du groupe montre que ceux-ci n'ont pas excédé sous les charges aux ELS  $Q-P$ , la valeur de l'enfoncement mesuré sur le pieu isolé PH.2. En effet, sur les huit valeurs  $S_{N, ELS}$  comprises entre 2,2 et 4,57 mm, une seule valeur relative au pieu n° 11 de la pile P 12, est très légèrement supérieure (valant 4,57 mm qui sont à comparer aux 4,3 mm mesurés sur le pieu PH.2). Mais sachant que le pieu n° 11 est de 7,5 m plus long que le pieu PH.2. La figure 6 permet de comparer les courbes d'enfoncement les plus significatives de pieux implantés au sein de groupe avec la courbe d'enfoncement établie pour le pieu d'essai préalable PH.2.



**Figure 3**  
Coupe et profils géotechniques caractéristiques du fond de vallée  
*Characteristic section and geotechnical profiles at bottom of valley*



**Figure 4**  
Courbes d'enfoncements de la tête et des pointes des trois pieux soumis aux essais préalables  
*Sinking curves for the head and points of the three piles subjected to prior testing*



**Photo 4**  
Vue générale du plot en fond de vallée lors de l'essai en cours sur le pieu PH.2  
*General view of valley-bottom stud during a test on pile PH.2*

**Tableau III**  
Résultats essentiels relatifs aux essais de chargements préalables

*Basic results relative to prior loading tests*

Pieu	Fiche (m)	$Q_{max}$ (MN)	$Q_u$ (MN)	$Q_{max.P}$ (MN)	$Q_{max.S}$ (MN)	$S_{max}$ (mm)	$S_{N,ELS}$ (mm)
PH.1	13.8	3.6	$\geq 5.0$	$\geq 0.2$	$\geq 3.4$	9.45	2.0
PH.2	21 (11.8)*	3.6	$\geq 5.0$	$\geq 0.5$	$\geq 4.5$	15.73	4.3
PT.1	21	2.6	2.2	1.8**	0.4**	$\geq 108$ (65.2)**	7.0

\* Longueur de la gaine perdue

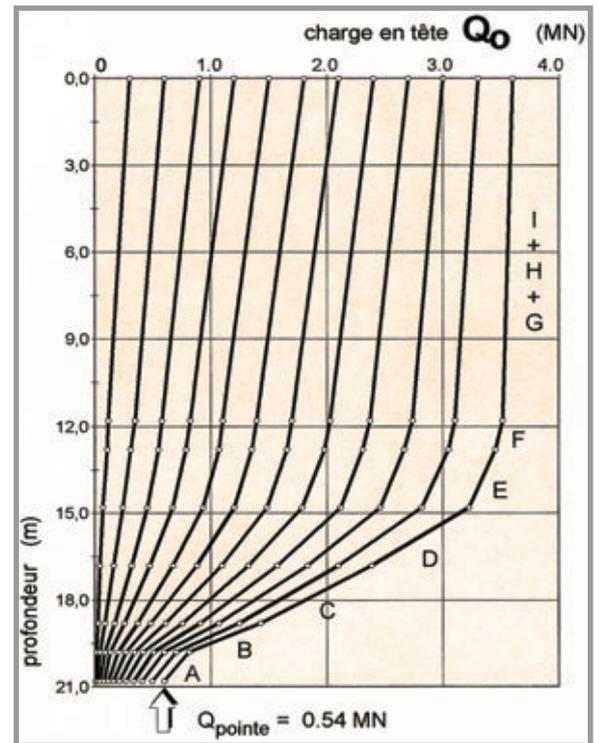
\*\* QP, QS et enfoncement sous  $Q_u$  - 2.2 MN, la charge limite effectivement atteinte



**Photo 5**

Vue de l'essai de chargement vertical sur le pieu n° 22 de la pile P 15. On remarque le système de réaction armé aux autres pieux de la fondation

*View of vertical loading test on pile 22 of pier P 15. Note the reaction system secured to the other piles of the foundation*



**Figure 5**

Distribution des efforts le long du pieu PH.2 installé en fond de vallée

*Distribution of stresses along pile PH.2 installed at bottom of valley*



**Contrôle des mouvements des piles**

Les mesures des déplacements des piles ont été faites lors de la construction du tablier, puis après son achèvement avant la mise en circulation effective faite en juin 1996. Lors des essais de chargements réglementaires, les tassements des piles sont restés compris entre 1,5 et 2 mm, valeurs conformes aux calculs prévisionnels.

**CONCLUSIONS**

Le type de pieu finalement choisi pour fonder le viaduc, à savoir des profilés d'acier H enrobés sous pression, a présenté des capacités portantes sous effort vertical statique élevées, caractérisées par des charges de service effective  $Q_N \geq 1.80$  MN, nettement supérieures à la charge de service exigée par le projet, à savoir 1.44 MN.

Sous la charge de service du projet égale donc à 1.44 MN, l'enfoncement global de la tête des pieux isolés était de l'ordre de 3 mm, valeur intégrant d'ailleurs plus de 30 % de raccourcissement élastique.

Les essais sur pieux définitifs intégrés à la fondation ont indiqué des portances au moins comparables à celles mesurées sur les pieux isolés des plots préalables.

Lors des essais de chargements réglementaires,

**Tableau IV**  
Résultats des essais de chargements réalisés sur les pieux définitifs de l'ouvrage

*Results of prior loading carried out on the final piles of the structure*

Pieu (pile)	Fiche (m)	$Q_{max}$ (MN)	$S_{max.V}$ (mm)	$S_{N,ELS}$ (mm)	$S_{max.H}$ (mm)
n°22	17.5	1.5	4.35	3.05	-
n°22* (P.6)	17.5	0.114	-	~3.0**	30.12***
n°15 (P.8)	19	1.5	1.63	4.57	-
n°11 (P.12)	22	2.1	8.06	4.57	-
n°15 (P.13)	19	2.1	4.63	2.53	-
n°22 (P.15)	19	2.1	4.77	2.55	-
n°16	13.5	2.1	5.75	3.3	-
n°17 (P.16)	13.5	2.1	5.81	3.3	-
n°18 (P.19)	12	2.1	4.28	2.55	-
n°18 (P.20)	13.5	1.5	2.36	2.2	-

\* Essai de chargement horizontal

\*\* Déplacement horizontal sous la charge horizontale nominale du projet égale à 20 kN

\*\*\* Mesure du déplacement de la tête effectuée à 70 cm au-dessus de l'application de l'effort horizontal

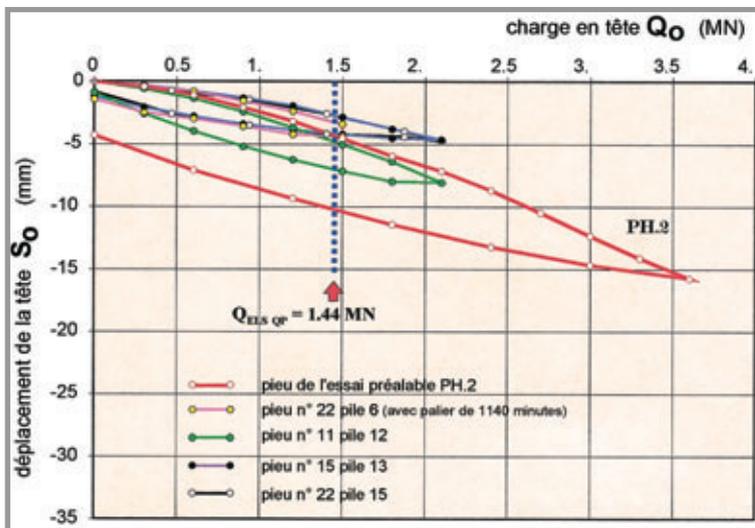


Figure 6  
Relations enfoncement-charge en tête établies pour des pieux définitifs implantés au sein de groupes et le pieu PH.2

*Sinking-loading relations on head established for final piles installed within groups and pile PH.2*



Photo 6  
Chargement horizontal en cours sur le pieu définitif n° 22 de la pile P 6, en fond de vallée

*Horizontal loading on final pile 22 of pier P 6 at bottom of valley*

les tassements des piles sont restés compris dans la fourchette de valeurs conformes aux calculs prévisionnels.

## ■ RÉFÉRENCES

- [1] Nadal P. - Viaduc en herbe... sur fondations profondes - *BTP Magazine*, n° 91, juillet-août 1996, pp. 10-13.
- [2] Bustamante M., Gianceselli L., Salvador H., Train à très grande vitesse : Les fondations du viaduc de Waremme - *XI<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* - Amsterdam, The Netherlands, juin 1999 (à paraître).
- [3] Bustamante M., Gianceselli L. - Recommandations pour la préparation d'un essai de chargement statique de pieu instrumenté à l'aide d'un extensomètre LPC - *Méthode LCPC*, n° 45, novembre 1996.
- [4] Bustamante M., Jézéquel J.-F. - Essai statique de pieu isolé sous charge axiale - *Méthode d'essai LPC*, n° 31, février 1989.
- [A paraître] Cathelain B., Georges J., Novarin M., Aublanc P., Jeanjean Y., Placidi M., Regallet D. - Le viaduc du Scardon - *Revue Travaux*, 1999.

## ABSTRACT

The foundations of the Scardon viaduct. Design and testing

M. Bustamante, L. Gianceselli,  
J.-L. Dufresne

Outstanding in more ways than one, from the architectural viewpoint as well as in terms of structural design and construction, the Scardon viaduct has already been covered by publications, to which the reader may refer with respect to the points mentioned. The present article deals in greater detail with the problems of foundations. A special geotechnical environment and context led to the adoption of a pile technique which is quite unusual for a structure of this size, and to the completion of a relatively extensive series of prior tests and inspections, the basic results of which are discussed in the article.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

Die Fundamente der Hochbrücke von Scardon. Konzeption und Kontrolle

M. Bustamante, L. Gianceselli,  
J.-L. Dufresne

Die Hochbrücke ist ja in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert – vom architektonischen Standpunkt, was die die strukturelle Konzeption, aber auch was die Ausführung angeht – und war daher auch schon wiederholt Gegenstand verschiedener Veröffentlichungen, die bezüglich der im vorliegenden Artikel angesprochenen Punkte hinzugezogen werden können.

Hier wird die Gründungsproblematik näher beleuchtet, und zwar weil in dem gegebenen besonderen geotechnischen Umfeld und Zusammenhang eine für ein Bauwerk dieser Ausmaße ungewöhnliche Pfahltechnik zum Einsatz gekommen ist und umfangreiche Versuchs- und Prüfreihen, deren wesentliche Ergebnisse dargestellt werden, durchgeführt worden sind.

## RESUMEN ESPAÑOL

Los cimientos del viaducto del Scardon. Diseño y control

M. Bustamante, L. Gianceselli y  
J.-L. Dufresne

El viaducto del Scardon - que se destaca por diversos motivos, tanto desde el punto de vista arquitectónico como del concepto estructural, pero también de su ejecución - ha sido ya objeto de publicaciones a las cuales será preciso referirse por lo que concierne a los puntos mencionados. En el presente artículo se propone tratar con mayor detalle los problemas de los cimientos. Esto se debe a que un entorno y un contexto geotécnico particulares han conducido a adoptar una técnica de pilotes poco habitual para una estructura de esta importancia, y a llevar a cabo una campaña de pruebas preliminares y controles relativamente consecuentes, cuyos resultados se mencionan por lo que se refiere a lo esencial.

# Le nouveau franchissement et Tarascon

## Les travaux de fondations

Un nouveau pont franchissant le Rhône entre Beaucaire et Tarascon est en cours de construction. Il fait partie du réseau routier départemental, et assurera le contournement sud des deux agglomérations. La solution retenue est un pont à haubans en béton précontraint. Les travaux de fondations ont été réalisés de novembre 1997 à juillet 1998. Les appuis terrestres – deux culées et deux pilettes – sont fondés sur des pieux de diamètre 1,20 m forés à la boue. Deux pylônes, en forme de lyre, de 60 m au-dessus du Rhône, ont nécessité la construction de batardeaux circulaires de 14,50 m de diamètre. Les fondations des pylônes sont constituées de six pieux de diamètre 2 m, et de longueur environ 20 m, forés à l'eau à l'abri d'un tube définitif. Les pieux participent à la reprise des sous-pressions s'exerçant sur le bouchon en béton armé coulé sous l'eau à une profondeur de 12 m.

### ■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les deux départements du Gard et des Bouches-du-Rhône ont classé la liaison Nîmes - Cavaillon dans leur réseau structurant (figure 1). Le contournement par le sud des communes de Beaucaire et de Tarascon constitue le maillon clef de cet itinéraire. Il permettra de supprimer l'important trafic de transit qui traverse les deux agglomérations, et d'assurer la desserte des zones d'activités existantes sur les deux rives du Rhône.

L'ouvrage de franchissement du Rhône, en cours de construction (photo 1), est un pont à haubans à tablier en béton précontraint (figure 2). D'une longueur de 410 m, il est découpé en cinq travées avec une grande travée centrale de 192,80 m (figure 3). Deux pylônes en forme de lyre, d'une hauteur de 60 m au-dessus du fleuve, assurent l'ancrage du haubanage constitué de deux nappes latérales en éventail.

Le tablier, de largeur 12,10 m, porte deux voies de circulation (figure 4). Sa section courante est une dalle nervurée de 0,81 m de hauteur totale.

Le tablier est réalisé par encorbellements succes-

sifs de façon symétrique par rapport aux pylônes, avec des voussoirs coulés en place à l'aide d'équipages mobiles. Les extrémités du tablier, sur une longueur d'environ 45 m, sont coulées sur cintre.

### ■ LA DÉVOLUTION DES TRAVAUX

A l'issue d'un appel d'offres lancé en 1996, portant sur quatre solutions, la solution de tablier en béton précontraint haubané a été retenue et le marché a été attribué au groupement d'entreprises Léon Grosse - Bauland pour un montant de 72,1 millions de francs TTC avec un délai d'exécution de 27 mois. L'entreprise Sade est intervenue en tant que sous-traitant pour la réalisation des fondations profondes.

### ■ GÉOLOGIE DU SITE

Les différentes campagnes de reconnaissances géotechniques effectuées pour la conception du projet ont permis d'identifier un site homogène :

- ◆ un substratum de marne grise, dont le toit est sensiblement à la cote - 22 m NGF sur l'ensemble du projet. Ces marnes sont plus ou moins altérées en tête, sur une épaisseur variant de 2,50 m en rive droite à 4,50 m en rive gauche. Elles deviennent très rapidement compactes : les résultats des essais pressiométriques donnent des pressions limites supérieures à 11 MPa ;

- ◆ de - 22 m NGF jusqu'au fond du lit du Rhône situé à - 6 m NGF, une puissante formation alluvionnaire constituée de sables, graviers et galets mêlés ;

- ◆ sur les berges : on retrouve au-dessus des marnes les mêmes graves alluvionnaires, avec cependant des lentilles de sables limoneux entre les cotes + 4 NGF et + 9 m NGF.

Une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire a été lancée dans le cadre des travaux, comportant deux sondages avec essais pressiométriques par appui. Cette campagne, réalisée par Fondasol, a permis de confirmer les résultats des campagnes précédentes tout en précisant la hauteur des marnes altérées au droit de chaque pylône.

En raison de la nature compressible des formations limoneuses rencontrées sur les berges, une consolidation des sols a été réalisée en 1996, consistant à monter un remblai de préchargement de 7 m de hauteur sur les deux rives à l'emplacement des

Figure 1  
Plan  
de situation  
Location

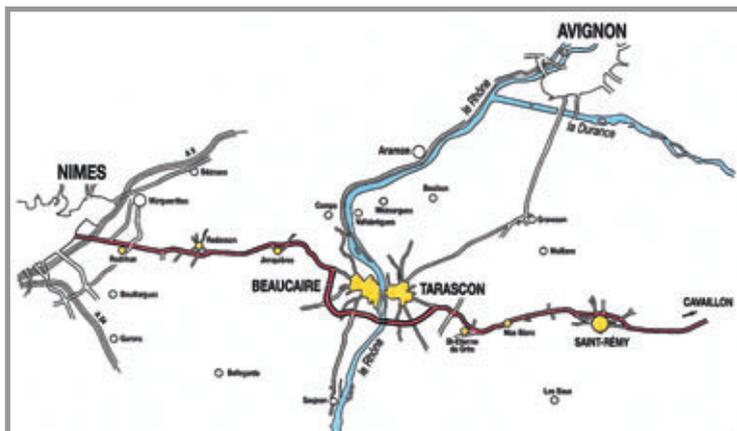


Figure 2  
Perspective  
de l'ouvrage (image  
de synthèse  
Ch. Lavigne)  
Perspective view  
of the structure  
(synthetic image  
Ch. Lavigne)



# du Rhône entre Beaucaire

**Frédéric Edon**



CHEF DU SERVICE  
DU PONT DE BEAUCAIRE-  
TARASCON  
Conseil Général  
des Bouches-du-Rhône

culées. L'arase des remblais correspond au niveau inférieur du sommier des culées. Des tassomètres ont été mis en place, et les tassements, mesurés par le LRPC d'Aix-en-Provence, ont atteint 19 cm en rive gauche, et 11 cm en rive droite. Près de 95 % de la valeur totale des tassements a été obtenue un mois après la fin de mise en place des remblais.

## ■ DESCRIPTION DES FONDATIONS

### Les appuis en site terrestre

Les pilettes reposent sur une semelle rectangulaire d'épaisseur 1,50 m, fondée sur deux pieux forés de diamètre 1,20 m, de longueur 23 m en rive droite et 24 m en rive gauche. Ces pieux sont ancrés dans les graves alluvionnaires. Ils sont protégés des risques d'affouillement sur les 6 m supérieurs par des gaines métalliques définitives. Ils sont faiblement sollicités; le ferrailage mis en place correspond au pourcentage minimal d'armatures.

Les culées enterrées sont constituées d'un chevron d'épaisseur 1,20 m reposant sur une file de deux pieux de diamètre 1,20 m et de longueur 28,25 m. Ces pieux, forés depuis la plate-forme des remblais de préchargement, sont ancrés dans les graves alluvionnaires. Des gaines métalliques définitives ont été mises en place sur la hauteur du remblai de préchargement pour réduire les frottements négatifs attendus lors de la deuxième phase de remblaiement derrière les culées. Ces pieux sont en outre fortement sollicités en flexion, principalement sous les actions suivantes :

- ◆ en phase de service : la poussée des terres à l'arrière de la culée;
- ◆ en phase de construction : les réactions d'appui du cintre pour le bétonnage de la travée de rive, et surtout les efforts horizontaux des haubans de retenue nécessaires à la stabilisation des pylônes pendant la construction du tablier.

