

Travaux

n° 807

SOLS ET FONDATIONS

• **Projet Isséane à Issy-les-Moulineaux**

• **Travaux de fondation à Monaco**

• **Reprise en sous-œuvre de forte inertie à Bayonne**

• **Comblement des vides de dissolution de gypse sous l'université Paris XIII à Bobigny**

• **De nouvelles applications en forage horizontal dirigé**

• **Marseille : parking des Archives municipales Belle de Mai**

• **La méthode observationnelle : réexaminer le dimensionnement d'un ouvrage géotechnique pendant les travaux**

CONFORTEMENTS

• **Confortements rocheux à l'Aiguille du Midi**

Sols et fondations



Sommaire

Travaux
numéro 807

avril 2004

Sols et fondations



Notre couverture

Projet Isséane.
Levage d'une cage

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 83
thonierh@fnpt.fr

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

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

VENTES ET ABONNEMENTS

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

France (11 numéros) : 170 € TTC
Etranger (11 numéros) : 210 €
Etudiants (11 numéros) : 60 €
Prix du numéro : 20 € (+ frais de port)

MAQUETTE

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

PUBLICITÉ

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

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.

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

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

16

PRÉFACE

Pierre Vezole

21

SOLS ET FONDATIONS

◆ Projet Isséane à Issy-les-Moulineaux - Chantier des fondations profondes. Des fondations complexes, réalisées avec des moyens exceptionnels
- *Isséane Project - Deep foundation works. Complex foundations, constructed with exceptional resources in Issy-les-Moulineaux*

Ch. Dal, N. Von der Hude, M. Perrin

22

◆ Les travaux de fondation à Monaco : ce n'est pas une sinécure!

- *Foundation works in Monaco : it's no easy task!*

L. Abada

28

◆ Une reprise en sous-œuvre de forte inertie à Bayonne
- *Underpinning with strong inertia in Bayonne*

G. Petit, P. Berthelot, P. Etcheber, Ch. Besson

34

◆ Comblement des vides de dissolution de gypse sous l'université Paris XIII à Bobigny

- *Filling of gypsum dissolution voids under Paris XIII University in Bobigny*

M. Yon, H. Grünwald, G. Dufour

40

◆ De nouvelles applications en forage horizontal dirigé.

Installation de 1 250 ml de canalisation PeHD de 630 mm de diamètre dans un massif rocheux
- *New applications for directional horizontal drilling. Installation of 1 250 linear metres of HD polyethylene piping 630 mm in diameter in a rock mass*

L. Casgrande, Fr. Gandard

45

◆ Marseille : parking des Archives municipales Belle de Mai

- *Marseilles : "Belle de Mai" municipal archives car park*

O. Deméo

52



Sommaire

avril 2004

Sols et fondations

Dans les prochains numéros

Tunnel

de Toulon (2^e partie)

**Pont de Rion-
Antirion**

Terrassements

Travaux urbains -

Routes

Ponts

**Réhabilitation
d'ouvrages**

LGV Est

International

Environnement



◆ La Méthode observationnelle : réexaminer le dimensionnement d'un ouvrage géotechnique pendant les travaux

- *The observational method : reconsidering the structural design of a geotechnical structure during the works*

D. Allagnat

CONFORTEMENTS

◆ Confortements rocheux à l'Aiguille du Midi. Travaux acrobatiques à 3842 m d'altitude

- *Consolidation of rocks on l'Aiguille du Midi. Acrobatic work at an altitude of 3,842 metres*

M. Richard, D. Vallée, Fr. Vicard

57

65

économie

70

**sommaire annuel
2003**

76

**répertoire
des fournisseurs**

82

Sans cesse confrontée à des difficultés inattendues, et mise en position de relever de nouveaux défis, la profession des travaux spéciaux géotechniques est inscrite dans une réelle démarche de progrès et d'innovation, dans un contexte réglementaire en pleine mutation. La rédaction du présent éditorial est une occasion pour attirer l'attention du lecteur sur quelques sujets récurrents.

La reconnaissance géotechnique et la norme NF P 94-500

Les normes constituent un ensemble documentaire de plus en plus volumineux, sans doute trop volumineux pour une utilisation quotidienne effective dans l'établissement, la justification et l'exécution des projets.

Mais certaines normes sont "fondamentales" et la NF P 94-500 est de celles-ci ; le respect de la démarche qu'elle formalise ne peut que réduire significativement le risque géotechnique. Mais pour cela, chaque acteur doit effectivement jouer son rôle (chacun son métier et les vaches seront bien gardées) : c'est au géotechnicien de proposer le contenu de ses missions successives, en réponse aux besoins exprimés par le maître d'œuvre, puis de les réaliser après validation du programme qu'il a proposé ; le géotechnicien ne doit pas hésiter à solliciter l'aide d'un hydrogéologue si les écoulements souterrains ne sont pas d'une évidente simplicité ; le maître d'œuvre doit intégrer les informations géotechniques dans les étapes d'élaboration du projet (en principe G11 et APS, G12 et APD, G2 et projet puis justifications), en acceptant le fait que des informations puissent motiver un complément d'investigation ; le contrôleur doit s'assurer que les reconnaissances sont pertinentes et chercher à en identifier les lacunes et incertitudes excessives, il valide l'adéquation entre les hypothèses géotechniques et la conception ; l'entrepreneur s'assure que les informations fournies sont utilisables pour la justification des ouvrages, et sollicite le cas échéant des compléments (validations, questions non abordées...). Au vu de la pratique courante près de quatre ans après la publication de la norme, la marge de progrès est considérable !

Les sols fins, quelques remarques

Vaste sujet que les sols fins ! L'eau conditionne directement le comportement mécanique des sols fins, évidence trop souvent perdue de vue. On l'oublie trop souvent lors des reconnaissances dont l'objet est de déterminer la portance des fondations, en utilisant inconsidérément les corrélations entre les résultats d'essais pénétrométriques ou pressiométriques ; les sols fins devraient être systématiquement prélevés par carottage et identifiés par des essais de laboratoire, le géotechnicien disposant alors d'indices permettant d'en apprécier la dangerosité éventuelle (que de déroboires auraient pu être évités !).

Les plates-formes de bâtiments sont souvent horizontales et larges, donc favorisent l'imbibition des sols par la pluie ; faute de document spécifique, on se réfère usuellement aux documents relatifs aux terrassements routiers (une route est un ruban étroit doté d'une pente transversale) ; les essais de plaque fournissent donc une indication qui n'a de représentativité, pour des sols fins, qu'au moment de leur réalisation, et nombreux sont les cas de chute ultérieure des performances ; il est pourtant possible de maîtriser les effets de l'eau dans la plupart des cas, moyennant des dispositions constructives adéquates, et on peut remercier et encourager les membres de la commission technique du Syndicat des terrassiers de France qui élaborent un document de recommandations spécifique.

Prise en compte des cavités (dissolutions, carrières)

Les cavités constituent un sujet redoutable pour le constructeur (identification ? dispositions constructives ?) ; la tendance naturelle est donc de prendre plutôt trop de précautions que pas assez. Mais est-ce toujours raisonnable ? Il est fréquent de procéder à des injections de comblement et à leur clavage, puis à un traitement IRS, et enfin d'installer des pieux qui seront réputés subir des frottements négatifs du fait des imperfections du traitement.

Il est raisonnable de s'efforcer de combler les cavités, pour éviter une évolution se propageant latéralement et limiter l'amplitude des sollicitations parasites des pieux ; mais on apporte des modifications radicales aux conditions d'organisation des écoulements souterrains ! Ces modifications sont porteuses, en fonction du contexte, de déroboires plus ou moins importants, pouvant aller jusqu'à la déstabilisation d'une pente ; on peut faire mieux pour moins cher, en évitant l'IRS lorsqu'elle n'est pas indispensable (elle parachève le blocage des écoulements), et en observant la piézométrie en fonction de l'environnement (avec programmation d'éventuelles mesures correctives).

Interaction sol-structure

Les progrès récents des moyens de calcul permettent un bien meilleur réalisme dans l'appréciation de cette interaction, qui présente pour l'ingénieur Structures un caractère très inhabituel : les effets du second ordre sont le plus souvent favorables ! Deux défis doivent être relevés par la profession, dans le contexte de la méthode des états limites : le premier est de prendre en compte les incertitudes sur les nombreux paramètres de calcul en évitant une logique de variations paramétriques et combinaisons inextricables (notons que la FNTP a passé commande d'une étude "fiabiliste" à l'ECP qui a pour objectif l'identification des paramètres "lourds" en fonction de la nature du projet) ; le deuxième est l'adaptation des règles de justification de résistance à des ouvrages pour lesquels les effets du second ordre sont favorables (avec des rotules plastiques, les efforts peuvent être plus petits en ELU qu'en ELS !).

Recherches professionnelles

Seule ou en partenariat avec la FFB et d'autres, souvent avec le soutien de la DRAST, la FNTP est avec l'IREX moteur dans divers programmes de R&D dans le domaine de la géotechnique ; on peut

citer des sujets à des stades plus ou moins avancés : le renforcement et le traitement des sols, l'érosion interne par les écoulements interstitiels, le comportement de pieux soumis à des sollicitations "répétées", l'établissement d'un guide d'application de la Méthode observationnelle,...

Et pour finir

Le contexte réglementaire, tel qu'on le perçoit au travers de la NF P 94-500 ou de l'Eurocode 7 dans sa version quasi définitive par exemple, ne constituent pas des freins à l'innovation, mais des supports favorisant des démarches rigoureuses. Les articles à découvrir ci-après montrent la vitalité, l'imagination et le professionnalisme des acteurs de la construction dans le domaine de la géotechnique ; ne doutons pas que les prochaines années verront des progrès considérables dans bien des domaines (en regrettant que trop de décideurs croient en toute bonne foi que si un technicien n'a pas de réponse toute faite face à un problème, c'est qu'il est mauvais, puisque dans les écoles, sauf exception, le comportement de la matière se plie à des modèles mathématiques parfaitement établis).



PIERRE VEZOLE

Directeur scientifique

Eiffage Construction

Projet Isséane - Chantier profondes

Des fondations complexes, réalisées à Issy-les-Moulineaux

Dans un site à fortes contraintes, Bilfinger Berger, Solétanche Bachy, Spie Fondations et Sefi mettent en œuvre des moyens exceptionnels pour mener à bien les travaux qui leur ont été confiés par le SYCTOM de l'agglomération parisienne, maître d'œuvre et d'ouvrage du futur centre de tri et de valorisation des déchets Isséane. Haveuses, ateliers de bennes preneuses de toutes tailles et poids, bennes circulaires, grues sur chenilles, foreuses, etc. : les matériels sont nombreux et variés. Ils coexistent au sein d'une logistique complexe et d'un planning extrêmement serré, dans un but unique : achever dans les temps un ensemble de parois moulées et de fondations profondes d'une ampleur et d'une complexité inégalées.