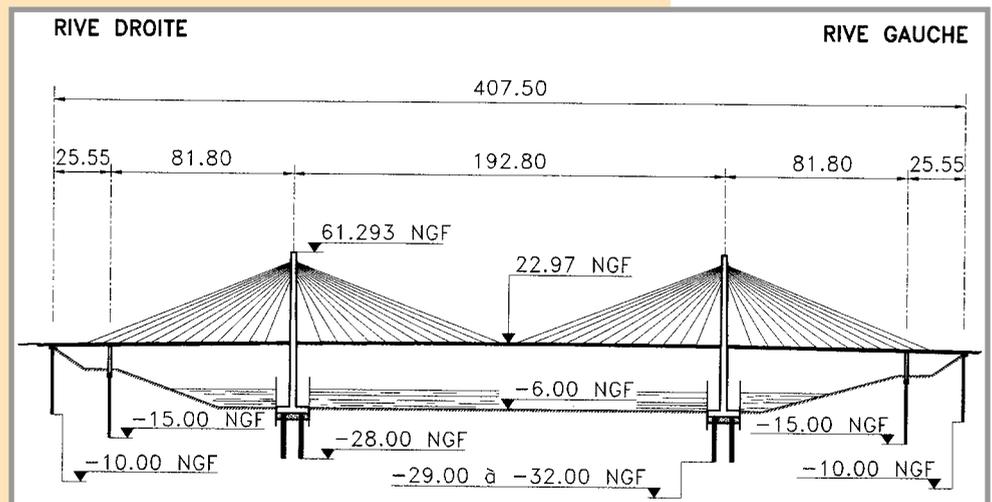
### Les appuis en site aquatique

Chaque pylône est réalisé à l'abri d'un batardeau circulaire en palplanches, de diamètre intérieur 14,56 m, étanché avec un bouchon en béton immergé de 2,75 m d'épaisseur. L'arase des palplanches est à la cote à + 7 m NGF, soit 1 m au-dessus des plus hautes eaux navigables. Les cotes des crues décennale et centennale sont respectivement de 9 m NGF et 10,40 m NGF.

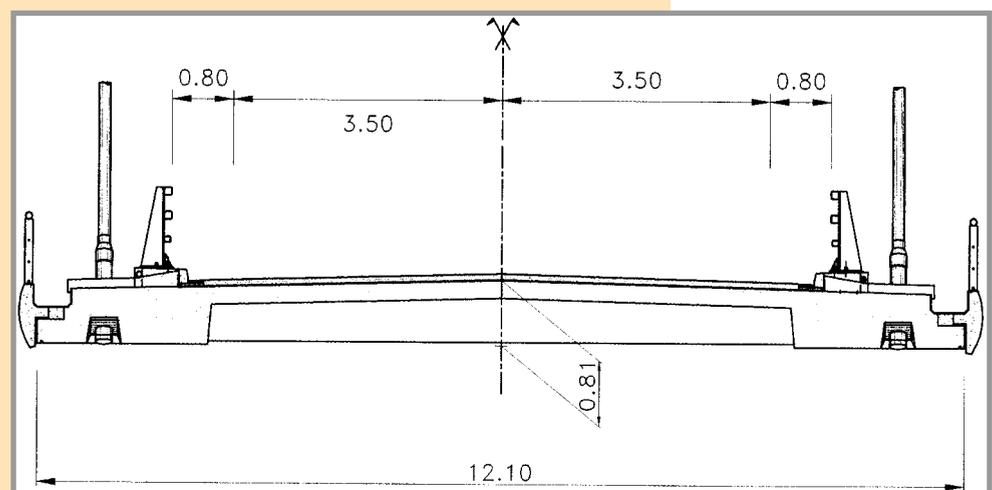


**Photo 1**  
Vue générale  
du chantier

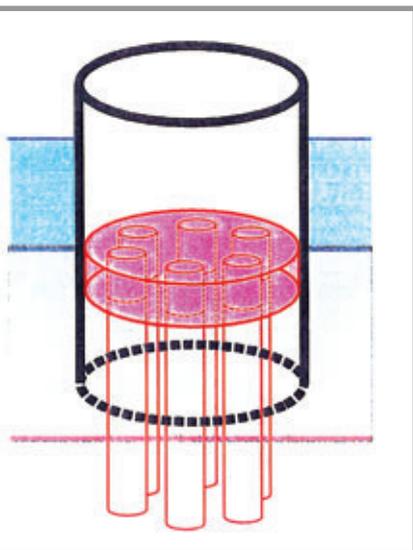
*General view  
of site*



**Figure 3**  
Elévation générale  
*General elevation*



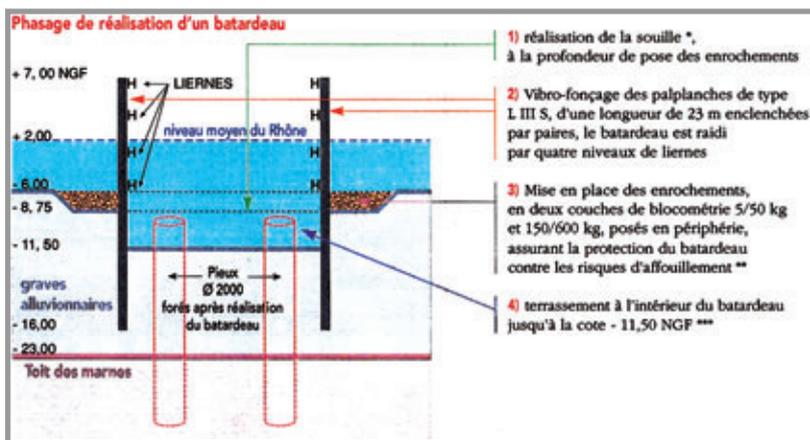
**Figure 4**  
Coupe transversale du tablier  
*Cross-section of deck*



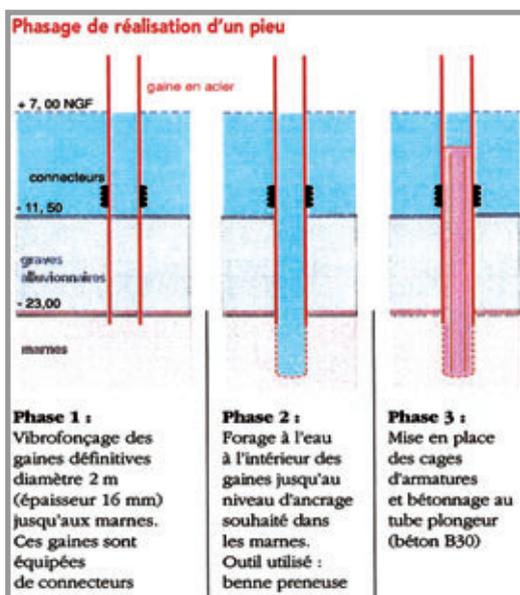
**Figure 5**  
Implantation des pieux dans le batardeau  
*Installation of piles in the cofferdam*



**Photo 2**  
Vue d'un batardeau  
*View of a cofferdam*



**Figure 6**  
Phasage de réalisation d'un batardeau  
*Completion phases for a cofferdam*



**Figure 7**  
Phasage de réalisation d'un pieu  
*Completion phases for a pile*

Le fût est encastré dans une semelle circulaire en béton armé, de 2,75 m d'épaisseur. Le niveau supérieur de la semelle est calée à la cote du fond du lit du Rhône, de façon à ne présenter aucun obstacle à l'écoulement du fleuve. La semelle coiffe six pieux forés de 2 m de diamètre (figure 5), ancrés dans les marnes sur 6 à 10 m, dont 4 m dans les marnes compactes.

Dans la conception du projet, il était prévu un tubage provisoire des pieux dans les graves, de - 22 m NGF à - 16 m NGF, et un tubage définitif au-dessus de la cote - 16 m NGF correspondant à la limite d'affouillement. Le groupement d'entreprises Léon Grosse - Bauland a présenté une variante consistant à tuber définitivement les pieux sur toute la hauteur des graves alluvionnaires. Cette solution a été retenue, car elle présentait l'avantage de sécuriser le bétonnage dans les graves, qui sont le siège d'importantes circulations d'eau, tout en évitant une extraction du tubage provisoire qui aurait nécessité des moyens lourds.

Les pieux sont dimensionnés pour reprendre le choc d'un bateau sur le fût des pylônes : 10 MN en choc frontal, 2 MN en choc latéral. Compte tenu de la hauteur d'eau, il était difficile d'équilibrer la pous-

sée de l'eau par le seul poids du béton immergé. Le projet prévoyait donc de mobiliser les pieux en traction pendant la phase de vidange du batardeau. Pour ce faire, le bouchon est en béton armé, et des connecteurs ont été soudés sur les gaines des pieux. Les pieux sont peu sollicités en flexion du fait du fonctionnement en portique du système de fondation. Ils sont ferrailés au pourcentage minimal d'armatures. Les efforts verticaux calculés aux états limites de service représentent près de 2000 t appliqués sur chaque pieu.

## DESCRIPTION DES TRAVAUX

### Les batardeaux des pylônes

Les deux batardeaux ont été réalisés de novembre 1997 à mars 1998. Le rideau de palplanches (figure 6) est ancré dans les graves à - 16 m NGF, cote correspondant à la limite de la zone d'affouillement. Pour assurer sa stabilité en cas de crue, il a été protégé par des enrochements. Les travaux ont été menés selon le phasage suivant :

- ◆ Phase 1 : exécution d'une souille de dimensions 2,40 m de profondeur, 35 m de diamètre moyen, présentant des talus à 1 pour 2 (V/H). Ces travaux ont été effectués par l'entreprise EMCC, à l'aide d'une drague à godets ;
- ◆ Phase 2 : l'entreprise Bauland a foncé les palplanches par paires enclenchées en S, en utilisant un vibrofonçeur PTC série 50 H. Les travaux ont été réalisés depuis un ponton de 30 m x 11 m équipé de pieux de stabilisation. Chaque rideau comporte 47 paires de palplanches de type Larsen 3S de nuance E36, de longueur 23 m. Quatre niveaux de liernes circulaires raidissent le rideau, constituées respectivement du haut vers le bas par des profilés cintrés en acier E 24 de type HEB 260, HEM 280, HEM 300, HEM 280. Les liernes ont été fixées sur des tubes provisoires foncés dans le Rhône, et ont servi de guidage aux palplanches (photo 2) ;
- ◆ Phase 3 : autour du batardeau, l'entreprise Tournaud a posé une première couche filtre d'enrochements de blocométrie 5/50 kg et d'épaisseur 0,70 m, puis une couche d'épaisseur 1,70 m constituée de blocs de dimensions 150/600 kg ;
- ◆ Phase 4 : l'entreprise Bauland a ensuite terrassé l'intérieur du batardeau sur environ 3 m jusqu'au niveau inférieur du bouchon.

### Les pieux des pylônes

Les travaux ont été réalisés par l'entreprise Sade de mars à juin 1998, à partir d'un ponton équipé d'une grue de forage Pinguely GTL 165. Ils comportent trois phases principales (figure 7) :

- ◆ Phase 1 : vibrofonçage des tubes métalliques de diamètre 2 m et d'épaisseur 16 mm jusqu'aux marnes (photo 3). Des connecteurs en arceaux HA

20 ont été préalablement soudés sur les tubes à l'emplacement prévu du bouchon. Les tubes ayant une longueur totale de l'ordre de 31 m (cote - 24 m NGF à + 7 m NGF), ont été foncés en deux phases au moyen d'un vibrofonceur PTC 100 HD. Après fonçage d'un premier tronçon de longueur 21 m, il a été procédé au forage du pieu à l'intérieur jusqu'à la base, permettant de réduire les frottements lors de la deuxième phase de fonçage. Un deuxième tronçon de longueur 10 m a été rabouté par soudure, et le fonçage s'est poursuivi jusqu'aux marnes avec un encastrement minimal d'un mètre ;

◆ Phase 2 : forage des pieux à l'eau. L'extraction des graves à l'intérieur des tubes, ainsi que le forage dans les marnes ont été effectués avec une benne à câble 1,80 m x 0,80 m (photo 4). Les cadences d'extraction ont été de 1 m/h dans les graves, elles ont été réduites entre 60 cm et 80 cm/h dans les marnes. Il n'a pas été nécessaire d'utiliser de trépan ;

◆ Phase 3 : ferrailage et bétonnage des pieux. La cage d'armatures a été préfabriquée en deux tronçons. Elle intègre un tube Ø 102/114 et six tubes Ø 50/60 pour l'auscultation sonique des pieux. Le bétonnage des pieux s'est effectué de façon traditionnelle au tube plongeur. Le béton de type B30, produit par la centrale Lafarge de Tarascon, a été transporté jusqu'au batardeau par pompage. La formule comporte, par mètre cube de béton, 400 kg de ciment Calcia CPA CEM I 52,5 PMES CP2 de Beaucaire, 800 kg de sable 0/4 semi-concassé de Durance (Rognonas), 910 kg de gravillons 6/14 concassé de Durance (Rognonas), 0,5 % en poids de ciment de plastifiant réducteur d'eau Chrysoplast CER.

### Les bouchons en béton immergé

Après achèvement des pieux, l'entreprise Bauland a procédé au ferrailage du bouchon. Elle a imaginé un principe de ferrailage permettant de concilier les exigences de reprise des efforts, et des dispositions constructives visant à limiter les risques de désamorçage lors du bétonnage : ferrailage à grande maille, avec des zones de circulation pour le déplacement de la colonne de bétonnage. Les armatures ont été descendues dans le batardeau par panneaux élémentaires préfabriqués, au moyen d'une grue sur ponton. Des plongeurs ont assuré le guidage et le réglage des armatures, ainsi que la connexion du ferrailage aux gaines (figure 8). Le béton immergé est un B20 dosé à 300 kg de ciment Calcia CPA CEM I 52,5 PMES CP2 de Beaucaire. Les granulats proviennent de la carrière de Rognonas : 950 kg de sable 0/4 semi-concassé, 405 kg de gravillons 6/14 concassé, 525 kg de gravillons 12,5/25 roulés. La formule comporte un super plastifiant, le Glenium 27 dosé à 1,05 % du poids de ciment (3 litres/m<sup>3</sup> de béton), ainsi qu'un retardateur de pri-

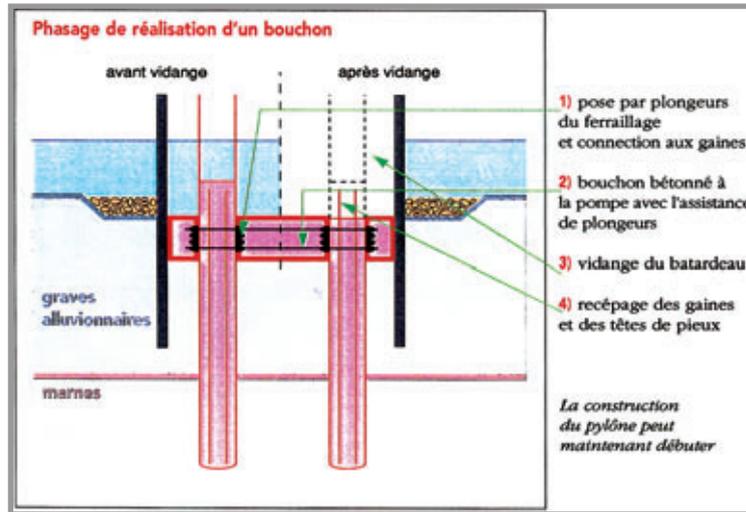


Figure 8  
Phasage de réalisation d'un bouchon  
Completion phases for a plug



Photo 3  
Fondation des pylônes : vibrofonçage des gaines  
Foundation of towers - vibration sinking of ducts



Photo 4  
Fondation des pylônes : forage des pieux  
Foundation of towers : boring of piles

Partie d'ouvrage	Constituants	Quantités totales
Batardeaux (nombre 2)	palplanches	341 t
	liernes	71 t
Béton immergé (2 bouchons)	béton B20	860 m <sup>3</sup>
	armatures passives	21,5 t (25 kg/m <sup>3</sup> )
Pieux des pylônes (nombre 12)	béton B30	760 m <sup>3</sup>
	armatures passives	48 t (63 kg/m <sup>3</sup> )
	gainés métalliques définitives	150 t
Pieux des pilettes (nombre 4)	béton B30	106 m <sup>3</sup>
	armatures passives	9 t (85 kg/m <sup>3</sup> )
	gainés métalliques définitives	8,5 t
Pieux des culées (nombre 4)	béton B30	128 m <sup>3</sup>
	armatures passives	12,8 t (100 kg/m <sup>3</sup> )
	gainés métalliques définitives	10,4 t

Les principales quantités  
The main quantities

**Photo 5**  
**Fondation**  
**des pylônes :**  
**auscultation sonique**  
**des pieux**  
**Foundation of towers :**  
**sonic testing of piles**



**Photo 6**  
**Fondations**  
**des pilettes :**  
**forage à la boue**  
**Foundation of small**  
**piers : mud drilling**



**Les principaux intervenants**

**The main players**

<b>Partenaires financiers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Département des Bouches-du-Rhône : 35 %</li> <li>• Département du Gard : 35 %</li> <li>• Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : 10 %</li> <li>• Région Languedoc-Roussillon : 10 %</li> <li>• Commune de Beaucaire : 5 %</li> <li>• Commune de Tarascon : 5 %</li> </ul>	
<b>Maîtrise d'ouvrage</b>	Département des Bouches-du-Rhône	
<b>Maîtrise d'œuvre</b>	Département des Bouches-du-Rhône	Direction des Routes - Arrondissement d'Arles
<b>Architecte</b>	Charles Lavigne	
<b>Concepteur</b>	SETRA	
<b>Organisme de contrôle et de conseil à la maîtrise d'œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SETRA - CETE Méditerranée</li> <li>• LRPC d'Aix-en-Provence, de Lyon, de Clermont-Ferrand, CEBTP Vitrolles</li> </ul>	Etudes et contrôle des documents d'exécution Laboratoires de contrôle et conseil à la maîtrise d'œuvre
<b>Groupement d'entreprises</b>	Leon Grosse (mandataire) - Bauland	
<b>Principaux sous-traitants et fournisseurs</b>	Structures	Etudes d'exécution
	Sade	Fondations profondes
	EMCC	Souilles
	Tournaud	Enrochements
	Cectral Ingénierie (Lyon)	Etudes d'exécution des batardeaux
	Freyssinet	Haubannage et précontrainte
	Cepaba (Avignon)	Fourniture et pose des armatures de béton armé
	Composants Pre-Contraints	Pièces de pont précontraintes par fils adhérents
	Tonda	Pièces métalliques d'ancrages des haubans en tête des pylônes
	Redland et Lafarge	Fourniture des bétons

se Pozzolith 250 R dosé à 0,25 % du poids de ciment.

Le béton, produit simultanément par les centrales Redland d'Arles et de Tarascon, a été approvisionné directement par pompage depuis les berges. Une colonne métallique de hauteur 19 m, de diamètre 125 mm, munie à un mètre de la base d'une vanne à air, assurait l'amenée du béton jusqu'au fond du batardeau. Le bétonnage du bouchon a été mené sur un seul front, en continu, avec une cadence de 50 m<sup>3</sup>/h. Le déplacement de la colonne de béton était piloté par des plongeurs.

Après vérification que la résistance des éprouvettes d'informations conservées dans le Rhône atteignaient 20 MPa, il a été procédé, au bout de trois jours, à la vidange du batardeau. Après le recépage des tubes métalliques et la campagne d'auscultation sonique (photo 5), les pieux ont été recépés.

**Les pieux des pilettes et culées**

Ces pieux ont été forés à la boue avec mise en place d'un gainage définitif en partie supérieure, d'épaisseur 12 mm (photo 6).

**CONCLUSIONS**

Aucun problème important n'a été rencontré dans l'exécution des travaux de fondations. Les calculs d'exécution des fondations et les sols rencontrés ont confirmé les données du dossier de consultation des entreprises. Une excellente préparation, et une formulation de béton bien étudiée ont contribué au succès des travaux délicats que constituaient le bétonnage du bouchon avec son ferrailage, à 12 m sous le niveau du Rhône. Seuls quelques incidents mineurs sont à signaler.

**Batardeau rive gauche**

Une crue du Rhône est intervenue pendant l'exécution du rideau de palplanches. Le rideau a pu être fermé *in extremis* avant d'être submergé. Aucun dégât n'a été constaté à la décrue, bien que les enrochements de protection n'avaient pas encore été posés.

**Pieux du pylône rive gauche**

Lors du vibrofonçage d'une gaine, une rupture de soudure à la jonction de deux tronçons raboutés n'a pas permis de poursuivre le fonçage pour atteindre la cote souhaitée. La gaine, ayant au moment de l'incident atteint le niveau des marnes, il a été décidé de la laisser en l'état. Il a fallu cependant souder des connecteurs supplémentaires sous l'eau, car une partie des connecteurs préalablement soudés n'étaient plus au bon emplacement.

## Béton des pieux

Après réalisation des premiers pieux, il a été observé dans la zone de recépage des remontées importantes de sable et de laitance. Il s'agissait d'un phénomène de ressuage du béton s'expliquant en grande partie par l'utilisation d'un sable trop cru. La formule du béton a été corrigée : une réduction de 5 litres de la quantité d'eau par mètre cube de béton a été obtenue en modifiant le dosage en plastifiant de 0,5 % à 0,7 % du poids de ciment. A l'exception d'un des pieux de la culée rive droite, où des remontées de laitance en tête ont été mises en évidence, et ont nécessité une reprise ponctuelle, les campagnes d'auscultation soniques des pieux n'ont décelé aucun défaut.

## ABSTRACT

### The new crossing of the Rhône between Beaucaire and Tarascon. Foundation works

Fr. Edon

A new bridge is being built over the Rhône between Beaucaire and Tarascon. It forms part of a departmental road network and will allow the bypassing of the two towns via the south. The adopted solution is a prestressed-concrete cable-stayed bridge. The foundation works were carried out from November 1997 to July 1998. The land supports - two abutments and two small piers - are founded on piles of 1,20 m diameter bored with mud. Two towers, in lyre form, 60 m over the Rhône required the construction of circular cofferdams 14,50 m in diameter. The foundations of the towers are made up of six piles of 2 m diameter and about 20 m long, drilled in water under the shelter of a final tube. The piles participate in the take-up of underpressures exerted on the plug of the reinforced concrete poured under water at a depth of 12 m.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Die neue Rhône-Überquerung zwischen Beaucaire und Tarascon. Die Gründungsarbeiten

Fr. Edon

Zwischen Beaucaire und Tarascon wird zur Zeit eine neue Brücke über die Rhône gebaut. Sie gehört zum departementalen Straßennetz und stellt die südliche Umgehung zweier Ortschaften dar. Die Entscheidung ist zugunsten einer Schrägseilbrücke aus Spannbeton gefallen. Die Gründungsarbeiten haben von November 1997 bis Juli 1998 gedauert. Die Stützen auf der Landseite – zwei Widerlager und zwei Zwischenpfeiler – sind auf im Schlamm gebohrten Pfählen mit Durchmesser 1,20 m gegründet. Die zwei bogenförmigen Pylone mit 60 m Höhe über der Rhône haben den Bau von kreisförmigen Spundwanddämmen mit 14,50 m Durchmesser notwendig gemacht. Die Pylonfundamente bestehen aus sechs ca. 20 m langen Pfählen mit 2 m Durchmesser, die in einem vor Ort belassenen Rohr im Wasser gebohrt worden sind. Die Pfähle neh-

men einen Teil des im Untergrund auf den in 12 m Tiefe im Wasser gegossenen Sperrklotz aus Stahlbeton ausgeübten Drucks auf.

## RESUMEN ESPAÑOL

### La nueva travesía del Ródano entre Beaucaire y Tarascon. Las obras de cimentación

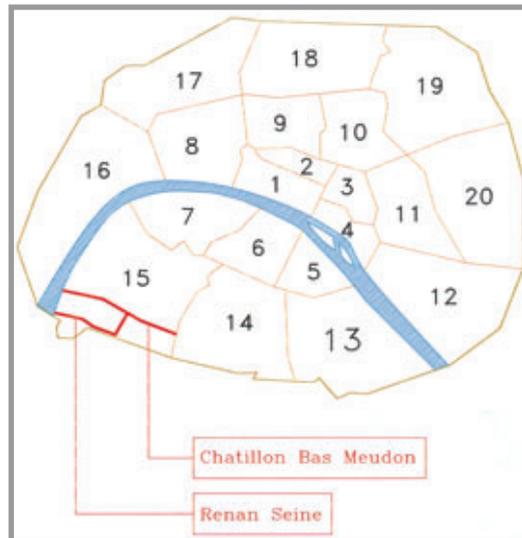
Fr. Edon

Se encuentra en construcción un nuevo puente que salva el Ródano entre Beaucaire y Tarascon. Este puente forma parte de la red viaria departamental, y permitirá un trayecto variante por el sur de ambas aglomeraciones urbanas. La solución adoptada consiste en un puente de tirantes de hormigón pretensado. Las obras de cimentación se han ejecutado entre noviembre de 1997 y julio de 1998. Los apoyos terrestres - dos estribos y dos pilotes de dimensiones más reducidas - se han ejecutado por medio de pilotes de 1,20 m de diámetro perforados con lodo. Dos pilones, en forma de vigas, de 60 metros por encima del Ródano, han precisado la construcción de ataguías circulares de 14,50 m de diámetro. Los cimientos de los pilones están formados por seis pilotes de 2 m de diámetro y de 20 metros de longitud, aproximadamente, perforados al agua y al resguardo de un tubo definitivo. Los pilotes participan en el recalce de las subpresiones que se ejercen sobre el obturador de hormigón armado hormigonado bajo el agua a una profundidad de 12 metros.

# La réhabilitation des Bas-Meudon et Renan

Dans le cadre de la réhabilitation des déversoirs Châtillon Bas-Meudon et Renan Seine, le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) a retenu Sotraisol Fondations au terme d'un appel d'offres lancé pour la réalisation des travaux d'injection de collage et traitement du contact des maçonneries au terrain encaissant.

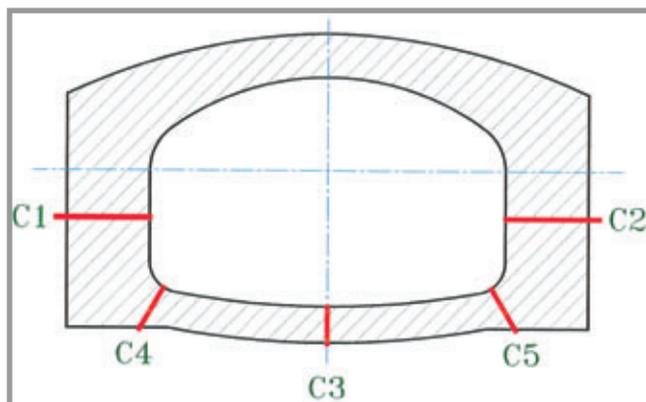
Figure 1  
Situation  
des déversoirs  
Location  
of spillways



Les déversoirs Châtillon Bas-Meudon et Renan Seine comptent parmi les ouvrages majeurs de l'ossature du réseau d'assainissement de Paris. En cas d'orage, ils acheminent vers la Seine les eaux de surverse des communes de Malakoff, Montrouge (antennes Châtillon et Ernest Reyer), Vanves (antenne Bartholomé) et du sud des XIV<sup>e</sup> et XV<sup>e</sup> arrondissements (antenne de la Plaine). En outre, le collecteur Renan Seine récupère les eaux de pluie du boulevard périphérique sud.

Le déversoir Châtillon Bas-Meudon s'étend de la Porte de Châtillon à la Seine, sur 4 100 mètres, en longeant les boulevards des Maréchaux. Le Renan Seine, long de 1 750 mètres se détache à la Porte de Versailles pour suivre le périphérique parisien (figure 1).

Figure 2  
Coupe type –  
L'ouvrage et une auréole  
de collage  
Typical section –  
The structure  
and a contact ring



## ■ LA RÉHABILITATION

Le but de la réhabilitation est d'accroître le niveau de sécurité des ouvrages en améliorant la résistance et l'étanchéité de la structure, ainsi que le contact avec le terrain.

Les installations générales de chantier sont basées

Photo 2  
Equipement d'un forage pour le collage  
Equipment of a contact borehole



Photo 1  
Forage manuel,  
à l'air comprimé  
Manual, compressed-  
air drilling



# déversoirs Châtillon Seine

Photos Chany Sarl

au 24, rue Louis Armand à Paris XV<sup>e</sup>. Trois sites sont nécessaires pour traiter la totalité de l'ouvrage.

Un plot d'essai préalable a permis de définir les mailles d'auréoles et de forages suivant les sections (variables selon les zones), ainsi que la composition du coulis, adaptée à une injection sur une grande distance.

Les forages de collage sont effectués suivant des auréoles régulières le long des ouvrages, sur des secteurs définis à l'avance par le maître d'ouvrage (figure 2). Les auréoles sont espacées de 2,00 m; le nombre de forages par auréoles est variable suivant la section, de trois à cinq unités, et ce, seulement en partie basse.

Les forages sont réalisés à l'aide de marteaux à air comprimé, type T11 de Montabert (photo 1). L'outil de forage est un taillant de 40 mm de diamètre. Le fluide de forage, nécessaire au refroidissement de l'outil et à l'évacuation des déblais, est l'air comprimé.

La perforation est réalisée jusqu'au contact maçonnerie-terrain. Les forages sont laissés libres si leur position le permet et s'ils sont "hors nappe", ce qui est le cas sur la quasi totalité des ouvrages à l'exception des derniers mètres en aval. Dans le cas contraire, ils sont obturés par des bouchons de bois.

Pour l'injection, les forages sont équipés, à même la maçonnerie, de manchettes rapides munies de vannes (photo 2). Celles-ci sont fermées lors de l'arrêt de l'injection, et les manchettes enlevées après prise du coulis.

A proximité du rejet en Seine, au-delà des chambres de vannes, les travaux sont réalisés à l'abri de batardeaux étanches.

## ■ L'INJECTION

Cette phase consiste à traiter l'interface sol-maçonnerie afin de recréer une butée des terres. Il ne s'agit pas de consolider un sol en place mais de remplir un vide existant entre la maçonnerie et le terrain encaissant.

La pression d'injection est limitée à 0,2 MPa pour un débit de l'ordre de 600 à 800 l/h.

Le coulis doit être assez épais pour rester derrière l'ouvrage et, dans le même temps, assez fluide pour assurer une bonne imprégnation de la maçonnerie. Après réalisation du plot d'essai, l'entreprise et la maîtrise d'œuvre ont opté pour un coulis composé de 400 kg de ciment CLK45 et



**Photo 3**  
Injection  
de collage  
**Contact**  
**grouting**



**Photo 4**  
Equipement  
de fissures  
**Cracked**  
**equipment**

20 kg de bentonite. Ce dosage permet d'atteindre l'équilibre nécessaire au transport du coulis sur de longues distances, avec une décantation minimale, puisqu'il faut injecter jusqu'à 1500 mètres de la centrale de fabrication (photo 3).

## ■ LES FISSURES

Toutes les fissures d'ouverture supérieures à 5 millimètres sont ouvertes, épauffrées et nettoyées. Des forages de petit diamètre (10 mm), équipés de canules PVC, recoupent la fissure tous les trente centimètres environ (photo 4).

L'injection est réalisée avec un coulis à base de ciment classique, après avoir terminé le collage. Les canules ayant présenté des résurgences lors du collage sont considérées traitées. Les autres sont toutes injectées, soit directement à partir de la centrale, soit à la pompe à main si les quantités prévisionnelles sont faibles (canules isolées, par exemple...).

Les opérations se déroulent dans l'ordre suivant :  
◆ 1 - Préparation de l'ouvrage - Préparation des fissures supérieures à cinq millimètres (elles sont ouvertes, épauffrées et nettoyées) - Forage et mise en place des canules d'injection - Bouchage entre canules.

Ce travail est effectué à l'avancement, juste avant



**Photo 5**  
**Résurgences de coulis dans les fissures inférieures à 5 mm**  
*Resurgence of slurry in cracks smaller than 5 mm*

► la perforation des forages de collage, par une équipe composée d'un maçon et son aide ;

◆ 2 - Forage et injections de collage ;

◆ 3 - Injection des fissures ;

◆ 4 - Repli des flexibles - Nettoyage de l'ouvrage : enlèvement des éventuels gravats et nettoyage fin des résurgences de coulis par les fissures (photo 5).

### ■ LA CENTRALE D'INJECTION

Le coulis de ciment est fabriqué dans une centrale Domine CIPC. Les matériaux sont livrés en sacs de cinquante kilos. Ils sont acheminés jusqu'à la centrale par des vis élévatrices commandées par un automate de pesée.

La centrale comprend quatre corps de pompes PH 2 x 5, donc huit points d'injection. Les presses sont asservies en pression et débit. Le logiciel de gestion des injections est le système PVCIMENT de Lutz qui enregistre en temps réel les caractéristiques de l'injection.

Les grandes distances à parcourir nécessitent des pressions élevées en centrale de fabrication, de l'ordre de 50 bars pour pomper le coulis à 1500 m. Une mesure précise de la perte de charge s'impose si l'on ne veut pas dépasser la pression de sécurité (2 bars) et mettre l'ouvrage en danger. Ce problème est résolu en plaçant les capteurs de pression en bout de lance : les pressions enregistrées sont les pressions réelles, en tête de forage.

Les capteurs de pression et débit sont contrôlés et étalonnés en début de chantier puis mensuellement pendant toute la durée des travaux.

Les travaux se sont déroulés de novembre 1998 à fin avril 1999.

Le montant du marché est de 11 millions de francs, dont 8 millions pour les injections.

### ABSTRACT

#### The rehabilitation of the Châtillon Bas-Meudon and Renan Seine spillways

*Br. Valez*

In connection with the rehabilitation of the Châtillon Bas-Meudon and Renan Seine spillways, the Intercommunal Syndicat for Drainage of the Paris Region (SIAAP) chose Sotraisol Fondations after a call for tenders issued for the completion of masonry grouting and contact treatment works in a sunken site.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Sanierung der Entlastungsanlagen Châtillon Bas-Meudon und Renan Seine

*Br. Valez*

Im Rahmen der Sanierung der Entlastungsanlagen Châtillon Bas-Meudon und Renan Seine, hat der SIAAP (ein Abwasserzweckverband der Pariser Region) im Rahmen einer Ausschreibung Sotraisol Fondations den Auftrag für die Einspritzarbeiten zum Dichten und Behandeln des mit dem umgebenden Untergrund in Verbindung stehenden Mauerwerks erteilt.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### La rehabilitación de los vertederos Châtillon Bas-Meudon y Renan Seine

*Br. Valez*

Actuando en el marco de la rehabilitación de los vertederos Châtillon Bas-Meudon y Renan Seine, la Agrupación Intermunicipal de Saneamiento de la Aglomeración Parisiense (SIAAP) ha encargado a Sotraisol Fondations esta operación, tras una licitación lanzada para la ejecución de los trabajos de inyección de encolado y tratamiento del contacto de las obras de fábrica del terreno que recibe los vertederos.



# Réhabilitation de canalisations et techniques sans tranchées

## Chemisage avec le procédé Inpipe

France Réseaux filiale de Quillery réhabilite les réseaux de petits diamètres par chemisage en utilisant une tresse souple fibre de verre sans couture imprégnée de résine et polymérisée aux rayons UV. Il s'agit du procédé Inpipe dont France Réseaux a acquis la licence et réalisé les premiers travaux sur trois chantiers en Île-de-France.

Dans le cadre de la réhabilitation de réseaux de petits diamètres, sans tranchées, la société France Réseaux, filiale du groupe Quillery, vient de réaliser trois chantiers en Île de France en appliquant le procédé suédois Inpipe dont France Réseaux a acquis la licence.

### LE CHEMISAGE

C'est un procédé utilisé pour la première fois en Grande Bretagne il y a 30 ans.

Il permet la réhabilitation entre regards de visite en restituant les propriétés mécaniques d'une canalisation neuve, et en améliorant l'hydraulicité (très faible réduction de diamètre et glissance améliorée).

### Les chantiers

Les sites concernés présentaient les caractéristiques suivantes :

- ◆ Morangis : diamètre 200 L = 631 ml - diamètre 400 L = 134 ml ;
- ◆ Auxerre : diamètre 200 L = 200 ml ;
- ◆ Chevreuse : diamètre 400 L = 150 ml.

### La spécificité de la technique Inpipe

Inpipe est mis en œuvre avec succès dans les pays industrialisés depuis plus de 10 ans. Les essais réalisés en laboratoire et sur site ont permis de confirmer que sa durée de vie est au moins égale à 50 ans.

Inpipe représente actuellement l'une des solutions les plus performantes pour la réhabilitation des canalisations sans tranchées. Le produit se présente sous la forme d'une tresse de fibre de verre souple, continue sans couture, imprégnée en usine d'une résine polyester ou vinylester spéciale développée en étroite collaboration avec DSM/BASF. Ce produit est conforme à toutes les exigences en

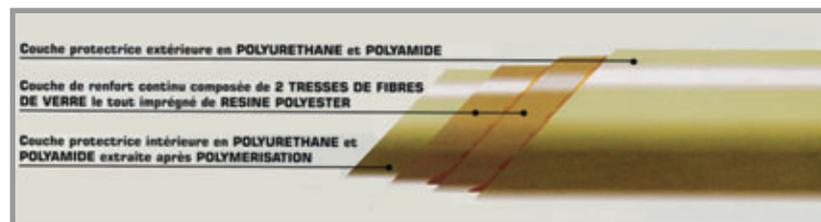


Figure 1  
Procédé Inpipe : tresse  
de fibre de verre souple,  
continue sans couture

*Inpipe process :*  
continuous, seamless,  
flexible glass-fibre braid

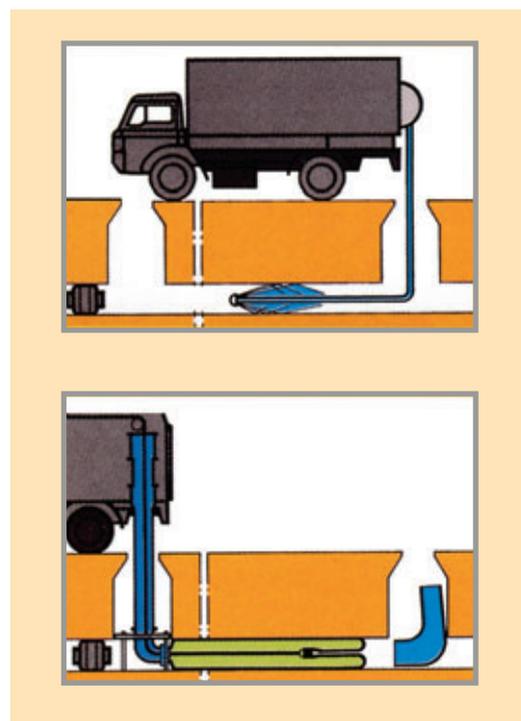
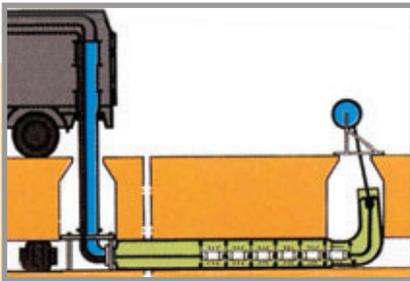


Figure 2  
En haut : la canalisation  
est nettoyée au jet d'eau  
à haute pression.  
En bas : la tresse Inpipe  
est introduite par réversion  
au moyen d'air comprimé  
*Above : piping is cleaned  
under high-pressure water.  
Below : the Inpipe braid  
is introduced  
using compressed air*

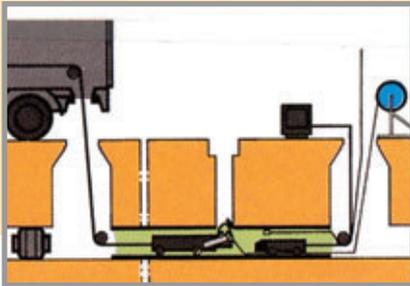
vigueur en ce qui concerne la protection de l'environnement (figure 1).