Photo 1
Benne à câbles
lourde

Heavy cable bucket



Photo 2
Haveuse
Mining machine



■ INTRODUCTION

L'ouvrage et ses fondations

Bâti sur un ancien site des usines Renault d'une surface d'environ 38 000 m² et destiné à remplacer l'actuelle usine d'incinération d'Issy-les-Moulineaux, le nouveau centre de tri et de valorisation actuellement en construction a été voulu comme un équipement de haute qualité environnementale.

C'est la raison pour laquelle il sera enfoui à - 31 m, renforçant ainsi la protection phonique et minimisant l'impact visuel du bâtiment. Ce choix impose

donc la réalisation de soutènements conséquents, ainsi que de barrières étanches destinées à limiter le débit d'exhaure, le bâtiment étant situé en quasi-totalité dans la nappe phréatique. Par ailleurs, les contraintes du site et du délai imposent le mode de construction "en taupie", d'où la nécessité de poteaux préfondés, qui supporteront les planchers butonnants au fur et à mesure de leur exécution "en descendant".

Le contexte hydrogéologique

Le terrain en place est constitué de remblais partiellement pollués, alluvions modernes, alluvions anciennes et craies. Affectée par l'anticlinal de Meudon, dont elle est située au sommet, la craie campanienne est rencontrée sous les états pâteux, fissuré et franc, dans lequel elle présente une fissuration d'importance très variable et inclinée à 45°.

Situé à proximité immédiate de la Seine, le site est baigné par des aquifères dont le niveau varie fortement en fonction des crues. La perméabilité est forte dans les couches alluvionnaires et diminue avec la profondeur dans les craies.

■ PAROIS MOULÉES : BENNES ET HAVEUSES SE MESURENT

Quantités principales

Assurant les fonctions de soutènement et de barrière étanche, les parois moulées constituent l'enceinte des différentes zones de l'ouvrage. Représentant environ les deux tiers du coût total des fondations, elles montrent une diversité et une complexité extrêmes, qui ont dicté le choix de méthodes et moyens très différents.

Dans la zone de l'entrée, qui sera enfouie d'environ 5,5 m, elles ont une profondeur variable de 36 à 40 m et des épaisseurs de 60 et 80 cm.

La zone de tri, qui sera excavée d'environ 16 m, est ceinte de parois profondes de 50 m et d'épaisseur 100, 120 et même 150 cm.

Entre ces deux zones, le bâtiment des procédés (zone usine) sera enfoui à - 31 m, à l'abri de parois moulées de 50 m de profondeur et d'épaisseurs 100 et 120 cm. L'exécution de tirants étant impossible du fait de la géométrie en plan, ces parois – travaillant en flexion sur de très grandes portées – sont en majorité munies de contreforts, c'est-à-dire constituées de panneaux en forme de tés.

des fondations

avec des moyens exceptionnels

Enfin, les zones latérales bordant les voies SNCF et la RD7 et enfouies d'environ 9 m sont protégées par des parois profondes de 16 m et épaisses de 80 cm.

L'ensemble des parois moulées représente une surface de forage d'environ 80 000 m², un volume de béton de près de 95 000 m³ et une quantité d'armatures d'environ 6 000 t.

La benne preneuse : un outil parfaitement maîtrisé

Les parois peu profondes des zones latérales et les avant-trous des parois réalisées à la haveuse sont exécutés par une grue de 80 t équipée d'une benne preneuse à câbles de conception simple et légère. Versatile, cet équipement est bien adapté aux terrains excavés dans ces zones (alluvions modernes et alluvions anciennes) et permet des changements d'outil relativement rapides, autorisant ainsi le forage successif de panneaux d'épaisseurs différentes.

Les parois de la zone entrée et d'une partie de la

zone tri sont forées par un atelier constitué d'une grue de 90 t et d'une benne preneuse lourde (jusqu'à plus de 20 t) et de grande ouverture (photo 1). Adapté à des terrains très variés, cet outil permet une cadence de forage particulièrement élevée et offre une grande robustesse, entraînant ainsi des rendements industriels inégalés.

La haveuse : maîtriser les tolérances

Les panneaux à contreforts étant armés de cages uniques de section en té, leur forage doit impérativement présenter une verticalité parfaite, sous peine de voir l'armature refuser d'y descendre. C'est pourquoi ils sont excavés par une haveuse (photo 2), qui permet de mesurer et corriger en cours de forage la géométrie du panneau. En effet, l'action sur les vitesses, couples et inclinaisons par rapport au bâti des roues de coupe détermine la correction apportée au vrillage et à l'inclinaison de la passe excavée.

Par ailleurs, les parois de grande profondeur et

Christophe Dal

ADJOINT AU DIRECTEUR DE CHANTIER
Bilfinger Berger/Razel Travaux Spéciaux



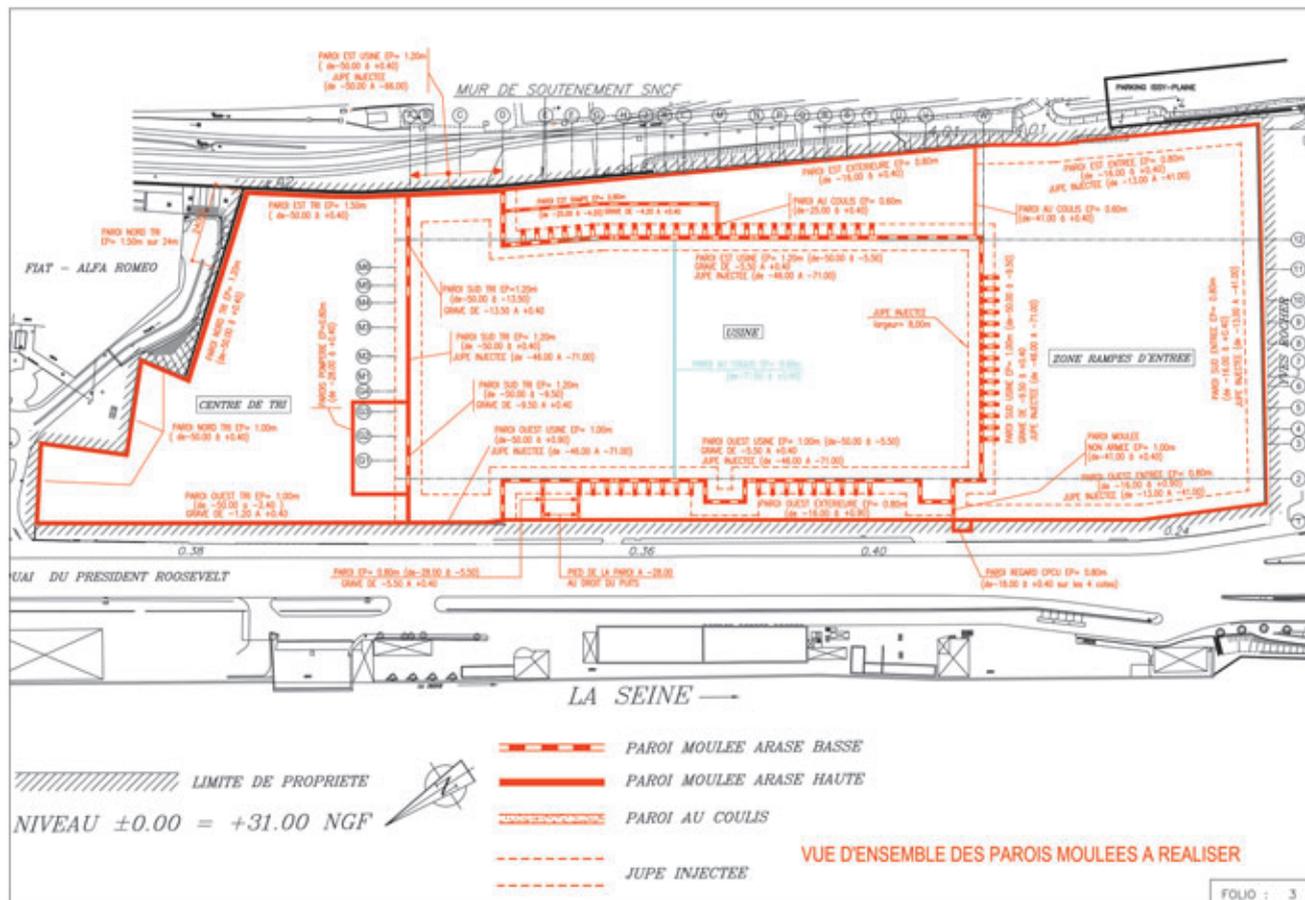
Nico Von der Hude

D^R ING. REPRÉSENTANT DU MANDATAIRE
Bilfinger Berger



Michel Perrin

INGÉNIEUR GÉNIE CIVIL
SYCTOM



Vue d'ensemble des parois moulées à réaliser

General view of diaphragm walls to be built

Photo 3
Levage
d'une cage
en té
Hoisting
a tee-shaped
reinforcing cage



► d'épaisseur 150 cm sont également excavées à la haveuse, car un atelier conventionnel aurait nécessité l'emploi d'une benne extrêmement lourde, et donc d'un engin porteur supplémentaire de forte capacité.

Des armatures à la mesure de parois exceptionnelles

En majeure partie assemblées sur site, les armatures présentent une densité allant jusqu'à 150 kg/m³ dans les zones les plus sollicitées, notamment celles des contreforts. La section en té de ces cages a nécessité la construction d'un gabarit d'assemblage lourd et complexe. Leur levage fait appel à deux grues de forte capacité ainsi qu'à un ensemble de palonniers spécifiques (photo 3).

■ FONDATIONS : À CHAQUE PIEU SA MÉTHODE

Fondations de la zone entrée

La zone entrée, dont le radier est soumis à la sous-pression en cas de crue de la Seine, est fondée sur une série de 210 pieux, sollicités de manière très différente : forte compression sous les structures lourdes du bâtiment, compression ou traction sous les parties courantes du radier. Adaptées à cette disparité, les méthodes de réalisation sont donc composites :

- ◆ des foreuses à la tarière exécutent les 193 pieux de diamètres 750 à 1020 mm, de profondeurs allant de 12 à 28 m. D'un rendement élevé et ne nécessitant pas l'emploi de fluide de foration, ces

équipements permettent d'accélérer la production et ainsi libérer au plus vite une emprise capitale pour l'organisation du chantier ;

- ◆ un atelier de forage à la benne circulaire exécute les 17 pieux de diamètres 1380 et 1670 mm et de profondeurs 13 à 25 m, forés à la boue avec virole provisoire en tête. De conception robuste et adaptée à tous types de terrains, cet outil permet la réalisation de pieux de gros diamètre, tout en offrant une grande flexibilité, l'engin porteur étant du même type que pour les parois moulées à la benne.