### Le déroulement du chantier

Après curage, passage caméra et fraisage éventuels à l'aide du robot multifonctions, la tresse Inpipe est insérée par réversion dans la canalisation à l'aide d'air comprimé à partir des conteneurs spécialement aménagés sur le camion porteur (figures 2). Lorsque la tresse (obturée à son extrémité) est plaquée contre les parois de l'ancienne canalisation par la pression de l'air (qui sera maintenue pendant toute la procédure d'installation) on intro-



**Figure 3**  
La tresse est polymérisée aux rayons UV  
*The braid is UV-ray polymerised*



**Figure 4**  
Les branchements sont rétablis par robot multifonction sous surveillance vidéo  
*Connections are established by a multifunction robot under video supervision*

duit dans la canalisation un train de lampe UV dont la fonction est de polymériser la gaine (figure 3). Grâce à son armature en fibre de verre, la tresse se transforme en une nouvelle canalisation très solide et d'une grande résistance aux sollicitations internes et externes.

A la suite, les branchements éventuels sont rétablis par robot multifonction et la canalisation est remise en service (figure 4).

L'ensemble des paramètres (pression, etc.) est enregistré sur graphiques section par section.

## Quelques chiffres

Le procédé s'applique du diamètre 150 au diamètre 800 avec plusieurs épaisseurs possibles selon les performances souhaitées. Par exemple pour le diamètre 200 de 3 à 5,1 mm et pour le diamètre 400 de 5,4 à 6,1 mm.

Sauf incidents une équipe peut traiter une section de 50 ml par jour. La vitesse de polymérisation varie entre 15 et 30 ml par heure selon le diamètre.

## L'aspect économique

Comme tout procédé sans tranchées, le chemisage Inpipe est compétitif par son très faible encombrement au-dessus du regard de visite. Il présente l'autre avantage d'être structurant, de permettre la reprise des branchements avec le minimum de risques et d'avoir une remise en eau de la canalisation dans les plus brefs délais.

Outre France Réseaux, titulaire de la licence, l'application en France du procédé Inpipe est également réalisée par les entreprises Smce et Set Technologies.

## ABSTRACT

**Tranchless technical piping Lining with Inpipe technique**

*J.-L. Naudé*

France Réseaux, subsidiary of Quillery, is rehabilitating small-diameter networks by means of linings using a flexible, seamless glass-fibre braid impregnated with resin and UV ray polymerised. This is the Inpipe process for which France Réseaux acquired the licence and completed the first works on three projects in the Greater Paris region.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

**Stollen ohne Grabenziehung Auskleidung nach dem Inpipe-Verfahren**

*J.-L. Naudé*

France Réseaux, eine Tochtergesellschaft von Quillery, saniert die Netze mit kleinem Querschnitt durch Einsatz einer nahtlosen Glasfaserlitze, die mit Harz imprägniert und durch UV-Bestrahlung polymérisiert wird. Es handelt sich hierbei um das sog. Inpipe-Verfahren, für das France Réseaux Lizenznehmer ist. Die ersten Arbeiten mit dieser Technik sind an drei Baustellen in der Region Île-de-France ausgeführt worden.

## RESUMEN ESPAÑOL

**Canalización técnicas sin zanjas  
Envoltura mediante el procedimiento Inpipe**

*J.-L. Naudé*

France Réseaux, filial de Quillery, reabilita las redes de pequeños diámetros por envoltura (encamisado) utilizando para ello una trenza flexible de fibra de vidrio sin costura impregnada de resina y polimerizada por rayos ultravioleta. Se trata del procedimiento Inpipe, para el cual, France Réseaux ha adquirido la licencia y ejecutado los primeros trabajos en tres obras en la región Ile-de-France.



# Berlin : le plus grand chantier d'Europe

## Les travaux de fondations des nouvelles voies de circulation

Les travaux de fondations pour la réalisation des liaisons routière, métro et ferroviaire dans l'axe nord-sud de la capitale allemande sont bien avancés. Ce sont au total huit tunnels (deux pour la route nationale, quatre pour le train et deux pour le métro) qui seront construits en tranchée couverte. Spie Fondations, représentée par sa filiale Spie Spezialtiefbau, est présente sur trois des cinq lots que comporte le projet entre la Potsdamer Platz et la gare de Lehrter. Elle y réalise en travaux propres les parois moulées ainsi que le radier en béton coulé sous l'eau, radier ancré par des pieux vibrofoncés injectés reprenant une charge d'eau d'une hauteur atteignant 20 m ; la plus grande des fouilles ayant environ 12 500 m<sup>2</sup> de superficie. La qualité du travail réalisé a permis d'obtenir un débit de fuite pour ces fouilles de très grandes dimensions inférieur à 1,5 l/s pour 1 000 m<sup>2</sup> tout en respectant les délais d'exécution définis par le client.



Photo 1  
Vue d'ensemble du projet  
General view of project

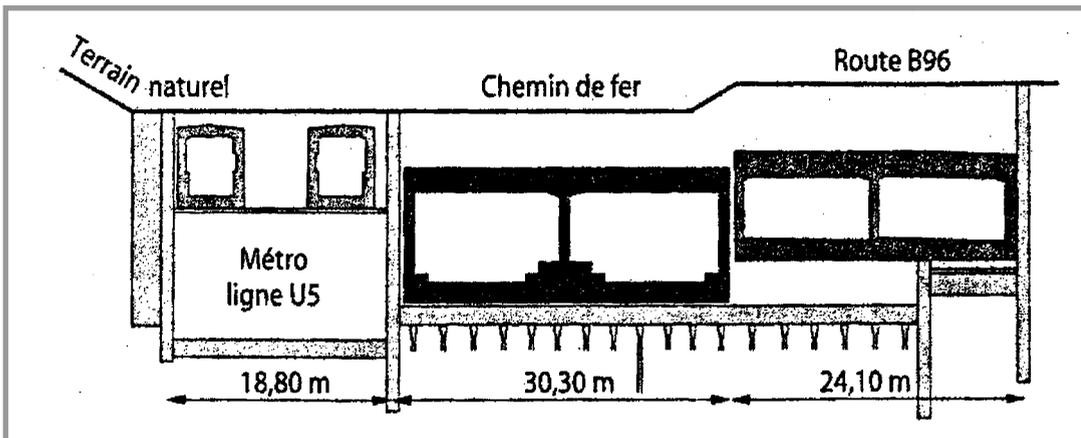


Figure 1  
Coupe du projet - Project section

À l'aube de l'an 2000, la Ville de Berlin assistée du Land et de la Deutsch Bahn s'équipe de nouvelles voies de circulation. Le projet a pour objet de rétablir les liaisons routière, métro et ferroviaire dans l'axe nord-sud de la nouvelle capitale allemande.

### ■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le tracé de cette liaison coupe, à proximité du Reichstag, la rivière qui traverse la ville, la Spree (photo 1). Les travaux sont à réaliser en centre-ville avec simultanément d'autres projets adjacents, ce qui impose une coordination rigoureuse de chaque activité. La première tranche de travaux (lot 2) confiée à Spie Spezialtiefbau en 1995 englobe la réalisation de quatre fouilles situées entre la Spree et le Reichstag, qui permettront la construction des tunnels routiers et ferroviaires ainsi que des tunnels de métro qui viennent s'associer aux premiers pour passer sous le lit de la rivière Spree. Celle-ci a été déviée préalablement d'une centaine de

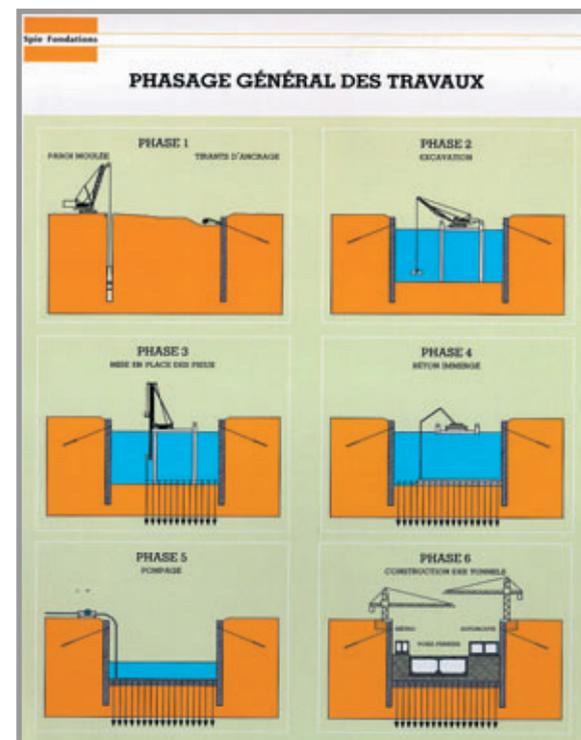
mètres vers le nord pour permettre la réalisation des tunnels (gros-cœvre réalisé par Spie Batignolles) avant de retrouver son tracé initial.

La qualité du travail réalisé et le respect impératif des délais d'exécution, conditionnés par le démarrage ultérieur des travaux de construction des bâtiments gouvernementaux et notamment du futur bureau du chancelier allemand (Bundeskanzleramt), a permis à Spie Spezialtiefbau d'obtenir en 1997 une seconde tranche de travaux (lot 1.4 en groupement) avec cette fois la réalisation de cinq fouilles qui verront la construction de la nouvelle gare de Lehrter. En 1998, Spie Spezialtiefbau est intervenu en sous-traitance sur le lot 4 du même projet afin de réaliser les pieux d'ancrage du radier en béton coulé sous l'eau.

### ■ LES TRAVAUX

La réalisation de toutes ces fouilles se fait, à l'exception d'une partie du tunnel du métro (figure 1), sur un même principe (figure 2).

Figure 2  
Phasage des travaux  
Phasing of works



**Photo 2**  
**Forage de paroi moulée**  
**(lot 2) avec à l'arrière**  
**plan le Reichstag**  
*Diaphragm wall boring*  
*(Section 2)*  
*with the Reichstag*  
*in the background*



**Photo 3**  
**Joint**  
**de paroi moulée**  
**(système**  
**Spie Fondations)**  
*Joint*  
*of diaphragm wall*  
*(Spie Fondations*  
*system)*



**Photo 4**  
**Vue de la fouille E**  
**après vidange**  
*View of excavation E*  
*after drainage*



Après préterrassement, on exécute l'enceinte périphérique de la fouille en paroi moulée dont l'épaisseur varie de 1 à 1,5 m et la profondeur entre 25 et 33 m (photo 2).

Il faut noter que préalablement à l'exécution des parois moulées, il a été nécessaire de déminer l'ensemble du chantier. La recherche de munitions a été effectuée jusqu'à une profondeur d'environ huit mètres sous le terrain naturel. A cette difficulté sont venues s'ajouter des conditions météorologiques exceptionnelles à Berlin lors de l'hiver 1995-1996 (classé centennal) qui ont perturbé le bon déroulement des travaux.

Les joints de paroi moulée ont été réalisés par un système breveté Spie Fondations (photo 3). Ce système s'est avéré particulièrement efficace et a grandement contribué à la tenue du débit maximal de fuite autorisé qui est de 1,5 l/s pour 1000 m<sup>2</sup> de surface moulée.

La première tranche de travaux a été réalisée à proximité de l'ambassade de Suisse. Ce bâtiment fondé sur pieux ne permettait pas la réalisation de tirants d'ancrage sous le bâtiment. La solution retenue a consisté à réaliser une paroi moulée en t<sub>e</sub> de 2,8 x 2,8 m bloquée en pied sur la hauteur de fiche par des barrettes de 12 m de longueur. Cette paroi a été couronnée par une poutre précontrainte sur laquelle a été réalisée à chaque extrémité un faisceau de 28 tirants, certains atteignant 70 m de long.

La réalisation des parois moulées pour le lot 2 a nécessité quatre ateliers de forage/manutention composés de grues (certaines étant équipées de bennes à câbles) Sumitomo LS138, Sennebogen 655, Pinguely 165, et de centrales à boue dotées de dessableurs type Caviem SB5. La paroi est ancrée en tête par une seule ligne de tirants actifs (charge utile jusqu'à 110 t environ).

A l'intérieur de cette enceinte est réalisé un terrassement sous l'eau puis, une fois le fond de fouille atteint, un radier en béton coulé sous l'eau de 1 à 1,5 m d'épaisseur. Ce radier est bétonné en continu de façon à ne pas avoir à réaliser de reprise de bétonnage. Ce qui signifie, pour la fouille la plus grande, près de 19000 m<sup>3</sup> de béton mis en œuvre jour et nuit sans interruption pendant une semaine; le bétonnage étant contrôlé en permanence par des plongeurs surveillant l'avancement du front de béton en fond de fouille.

Le radier est ancré par des pieux vibrofoncés injectés exécutés depuis des pontons suivant un maillage 3 m x 3 m, de longueur variant entre 15 et 25 m.

Les travaux de pieux sont exécutés avec des machines de type Fundex F16. Ces pieux sont des profilés métalliques HEB 220 ou 240 d'une longueur maximale de 25 m et équipés en usine d'une platine pour la liaison avec le béton coulé sous l'eau et d'un sabot pour l'injection.

Un fois réalisées ces opérations, on procède à la

vidange de la fouille et les travaux de gros-œuvre peuvent alors commencer (photo 4).

Une partie des fouilles pour le tunnel du métro est conduite avec une autre technique. Ce tunnel se trouve en effet dans une zone particulière du projet où sera réalisée la gare du Reichstag à une dizaine de mètres de profondeur. La technique retenue pour cette fouille peu profonde a été une paroi moulée tirantée en tête et un radier injecté profond.

La plus grande fouille du projet réalisée par Spie Spezialtiefbau avec la technique du béton coulé sous l'eau couvre une superficie de 12500 m<sup>2</sup>, la plus profonde atteint 20 m sous le niveau de la nappe.

Les principales quantités mises en œuvre sur les différents lots du chantier sont reportées sur le tableau I.

La part propre de chiffre d'affaires de Spie Spezialtiefbau s'élève pour la première tranche de travaux (lot 2) à environ 300 millions de francs et à 200 millions de francs pour la seconde (lot 1.4).

	Lot 2	Lot 1.4	Lot 4
Parois moulées	56 000 m <sup>2</sup>	30 000 m <sup>2</sup>	
Tirants	1250 unités	1200 unités	
	30 000 ml	40 000 ml	
Pieux vibrofoncés injectés	3 100 unités	5 500 unités	500 unités
Radier béton coulé sous l'eau	28 000 m <sup>2</sup>	47 000 m <sup>2</sup>	
Terrassements	650 000 m <sup>3</sup>	900 000 m <sup>3</sup>	

Tableau I  
Les principales quantités  
*The main quantities*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitres d'ouvrage

#### Partie ferroviaire

Deutsche Bahn AG (DB AG)

#### Partie métro

Berliner Verkehrs Betriebe (BVG)

#### Partie routière

Land Berlin (Senbauwohn)

### Maitre d'œuvre

G.I.E DB Projekt Knoten Berlin

### Entreprises

- Spie Batignolles (lot 2, lot 1.4 en groupement)
- Spie Spezialtiefbau (lot 2, lot 1.4 en groupement et lot 4 en sous-traitance)

## ABSTRACT

### Berlin : Europe's biggest worksite Foundation works for new transport facilities

D. Dewever

The foundation works for the highway, metro and railway links along the north-south route of the German capital are well under way. There are eight tunnels in all (two for the national road, four for the train, and two for the metro) to be cut-and-cover constructed. Spie Foundations, represented by its subsidiary Spie Spezialtiefbau, is present on three of the five project sections between Potsdamer Platz and the Lehrter train station. It will be providing the diaphragm walls as well as the concrete foundation floor cast under water, the floor being anchored by grouted vibration-driven piles retaining a water load with a height reaching 20 m, the largest excavations corresponding to about 12,500 m<sup>2</sup>. The quality of the work made it possible to achieve, for these very large excavations, a leakage rate of less than 1.5 l/s for 1,000 m<sup>2</sup> while complying with the execution schedule set by the client.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Berlin : die größte Baustelle Europas Die Gründungsarbeiten an den neuen Verkehrsverbindungen

D. Dewever

In der deutschen Hauptstadt sind die Gründungsarbeiten für die Straßen-, U-Bahn- und Eisenbahnverbindungen in Nord-Südrichtung jetzt weit fortgeschritten. Insgesamt acht Tunnel (zwei für die Bundesstraße, vier für die Eisenbahn und zwei für die U-Bahn) werden nach dem Prinzip des abgedeckten Einschnitts gebaut. Spie Foundations, vertreten durch ihre Tochtergesellschaft Spie Spezialtiefbau, arbeitet an drei der fünf Baulose des Projektes zwischen Potsdamer Platz und Lehrter Bahnhof mit. Sie führt hier unter eigener Verantwortung die Schlitzwände und die Sohlplatte aus unter Wasser vergossenem Beton aus : Diese wird auf vibrationsgebohrten Pfählen verankert und nimmt eine bis zu 20 m hohe Wasserlast auf. Die größte Baugrube hat ca. 12500 m<sup>2</sup>

Fläche. Dank der Qualität der Ausführung konnten bei diesem Aushub sehr großer Abmessung eine Leckrate unter 1,5 l/s für 1000 m<sup>2</sup> erzielt und die vom Kunden vorgegebenen Termine eingehalten werden.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Berlin : las obras más importantes de Europa Los trabajos de cimentación de las nuevas vías de circulación

D. Dewever

Las obras de cimentación para la ejecución de los enlaces viarios, de metro y ferroviarios en el eje norte-sur de la capital alemana se encuentran en buen estado de avance. Se trata en total de ocho túneles (dos para la carretera nacional, cuatro para el tren y dos para el metro) que se habrán de construir en forma de trinchera cubierta. Spie Foundations, representada por su filial Spie Spezialtiefbau, se encuentra presente en tres de los cinco lotes que comprende el proyecto entre la Potsdamer Platz y la estación de Lehrter. Se ejecutan así en zona de trabajos propia, las pantallas continuas así como la solera hormigonada bajo el agua, solera anclada por medio de pilotes vibrohincados inyectados que soportan una carga de agua de una altura que alcanza 20 metros. Se trata de la mayor de las excavaciones que mide aproximadamente 12500 m<sup>2</sup> de superficie. La calidad del trabajo ejecutado ha permitido obtener un rendimiento de infiltración para estas trincheras de gran dimensión inferior a 1,5 l/s por cada 1000 m<sup>2</sup>, y todo ello respetando los plazos de ejecución definidos por el cliente.

# Le viaduc de la Mirna

## Essais de pieux

**Le viaduc de la Mirna traverse une vallée dont le sol de fondation comporte des terrains aux caractéristiques mécaniques médiocres. Des essais de pieux ont été, de ce fait, réalisés afin de mieux comprendre le comportement d'une fondation sous charge, notamment à long terme. L'article présente les principaux résultats obtenus à l'occasion de ces essais.**

### ■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Situé près de Novigrad, le viaduc de la Mirna fait partie de la phase 1B des autoroutes d'Istrie. D'une longueur de 1353 m le viaduc franchit la vallée de la Mirna à 2,5 km de l'estuaire de celle-ci.

L'ouvrage hyperstatique continu est divisé en 22 travées reposant sur des piles allant jusqu'à 40 m de hauteur et à tablier mixte poutre métallique/tablier béton de 10,10 m de largeur afin de :

- ◆ minimiser le poids propre et donc les fondations, problème majeur de l'ouvrage ;
- ◆ permettre de reprendre des tassements différentiels de l'ordre de quelques centimètres grâce à la souplesse de la structure.

La vallée de la Mirna (photo 1), site naturel protégé, est géologiquement composée en son centre de matériaux fluviatiles récents d'une épaisseur maximale de 165 m, faisant craindre des tassements différentiels de la partie centrale de l'ouvrage par rapport aux appuis sur rive, fondés directement sur le substratum calcaire. Aussi, un

certain nombre d'essais de pieux ont été réalisés. Une première série a été exécutée par l'Institut de génie civil de Croatie, IGH, en 1994. Les tests ont été effectués sur des pieux battus 400 x 400 et sur un pieu foré Ø 800.

Les difficultés d'exécution rencontrées n'ayant pas permis de mener les essais à leur terme, notamment pour le pieu foré, et l'inexistence d'information sur le comportement à long terme d'une fondation en grande profondeur ont conduit l'entreprise à réaliser des essais supplémentaires, afin de répondre aux questions suivantes :

- ◆ un viaduc sur pieux flottants est-il réaliste ? ;
- ◆ le comportement à long terme est-il prévisible ? ;
- ◆ techniquement et financièrement, quelle est la solution la moins aléatoire ?

Ces essais de pieux et leurs préliminaires ont été conçus, en collaboration avec le LCPC (M. Bustamante) et Intrafor (M. Besson) afin de permettre de tester différents types de fondation d'un point de vue :

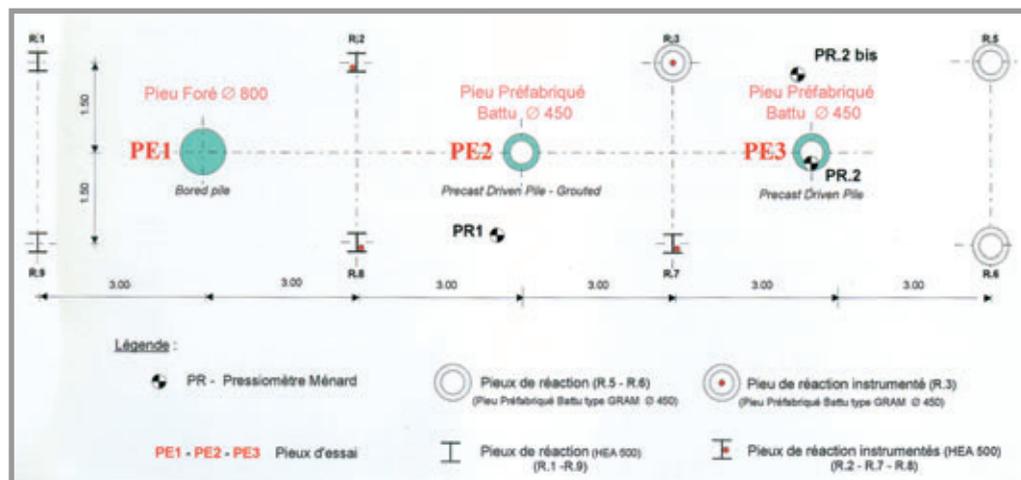
- ◆ de l'exécution ;
- ◆ des capacités portantes ;
- ◆ du comportement à long terme.

**Photo 1**  
La vallée de la Mirna  
*The valley of the Mirna*



**Figure 1**  
Viaduc de la Mirna.  
Implantation des pieux

*Viaduct of the Mirna.*  
*Location of piles*



### ■ DÉFINITION DES RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES ET DES ESSAIS

#### Reconnaitances complémentaires

Précédemment présentée la vallée de la Mirna est donc, d'un point de vue géologique, homogène et peu complexe. En effet, elle ne rassemble pratiquement que deux grandes formations qui sont :

- ◆ les calcaires du crétacé supérieur des rives ;
- ◆ les argiles quaternaires de la vallée.

La campagne géotechnique complémentaire a été axée sur le comportement des argiles (leur épaisseur, supérieure à 120 m, interdit tout fondement sur le substratum rocheux de la pile P5 à la pile P17) et comprend :

- ◆ une série d'essais au pressiomètre Ménard et au pénétromètre statique ;
- ◆ un carottage avec prélèvement d'échantillons intacts pour la réalisation d'une étude œdométrique en laboratoire.

Dans sa phase de réalisation, cette campagne a mis en évidence les phénomènes suivants :

- ◆ resserrement des forages ;

# en Croatie

**Joseph Harnois**



DIRECTEUR DU PROJET  
Bouygues TP

**Stéphane Schneider**



DIRECTEUR TECHNIQUE  
Bouygues TP

◆ remontée d'argile dans les tubages.  
Malgré ces phénomènes qui ont affecté les résultats, la campagne a confirmé et précisé les hypothèses :

- ◆ les sols à l'aplomb du tracé du futur viaduc sont constitués par des argiles molles ( $p_l^* = 75$  kPa) à raides ( $p_l^* = 350 - 800$  kPa);
- ◆ le matériau est très fin (teneur en particules inférieure à  $2 \mu$  parfois supérieure à 50 %);
- ◆ le matériau est très actif comme l'ont montré les essais au bleu.

## Détermination des essais de pieux

Les faibles caractéristiques mécaniques du sol et les difficultés rencontrées lors de l'exécution des essais pressiométriques nous ont conduits à tester comme indiqué sur la figure 1 :

- ◆ un pieu foré PE1;
- ◆ un pieu H métallique battu R2;
- ◆ un pieu béton battu préfabriqué PE3;
- ◆ un pieu béton battu préfabriqué circulaire injecté PE2.

Le prédimensionnement des pieux d'essais et des pieux de réaction a été effectué à partir des résultats des essais pénétrométriques et pressiométriques et des essais de 1994.

## LE PLOT D'ESSAI – ESSAIS VERTICAUX ET HORIZONTAUX

### Massif de réaction

A l'aide d'un massif de réaction constitué par un chevêtre métallique de 16 t qui permet de mobiliser 6 MN de réaction, la charge est transmise par vérins au pieu testé et reprise par les pieux de réaction (photo 2).

Ce dispositif de chargement a été étudié pour être facilement démontable et réutilisable pour les trois essais prévus (photo 3).

### Essai vertical sur le pieu foré Ø 800 – PE 1

La charge limite conventionnelle vis-à-vis du sol  $Q_U$  a été atteinte et l'on a obtenu :

- ◆ charge ultime  $Q_{ULT} = 5,0$  MN (500 t);
- ◆ charge de fluage  $Q_C = 3,0$  MN (300 t);
- ◆ charge nominale  $Q_N = 2,4$  MN (240 t).



**Photo 2**  
Le massif de réaction en place.  
Essai sur PE 3  
*The reaction block in place.  
Test on PE 3*



**Photo 3**  
Vérins de 350 t en place.  
Essai sur PE 1  
*350-t jacks in place.  
Test on PE 1*

### Essai vertical – PE 2 (Préfa battu injecté)

Le programme a dû être interrompu au début du XI<sup>e</sup> palier (3,3 MN), avant la rupture du sol car la déformation excessive de l'une des pièces de fixation d'un tirant menaçait l'équilibre du système de réaction. La charge maximale de 3,3 MN a toutefois été maintenue pendant cinq minutes, et l'enfoncement  $S_0$  correspondant à cette charge a atteint 26,37 mm. La charge limite conventionnelle vis-à-vis du sol,  $Q_U$  n'a pas été atteinte et était pro-

**Photo 4**  
**Vue générale**  
**de l'essai**  
**en traction**  
**sur R 2**

**General view**  
**of tensile test**  
**on R 2**



## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Concédant**

Ministère des Transports de Croatie

### **Concessionnaire**

Société Bina-Istra (durée de la concession : 28 ans)

### **Constructeur**

Bouygues



blement loin de l'être. En effet, les enfoncements de la tête sont toujours restés très en deçà du  $1/10^{\circ}$  du diamètre nominal. Nous obtenons alors :  
 $Q_C > 3,3 \text{ MN}$  et  $Q_{ULT} > 3,3 \text{ MN}$

### **Essai vertical – PE3**

Ce pieu a fait l'objet d'un essai long terme (six semaines) après avoir été amené à sa charge estimée de service, puis amené à la rupture après l'essai de longue durée.

#### **Première phase : Palier de service et essai long terme**

Le fluage entre 10 et 60 minutes semble représentatif du fluage à long terme, avec un coefficient de 1,45, le cumul des déformations différées sous 1,2 MN s'élèverait à 3 mm entre un mois et dix ans.

#### **Deuxième phase : Rupture**

L'analyse de l'ensemble des relations montre que la charge limite conventionnelle vis-à-vis du sol  $Q_U$  a bien été atteinte et apparaît nettement avec un "pic" caractéristique pour les argiles. Ainsi, on a :

- ◆ charge ultime  $Q_{ULT} = 1,8 \text{ MN}$  (180 t) ;
- ◆ charge de fluage  $Q_C = 1,2 \text{ MN}$  (120 t) ;
- ◆ charge nominale  $Q_N = 0,96 \text{ MN}$  (96 t).

### **Essai vertical en traction – R 2**

(photo 4)

L'examen des relations montre que la charge limite conventionnelle vis-à-vis du sol  $Q_U$  a bien été atteinte. Les déplacements de la tête et de la pointe ont largement dépassé le  $1/10^{\circ}$  du diamètre nominal.

La traction critique de fluage  $Q_C$  a été déterminée à partir des relations  $a - S_0$  :

$$Q_C \approx 2,9 \text{ MN} \text{ et } Q_{ULT} \approx 3,3 \text{ MN}$$

S'agissant d'un pieu arraché, c'est-à-dire ne résistant pas par sa pointe, la totalité de l'effort ultime d'arrachement est repris par frottement. Le

gain de portance dû à la résistance de pointe ultime  $Q_{ULT, P}$  doit être infime, probablement de l'ordre de 0,1 MN (estimé à partir des essais sur les autres pieux). Nous obtenons alors :

- ◆  $Q_{ULT} = 3,4 \text{ MN}$  (340 t) ;
- ◆  $Q_N = 1,7 \text{ MN}$  (170 t).

### **Essais horizontaux**

Les essais précédemment définis ont été complétés par des essais horizontaux, l'ouvrage étant soumis à des efforts horizontaux importants dus au vent et au séisme.

### **Synthèse**

En première analyse :

- ◆ les résultats de PE1 sont inférieurs à ceux obtenus dans la campagne précédente d'IGH ;
- ◆ il est à noter les résultats tout à fait remarquables du pieu battu injecté PE2 ;
- ◆ les pieux béton battus et métalliques battus présentent des caractéristiques de frottement latéral tout à fait comparables.

## ■ MODÉLISATION DU COMPORTEMENT D'UN GROUPE DE PIEUX

Les essais précédemment décrits ont été complétés par une étude sur le comportement d'un groupe de pieux.

La modélisation a été réalisée conjointement par Intrafor (M. Roland Stenne) et par l'IGH.

### **Interprétation des essais de pieux statiques**

Celle-ci a été réalisée en Istrie à l'aide d'un logiciel de calcul. L'analyse porte sur le comportement de chaque pieu au niveau de son interface avec le sol ainsi que sur le comportement du sol en terme de déformabilité.

Le but de cette première partie est de pouvoir approcher au mieux la loi de comportement de chaque type de pieu. Ainsi, à partir de la forme de la courbe Tassement/Effort en tête obtenue expérimentalement et des différentes mesures sur les jauges de déformation, on cherche à obtenir une loi de comportement qui, par ailleurs, prend en compte les caractéristiques du pieu (module de déformation vertical).

### **Modélisation de la fondation d'une pile**

Pour estimer le comportement à long terme, la fondation de la pile dans son ensemble a été modélisée afin d'obtenir le tassement total, addition du

tassement de chaque pieu formant la fondation et du tassement du groupe. Deux solutions ont été modélisées :

◆ fondation par barrettes forées sous boue bentonitique de section 2,80 m x 0,60 m et d'une profondeur de 58 m. Les tassements obtenus ont été les suivants :

- tassement à court terme : 27 mm,
- fluage du pieu : 17 mm,
- tassement de consolidation : 25 mm,
- Total : **69 mm** ;

◆ fondation par pieux battus métalliques de section 600 x 350 et de profondeur 62 m :

- tassement à court terme : 29 mm,
- fluage du pieu : 17 mm,
- tassement de consolidation : 30 mm,
- Total : **76 mm**.

A partir de données des essais, la modélisation a montré que le tassement total prévisible était inférieur à 10 cm sur 10 ans, ce qui – pour un sol argileux comme celui de la Mirna, et, eu égard à la souplesse de la structure – reste acceptable. Ces résultats permettront de mettre en place les consignes de maintenance lors de l'exploitation du viaduc.

## ■ CONCLUSION

L'ensemble de l'essai précédemment décrit représente un investissement important. Celui-ci est toutefois nécessaire afin de :

- ◆ lever les incertitudes quant aux caractéristiques du terrain ;
- ◆ de s'assurer de la faisabilité des fondations et d'aider aux choix techniques de réalisation ;
- ◆ définir les paramètres et hypothèses de calcul ;
- ◆ prévoir le comportement à moyen et long termes ;
- ◆ d'assurer ainsi la maîtrise des études et de l'exécution de l'ouvrage.

## ABSTRACT

### The viaduct of the Mirna in Croatia. Pile tests

*J. Harnois, S. Schneider*

**The Mirna Viaduct goes through a valley in which the foundation soil comprises ground with poor mechanical properties. Pile tests were consequently carried out in order to better understand the behaviour of a foundation under load, in particular in the long term. The article presents the main results obtained on the occasion of these tests.**

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Die Mirna-Hochbrücke in Kroatien. Pfählungs-Versuche

*J. Harnois, S. Schneider*

**Die Mirna-Hochbrücke wird in einem Tal errichtet, dessen Baugrund teilweise recht schlechte mechanische Eigenschaften aufweist. Es wurden eine Reihe Versuche mit Pfählen durchgeführt, um das Verhalten einer Gründung unter Last, vor allem auf lange Sicht, besser nachvollziehen zu können. Der vorliegende Artikel enthält die wichtigsten Ergebnisse dieser Erprobungen.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### El viaducto de la Mirna en Croacia. Pruebas de pilotes

*J. Harnois y S. Schneider*

**El viaducto de la Mirna salva un valle cuyo terreno de cimentación consta de terrenos de características mecánicas de calidad mediocre. Las pruebas de pilotes se han efectuado con objeto de comprender de mejor modo el comportamiento de los cimientos bajo carga, y fundamentalmente a largo plazo. El artículo presenta los principales resultados obtenidos con motivo de estas pruebas.**

# La North-East line du Les travaux spéciaux du

Dans le cadre de la construction d'une nouvelle ligne de métro à Singapour, IP Foundations Ltd réalise les travaux spéciaux des stations Boon Keng et Sennett. L'article décrit les travaux de parois moulées ainsi que le programme et les moyens mis en œuvre.

## ■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'Etat singapourien a lancé en 1997 la construction d'une quatrième ligne de métro sur l'île-État, la North-East line. Cette ligne, d'une longueur d'environ 18 km, reliera le World Trade Center au sud, à la ville nouvelle de Punggol au nord-est (figure 1). Entièrement souterraine, sauf à son extrémité nord, la ligne comporte seize stations et un dépôt; les tunnels entre stations étant généralement constitués d'un bi-tube de 5,6 m de diamètre foré au bouclier.

La ligne a été divisée en douze lots mis en appel d'offres et attribués à des groupements d'entreprises générales au cours de l'année 97. IP Foundations Ltd (IP) intervient sur le lot 705 en sous-traitant du groupement Kumagai-Sembawang-Mitsui (KSM).

Les travaux comportent les parois moulées des stations Boon Keng et Sennett et une tranchée couverte de 260 m adjacente à la station Sennett.

## ■ LES PAROIS MOULÉES

### Géologie

La géologie des sites, typique du centre de l'île de Singapour, consiste en des dépôts sédimentaires, la Kallang formation, surmontant un substratum, également alluvionnaire, les Old Alluvium.

La Kallang formation se subdivise en un horizon de sable fluvial surmontant une couche d'argiles marines plastiques molles (valeurs SPT de 0 à 2).

La Kallang formation est recouverte d'une couche de remblais récents de 1 à 2 m d'épaisseur.

Le terrain naturel est situé entre 3,5 et 5 m au-dessus du zéro des cartes, soit 1,5 à 3 m au-dessus de la nappe phréatique.

### Conception

Les parois moulées constituent le soutènement provisoire durant les phases d'excavation; elles sont intégrées aux ouvrages au stade définitif et supportent les planchers de la station (photo 1).

IP est responsable du calcul des phases provisoires; le calcul général des structures, incluant le stade définitif des parois moulées, a été confié à Robert Benaim & Associates (RBA) par le groupement KSM. La conception des parois a demandé plusieurs mois d'études, réalisées sur place, en liaison étroite avec RBA. En effet, l'une des contraintes majeures résidait dans le fait que les calculs des phases provisoires nécessitaient que la conception générale des stations soit figée (niveau et raideur des planchers en particulier), les stations étant ensuite excavées en semi *top-down* (figure 2).

Les parois sont souvent porteuses. Elles s'ancrent généralement dans les argiles dures (SPT > 150).

### Construction

Les parois moulées sont excavées sous boue bentonitique en épaisseurs 800, 1000 ou 1200 mm à l'aide de bennes à câbles montées sur porteurs

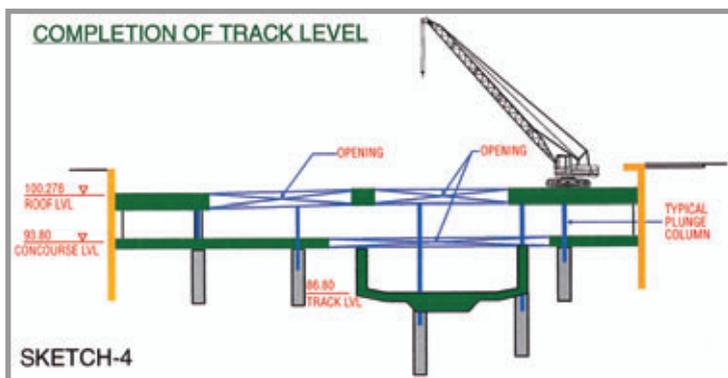
Figure 1  
Plan général  
du métro de Singapour  
General plan  
of the Singapore Metro



Photo 1  
Station Boon Keng.  
Premier niveau  
d'excavation. Aciers  
d'attente des planchers  
Boon Keng station.  
First excavation level.  
Floor stub bars



Figure 2  
Coupe type  
de la station  
Boon Keng  
Typical section  
of the Boon Keng  
station



# métro de Singapour contrat 705

**Jean-Pierre Alexandre**

**DIRECTEUR  
INTERNATIONAL  
Bouygues Fondations Spéciales**



Liebherr 853. L'ancrage dans les argiles dures nécessite ponctuellement l'emploi de trépan. Outre l'ancrage de pied et la présence de la couche d'argile molle au-dessus des Old Alluvium sur une épaisseur pouvant dépasser 15 m, la difficulté principale du chantier réside dans le phasage des travaux.