Poteaux profondés des zones usine et tri

Destinés à supporter les planchers et dalles de couverture durant la phase de construction puis intégrés aux poteaux en béton armé de l'ouvrage définitif, les poteaux profondés, au nombre de 123, sont constitués de profilés métalliques de forte section (profilés HD et PRS jusqu'à environ 1 t/ml) et de longueur allant jusqu'à 30 m. Ils sont fondés sur des pieux de diamètres 1380, 1670 et 1760 mm, dans lesquels ils sont ancrés par des goujons et sabots. Outre le gros diamètre de pieu imposé par l'encombrement des poteaux et par les fortes charges reprises (jusqu'à plus de 2000 t par poteau), les profilés doivent être mis en place avec la plus grande précision, de manière à rester dans l'épure des poteaux en béton armé définitifs. Une méthode complexe a donc été retenue pour respecter ces contraintes :

- ◆ après purge des obstacles enterrés en tête, un premier tube guide métallique est vibrofoncé sur une profondeur de 10 m, soit dans les couches alluvionnaires peu cohésives (photo 4). L'implantation théorique du poteau est reportée sur ce tube, qui servira de référence lors des opérations suivantes ;

- ◆ une virole métallique de 30 m est vibrofoncée à l'intérieur du tube guide. Sa verticalité est contrôlée et corrigée au cours du fonçage. Cette virole permet d'une part d'assurer la verticalité du forage sur une profondeur maximum et d'autre part de faciliter le forage dans la hauteur tubée ;

- ◆ le pieu est entièrement excavé à l'aide d'une benne mécanique circulaire (photo 5), sous boue bentonitique. De par le poids élevé de l'outil et sa robustesse, des terrains très divers peuvent être traversés et des profondeurs importantes sont atteintes sans difficulté (jusqu'à plus de 50 m dans la zone usine) ;

- ◆ après vérification de la géométrie du forage, la virole de 30 m est arrachée à l'aide d'un vibrofonceur et d'une grue de forte capacité ;

- ◆ le profilé métallique est descendu dans le forage, après y avoir fixé en pied la cage d'armatures régnant sur la hauteur bétonnée du pieu. L'implantation précise du profilé est assurée en pied



Photo 4
Vibrofonçage du tube guide
Guide tube driving by vibropiling

par centrage dans cette cage et en tête par un châssis métallique de maintien, qui permet le réglage précis en plan et en altitude ;

◆ après régénération de la boue bentonitique, la partie basse du pieu est bétonnée à l'aide d'un tube plongeur.

■ TRAVAUX À VENIR

Injections

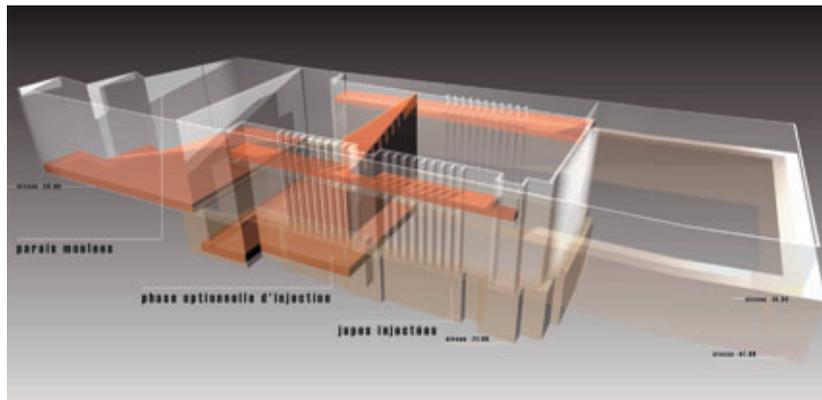
Afin de réduire les venues d'eaux dans la fouille centrale de grande profondeur, les parois moulées entourant le bâtiment des procédés sont prolongées par une jupe injectée, créant une barrière étanche jusqu'à une profondeur de 71 m. Ces injections sont pratiquées au travers de tubes réservations insérés dans le ferrailage des parois. Par ailleurs, les enceintes plus réduites de la rampe côté SNCF et du puits d'évacuation des mâchefers reçoivent un radier injecté, destiné à empêcher les venues d'eau par le fond situé dans les couches alluvionnaires très perméables.

Pompages

Le bâtiment étant muni en phase d'exploitation d'un système de radiers drainants et de galeries et pompes d'exhaure, il est essentiel de vérifier avant terrassement que le débit de fuite reste dans les limites du dimensionnement. C'est pourquoi



Photo 5
Forage à la benne circulaire
Drilling by circular bucket



Injections
Cement grouting

des essais de pompage sont réalisés zone par zone. Au cas où le débit ainsi déterminé dépasse les spécifications, une tranche conditionnelle est déclenchée, consistant à réaliser un fond injecté au droit de la zone concernée.

Le dispositif de puits est ensuite utilisé pour l'épuisement des eaux durant les travaux de terrassement et génie civil, jusqu'à la mise en service du système d'exhaure définitif.

Tirants d'ancrage

Durant les phases de construction, le terrassement doit être poursuivi alors que les planchers butonnants ne sont pas encore présents. Les portées entre appuis ou en console induisent alors des déplacements et contraintes inacceptables. C'est pourquoi un à deux lits de tirants d'ancrage actifs sont prévus dans ces zones. Leur exécution s'intercale entre les phases de terrassement, puis ils sont détendus une fois l'ensemble des planchers butonnants réalisés.

■ UNE LOGISTIQUE COMPLEXE

Contraintes du site

Situé en zone urbaine, le site est bordé par les voies SNCF et RATP à l'est, les installations d'un concessionnaire automobile au nord, un laboratoire de produits cosmétiques au sud et la RD 7 à

► l'ouest, axe particulièrement circulé (photo 6). Les seules emprises disponibles sont donc à l'intérieur même des enceintes en parois moulées à construire, c'est-à-dire notamment au droit des pieux à réaliser. Par ailleurs, les activités et installations des avoisinants imposent de contrôler et limiter toutes les nuisances (bruit, vibrations, poussières, circulations).

Photo 6
Vue aérienne
du site
Aerial view
of the site



Photo 7
Stockages
de boue
Sludge storage



Un nombre impressionnant de matériels

Pour assurer le forage et les manutentions associées des parois moulées et pieux, une armada de 12 grues sur chenilles de capacité allant jusqu'à 280 t évolue sur la plate-forme. S'y ajoutent les foreuses à la tarière ainsi qu'une série d'engins variés tels que pelles hydrauliques, chariots élévateurs, camion de graissage, citerne à gasoil, etc. En outre, les volumes excavés simultanément nécessitent une grande capacité de stockage de boue bentonitique, d'où la présence de cuves et bassins d'une contenance totale de plus de 2 000 m³ (photo 7). Enfin, la complexité des armatures impose leur as-

semblage sur site, sur une vaste aire dégagée, ce qui réduit d'autant la surface disponible pour la production et les circulations.

Une circulation dense

Outre les incessants déplacements de matériels à l'intérieur du site, les approvisionnements et évacuations représentent un trafic journalier d'environ 200 camions : livraison du béton prêt à l'emploi

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Syctom de l'agglomération parisienne

Maitre d'œuvre

Syctom

Assistance maîtrise d'œuvre industrielle

Jacobs France

Architectes

- Dubosc & Landowski
- AAE architectes associés

Paysagiste

S. Eyzat

Bureau d'études

Sechaud et Metz

Bureau contrôle technique

Veritas

Coordinateur SPS

Presents

Entreprises

Corps d'état techniques n°s 1, 3 et 4 (terrassement, génie civil, travaux souterrains) :

- Razel
- Demathieu & Bard
- Urbaine de Travaux

Corps d'état technique n° 2 (fondations profondes)

- Bilfinger Berger
- Solétanche Bachy
- Spie Fondations
- Sefi-Intrafor

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Unibéton/Béton de France
- Ruhl/Cepa (armatures de parois moulées)
- Arma Fio (armatures de pieux)
- SFBD - Südchemie (bentonite)
- Salzgitter (viroles de pieux)
- Axel GC (murettes guides)
- Saperfe/Matrenord (évacuation de déblais)
- Morillon Corvol (évacuation de déblais)
- Sablières de la Seine (évacuation de déblais)
- SPDB (évacuation de boues)
- Solétanche Bachy pieux (pieux à la tarière)

(jusqu'à 1 000 m³ par jour) et des armatures, évacuation des déblais de forage et des boues liquides, approvisionnements de bentonite et autres consommables. Pour réduire le nombre de véhicules lourds sur les voies publiques, le béton est approvisionné depuis les centrales voisines situées en bord de Seine, tandis que les déblais de forage sont évacués en majeure partie par voie fluviale, depuis les quais de déchargement à proximité immédiate du chantier.

Un planning serré

Les différentes zones devant être libérées partiellement pour le terrassement et le génie civil avant achèvement des fondations, la réalisation des parois moulées et pieux suit un planning extrêmement serré, imposant un travail en deux voire trois postes. La production s'étale ainsi de 6h30 jusqu'à 22h30, tandis que certaines activités telles que le traitement des boues bentonitiques se poursuivent de nuit.

ABSTRACT

Isséane Project - Deep foundation works. Complex foundations, constructed with exceptional resources in Issy-les-Moulineaux

Ch. Dal, N. Von der Hude, M. Perrin

On a site with major constraints, Bilfinger Berger, Solétanche Bachy, Spie Fondations and Sefi are employing exceptional resources to carry out the work entrusted to them by the "SYCTOM" refuse treatment board for the Paris urban area, project manager and Owner of the future Isséane waste sorting and recycling centre. Mining machines, clamshell grab equipment of all sizes and weights, circular buckets, crawler-mounted cranes, drilling machines, etc. : numerous and varied types of equipment are used. They coexist as part of complex logistics and within an extremely tight schedule, with a sole aim : complete on time a set of diaphragm walls and deep foundations of unmatched extent and complexity.

RESUMEN ESPAÑOL

Proyecto Isséane - Obras de cimientos profundos. Cimientos complejos, ejecutados mediante medios excepcionales en Issy-les-Moulineaux

Ch. Dal, N. Von der Hude y M. Perrin

En un terreno sometido a fuertes tensiones, Bilfinger Berger, Solétanche Bachy, Spie Fondations y Sefi, implementan medios excepcionales para llevar a buen término las obras que les han sido encargadas por el SYCTOM de la aglomeración urbana parisense, entidad contratante y director del proyecto del futuro centro de clasificación y de valorización de residuos Isséane. Máquinas rozadoras, talleres de cucharas autoprensoras de todas las dimensiones y pesos, cucharas circulares, grúas de cadenas, perforadoras, etc. : los equipos mecánicos son tan numerosos como variados. Todos ellos trabajan según una logística compleja y una planificación extraordinariamente estricta, con un objetivo único : terminar en los plazos impartidos un conjunto de pantallas continuas y cimientos profundos de una amplitud y una complejidad no ejecutados hasta la fecha.