En effet, les deux stations ainsi que la tranchée couverte se situent dans l'axe de Upper Serangoon Road, une artère importante de desserte des villes nouvelles du nord-est de Singapour.

Afin de maintenir en permanence l'intégralité des voies de circulation sur cette avenue, les travaux sont découpés en phases successives de déviation des voies (photo 2).

Après réalisation des parois moulées dans chaque phase des *deckings* métalliques sont mis en place par l'entreprise générale. Ces *deckings* permettront l'excavation générale des stations.

Ces contraintes de phasage amènent à leur tour des problèmes de réseaux enterrés. Ces réseaux ne peuvent être identifiés avec précision qu'une fois les emprises libérées dans chaque phase. Il est alors trop tard pour les dévier. S'engage alors une opération particulièrement délicate d'exécution de la paroi sous les réseaux existants.

Dans un premier temps ceux-ci sont protégés avant construction des murettes-guides. La paroi est ensuite excavée par translation de la benne de forage sous le réseau en place suivant une procédure rigoureuse mise au point au cas par cas.

Les contraintes de phasage et celles liées aux réseaux enterrés amènent à un panneautage minutieux des parois moulées.

## ■ QUANTITÉS, MOYENS ET PROGRAMME

### Les quantités

Les stations Boon Keng et Sennett ont une longueur de 230 m pour une largeur moyenne de 50 m (figures 3 et 4). La tranchée couverte a une largeur de 25 m sur sa partie sud permettant le passage des deux voies de train. Cette largeur est réduite à 15 m dans la partie nord correspondant au passage de la voie nord-sud (la voie sud-nord étant constituée d'un tunnel foré le long de cette section) (figure 5).

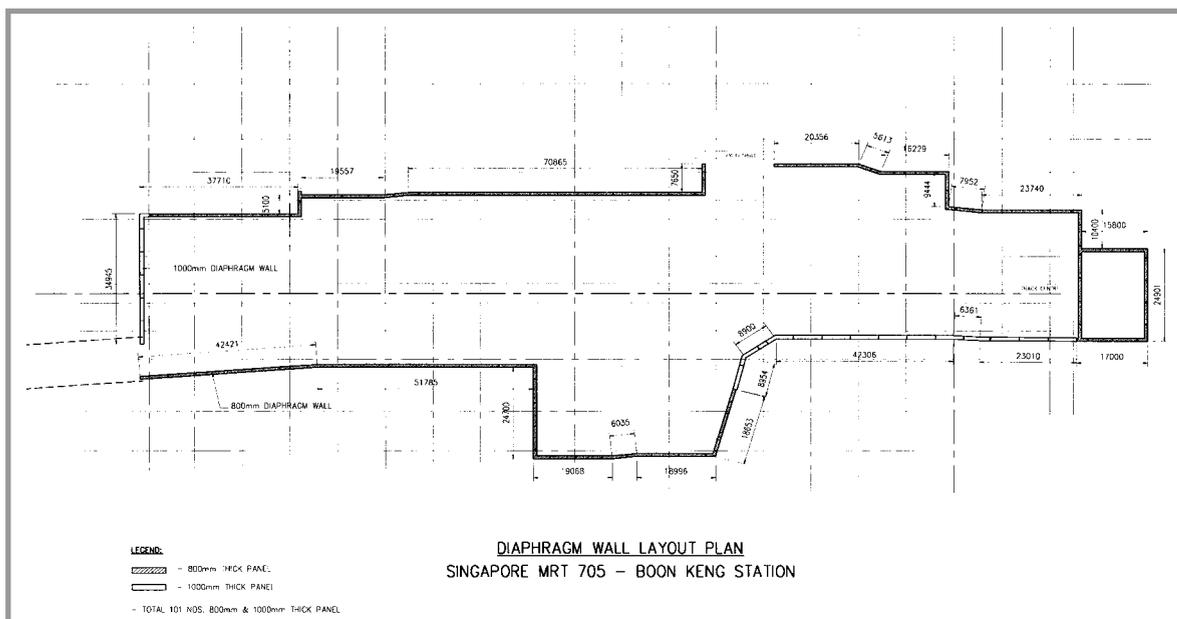
La base des radiers se situe à environ 18 m sous le terrain naturel.

En outre, la station Boon Keng possède un puits d'accès rectangulaire pour les tunneliers sur sa partie nord (photo 3).

La profondeur des parois moulées varie de 20 m moyens sur la station Boon Keng, à 27 m moyens sur la station Sennett et 31 m moyens sur la tranchée couverte. Ces variations s'expliquent par la présence d'une "vallée" des argiles marines s'étendant de la partie nord de Sennett à la tranchée couverte.



**Photo 2**  
**Station Boon Keng**  
**Boon Keng Station**



**Figure 3**  
**Vue en plan**  
**de la station Boon Keng**  
**Plan view**  
**of the Boon Keng station**

**Les principales quantités**  
*The main quantities*

	Périmètre	Surface
Boon Keng Station	610	11 980
Sennett Station	620	16 920
Tranchée couverte	550	16 910
Total	1 780 m	45 810 m <sup>2</sup>

	SPT	Epaisseur
<u>REMBLAIS</u>		0-2 m
<u>Kallang Formation</u>		
Sable fluvial	10-20	0-10 m
Argiles marines	0-2	jusqu'à 15 m
<u>Alluvions anciennes</u>		
Complètement décomposées	15-30	
Très décomposées	30-80	
Partiellement décomposées	80-100	
Argiles raides	> 100	

L'ensemble des parois moulées de Boon Keng, Sennett et tranchée couverte représente une superficie de 45 800 m<sup>2</sup>.

**Les moyens**

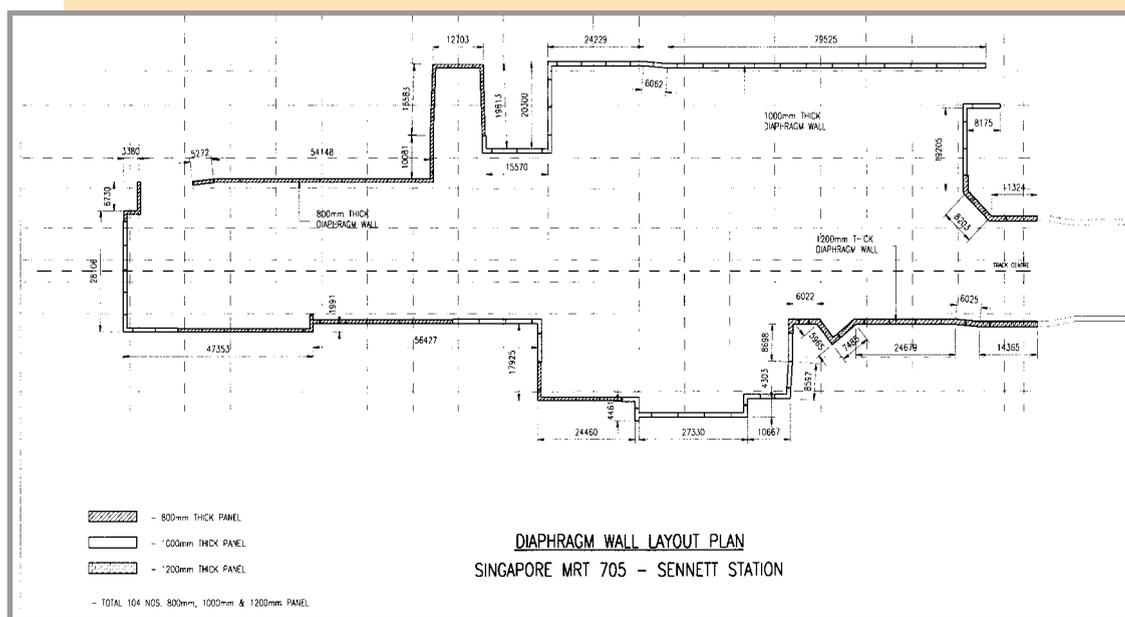
**Les moyens humains**

Les travaux ont mobilisé en pointe 90 personnes dont dix expatriés de sept nationalités différentes. A noter que l'agence singapourienne de IP a obtenu, en cours de chantier, la qualification ISO 9000.

**Les moyens en matériel**

L'ensemble des travaux a été réalisé par deux ateliers de paroi moulée. Chaque atelier était constitué de deux grues Liebherr 853 l'une pour l'excavation, la seconde pour la manutention. Deux centrales à boue ont été nécessaires aux travaux, l'une pour la station Boon Keng, la seconde pour la station Sennett desservant à la fois la station et la tranchée couverte. Les joints entre panneaux étaient réalisés suivant

**Figure 4**  
**Vue en plan de la station Sennett**  
*Plan view of the Sennett station*



**Figure 5**  
**Vue en plan de la tranchée couverte**  
*Plan view of the cut-and-cover section*

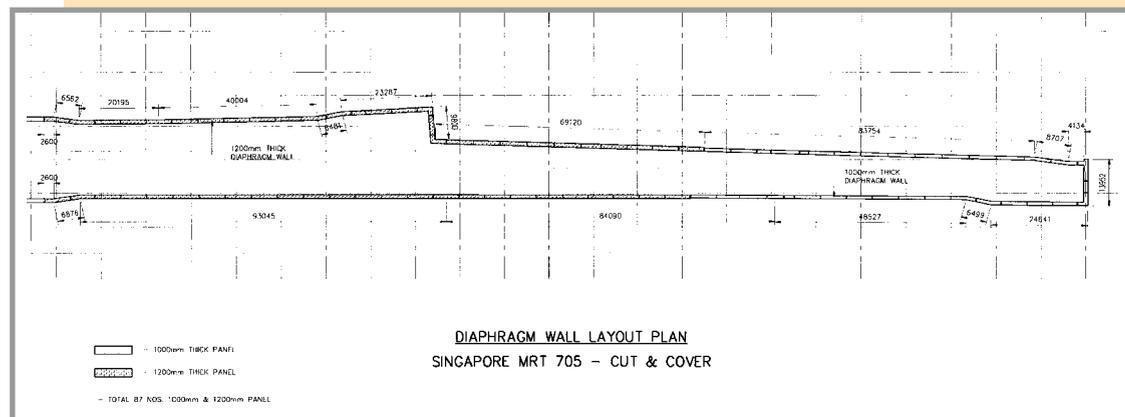




Photo 3  
Puits d'accès des tunneliers  
Tunnel boring machine access shaft

le procédé Intrafor WSI et comportaient deux waterstop de 100 mm de largeur.

## LE PLANNING

La station Boon Keng, commencée en mai 1998, a été achevée en septembre de la même année. Les travaux de la station Sennett et de la tranchée couverte, commencés en juillet 1998, seront terminés en avril 1999.

Ces travaux furent menés en parallèle avec ceux du Fullerton building à Singapour – où IP a réalisé en un mois et demi, entre septembre et octobre 1998, 10 000 m<sup>2</sup> de parois moulées – et les travaux du métro de Bangkok pour lequel l'entreprise a construit entre février 1998 et mai 1999, 165 000 m<sup>2</sup> de parois sur cinq stations et une tranchée couverte. C'est ainsi plus de 220 000 m<sup>2</sup> qui auront été exécutés en un peu plus d'un an dans cette partie du monde.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maitre d'ouvrage

LTA (Land Transportation Authority of Singapore)

#### Maitre d'œuvre

LTA (Land Transportation Authority of Singapore)

#### Entreprises

Groupement Kumagai - Sembawang - Mitsui (KSM)

#### Sous-traitant

I-P Foundations Ltd (IP)

### ABSTRACT

#### The north-east line of the Singapore Metro. Special works of contract 705

J.-P. Alexandre

In connection with the construction of a new metro line in Singapore, IP Foundations Ltd. is completing the special works of the Boon Keng and Sennett stations. This line, about 18 km long, will link the World Trade Centre in the south to the new town of Punggol in the north-east. Entirely underground, except at its north end, the line has 16 stations and one depot, the tunnels between stations generally consisting of a bi-tube of 5.6-m diameter drilled by a tunnel boring machine. The article describes the diaphragm wall works as well as the program and the resources used.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Die North-East Line der U-Bahn von Singapur Die Spezialarbeiten aus dem Vertrag 705

J.-P. Alexandre

Im Rahmen des Baus einer neuen U-Bahn-Linie in Singapur führt IP Foundations Ltd die Spezialarbeiten für die Bahnhöfe Boon Keng und Sennett aus. Diese ca. 18 km lange Linie verbindet das World Trade Center im Süden mit der Trabantenstadt Punggol im Nordosten. Außer am nördlichen Ende verläuft die gesamte Linie unterirdisch. Sie umfaßt sechzehn Bahnhöfe und ein Depot. Die Tunneln zwischen den Bahnhöfen bestehen in der Mehrzahl aus einem per Schildvortrieb gebohrten Doppelstollen mit 5,6 m Querschnitt. Der vorliegende Artikel behandelt die Arbeiten an den Schlitzwänden sowie das Abwicklungsprogramm und die eingesetzten Mittel.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### La North-East line del metro de Singapur. Las obras especiales del contrato 705

J.-P. Alexandre

En el marco de la construcción de una nueva línea de metro en Singapur, IP Foundations Ltd lleva a cabo los trabajos especiales de las estaciones Boon Keng y Sennett. Esta línea, de una lon-

gitud de 18 kilómetros aproximadamente, pondrá en comunicación el World Trade Center con el sur de la nueva ciudad de Punggol ubicada al noreste. Totalmente subterránea, salvo en su extremo norte, la línea consta de dieciséis estaciones y un depósito. Los túneles entre estaciones están formados por lo general por un doble tubo de 5,6 m de diámetro, perforado por medio de un tunelero. El artículo describe los trabajos de las pantallas continuas así como el programa y los medios puestos en aplicación para estas obras.

# Innovations en matière de parois moulées

La prise en compte du facteur environnemental dans les projets de construction urbaine est aujourd'hui une réalité. Il s'agit même, si l'on en juge par un projet récent de directive européenne, d'environnement au sens large puisqu'il pourrait être question d'interdire toute inclusion dans le sol de matériaux susceptibles d'affecter la qualité des nappes souterraines.

Le mouvement "Travaux sans tranchées", lancé dans le monde entier à la fin des années quatre-vingt, a certes largement contribué au développement des tunneliers pour la construction des tunnels en site urbain mais il a bien fallu aussi creuser des gares souterraines ou des accès d'autoroutes à l'abri de soutènements classiques (parois moulées, berlinoises, pieux jointifs) et des puits d'accès pour les tunneliers eux-mêmes ou pour des stations de pompage à l'abri de parois moulées circulaires.

Etant donné que, dans le même temps, se développait considérablement le marché des parcs de stationnement souterrains en centre-ville, il en résulte qu'au cours de cette dernière décennie, le rythme annuel de construction de parois moulées est resté sensiblement constant, tant en France qu'à l'international.

Dans cette même période – et c'est le propos de cet article – les techniques d'exécution des parois moulées ont fait des progrès remarquables, sous la pression combinée des contraintes environnementales et de la course permanente pour l'amélioration du rendement et de la fiabilité.

## ■ ENVIRONNEMENT ET CONCURRENCE, MOTEURS DE L'INNOVATION

Imaginerait-t-on aujourd'hui un chantier en site urbain avec d'énormes machines bruyantes, des rues souillées de déblais boueux ou fermées à la circulation pendant plusieurs mois, des arbres centenaires qu'il aurait fallu abattre pour faire les travaux? Si cela peut encore exister dans de nombreux pays – parfois même réputés développés – ce n'est plus le cas en Europe occidentale où la pression environnementaliste a contribué largement à améliorer le cadre de travail des chantiers.

Dans le secteur des parois moulées en site urbain, des outillages modernes, compacts, insonorisés, tout aussi capables que leurs "grands anciens" de première génération d'atteindre des profondeurs importantes, ont fait leur apparition depuis quelques années.

Parallèlement, les contraintes d'ordre économique ont contribué au développement d'outillages plus précis, plus fiables, plus économiques. En effet, à titre d'exemple, si le projeteur sait que la verticalité d'une paroi moulée peut être garantie avec une déviation très faible, il peut alors sans risque, spécifier une épaisseur minimale de paroi et permettre ainsi une économie importante sur les quantités de béton armé.

De même, avec des machines plus compactes, le coût des transports et les durées d'amenée - installation - repliement seront réduits.

Enfin, des outillages plus fiables et plus performants permettront de diminuer la durée des travaux – donc le coût de l'ouvrage – tout en assurant un retour plus rapide sur investissement. Ce dernier point est primordial car les machines modernes ont des coûts de développement et de fabrication très élevés qui ne pourront être amortis que si elles permettent de réaliser les travaux dans des conditions de prix-qualité-délai nettement meilleures qu'avec des outillages traditionnels.

## ■ LES GRANDS AXES D'INNOVATION DES OUTILLAGES DE PAROIS MOULÉES

Il existe deux grandes familles d'outillages de parois moulées :

◆ les machines à descente continue : l'ancêtre de la famille est la machine à circulation inverse (pro-

céde Rodio), suivi par l'hydrofraise (brevet Solétanche, 1972);

◆ les machines à descente/remontée alternées : ce sont les bennes preneuses mécaniques ou hydrauliques, fixées soit à un câble, soit à un "kelly", soit encore mixtes câble-kelly.

Ces deux familles cohabitent sur le parc de matériel de la plupart des grandes entreprises spécialisées en fondations profondes car elles sont relativement complémentaires; les fraises sont utilisables dans tous les terrains, y compris rocher moyennement dur, mais peu efficaces dans l'argile et en cas de rencontre de blocs de grande dimension alors que les bennes offrent des rendements élevés dans l'argile, sont capables d'extraire des blocs mais ne peuvent pas réellement traverser les terrains durs.

Les axes principaux de recherche et développement ont donc été soit spécifiques de chacun de ces deux procédés (hydraulique, mécanique, outils), soit communs (mesures de verticalité, automatisation).

### Développements récents dans le domaine des hydrofraises

Pour les travaux urbains en site très confiné, l'hydrofraise compacte HC 03 dont la hauteur ne dépasse pas 5 mètres, malgré un poids de 90 tonnes et une capacité de forage jusqu'à 50 mètres, illustre de la façon la plus spectaculaire les progrès réalisés sur ce type d'outillage (encadré "Caractéristiques techniques" - Figure 1).