Les travaux de fondation une sinécure !

La Principauté de Monaco est un territoire d'une superficie de 2 km² environ, enclavée dans les Alpes-Maritimes, sur le littoral méditerranéen. Elle est située dans un contexte géologique difficile, avec une très forte densité urbaine.

La Principauté jouit d'une fiscalité très avantageuse et attire de nombreux investisseurs financiers contribuant au dynamisme de l'immobilier privé et public.

Les fortes demandes de logements et de surfaces commerciales amènent les responsables à rechercher sans cesse des zones disponibles pour les constructions. Elles se raréfient et se situent très souvent dans des contextes très exigus, dans des zones urbaines denses, dans des talus de forte déclivité.

Toutes ces contraintes conduisent à réaliser des projets immobiliers à l'abri de soutènements de très grande hauteur, très souvent dans des terrains hétérogènes rendant leur exécution très délicate.

C'est le cas des projets de la Caisse Autonome des Retraites, de Roc Azur et de Testimonio présentés dans ce présent article, dont les travaux de soutènement et de fondation ont été réalisés par Solétanche SAM, filiale monégasque du groupe Solétanche Bachy.



Vue aérienne du chantier - Travaux préparatoires
Aerial view of the site - Preparatory work

■ Caisse Autonome des Retraites

En plein milieu du boulevard d'Italie, la Caisse Autonome des Retraites construit un bâtiment de 11 étages avec trois niveaux de sous-sol, sur une surface de 900 m². Ce bâtiment accueillera des surfaces commerciales, des bureaux et des appartements.

La zone de travail est entourée d'immeubles sur trois côtés et elle est bordée par le boulevard sur le quatrième côté.

Géologie du site

La stratigraphie est la suivante :

- ◆ éboulis à matrice argileuse légèrement sableuse, de + 38,00 à + 14,00 NGM ;
- ◆ calcaire marnieux gris peu fracturé alternant avec des marnes grises compactes, de + 14,00 à + 8,50 NGM.

Travaux de berlinoise

Durant la première phase des travaux on a procédé aux démolitions, suivies de la réalisation de murs en béton armé et du soutènement provisoire des terres superficielles. Ces travaux préparatoires ont permis de créer à 10 m en contrebas de la chaussée, soit à la cote de + 29,00 NGM, une plateforme de travail pour l'exécution de la paroi moulée.

Détail du soutènement de la fouille

Le projet réalisé est constitué d'une paroi moulée sur trois côtés dont un côté comporte cinq contreforts (sous le boulevard), le quatrième côté étant une berlinoise en micropieux et béton projeté.

Paroi moulée

La profondeur d'excavation est de 20 m en moyenne ce qui correspond à un ancrage de 4 à 5 m dans le substratum marno-calcaire. L'outillage est une hydrofraise Evolution II 4000/8000 avec châssis 2800 x 820 mm. Les contreforts de la paroi retenant l'amont ont été conçus en "T" avec une table de 5,00 m et une nervure de 4,80 m.

Pour évacuer les déblais de forage depuis la plateforme de travail située 10 m en contrebas un système spécifique a été installé comprenant une centrale de traitement de la boue de perforation sur trois niveaux auquel est associé un convoyeur à godet.

Vue d'ensemble pendant la phase de paroi moulée
General view during the diaphragm wall stage



à Monaco : ce n'est pas

Lionel Abada



**DIRECTEUR -
SOLÉTANCHE SAM
MONACO
Solétanche Bachy**

Le convoyeur déverse dans une trémie de stockage de 60 m³ afin d'effectuer un chargement direct et sans aucune manutention dans les camions qui les évacuent à la décharge.

Exécution des travaux

Une fois les parois réalisées la fouille a été terrassée par passes de 2,5 m, ce qui correspond à une hauteur totale de 25 m par rapport au boulevard d'Italie. Au fond ont été construits le radier et un ensemble de semelles ancrées de 1 m dans le substratum rocheux.

Cette phase caractérisée par une forte co-activité a nécessité une organisation particulièrement rigoureuse permettant d'effectuer en toute sécurité les différentes tâches : terrassements, tirants d'ancrage sur la paroi, pose des butons métalliques et réalisation des dalles d'angle en béton armé, fermeture de l'enceinte de fouille par une berlinoise en micropieux et béton projeté.

Un tunnel d'accès a été réalisé à partir d'un bâtiment situé en aval du chantier. Ce tunnel servira d'accès définitif des véhicules aux trois niveaux de parking.

**Le terrassement
dans la fouille butonnée**
*Earthworks in the stayed
excavation*



**Paroi berlinoise
en cours de perforation
à la cote + 29,00 NGM,
10 m en dessous
du boulevard**

**Berlin-type retaining wall
during drilling at an elevation
of +29.00 NGM, 10 metres
below the boulevard**



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Caisse Autonome des Retraites

Maitre d'ouvrage

Caisse Autonome des Retraites

Coordination OPC

Coteba Monaco

Bureau de contrôle

Socotec Monaco

Architecte

Cabinet Fabrice Notari

Entreprise

Groupement Solétanche/Al. Ber. Ti.

Durée des travaux : mai 2002 à mars 2003

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Caisse Autonome des Retraites

- Murette guide : 115 m
- 15 panneaux dont 5 contreforts en "T"
- Perforation : 2422 m²
- Déblais évacués : 12000 m³
- Butons et liernes : 290 T
- Tirants d'ancrage 6 et 7 torons inclinés à 45° : 1600 m
- Génie civil : 300 m² de coffrage pour la réalisation d'un tunnel et 750 m³ de béton pour la réalisation du radier

Vue d'ensemble de l'infrastructure en phase de terrassement au 5^e sous-sol

General view of the infrastructure during the stage of earthworks on the fifth level underground



Vue d'ensemble du chantier en phase paroi moulée

General view of the site during the diaphragm wall stage



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Roc Azur

Maître d'ouvrage

Société civile Immobilière Roc Azur 91

Assistant du maître d'ouvrage

CMTG

Maître d'œuvre

OTH Monaco

Bureau de contrôle

Véritas Monaco

Architecte

Cabinet Michel Chiappori

Entreprise

Groupement Solétanche - Engeco - Satri

Durée des travaux : novembre 2001 à juin 2003



■ Roc Azur

Dans le cadre de l'opération immobilière de la SCI Roc Azur 91, Solétanche SAM a réalisé les travaux suivants en cotraitance avec Engeco et Satri :

- ◆ paroi moulée ;
- ◆ injections ;
- ◆ terrassement ;
- ◆ butonnage et rabotage ;
- ◆ gros œuvre de l'infrastructure.

Avec une surface au sol de 1 400 m², le bâtiment comptera sept étages et cinq sous-sols et accueillera aussi bien des surfaces commerciales et des bureaux que des appartements.

En raison des contraintes du planning, il n'a pu être envisagé de terrasser à fouille ouverte et de poursuivre par la réalisation des planchers en remontant. C'est le principe de construction dit "Up & Down" qui a été retenu par le maître d'ouvrage.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Roc Azur

- Murette guide : 380 m
- 66 panneaux dont 7 profondés et 5 barrettes isolées
- Perforation : 9 564 m²
- Déblais évacués : 17 000 m³
- 7 000 m² de plancher

Géologie du site

Sous les remblais des anciens bâtiments, on rencontre dans un premier temps une couche de couverture limono-argileuse puis une couche d'éboulis à matrice argileuse légèrement sableuse jusqu'à 24 m. Enfin, sous ces couches meubles on trouve le substratum marno-calcaire gris compact.

Principe de construction "Up & Down"

Comme son nom l'indique, cette méthode consiste à réaliser la superstructure en même temps que l'infrastructure. On monte et on descend à la fois. Par l'intermédiaire d'une dalle de tête réalisée en premier la superstructure prend appui sur la paroi moulée ainsi que sur des poteaux profondés constitués de profilés HEB qui, pendant la phase de terrassement, remplacent les voiles porteurs. Le terrassement est dit "en taube" puisqu'il n'est pas à ciel ouvert. Une fois le terrassement terminé, on réalise les planchers et les voiles porteurs en remontant. Puis on dépose les poteaux profondés.

Exécution des travaux

Les travaux ont été effectués de début novembre 2001 à fin juin 2003, et distribués en deux phases :

- ◆ 9 mois pour les travaux de parois moulées ;
- ◆ 10,5 mois pour les travaux de terrassement, de butonnage, de radier, de voiles et de planchers.

La paroi moulée est munie de contreforts sur les parties amont et aval. Sa réalisation a mobilisé un effectif moyen de 30 personnes en travail posté de 7 à 22 heures. En raison notamment de l'ancrage de la paroi dans le marno-calcaire on a utilisé une hydrofraise 8 000/12 000 avec un outillage 2 800 x 820 mm. Les profondeurs d'excavation sont de l'ordre de 26 m pour la paroi périphérique et de 30 m pour les contreforts.

L'accès à la boîte en infrastructure pour l'exécution du terrassement "en taube" et des travaux de construction à l'intérieur se fait par une trémie dans la dalle de tête formant plancher intermédiaire.

Compte tenu du confinement et de la substitution des voiles aux poteaux profondés, il s'agit d'une phase particulièrement délicate qui nécessite une organisation rigoureuse et des moyens importants.

■ Testimonio

Le projet comporte la construction d'un bâtiment à usage d'habitation R + 11 sur cinq niveaux de parkings en sous-sol. Il se situe à l'est de la principauté, entre le boulevard d'Italie en amont, le boulevard du Larvotto à mi-pente et l'avenue Princesse Grace en aval, plus de 34 m en dessous, avec des immeubles importants en mitoyenneté. Le terrain sur lequel est édifié ce projet est constitué de remblais et éboulis argileux à structure très lâche, avec des blocs de taille importante sur une épaisseur de 10 à 12 m qui surmontent des éboulis anciens et des limons argileux sur une épaisseur de 20 à 25 m. Le substratum marno-calcaire est atteint sous le fond de fouille du projet.

La faisabilité de ce projet a conduit les concepteurs à envisager la réalisation d'un soutènement de plus de 34 m de hauteur, dans des terrains très hétérogènes et de caractéristiques géotechniques souvent médiocres.

Solétanche SAM relève ce défi technique, en sous-traitance de l'entreprise générale la SAM des entreprises Pastor et fils.