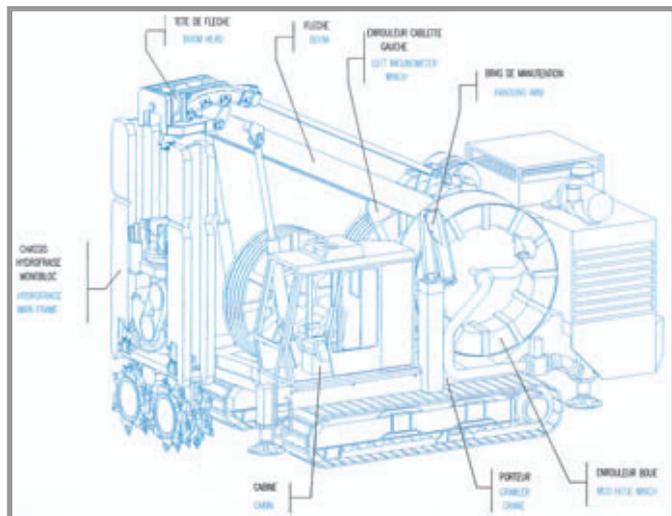
Conçue initialement pour travailler – en particulier – sous les platanes parisiens et sur des emprises réduites (photo 1) de chantiers de construction de parcs de stationnement souterrains, la HC 03 est aujourd'hui utilisée par deux entreprises américaines sur le site de Central Artery à Boston où les parois moulées doivent être exécutées sous des "fly-over" dans des conditions acrobatiques.

Les normes européennes imposent aujourd'hui des niveaux de bruit maximum : celui d'une HC 03 ne dépasse pas 72 dB au poste de pilotage et 80 dB à l'intérieur d'une demi-sphère de 16 mètres de rayon dont la machine serait le centre; à titre de comparaison, un aspirateur émet 80 dB à 4 mètres... Comme pour toutes les hydrofraises, les déblais sont pompés à travers une conduite flexible de 6" vers la station de dessablage-recyclage qui peut être implantée sur une aire fixe bétonnée à quelque 100 ou 200 mètres de la machine, ce qui permet de maintenir le chantier dans un très bon état de propreté.

# d'outillages

**Maurice Guillaud**

Soletanche Bachy



**Figure 1**  
Schéma de la HC03  
Diagram of the HC03



**Photo 2**  
L'hydrofraise Evolution en cours de forage d'une paroi circulaire de 70 m de profondeur. Colomnes, station de pompage, 1997  
The Hydrofraise Evolution rig working on a 70 m deep circular diaphragm wall. Colomnes, pumping station, 1997



**Photo 1**  
Outillage HC03 en cours d'exécution d'une paroi moulée. Parc de stationnement souterrain, boulevard Sébastopol à Paris

A HC03-rig starting excavation of a diaphragm wall. Underground car park. Boulevard Sebastopol - Paris

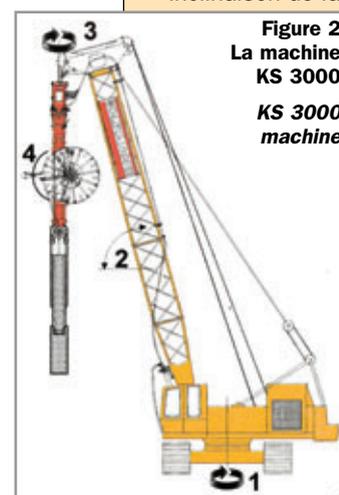


**Photo 3**  
Outillage KS 3000 en bordure de mitoyens. Paris, 1997  
KS 3000 rig working close to neighbouring construction. Paris, 1997

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA KS 3000

Mouvements contrôlés par le système automatique Sakso. Celui-ci contrôle les mouvements suivants :

- orientation de la flèche (axe 1)
- inclinaison de la flèche (axe 2)
- orientation de la benne (axe 3)
- escamotage des enrouleurs (4)



**Figure 2**  
La machine KS 3000  
KS 3000 machine

La procédure d'automatisme se décompose en trois phases :

- manuelle (pilotage par l'opérateur)
- apprentissage (l'opérateur indique au système les mouvements à faire)
- automatique (restitution par le système des mouvements spécifiés)

Pour les parois moulées à plus grande profondeur, l'hydrofraise Evolution (photo 2), capable de forer jusqu'à 70 mètres, présente l'avantage sur les versions antérieures d'utiliser l'énergie de la grue porteuse et d'avoir les enrouleurs de flexibles fixés sur cette même grue, ce qui réduit considérablement l'emprise au sol et la longueur de flèche de l'outillage.

Pour ces deux types d'hydrofraises, l'utilisation d'un moufle tournant (brevet 1992) permet à l'ensemble mobile d'être parfaitement pendulaire, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun couple parasite engendré par des nappes de flexibles soumis à des efforts différents et susceptible de provoquer des mouvements de rotation parasites. En outre, ce moufle tournant permet de faire pivoter l'ensemble de la fraise autour de son axe vertical pour corriger des déviations en

rotation dues – par exemple – à une hétérogénéité du terrain.

## Développements récents dans le domaine des outillages à benne

Les recherches menées au cours de ces dernières années pour la mise au point d'un outillage qui saurait combiner les avantages de la benne à câble et de la benne sur "kelly", tout en éliminant les inconvénients de l'une et de l'autre, ont abouti à la mise au point de la machine KS 3000 (encadré "Caractéristiques techniques" - Figure 2 et photo 3) qui est une benne hydraulique orientable montée sur un porteur, lui-même hydraulique, qui fournit l'énergie à la benne.

Cette configuration aboutit à un outillage très com-

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES PRINCIPALES DE LA HC 03

- Moteur diesel 370 kW à 2400 rpm
- Pression hydraulique maximale 32 MPa
- Profondeur maximale 50 mètres
- Couple maximal 80 kNm à 32 MPa
- Pompe d'aspiration 450 m<sup>3</sup>/h
- Poussée maximale sur l'outil 25 t
- Poids total en marche 93 t
- Epaisseurs de tambours 650, 800, 1000 et 1200 mm
- Largeur de forage 2400 ou 2800 mm



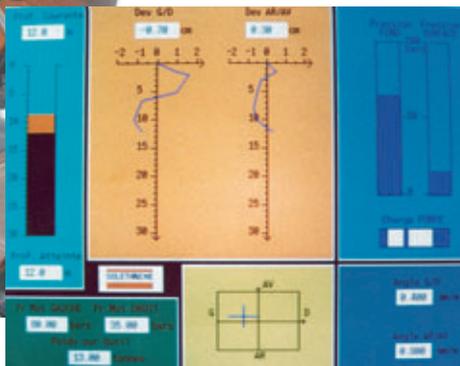
**Photo 4**  
Métro de Bangkok, 1999. Outillage à benne hydraulique pour travail sous hauteur limitée  
*Bangkok underground, 1999. Hydraulic greb-rig under low headroom*



**Photo 7**  
Navajo dam, USA, 1990. Hydrofraise de 57 m de hauteur pour forage à 125 m de profondeur  
*57 m high hydrofraise for a 125 m deep cut-off wall*



**Photo 5**  
Poste de pilotage de la KS 2  
*Control cabin of the KS 2 ring*



**Photo 6**  
Ecran de contrôle profondeur-déviaton de l'hydrofraise HC03  
*Screen display of depth-deflection values on the HC03 rig*

► pact, capable de travailler avec précision le long de mitoyens sans risquer de les endommager. La mise en œuvre de la KS 3000 est associée à l'utilisation d'un système automatique de pilotage et d'édition de rapports nommé Sakso qui offre la possibilité d'automatiser les mouvements séquentiels d'un cycle de perforation (descente et remontée de la benne, orientation, vidage sur camion et retour à la position initiale exacte). L'évolution la plus récente de la KS 3000 est une nouvelle machine nommée KS2 qui, en plus de toutes les caractéristiques de la KS 3000, dispose d'un système de moufle tournant analogue à celui décrit plus haut et d'une benne orientable capable de corriger sa trajectoire. Enfin, exemple caractéristique de la nécessité d'adaptation rapide à des conditions de chantier particulières, il faut mentionner la version surbaissée de la KS 3000 pour travail sous hauteur limitée ; cette machine (photo 4), mise au point en 1998 pour le chantier du métro de Bangkok, est maintenant demandée sur plusieurs autres sites

où se présentent des conditions de travail analogues.

### **Développements communs aux hydrofraises et aux outillages à benne**

Les progrès les plus marquants communs aux deux types d'outillages précédemment présentés sont sans aucun doute ceux relatifs aux systèmes de mesure continue de trajectoire en temps réel de la benne ou de la fraise.

D'abord équipées d'inclinomètres permettant de connaître la déviation selon les axes XX et YY, les bennes et les fraises peuvent être aujourd'hui équipées de systèmes qui enregistrent également le "vrillage" (rotation autour de l'axe ZZ) et la "dérive" (translation par rapport à l'axe vertical). L'opérateur dispose d'un écran (photos 5 et 6) sur lequel apparaissent toutes les données géométriques sous forme de graphiques et de représentation de l'impact réel par rapport à l'impact théorique.

Ainsi, est-il à même de corriger la trajectoire de l'outil à tout instant en agissant sur les différents systèmes hydro-mécaniques dont dispose la machine :

- ◆ pour l'hydrofraise, ce sont le moufle tournant, la plaque d'inclinaison située sous le châssis-guide et qui permet donc d'incliner les deux blocs-moteurs, et la variation de couple d'un moteur par rapport à l'autre puisque ces deux moteurs sont indépendants ;

- ◆ pour le KS, ce sont la différence de géométrie d'une poche par rapport à l'autre, le moufle tournant (sur le KS2) et les plaques latérales de guidage.

Parmi les avantages de l'utilisation intensive de l'informatique embarquée sur les machines hydrofraise ou benne hydraulique KS, l'un des plus intéressants est de faciliter les contrôles de qualité, par l'édition automatique en temps réel de rapports complets sur toutes les données d'exécution de la paroi (verticalité, profondeur, nature des terrains traversés, rendements, arrêts etc.) ; ces rapports, à la disposition du maître d'œuvre, offrent la transparence totale qu'imposent le Contrôle des travaux et le Plan assurance qualité. Enfin, pour l'entrepreneur, ils permettent de capitaliser les informations enregistrées dans une base de données afin d'optimiser les rendements et, par conséquent, les hypothèses de travail sur les chantiers futurs.

A l'opposé des chantiers en site fortement urbanisé pour lesquels ont été conçus les outillages que nous avons décrits, il aurait fallu citer les très grands chantiers en site dégagé (barrages, réservoirs GNL enterrés, immeubles de très grande hauteur, complexes industriels lourds, ports, etc.) pour lesquels il a fallu développer des outillages capables de réaliser des parois moulées à plus de 100 mètres de profondeur.



**Photo 8**  
Nagoya, Japon,  
1997. Réservoir  
enterré LNG.

**Outillage hydrofraise de 245 t pour une paroi circulaire de 100 mètres de profondeur**

**Nagoya, Japon, 1997. LNG inground tank. A 245-ton hydrofraise excavating a 100 m deep circular diaphragm wall**

Si, pour de tels ouvrages, n'existent pas les contraintes de taille maximale des outillages, en revanche ces derniers devront-ils avoir les mêmes caractéristiques de précision, rendement, fiabilité, facilité de montage, etc.

La machine hydrofraise qui a réalisé aux Etats-Unis les parois d'étanchéité des barrages de Navajo et de Mud Mountain jusqu'à des profondeurs atteignant 124 mètres, avait une hauteur de 50 mètres (photo 7).

En 1997, à Nagoya, l'hydrofraise (photo 8) utilisée par Obayashi Corp. pour la construction d'un réservoir enterré de GNL à l'abri d'une paroi moulée circulaire de 1,80 mètre d'épaisseur et 100 mètres de profondeur, avait un poids total de 245 tonnes ! Mais sa précision de forage était telle que la déviation – contrôlée en temps réel par un gyromètre – n'a jamais dépassé 5 cm. C'est d'ailleurs cette garantie de précision qui a permis de réduire l'épaisseur de la paroi à 1,80 mètre. Pour un projet pratiquement identique dans un pays voisin du Japon, où précisément l'Ingénieur-conseil japonais a estimé qu'une telle garantie de verticalité ne saurait être attendue des entrepreneurs locaux, l'épaisseur de la paroi a été fixée à 2,50 mètres !

## ■ CONCLUSION

On peut dire qu'en matière de développement d'outillages de parois moulées, ce sont essentiellement les recherches de performances, de qualité et de meilleures conditions de travail qui ont guidé les études et que, généralement, les améliorations ont été applicables tant en site urbanisé étroit qu'en site dégagé vaste, avec – bien évidemment – un impact médiatique supérieur pour les travaux en ville.

## ABSTRACT

**Innovations with regard to diaphragm wall tooling**

*M. Guillaud*

In recent years - and this is the subject of this article - techniques for the building of diaphragm walls have progressed enormously under the combined pressure of environmental constraints and the constant striving to obtain improved efficiency and reliability. Today there are many modern, compact, sound-proofed, precise, reliable low-cost (reduced working time...) tools just as capable of reaching great depths as their big brothers.

The computer systems onboard the machines capitalise on the information, contributing to the optimisation of working hypotheses for future projects as well as the constant improvement of equipment.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

**Innovationen bei der Werkzeugausstattung für Schlitzwände**

*M. Guillaud*

Seit einigen Jahren – und hier liegt das Thema dieses Artikels – sind bei der Ausführungstechnik für Schlitzwände unter dem vereinten Druck der umwelttechnischen Vorgaben und der unablässigen Bemühung um Verbesserung des Wirkungsgrads und der Zuverlässigkeit bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden.

Vor Ort werden jetzt moderne, kompakte, schallgedämpfte, präzise, zuverlässige, wirtschaftliche (verkürzte Baustellendauer...) Werkzeuge eingesetzt, die genau wie ihre Vorgänger in der Lage sind, eine große Tiefe zu erreichen.

Die an diesen Maschinen direkt angebrachten EDV-technischen Instrumente sammeln Informationen, die zur Optimierung der Arbeits-hypothesen für künftige Bauarbeiten und zur ständigen Verbesserung des Materials beitragen.

## RESUMEN ESPAÑOL

**Innovaciones en el aspecto de los equipos para la ejecución de pantallas continuas**

*M. Guillaud*

Desde hace algunos años - y éste es el propósito de este artículo - las técnicas de ejecución de las pantallas continuas han sido objeto de progresos sumamente destacados, bajo la presión combinada de los imperativos medioambientales y de la carrera permanente para mejorar el rendimiento y la fiabilidad.

Actúan ya sobre el terreno equipos modernos, compactos, insonorizados, precisos, fiables y económicos (duración de los trabajos disminuida...) con tanta capacidad como sus "antecesores" para alcanzar importantes profundidades. La informática a bordo de los equipos capitaliza las informaciones que contribuyen en la optimización de las hipótesis de trabajo para las obras futuras, así como la mejora permanente del material mecánico.

## L'Identification professionnelle Travaux publics : Un atout pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre

Ce livret a pour but de répondre aux questions que se posent les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre sur le système de l'identification professionnelle.

Les identifications professionnelles ont pour objet de leur fournir des éléments d'information objectifs qui les aideront dans la préparation de la sélection des entreprises de Travaux Publics admises à répondre aux appels d'offres.

**Quels sont les points forts du dispositif d'identification professionnelle ?**

◆ **L'objectivité de la procédure : le traitement de tous les dossiers est homogène et basé sur des éléments concrets indiscutables et vérifiables (quantités mises en oeuvre, délais d'exécution, parc de matériel, etc.).**

◆ **Le professionnalisme de l'instruction : les éléments fournis par les entreprises sont attestés par les maîtres d'ouvrage, puis examinés et étudiés par les instances de la FNTP.**

**Ce système soumis à un secret professionnel rigoureux est évolutif et, en tant que Président du Comité, je veille à ce que les évolutions nécessaires de la nomenclature et des procédures soient mises en oeuvre.**

**C'est ainsi que pour répondre à un besoin d'information général nous avons mis au point, en 1999, un document "attestation maison-mère". Ce document fait connaître l'ensemble des capacités et moyens qu'une maison-mère peut rassembler pour réaliser un projet. Je vous invite à prendre connaissance de ce qu'il peut vous apporter.**

**Jean Bergougnoux**  
Président du Comité Supérieur  
de l'Identification Professionnelle

### ■ APPELS D'OFFRES

**L'identification professionnelle : un outil pour les maîtres d'ouvrage, une capacité attestée pour les entreprises**

L'appel d'offres précise les éléments que doit respecter une entreprise pour être admise à une consultation. Le maître d'ouvrage est ainsi à même de s'assurer que les travaux seront confiés à des entreprises qui les réaliseront dans les meilleures conditions.

Pour apprécier objectivement les capacités techniques des entreprises de Travaux publics, il dispose des informations, Identifications professionnelles de spécialités, figurant sur la carte professionnelle Travaux publics. Cette information est, en effet, établie sur la base de certificats de capacité détaillés, délivrés par des hommes de l'art.

Les profils d'entreprises complètent cette information, car ils apprécient les moyens dont dispose l'entreprise, tant pour l'exécution des travaux (moyens en personnel et matériel) que, éventuellement, pour les études et l'ampleur des réalisations. C'est pourquoi le maître d'ouvrage précise dans les conditions d'appel d'offres les identifications professionnelles qu'il recherche pour les entreprises, en laissant à celles-ci la possibilité de montrer leur compétence et leurs moyens par des références équivalentes.

Le "Guide à l'intention des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre" conseille de les utiliser comme moyen pour apprécier objectivement la qualification des entreprises.

### ■ CARTE PROFESSIONNELLE

**La preuve d'une entreprise en règle**

La carte professionnelle est délivrée par la Fédération Nationale des Travaux Publics aux entreprises des pays de l'Union européenne, qui réalisent des Travaux publics et régulièrement inscrites au Fichier national des Travaux publics.

**Dans un appel d'offres, les profils et spécialités exigés doivent être adaptés aux difficultés du projet et limités aux capacités nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.**

Les entreprises doivent, en outre, justifier du versement de l'ensemble des cotisations légales ou réglementaires (congrés payés, intempéries, CCCA, OPPBTP), perçues par les caisses de congrés payés. La carte professionnelle est valable du 1er avril au 31 mars. Elle est renouvelée chaque année dans le courant du mois de mars.

Elle indique aux maîtres d'ouvrage, lors de leurs consultations, que son possesseur est en règle avec ses cotisations. Au verso de la carte professionnelle, les Identifications professionnelles font connaître aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre la physionomie technique des entreprises.

### ■ LA NOMENCLATURE DES ACTIVITÉS TRAVAUX PUBLICS

**Toutes les activités "TP" codifiées**

La FNTP a mis au point une nomenclature des activités Travaux Publics. Elle a ainsi codifié les diverses activités des Travaux Publics.

Cette démarche a permis de répondre à deux objectifs :

- ◆ délimiter le domaine des Travaux Publics ;
- ◆ procéder à l'Identification professionnelle des entreprises.

Douze groupes ont été définis. Dans ces groupes, la nomenclature a établi des rubriques d'Identifications professionnelles en distinguant :

- ◆ des profils qui définissent la taille, les moyens en personnel et en matériel, et l'ampleur des réalisations ;
- ◆ des spécialités qui recensent les diverses activités Travaux Publics.

L'Identification professionnelle d'une entreprise à

partir de cette nomenclature se traduit par l'attribution de numéros de code représentatifs des activités de cette entreprise.

L'identification professionnelle d'une entreprise comporte donc le plus souvent plusieurs numéros de code, reflète des différentes techniques qu'elle met en œuvre, ou de sa polyvalence.