Les dispositifs de soutènements sont les suivants :

- ◆ depuis le boulevard d'Italie, en amont et sur l'est, soit à partir d'une cote approximative de + 39 NGM, réalisation d'un soutènement de type microberlinoise comportant la mise en œuvre d'un rideau de micropieux de diamètre 250 mm, d'une paroi en béton projeté de hauteur 11 m, maintenue par quatre lits de tirants provisoires actifs courts de capacité 50 à 70 t : le dispositif est conçu pour ne pas engager les tréfonds privés situés plus en amont ;

- ◆ depuis une plate-forme intermédiaire située à la cote + 28 NGM, réalisation d'une paroi plane, côté amont, d'épaisseur 0,82 m, au moyen d'un outillage à benne hydraulique, ancrée dans le rocher et maintenue par cinq lits de tirants permanents de très forte capacité (plus de 130 t) et très fortement inclinés à plus de 60° ;

- ◆ vers la cote 20 NGM, depuis le niveau du boulevard du Larvotto, réalisation de contreforts en paroi moulée ancrés fortement dans le rocher de plus de cinq mètres et des parois moulées sur les deux autres côtés est et ouest nécessitant la mise en œuvre d'une hydrofraise et d'ouvrages de fondation par pieux ou micropieux.

Les contraintes de ce chantier sont multiples, d'ordre environnemental ou technique :

- ◆ exigüité des plates-formes de travail ;
- ◆ forte déclivité des talus, obligeant à des grutages de matériel lourd pour l'exécution des parois moulées intermédiaires ;
- ◆ environnement très sensible avec présence d'immeubles mitoyens dans la zone d'influence du projet et de réseaux enterrés à proximité ;
- ◆ tolérances de déformées très sévères avec un



La paroi berlinoise supérieure

The upper Berlin-type retaining wall



Exécution des contreforts, à l'abri de la paroi berlinoise supérieure et de la paroi moulée intermédiaire

Execution of buttresses, sheltered by the upper Berlin-type retaining wall and the intermediate diaphragm wall

suivi très complet par inclinométrie, topographie, piézométrie, extensofors, cales dynamométriques ;

- ◆ difficultés liées aux terrains rencontrés, présence de blocs dans les éboulis et d'horizons très crus au-dessus du marno-calcaire ;

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Testimonio

- Micropieux : 1 700 m
- Tirants : 3 100 ml provisoires de capacité 50 t et 5 100 ml permanents de capacité 130 t
- Béton projeté : 1 300 m² en épaisseur 0,35 m
- Parois moulées : 4 600 m² en épaisseur 0,82 m
- Poteaux préfondés : 1 100 m
- Terrassements : 17 000 m³
- Dispositifs d'auscultation

◆ présence d'un mur de soutènement de grande hauteur maintenu par des tirants situés dans l'encombrement de nos travaux, avec nécessité de confortement.

Le phasage des travaux de soutènement est le suivant :

◆ microberlinoise depuis le boulevard d'Italie de décembre 2002 à mai 2003 ;

◆ paroi moulée intermédiaire de juin à septembre 2003 ;

◆ tirants et terrassements jusqu'à la plate-forme à 20 NGM d'octobre à décembre 2003 ;

◆ paroi moulée à l'hydrofraise de décembre 2003 à février 2004 ;

◆ livraison de la plate-forme pour les travaux de gros œuvre en avril 2004.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Testimonio

Promoteur - Constructeur - Entreprise générale

SAM des entreprises J. B. Pastor & Fils

Architecte

Cabinet Arch

Maitre d'œuvre géotechnique

Sol-Essais

Bureau de contrôle

Apave Monaco

Entreprise

Solétanche SAM

ABSTRACT

Foundation works in Monaco : it's no easy task!

L. Abada

The Principality of Monaco is a territory covering an area of approximately 2 km², in the heart of the Alpes-Maritimes region, on the Mediterranean coastline. It is located in a difficult geological context, with a very high urban density.

The principality has a very advantageous tax system and attracts numerous financial investors, contributing to the dynamism of the private and public real estate sectors.

The strong demand for housing and shop space means that the authorities are constantly searching for areas available for construction. Such areas are becoming increasingly rare and are very often located in situations with very little room to move, in dense urban areas, on very steep slopes.

All these constraints lead to the execution of real estate projects protected by very high supports, very often on heterogeneous ground making their construction very difficult.

This is the case for the Caisse Autonome des Retraites, Roc Azur and Testimonio projects described in this article, for which the supporting and foundation works were performed by Solétanche SAM, the Monaco subsidiary of the Solétanche Bachy group.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de cimentación en Mónaco : no se trata de un verdadero regalo...

L. Abada

El principado de Mónaco constituye un territorio de una superficie de 2 km² enclavado en el departamento francés de los Alpes Marítimos, en el litoral mediterráneo. El Principado está situado en un contexto geológico difícil, con una muy elevada densidad urbana.

El Principado se beneficia de una fiscalidad sumamente ventajosa que es atractiva para numerosos inversores financieros, que contribuyen al dinamismo del sector inmobiliario público y privado.

Las numerosas demandas de alojamientos y superficies comerciales conducen a los responsables a investigar

constantemente para ejecutar las construcciones. Las zonas disponibles, son cada día más escasas y se sitúan muy frecuentemente en contextos sumamente exigüos, así como en zonas urbanas densas y en taludes de pronunciada declividad.

Todas estas sujeciones conducen a la ejecución de proyectos inmobiliarios al resguardo de muros de contención de muy elevada altura, y frecuentemente en terrenos heterogéneos que hacen que su ejecución resulte sumamente delicada.

Este es el caso de los proyectos de la Caisse Autonome des Retraites, de Roc Azur y de Testimonio, que se presentan en este artículo, cuyas obras de sostenimiento y de cimentación se han llevado a cabo por Solétanche SAM, filial monegasca del grupo Solétanche Bachy.

Reprise en sous-œuvre à Bayonne

Une grande surface de Bayonne a subi depuis sa construction des désordres affectant un tiers environ de sa superficie sous la forme de mouvements horizontaux et verticaux de sa structure liés à des phénomènes de consolidation et de fluage en masse de sols tourbeux.

Ayant atteint la limite de résistance de la structure, une reprise en sous-œuvre de la zone affectée a été entreprise, comportant un réseau de pieux avec tubage définitif, des longrines et des tirants afin de fretter le terrain et réduire les mouvements du sol qui engendrent des efforts de flexion dans les pieux.

L'ampleur des mouvements résiduels du sol étant difficile à évaluer (le comportement des tourbes étant assez peu connu), la méthode observationnelle a été mise en œuvre afin de suivre le comportement de l'ouvrage ainsi conforté.

Les travaux ont été menés d'avril à août 2003 en deux lots séparés (fondations et génie civil) avec un planning très serré nécessitant une forte collaboration de tous les intervenants indispensable au succès d'une telle opération.

DESCRIPTION DU SITE ET DES DÉSORDRS

Une grande surface de Bayonne (structure de type charpente métallique bardée sur dallage d'une superficie de 7 500 m²), a été édifée en 1997-1998 en bordure d'une ancienne zone marécageuse après terrassement en déblai de l'arrière du site et mise en remblai des terres à l'avant du site afin de constituer une plate-forme horizontale. Les déblais ont été taillés au sein du substratum régional nommé "Pitchot" composé de graves argilo-sableuses compactes surmontées à l'avant de matériaux compressibles argilo-sableux comportant une proportion de tourbes à sphaignes hétérogène mais globalement importante.

L'épaisseur de ces matériaux est nulle sur toute la partie arrière du magasin et atteint 20 m en façade avant pour culminer autour de 40 m à l'entrée du parking, le plongement du toit du substratum étant voisin de 2H/1V (figure 1). Cette configuration correspond à un comblement de canyon souterrain creusé par la rivière "Aritxague" bien connue à Bayonne pour ces dépôts de sols compressibles. Ces sols présentent ainsi, pour les passées les plus tourbeuses, des caractéristiques extrêmement médiocres :

- ◆ teneur en eau dépassant parfois 500 %;

- ◆ teneur en matière organique pouvant atteindre 80 %;

- ◆ indice des vides variant de 1,5 à 4;

- ◆ module œdométrique proche de 1 MPa.

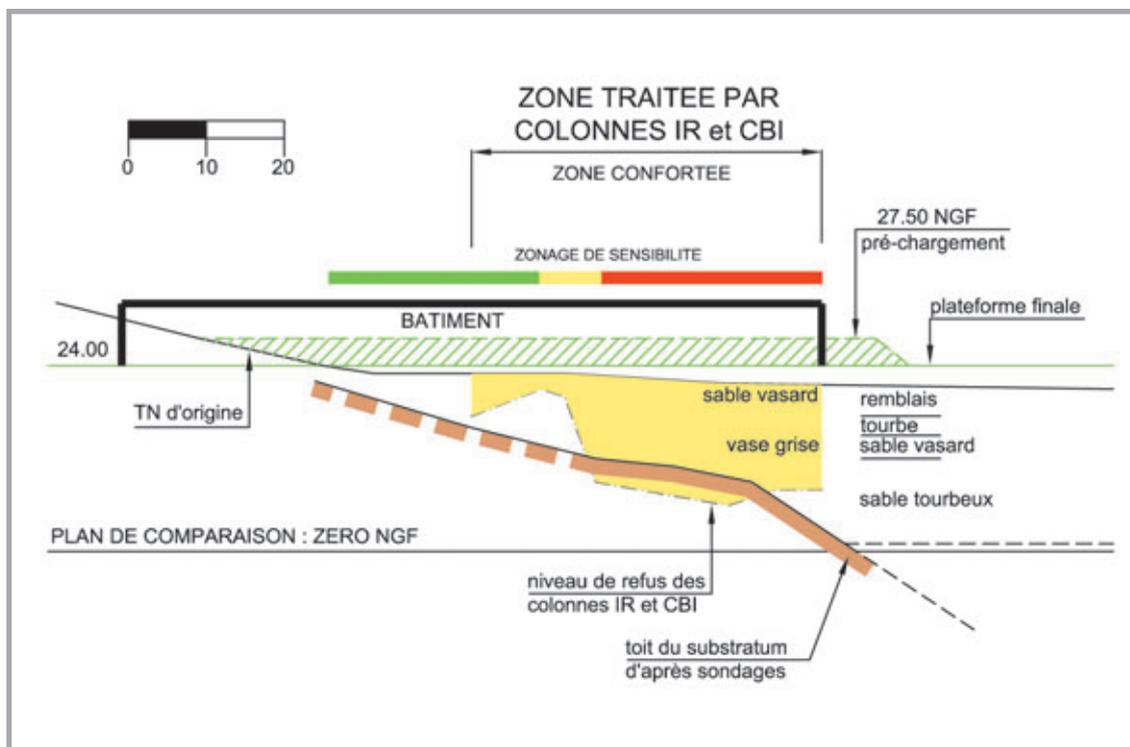
La mise en œuvre du remblai (hauteur finale de 2 à 3 m) s'est accompagnée d'un préchargement sur l'emprise du magasin (hauteur excédentaire voisine de 3 m) avec drains verticaux et suivi des tassements.