## ■ IDENTIFICATIONS PROFESSIONNELLES

### Comment les entreprises les obtiennent-elles ?

Le délai pour obtenir des identifications professionnelles est de 3 mois. La demande peut être faite à tout moment. Pour l'établir l'entreprise :

- ◆ détermine les identifications souhaitées d'après la nomenclature des activités Travaux Publics ;
- ◆ adresse au Service Identification Professionnelle et Enquêtes un dossier contenant :

- des certificats de maîtres d'ouvrage publics ou de maîtres d'œuvre qualifiés, détaillés et chiffrés (certificats originaux ou certifiés conformes), de moins de 5 ans ;

- le détail de ses effectifs Travaux publics ;
- le détail de son parc de matériel.

Lorsque le dossier est complet, il est soumis à des commissions composées de professionnels. Si les avis sont favorables, la FNTF délivre une carte professionnelle avec les identifications.

Tous les 5 ans, les identifications professionnelles de l'entreprise sont révisées ; l'entreprise doit déposer un nouveau dossier.

## ■ L'ATTESTATION "MAISON-MÈRE"

### Une vision d'ensemble des activités de la maison-mère et de ses filiales

L'attestation d'identification professionnelle maison-mère permet de donner au maître d'ouvrage une vision d'ensemble des capacités et des moyens d'une entreprise et de ses principales filiales.

Ce document, valable une année, reprend sous une forme synthétique les principales informations qui figurent sur les cartes professionnelles des entreprises citées. L'information du maître d'ouvrage est complète, car, pour chaque identification, il est précisé les entreprises qui la détiennent.

Ces attestations sont délivrées à la demande des maisons mères. Elles prennent en compte les filiales à 50 % au moins. Toutes les entreprises (maison-mère et filiales) doivent être en possession de la carte professionnelle Travaux publics.

GROUPE	ACTIVITE	RUBRIQUES
0	Ouvrages d'art et d'équipement industriel	01. à 03
1-A	Terrassements	1.A et 1.1
1-B	Fondations spéciales et procédés d'exécution particuliers	1.B et 1.2 à 1.5
1-C	Travaux souterrains	1.6 à 1.8
2	Travaux en site maritime ou fluvial	2.0 à 2.4
3	Travaux de routes, d'aérodromes et travaux analogues	3.0 à 3.9
4	Travaux de voies ferrées	4.0 à 4.4
5	Travaux de la filière eau	5.0 à 5.9
6	Travaux électriques	6.0 à 6.9
7	Travaux de pose de canalisations à grande distance Réseaux de canalisations industrielles	7.0 à 7.3
8	Ouvrages d'art et d'équipement industriel en construction métallique	8.1 à 8.3
9	Travaux en génie agricole	9.1 à 9.9

## LES CERTIFICATS DE CAPACITÉ

Ils sont la base de l'identification professionnelle. Délivrés par des hommes de l'art, maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre, à la fin des travaux, les certificats de capacités reflètent le savoir-faire de l'entreprise en détaillant ce qu'elle a fait sur un chantier (exécution, contenu technique des travaux effectués, spécifications de volume, de tonnage, de pression pour les travaux de canalisations notamment), les quantités mises en œuvre, les difficultés particulières du chantier, les délais d'exécution.

## ■ LA CHARTE DE L'IDENTIFICATION PROFESSIONNELLE

### Des règles de fonctionnement transparentes

Adoptée le 18 juin 1976 et en évolution régulière, la Charte de l'identification professionnelle édicte des principes déontologiques et de fonctionnement de l'identification professionnelle. Elle est complétée par un règlement intérieur qui précise les procédures applicables.

Le Comité supérieur de l'identification professionnelle est l'instance garante de l'application de ces règles et de leur évolution.

Le Comité est présidé par une personnalité qualifiée indépendante.

Il comprend un vice-président, le président de la FNTF, et huit membres désignés par le Conseil de la FNTF parmi ses administrateurs : deux membres de la Commission Economique Générale, deux membres de la Commission des Marchés, deux membres du Conseil des Régions, deux membres du Conseil des Spécialités.

Leurs mandats sont de deux ans renouvelables.

Le chef du Service Identification Professionnelle et Enquêtes de la FNTF assure le secrétariat de ce Comité.

La Charte veille à assurer un traitement égal des entreprises vis-à-vis de l'identification professionnelle. Elle prévoit, en particulier, qu'en cas de litige, une instance de recours composée de professionnels ayant cessé toute activité dans les TP, peut être saisie. Celle-ci instruit le dossier de l'entreprise et remet un rapport au Comité supérieur qui statue, souverainement, en dernier ressort.

Le Comité a également en charge la révision de la Nomenclature des Activités Travaux publics, nécessaire du fait de l'évolution des techniques. Les cas d'utilisation irrégulière de la carte professionnelle sont soumis au Comité qui arrête les sanctions à appliquer.

## ■ L'EUROPE

### Une qualification pour les marchés européens

Actuellement, plusieurs pays de l'Union européenne ont leur propre système : qualification, identification, agrégation. Dans le souci d'éviter les barrières entre pays, la Commission européenne a souhaité que des systèmes harmonisés puissent se mettre en place.

Elle a demandé au CEN (Comité Européen de Normalisation) et au CENELEC de définir une norme de qualification.

La Fédération nationale des Travaux publics participe à la création d'un organisme paritaire (maître d'ouvrage ou maître d'œuvre, professionnels) qui aura pour mission d'attribuer aux entreprises qui le souhaitent, pour les marchés européens, les qualifications en fonction de cette norme.

Toutefois, l'identification professionnelle, qui donne satisfaction aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre par la qualité des informations fournies, restera la référence sur le marché intérieur.

# formation

## Le centre de formation Sylvain Joyeux à Egletons

L'intérêt que nos lecteurs ont porté à la présentation des centres de formations Raymond Bart à Faulquemont (n° 730 d'avril 1997) et Émile Pico à Mallemort (n° 743 de juin 1998) nous incite à continuer le tour de France des huit centres de formation de notre Fédération.

Les entreprises ont un besoin sans cesse renouvelé d'améliorer la compétence de leur personnel, pour pouvoir satisfaire aux exigences de plus en plus grandes de leurs clients maîtres d'ouvrage. Et ce n'est pas la course à la certification ISO 9000 qui ralentira le besoin.

C'est pour mieux y répondre qu'a été signé en février 1998 la "charte d'objectifs pour la formation continue dans les Travaux Publics" entre la FNTP et les Centres. Comme nous l'indiquons en le présentant en introduction à la visite du Centre Émile Pico, il y a un an, cette charte engage les centres dans une démarche qualité pour mieux répondre aux attentes des entreprises, et la FNTP pour faire valoir

auprès des entreprises les formations dispensées par les centres, et agir dans le domaine du financement des entreprises.

Le 8 décembre 1998, l'OPPBTB et les huit centres ont signé un protocole d'accord, avec l'objectif de développer dans les centres la formation à la sécurité, en intégrant mieux la prévention, la sécurité et la protection de la santé dans les programmes de formation, et d'accueillir régionalement les stages de l'OPPBTB.

Pour l'année en cours, les centres ont retenu ensemble les thèmes suivants :

- ◆ assurer la veille technologique sur les besoins en formation des entreprises avec l'aide technique de la Direction de la Formation et une aide financière dans le cadre du programme ADAPT
- ◆ la certification qualité des centres
- ◆ l'harmonisation des textes d'aptitude à la conduite des engins en sécurité.

C'est aujourd'hui le Centre de Formation Sylvain Joyeux à Egletons que nos lecteurs sont invités à visiter, sous la conduite de son Président Pierre Martin et de son Directeur Jean-Pierre Muttelet.



C'est cette très forte identité qui s'affiche dès qu'on prononce le nom de cette modeste ville de Corrèze.

Il faut reconnaître qu'avec

- 6 établissements permettant l'accès à des formations de niveau 5, ou 4, ou 3,

- près de 1500 élèves ou stagiaires qui apprennent le génie civil,

cette image est très valorisée et méritée

A Egletons, il y a un fort noyau de formation initiale. Cela induit en conséquence de disposer parallèlement de formations continues de valeur, pour permettre à la main d'œuvre des Travaux Publics de se ressourcer, de se recycler, en un mot de progresser.

C'est ce qui explique la naissance au début des années 70 du Centre de Formation Continue.

Tout d'abord, installé de manière assez précaire dans des anciens campements de l'EATP, il a acquis beaucoup d'aisance en s'installant en 1992 dans ses nouveaux bâtiments, et en prenant le nom de Sylvain JOYEUX, entrepreneur bien connu, qui a donné beaucoup à Egletons et à la formation des jeunes.

Adossé à un ensemble de chambres très modernes et confortables, cet établissement offre aux stagiaires toutes les meilleures conditions de travail.

Aujourd'hui, sous l'impulsion de Jean-Pierre MUTTELET, le CFC Sylvain JOYEUX est au service des Entreprises pour adapter le personnel de tous grades à des tâches qui seront demain les siennes.

Le CFC n'est pas un établissement scolaire, isolé dans une logique d'enseignement. C'est au contraire comme partenaire des Entreprises qu'il se présente et qu'il offre des formations très adaptées aux besoins de celles-là.

Formation au Centre, ou formation dans l'Entreprise, études des problèmes posés par les Professionnels, le CFC Sylvain JOYEUX est véritablement un organisme de formation Travaux Publics et il est naturel que les chefs d'Entreprises s'adressent en priorité à cet établissement comme aux autres Centres de la Profession.

Le capital humain de nos Entreprises est trop précieux pour que les chefs d'entreprises prennent le risque de le voir dévaluer.

Le CFC Sylvain joyeux est là pour répondre à toutes leurs interrogations et pour les assister dans la gestion de la formation de leurs hommes.

Et puis, il faut le souligner, pour le bien de tous, mais des Egletonnais au premier chef, grâce à l'Autoroute A 89, l'éloignement, voire l'isolement de la Capitale des Formations en Génie Civil ne sera bientôt plus qu'un souvenir.

**PROTOCOLE D'ACCORD**  
**ENTRE L'OPPBTP ET LES CENTRES DE FORMATION T.P.**  
**(EXTRAITS)**

**PREAMBULE**

◆ Considérant que les besoins des entreprises de Travaux Publics et de leurs salariés en matière de formation à la prévention des risques professionnels se développent pour mieux assurer la sécurité sur leurs chantiers.

◆ Considérant que la prévention des risques professionnels fait partie intégrante de toute formation des salariés aux métiers des Travaux Publics.

◆ Considérant que les entreprises de Travaux Publics souhaitent de plus en plus disposer d'une offre de formation à proximité de leurs centres d'activité.

◆ Considérant que les Centres de formation Travaux Publics et l'OPPBTP souhaitent valoriser ensemble leurs complémentarités dans leurs domaines communs d'intervention.

Il a été convenu et conclu ce qui suit :

**ARTICLE 1 :**  
**OBJET DU PROTOCOLE D'ACCORD**

Le protocole a pour objet de construire une réelle coopération entre les signataires et pour cela :

◆ De contribuer à une meilleure intégration de la prévention, de la sécurité et de la protection de la santé dans les programmes de formation des Centres.

◆ D'accueillir les stages de l'OPPBTP dispensés régionalement.

**ARTICLE 2 :**  
**MOYENS**

Pour répondre à l'objet du présent protocole et développer ainsi la synergie de leurs actions en matière de formation à la prévention, les Centres et l'OPPBTP décident de privilégier les démarches partenariales suivantes.

**1** – S'informer mutuellement des domaines de coopération possibles et de leurs évolutions et organiser une veille technologique.

**2** – A la demande des Centres, l'OPPBTP intervient en tant que prestataire rémunéré pour mieux intégrer la prévention dans la formation de la façon suivante :

◆ sensibilisation, informations, formation de formateurs des Centres ;

◆ conseil et assistance dans l'élaboration du contenu des programmes et de la validation des acquis ;

◆ mise à disposition des fonds documentaires de l'OPPBTP que les Centres s'engagent à utiliser et faire connaître ;

◆ intervention auprès des stagiaires.

**3** – A la demande de l'OPPBTP, les Centres accueillent en tant que prestataires rémunérés les stages de l'OPPBTP en mettant à disposition de ses formateurs et de ses stagiaires les moyens nécessaires (salles, aires d'exercices, matériels et équipements divers, locaux pour la restauration et l'hébergement,...).

**ARTICLE 3 :**  
**MODALITES DE MISE EN ŒUVRE**  
**DU PROTOCOLE**

L'application de ce protocole est confiée aux Comités Régionaux de l'OPPBTP et aux Centres.

Les critères de coopération tiennent compte des implantations géographiques respectives des Centres et des Comités Régionaux, ainsi que de la spécificité en matière de formation de chaque Centre.

**ARTICLE 4 :**  
**COMMUNICATION**

Pour favoriser sa mise en œuvre, ce protocole sera diffusé auprès :

◆ Des Comités Régionaux de l'OPPBTP qui pourront convenir d'accords particuliers avec les Centres, notamment ceux de leurs régions ;

◆ Des Fédérations Régionales de Travaux Publics, ainsi que des Syndicats de Spécialités.

**ARTICLE 5 :**  
**DUREE**

Le présent protocole est conclu pour une durée de trois ans à compter du 1er janvier qui suit la date de signature par tous les partenaires.

Il sera renouvelable chaque année par tacite reconduction.



## ■ UN PEU D'HISTOIRE

C'est en 1963, après vingt ans d'existence de l'EATP (Ecole d'Application aux Métiers des Travaux Publics) que la profession décide de créer à Egletons une section préparatoire à la maîtrise des chantiers. Cette section, baptisée "section des petits cadres", avait comme vocation de donner à d'anciens élèves les moyens d'assumer les responsabilités de l'encadrement des chantiers. Après quelques années en entreprise, riches des connaissances acquises à l'EATP et d'une expérience sur le terrain satisfaisante et reconnue, ils retournaient "sur les bancs de leur école" pour une année de formation complémentaire, à l'issue de laquelle la fonction de chef de chantier pouvait leur être confiée.

La promulgation des lois sur la formation professionnelle continue en 1971 entraînera la modification du statut de la "section des petits cadres" qui se transforme en 1974 en "Centre de Formation continue" : le CFC d'Egletons était né. Ses fondations lui ont permis d'exercer son activité sur le campus de l'EATP jusqu'en 1992.

L'établissement actuel, inauguré fin 1992, a rendu hommage à Sylvain Joyeux, qui en 1963 pré-



sidait aux destinées de l'EATP, en prenant son nom.

Depuis la première homologation, niveau IV, obtenue en 1978 pour la formation des chefs de chantiers "terrassements - voiries réseaux divers" et "constructions industrielles - ouvrages d'art", Le Centre de Formation n'a cessé d'étendre ses domaines de compétences : Formation "chefs de chantiers - routes - voiries réseaux divers", "conducteur de travaux TP", puis "mineur-boiseur en travaux souterrains", délivrance du "certificat d'aptitude à la conduite d'engins en sécurité" selon la Recommandation R372.

Ainsi le Centre ne cesse, depuis sa création de perfectionner ses programmes de formation, et de renforcer ses moyens en équipements et en formations, pour répondre mieux au besoins des entreprises.

On trouvera ci-après quelques exemples des programmes "parcours de formation".

## Les programmes

**Le Centre Sylvain Joyeux offre trois grands familles de programmes :**

### ■ LA FILIÈRE ENCADREMENT DE CHANTIER

- ◆ **homme de base**
- ◆ **chef d'équipe**
- ◆ **chef de chantier - homologué niveau IV**
  - terrassements et V.R.D.
  - routes et V.R.D.
  - constructions industrielles et ouvrages d'art
  - travaux Souterrains
- ◆ **conducteur de travaux - travaux publics homologué niveau III**

### QUELQUES DATES

**1943 : Fondation de l'Ecole d'Application aux métiers des Travaux Publics (E.A.T.P.)**

**1963 : Création d'une " Section Petits Cadres " sous la présidence de M. Sylvain JOYEUX**

**1971 : Lois sur la Formation Professionnelle Continue**

**1974 : La " Section Petits Cadres " devient Centre de Formation Continue**

**1978 : Homologation niveau IV des formations Chefs de Chantier**

**1991 : Construction d'un nouvel ensemble immobilier**

**24 octobre 1992 : Inauguration du Centre de Formation**

**1993 : Homologation niveau III des formations Conducteur de Travaux TP et niveau IV Chefs de chantier routes**

**1994 : Homologation niveau V de la formation " mineur-boiseur en travaux souterrains "**

**1997 Validation pour délivrer le " Certificat d'aptitude à la conduite d'engins de sécurité "**



# formation

## ■ L'ALTERNANCE

### ◆ contrat d'apprentissage

jeunes de 16 à 25 ans  
CAP constructeur en canalisation TP  
CAP construction et entretien des routes

### ◆ contrat de qualification

jeunes de 18 à 26 ans  
encadrement de chantier

### ◆ Formation "tutorat" adaptée

## ■ LA FORMATION DES OUVRIERS

### ◆ coffreur - bancheur

(coffrage traditionnel, coffrage outil)

### ◆ ouvrier mineur - boiseur - homologué niveau V

### ◆ tireur d'enrobés au râteau

### ◆ vérification d'aptitude à la conduite d'engins en sécurité

### ◆ certificat de préposé au tir (tir à la mèche lente, travaux souterrains, tirs séquentiels)



# formation

## ► Les moyens

### ■ LA CAPACITÉ D'ACCUEIL :

- ◆ pédagogique : 4500 m<sup>2</sup> de locaux modernes et équipés permettent d'accueillir 120 personnes.
- ◆ d'hébergement : 80 chambres individuelles confort deux étoiles et une cafétéria permettant de servir 150 couverts.

### ■ L'OUTIL PÉDAGOGIQUE

- ◆ une salle de conférence, dix salles de cours.
- ◆ laboratoire pour le béton, les essais de sols, les matériaux routiers.
- ◆ deux salles informatiques utilisant notamment les logiciels Excel et Project pour les applications de gestion de chantier.
- ◆ des surfaces d'évolution pour la conduite des engins, des carrières pour la formation à l'utilisation des explosifs, des galeries et puits dans le domaine des travaux souterrains.

### ■ L'ÉQUIPE PÉDAGOGIQUE

Elle est composée de 15 formateurs, recrutés parmi les professionnels des travaux publics, et dispense les cours théoriques et pratiques.

### ■ LA DIRECTION ET LES SERVICES

L'ensemble est dirigé et animé par Jean-Pierre MUTTELET, Directeur du Centre, entouré d'une équipe de 6 personnes pour la gestion administrative et comptable du Centre.



**Jean-Pierre Muttelet,**  
Directeur du Centre

# formation

## ■ CONCLUSION

160 000 heures de stages constitue le record atteint en 1993. Après deux années de baisse en 1996 et 1997 le nombre d'heures de stages est remonté à 125 000 environ en 1998. La durée moyenne des stages est en diminution, et le Centre accueille donc de plus en plus de stagiaires, le record ayant été d'un plus de 1 400 en 1998.

Le Centre développe d'ailleurs son activité hors du site d'Egletons, en organisant des séminaires en entreprises sur le territoire national, et même dans les DOM-TOM et à l'étranger. Il offre également aux entreprises de contribuer à recenser et identifier leurs besoins de formation, ou à construire leur plan de formation.

Ainsi peut-on dire qu'Egletons rime avec formation, ou, à l'exemple du Président Pierre MARTIN, qu'Egletons est la capitale de la formation en Génie Civil.