La partie avant du futur magasin a ensuite été traitée à l'aide d'un réseau de colonnes ballastées injectées sous le dallage et d'inclusions rigides sous les appuis.

Malgré cela et dès l'ouverture du magasin, le dallage a montré des ouvertures évolutives de ses joints puis des tassements de sa partie avant. Le suivi de la charpente a montré que celle-ci subissait les mêmes mouvements (photo 1).

Durant l'expertise des désordres et la phase de conception de la réparation (soit sur une durée de quatre années), l'angle avant du magasin a ainsi tassé de près de 50 cm et avancé de plus de 20 cm conduisant à la limite de résistance des éléments métalliques de charpente. Parallèlement, le parking à l'avant du magasin a subi des tassements atteignant un mètre, là où l'épaisseur de sols compressibles était maximale et où le remblaiement avait été le plus important. L'orientation des mou-

Figure 1
Profil
Profile



de forte inertie

vements horizontaux était perpendiculaire à la façade avant sous le magasin pour devenir graduellement biaise sous le parking.

Ces mouvements ont montré des phases d'accélération lors des périodes sèches et de ralentissement lors des périodes humides. En effet, dans le second cas, la remontée de la nappe baignant les sols compressibles déjauge une frange de terrain supplémentaire réduisant ainsi la contrainte verticale effective rajoutée par le remblai. En dehors de ces fluctuations, nombre de points ne montraient pas, après 4 années, de tendance au ralentissement des mouvements.

■ PRINCIPES DU CONFORTEMENT

Durant l'expertise amiable des désordres, un collège d'experts a été constitué par les assureurs. Celui-ci s'est adjoint les services d'Arcadis choisis pour réaliser la maîtrise d'œuvre des travaux de confortement.

Une première solution consistant à bloquer les déplacements horizontaux du sol et comportant la réalisation d'une paroi moulée tirantée réalisée en avant de la façade avant du magasin a été écartée car offrant trop peu de garantie de solidité vis-à-vis des efforts horizontaux à venir.

La réflexion s'est alors orientée vers une solution de reprise en sous-œuvre qui s'adapterait aux mouvements verticaux et surtout horizontaux du sol sous-jacent en présentant une rigidité et une résistance à la flexion suffisante.

Celle-ci devait initialement être réalisée en maintenant en place la structure ainsi que l'activité commerciale dans la zone non confortée. En effet, les mouvements n'affectant que la partie établie sur les sols compressibles, une zone de magasin à conforter a été définie, en relation avec les trames de charpente (environ 2800 m²). Cette définition a comporté une analyse fine des suivis topographiques et des divers éléments de connaissance de la géométrie souterraine du toit du substratum (notamment par les profondeurs des colonnes ballastées injectées) ainsi qu'une analyse de risques basée sur les vitesses constatées et extrapolées des mouvements du dallage.

Il a ensuite été dimensionné un réseau de pieux ou barrettes réalisés de part et d'autre de chaque appui de charpente et reliés entre eux par des longrines longitudinales et transversales avec des raccords en béton, le plancher bas étant constitué d'une dalle portée par ce réseau de longrines.



Photo 1
Libération
des contraintes
Stress release

Les différentes approches (analytiques, aux éléments finis et aux réactions hyperstatiques) ont montré la nécessité d'y adjoindre un tirantage en tête afin de réduire les mouvements de la zone confortée lors de la poursuite des mouvements de fluage.

Les deux options (pieux ou barrettes) ont été conservées jusqu'à la consultation des entreprises. Les barrettes (de section 0,8 x 2,8 m) offraient l'avantage de présenter une inertie plus forte suivant leur longueur orientée selon la direction principale des déplacements horizontaux du sol. Par contre, en phase travaux, elles présentaient le risque que par manque d'étreinte latérale des tourbes, la colonne de béton frais conduise au fluage des parois du forage voire au claquage des tourbes en profondeur. Le bétonnage comportait ainsi un risque de manque d'intégrité des éléments et les barrettes auraient présenté des excroissances latérales les soumettant à des efforts de flexion très élevés et difficiles à évaluer.

La solution pieux, qui présentait une moindre inertie, offrait l'avantage de permettre la mise en pla-

Gérard Petit



RESPONSABLE
DÉPARTEMENT
INFRASTRUCTURES
ET GÉOTECHNIQUE -
Agence de Toulouse
Arcadis ESG

Patrick Berthelot



SPÉCIALISTE
MÉCANIQUE DES SOLS
Véritas

Pierre Etcheber



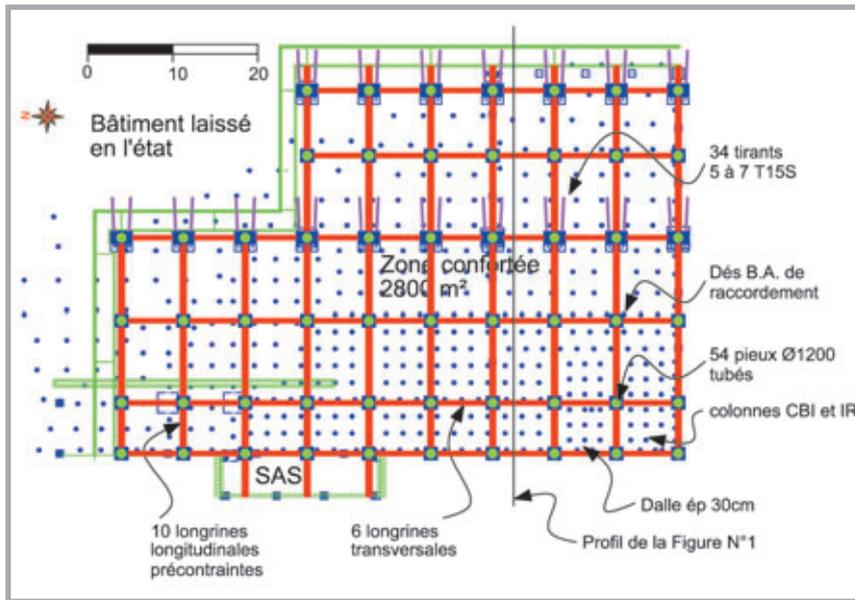
DIRECTEUR TECHNIQUE
Etchart

Christian Besson



Sefi-Intrafor

Figure 2
Vue en plan
Plan view



- ◆ 54 pieux Ø 1 200 mm armés à 200 kg/m³ ancrés en moyenne de 10 m au sein du substratum, totalisant 1 210 m ;
- ◆ un tubage définitif des pieux, épais de 15 mm, sur la hauteur des sols compressibles (soit jusqu'à 20 m de profondeur pour les plus longs) ;
- ◆ des dés de raccordement en tête de chaque pieu avec une densité d'armatures pouvant atteindre 300 kg/m³ ;
- ◆ des longrines longitudinales de section 134 x 70 cm armées à 200 kg/m³ (400 ml) ;
- ◆ des longrines transversales de section 110 x 50 cm armées à 150 kg/m³ (350 ml) ;
- ◆ une dalle portée épaisse de 30 cm armée à 120 kg/m³ (2 800 m²) ;
- ◆ 34 tirants précontraints à câbles 5 à 7T15S longs d'une trentaine de mètres reprenant 2 600 t au total.

Le phasage de mise en tension des tirants prévoyait, dès reconstruction de la charpente, d'appliquer 50 % de leur tension maximale. Lorsque la poursuite des mouvements de sol aura conduit cette traction à 75 % de la valeur maximale admissible, une phase de remise en tension à 90 % de cette même valeur aura lieu. Cela permet de maintenir la zone confortée dans une position variant de plus ou moins 3 cm autour de sa position initiale. La conception de la nouvelle charpente et du joint entre nouveau plancher et dallage conservé a intégré cette contrainte spécifique.

Si la tension des tirants atteint leur limite admissible, un confortement complémentaire sera alors nécessaire. Bien que très peu probable, ce confortement a été défini.

■ RÉALISATION DES TRAVAUX DE FONDATIONS

Reconnaissance

Les travaux proprement dits ont été précédés d'une campagne complémentaire de reconnaissance dont l'objectif était triple :

- ◆ préciser tout d'abord les caractéristiques géotechniques, notamment de l'horizon d'ancrage. Pour ce faire trois forages pressiométriques d'environ 25 m ont été réalisés ;
- ◆ préciser ensuite la position exacte du "Pitchot" (horizon de graves) et, compte tenu de la fluctuation de son toit, au droit de chaque pieu. A cette fin 60 forages destructifs avec enregistrement de paramètres ont également été mis en œuvre. Les résultats obtenus ont permis d'achever le calcul d'exécution mais ont également permis de lancer les commandes des tubages définitifs ;
- ◆ enfin troisième et dernier objectif de cette campagne de reconnaissance mettre en évidence, par décapage, la tête des colonnes ballastées injectées et des inclusions rigides et de déceler d'éven-

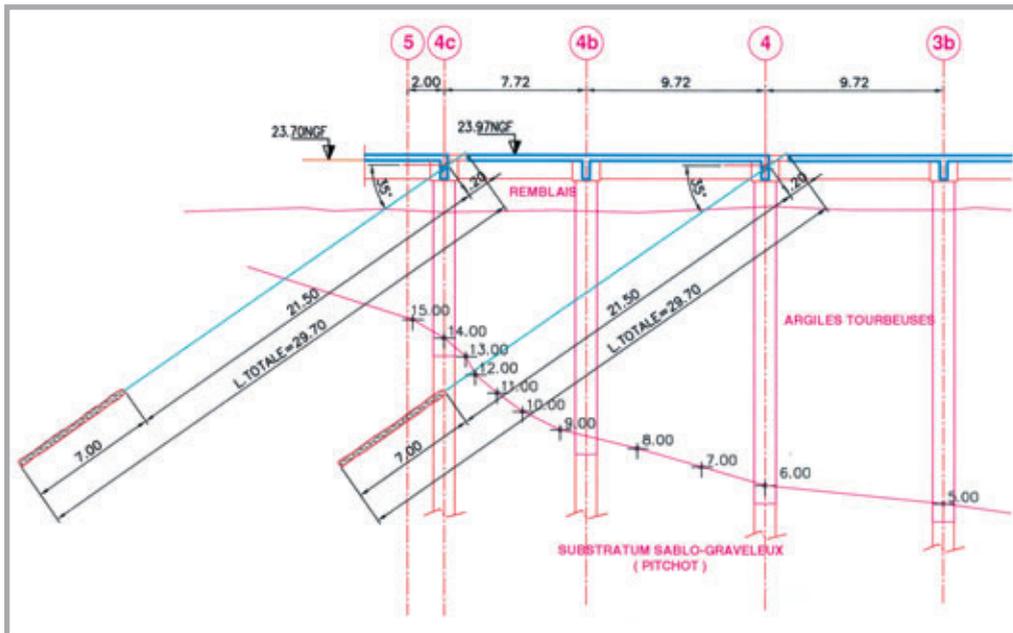


Figure 3
Coupe longitudinale
file H
Longitudinal section
of row H

ce d'un tubage définitif garantissant la qualité du bétonnage et permettant de maîtriser la largeur d'application des efforts développés par les mouvements du sol. De plus, les pieux présentaient une même inertie dans le cas d'un éventuel changement de direction des déplacements horizontaux du sol.

A coût identique, cette dernière solution a alors été retenue.

L'évolution des désordres ayant conduit la charpente à sa limite ultime, il a alors été décidé de la démonter sur la zone à conforter et de transférer la surface de vente dans un chapiteau provisoire. Le projet a alors été repris afin de disposer les pieux selon une maille régulière calée en fonction de la trame des appuis de charpente.

Le dimensionnement final comportait donc (figures 2 et 3) :

tuels obstacles en profondeur compte tenu des remblais de toute nature susceptibles d'être rencontrés sur certaine partie du site.

Travaux préalables

Au titre des travaux préparatoires quatre micropieux de 250 mm de diamètre sont ancrés de 18 m dans les graves, (longueur 40 m). Equipés de tube de 177,80 mm de diamètre, épaisseur 9 mm, ils ont permis d'assurer les fondations de la grue de l'entreprise de gros œuvre.

Le suivi dans le temps de leur position altimétrique a permis, s'il en était besoin, de "vérifier" la sensibilité des terrains de recouvrement ; un tassement, au-delà de la mise en charge, de 26 mm a été constaté pendant l'exécution du forage des pieux, tassement correspondant à la perte du frottement, voire à du frottement négatif, dans la partie des sables tourbeux.

Les travaux de fondations du confortement

Ceux-ci comportaient, comme on l'a vu précédemment, la réalisation de pieux de forte inertie ainsi qu'un ensemble de tirants d'ancrage définitifs. Les pieux de 1200 mm de diamètre, au nombre de 54, ont été réalisés en deux phases : mise en place sur l'épaisseur des sables vasards et des tourbes d'un tubage définitif diamètre 1220 mm, épaisseur minimale 15 mm, ancré d'un mètre dans les graves, puis prolongement du forage au sein du substratum pour atteindre la longueur finale comprise entre 18 et 29 m.

La première phase a été réalisée soit par louvoyage au moyen d'un oscillateur Bauer BV 1500, soit par vibrofonçage grâce à un vibreur ICE 815.

La deuxième phase a été réalisée au moyen d'une foreuse RT3S portée par une grue LS180, avec utilisation sous protection de boue bentonitique de tarières, carottiers et buckets. Les 34 tirants d'ancrage, d'une capacité unitaire de 100 t et d'une longueur comprise entre 22 et 30 m ont un caractère définitif de type P2 et leur longueur de scellement a été déterminée au terme de la mise en œuvre préalable de deux tirants d'essai. Ils ont été réalisés sous boue bentonitique avec substitution en fin de forage, au moyen d'une foreuse type DCH 114. Leur particularité réside, outre leur caractère définitif, dans le soin qu'il a fallu apporter à leur positionnement. En effet leur exécution s'est faite, notamment pour des questions de planning, avant la réalisation de la poutre devant recevoir les têtes d'appui et donc avec une implantation et une inclinaison des plus rigoureuses. La photo 2 montre l'ensemble du chantier de pieux. Pieux et tirants on l'a vu, sont équipés d'appareils d'instrumentation de suivi, inclinomètre pour les pieux, cellules type Glotz avec mesure à distance pour les tirants.



Photo 2
Le chantier de pieux
The piling works



Photo 3
Ferrailage de la dalle et extrémités des tirants
Reinforcement of the slab and ends of the tension members

LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Les études d'exécution menées par le bureau d'études Virelizier ont répondu à une double exigence :

◆ celle du cahier des charges avec une charge d'exploitation de 2 t/m² ;

◆ celle de l'interaction sol-structure engendrée par la poussée du terrain instable sur les pieux.

Le résultat des modélisations et en particulier les efforts de traction considérables, variables de 49 à 308 t par longrine, ont conduit l'entreprise à mettre en œuvre une précontrainte axiale additionnelle : un ou deux câbles 7T15 selon le cas.

Afin d'éviter les efforts parasites provoqués par la poussée du terrain sur la retombée des longrines (hauteur de 0,70 à 1,04 sous dalle) le coffrage latéral de celles-ci a été réalisé par du polystyrène expansé de 50 cm d'épaisseur type Stisol AM de faible densité : 7 kg/m³ afin d'éviter les frottements et poussées parasites.

La dalle BA de 30 cm d'épaisseur réalisée sur terre-plein, après coulage des talons de longrines, a été armée à l'aide de panneaux de treillis soudés rationalisés spécifiques : HA 14 x 130/HA 12 x 150 (photo 3). Tous les panneaux ainsi que les ar-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Exploitant privé de grandes surfaces

Maître d'œuvre

Arcadis ESG

Bureau de contrôle

Bureau Véritas

C.S.P.S.

Bureau Véritas

Entreprises

- Intrafor : fondations et travaux spéciaux
- Etchart : génie civil



Photo 4
Croisement des aciers
Cross mounting of steel reinforcements

► mures des longrines ont été préfabriqués en usine. Leur manutention a été réalisée par une grue Potain H30/30 de 60 ml de flèche couvrant la totalité du chantier.

Grâce à l'ensemble de ces dispositions, les délais très courts imposés par le caractère particulier de cette opération ont pu être maintenus.

La réalisation des têtes de pieux a constitué la partie la plus délicate de cette construction. En effet, à la très forte densité d'armatures des longrines, s'ajoutent : la présence des armatures en attente des pieux (36 HA 32), les gaines des câbles de précontrainte Ø 63, les câbles des tirants d'ancrage dont il fallait respecter angles et azimuts, et enfin les platines de présellement de la charpente métallique. Cette forte concentration est illustrée par la photo 4.

Photo 5
Vue générale du chantier
General view of the site



■ L'INTERPÉNÉTRATION DES TRAVAUX DE FONDATION ET DE GÉNIE CIVIL

Outre les difficultés "classiques" de travaux en site urbain, protection de l'environnement vis-à-vis du bruit, vis-à-vis des vibrations et des rejets de toute nature, il convient d'ajouter dans le cadre de cette opération une difficulté supplémentaire, majeure, à laquelle il aura fallu faire face, à la fois dans un espace très exigu comme le montre la photo 5 et à proximité immédiate de l'espace de vente du magasin, l'indispensable coordination entre les deux entreprises de chacun des deux lots.

En effet, le planning ne permettait pas de dissocier les travaux de fondation et les travaux de génie civil rendant indispensable tant la cohabitation des travaux proprement dits sur le terrain que le positionnement des ouvrages les uns par rapport aux autres ; la photo 4 en apporte la meilleure preuve !

■ MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

Afin de programmer les remises en tension des tirants et de s'assurer que la structure reste dans les limites du comportement pour lequel elle a été dimensionnée, il a été mis en œuvre une instrumentation constituée de :

- ◆ 5 tubes inclinométriques dans cinq pieux, ancrés sous leur pointe, afin de déterminer leur déformée ;
- ◆ 4 tubes inclinométriques entre pieux, pour suivre les mouvements horizontaux des sols ;
- ◆ 2 tassomètres multipoints en forages afin de constater les déplacements verticaux des sols ;
- ◆ 8 sections de quatre jauges de contraintes au

sein des longrines afin de suivre l'évolution des efforts dans ces éléments ;

◆ 6 cales dynamométriques afin de suivre les tractions dans les tirants ;

◆ 30 points topographiques pour déterminer les déplacements de la dalle et du parking.

Un calendrier de mesures périodique a été établi avec définition de seuils de vigilance, d'intervention (pour remise en tension des tirants) et d'alerte en cas de divergence forte entre les calculs et la réalité permettant d'envisager un renforcement du confortement.

Ce dispositif est opérationnel depuis le mois de novembre 2003. Bien qu'encore récent, les paramètres mesurés montrent actuellement des valeurs inférieures à celles déterminées par calcul. Les mois à venir permettront de valider l'approche faite et la pérennité du confortement mis en œuvre.

ABSTRACT

Underpinning with strong inertia in Bayonne

G. Petit, P. Berthelot, P. Etcheber, Ch. Besson

A large retail store in Bayonne has sustained, since its construction, damage affecting about a third of its area in the form of horizontal and vertical movements of its structure related to phenomena of mass consolidation and creep of peaty soils.

Having reached the ultimate strength of the structure, underpinning of the affected area was undertaken, consisting of a network of piles with final tubing, stringers and tension members so as to bind the ground and reduce the soil movements which generate bending forces in the piles.

The extent of the residual soil movements being hard to assess (the behaviour of peat being not very well known), the observational method was employed to monitor the behaviour of the structure thus reinforced.

The work was carried out from April to August 2003 in two separate work sections (foundations and civil engineering work) with a very tight work schedule requiring close collaboration by all those involved in the work, essential for the success of such a project.

RESUMEN ESPAÑOL

Recalce de cimentaciones de fuerte inercia, en Bayona

G. Petit, P. Berthelot, P. Etcheber y Ch. Besson

Un gran centro comercial de Bayona ha sufrido, desde su construcción, diversos desórdenes que se extienden, aproximadamente, sobre una tercera parte de su superficie y que toman la forma de movimientos horizontales y verticales de su estructura derivados de fenómenos de consolidación y de fluencia en masa de suelos turbosos.

Habiendo alcanzado ya el límite de resistencia de la estructura, se ha emprendido un recalce de sus cimentaciones en la zona afectada, obras que consisten en una red de pilotes con entubado definitivo, largueros y tirantes con objeto de zunchar el terreno y reducir los desplazamientos del suelo que, a su vez, generan esfuerzos de flexión en los

pilotes. Dada la dificultad de evaluar la amplitud de los movimientos residuales del terreno (ya que el comportamiento de las turbas es muy poco conocido) se ha implementado el método observativo con objeto de seguir el comportamiento de la estructura así consolidada.

Las obras se han llevado a cabo desde abril a agosto de 2003 en dos lotes separados (cimientos y obras civiles) y ello con un programa sumamente estricto que precisa una rigurosa colaboración de todos los participantes, indispensable para el éxito de semejante operación.

Comblement des vides gypse sous l'université

A Bobigny, l'université Paris XIII Villetaneuse n'a d'autre solution pour s'agrandir que de réhabiliter les anciennes imprimeries de la revue *L'illustration*, situées à proximité, sur un terrain de 5 hectares contigu à l'implantation créée en 1969.

La géologie de la zone présente des quantités importantes de gypse, roche possédant la faculté de se dissoudre dans l'eau. Avant de poursuivre la réhabilitation du bâtiment, l'université a confié à Solétanche Bachy le comblement des vides de dissolution de gypse sur l'ensemble du site.



Un splendide bâtiment Art déco sur un sol miné par la dissolution

A splendid Art Deco building on a soil undermined by dissolution

■ HISTORIQUE

Lorsque *L'illustration* projette de s'installer sur le site en 1931, sa situation financière est florissante et elle souhaite faire de cette usine une vitrine, un modèle aussi bien organisationnel qu'architectural. Bobigny est alors au milieu des champs, le terrain est donc vaste pour implanter une usine. Elle sera grande, bien pensée, belle et luxueuse. Doté d'une certaine recherche architecturale dans le style Art déco alors à la mode, le bâtiment est flanqué d'une tour cachant un réservoir, et ayant un faux air d'Empire State Building. La revue est au sommet de sa renommée, universellement reconnue et appréciée pour sa haute qualité.

Mais la fin de la guerre sonne également la fin de *L'illustration*. Le site maintiendra une activité d'imprimerie jusqu'aux années 1980 quand il sera finalement abandonné. La ville de Bobigny le rachète sans savoir encore qu'en faire; le gardiennage coûte cher et il y sera bientôt mis fin. Au début des années 1990 le bâtiment est donc pillé de toutes ses luxueuses décorations et il est relégué au rang de friche industrielle. Il devient un repaire de sans-abri et de trafiquants de voitures. Les champs aux alentours sont maintenant devenus des ZUP; du haut de sa tour, *L'illustration* ne domine plus maintenant qu'une banlieue sensible. Il semble que la splendeur du bâtiment appartienne définitivement au passé.

La renaissance découlera des objectifs de succès au baccalauréat : comme on veut alors que 80 % des lycéens "aient le bac", les universités censées les accueillir ensuite explosent littéralement et sont contraintes de s'agrandir. Dans ce but, Paris XIII Villetaneuse se fait céder le site par la ville de Bo-

bigny. Bien desservi par le métro et le futur tramway, à proximité du CHU de l'hôpital franco-musulman Avicenne, le lieu est idéal pour créer un grand campus. C'est la beauté du bâtiment qui le sauvera de la démolition; d'aucuns ajoutent une autre raison, la probable découverte d'un site archéologique gaulois au cas où l'on aurait entrepris une démolition et des terrassements. L'université décide donc de réhabiliter le bâtiment et de transformer ces grands volumes industriels en locaux d'enseignement.

■ LA RÉHABILITATION DU BÂTIMENT

L'obtention d'un permis de construire passe à Paris et dans certaines communes de la banlieue par l'autorisation de l'Inspection Générale des Carrières (IGC), service compétent pour juger si le sous-sol nécessite ou non des travaux de comblement ou d'injection pour assurer la sécurité de la fondation. Après un premier examen du dossier, l'IGC ne préconise rien de particulier, et l'université réalise ainsi une première phase de réhabilitation dans laquelle elle installe un premier département d'IUT.

Mais lorsque l'université dépose un dossier pour la deuxième phase, l'IGC préconise alors le comblement des vides de dissolution de gypse sous tout le site, y compris la partie déjà réhabilitée en première phase.

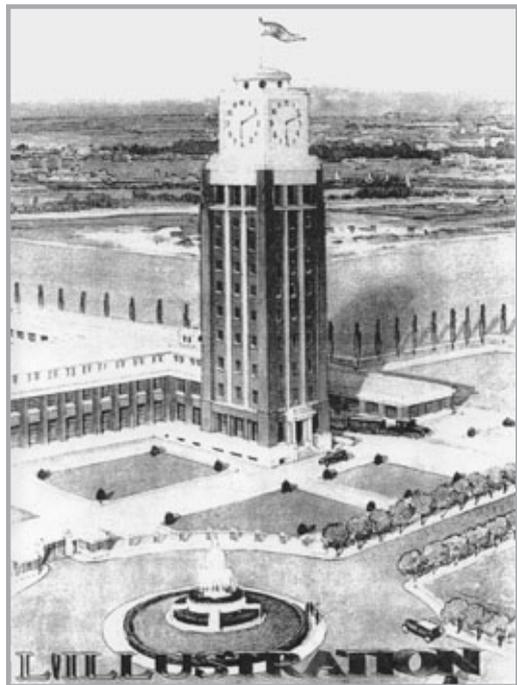
En effet la coupe de terrain fait apparaître des remblais, du marno-calcaire de Saint-Ouen, des sables de Beauchamp, puis au-delà de 30 m de profondeur des marnes et caillasses dans lesquelles existent des lentilles de gypse bien souvent dissoutes. L'université fera appel au bureau Géotechnique Appliquée pour la maîtrise d'œuvre de ce chantier hors du commun par sa taille, à Solétanche Bachy pour les travaux de comblement et d'injection et à Géotec pour les sondages de contrôle.

■ LES TRAVAUX DE COMBLEMENT ET D'INJECTION

La technique

La technique du comblement de vides de dissolution de gypse ou de carrières n'est simple qu'en apparence.

Elle consiste à réaliser des forages avec un espacement ou maillage régulier pour ensuite les rem-



1930, au temps de *L'illustration*
1930, at the time of "*L'illustration*"

de dissolution de Paris XIII à Bobigny

plir gravitairement avec du mortier de ciment et de sablon jusqu'à ce que le mortier résurge du forage. Sept jours au minimum après la fin du remplissage gravitaire vient une phase de clavage qui consiste à injecter avec une pression de 5 bars maximum du mortier un peu plus résistant afin de s'assurer que l'espace laissé libre par la décantation du mortier de remplissage est bien comblé. Lors de la phase de perforation, il convient de porter une attention particulière à l'analyse des paramètres de forage, car en cas de décompression importante du terrain, voire de fontis, il faudra alors rajouter des forages équipés de tubes à manchettes afin d'injecter le terrain au coulis bentonite-ciment pour traiter la décompression.

Les modalités d'appel d'offres

La rémunération de ce type de marché peut être de deux types : soit forfaitairement, l'entreprise s'engage à traiter la parcelle pour un prix forfaitaire, soit au bordereau des prix unitaires, et l'entreprise est alors rémunérée en fonction des quantités mises en œuvre.

Mais pour qu'une entreprise puisse évaluer correctement les travaux et s'engager sur un prix forfaitaire, la maîtrise d'œuvre doit bien sûr lui fournir des données précises sur la géologie du site. Sur ce chantier, la campagne de reconnaissance du sol aurait été très longue étant donné la superficie. Afin d'éviter la campagne de reconnaissance préalable à l'appel d'offres, le maître de l'ouvrage a donc préféré lancer un marché mixte comportant une partie forfaitaire et une partie sur bordereau.

Dans cette affaire il fallait entreprendre les travaux sans disposer au départ de l'ensemble des éléments nécessaires. Solétanche Bachy a pu offrir au maître de l'ouvrage son grand professionnalisme dans le domaine des traitements par injection, son expérience du terrain dans le secteur géographique concerné, et enfin sa réactivité basée sur une gamme et une puissance de moyens inégalées permettant de faire face à toutes les situations.

La perforation

Le maillage de base avec lequel la perforation a commencé correspondait à la préconisation minimale de l'IGC en matière de comblement de vides de dissolution de gypse, à savoir : 10 m x 10 m sous les espaces verts et parkings, et 7 m x 7 m sous les terrains bâtis.

Mais en interprétant les premiers enregistrements de paramètres de forage qui permettent d'apprécier la qualité du terrain, il est apparu évident que ce maillage minimal ne serait pas suffisant. La décision de resserrer le maillage sous les bâtis à 5 m x 5 m a rapidement été prise afin de s'assurer du remplissage complet de tous les vides de dissolution de gypse.



Des forages de 47 m de profondeur

Boreholes 47 metres deep

Devant cette augmentation soudaine des quantités à exécuter tandis que les délais restaient incompressibles, Solétanche Bachy a mobilisé des moyens sortant de l'ordinaire pour ce type de travaux. Ainsi, il y a eu jusqu'à quatre ateliers de perforation travaillant en deux postes de 8 heures. Les débuts ont été très difficiles car ils coïncidaient avec la vague de froid qui s'est abattue sur la France en janvier 2003. Le fluide de perforation étant de l'eau pure, ou de la boue aux polymères lorsque le terrain était bouillant, le gel devenait un élément climatique, le seul, qui pouvait faire obstacle à l'exécution. Malgré la purge quotidienne de tous les circuits d'eau, il fallait, en période de températures négatives, au moins une heure de mise en route en début de poste pour dégeler les installations. Avec le redoux les rendements ont augmenté jusqu'à atteindre un record de neuf forages à 47 m en une journée avec un atelier. A l'intérieur du bâtiment les rendements ont bien sûr été moindres en raison de la hauteur sous plafond de 6 m nécessitant l'utilisation de machines plus petites et moins performantes. Ces machines ne pouvant être équipées de barillets d'alimentation en tiges, il fallait, pour atteindre la profondeur requise de 45 m, que les aides foreurs posent puis déposent 31 tiges

Michel Yon

INGÉNIEUR
Solétanche Bachy France



Hubert Grünwald

RESPONSABLE
D'EXPLOITATION -
CHARGÉ D'AFFAIRE
Solétanche Bachy France



Gérard Dufour

RESPONSABLE DU BUREAU
DE LA LOGISTIQUE IMMOBILIÈRE
Université Paris XIII

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître de l'ouvrage

Université Paris XIII Villetaneuse

Maître d'œuvre

Géotechnique Appliquée

Bureau de contrôle

Qualiconsult

Entreprise

Solétanche Bachy France

Sondages de contrôle

Géotech

de 1,50 m pesant chacune 15 kg, ce qui représente la manutention manuelle de près d'une tonne à chaque forage!

L'injection

Une fois exécuté un nombre suffisant de forages commence la phase de remplissage. Une très grosse centrale de fabrication de mortier a été rapidement installée, permettant le remplissage gravitaire des vides de dissolution.

La phase suivante, le clavage, intervenait sept jours après la fin du remplissage. Etant donné le grand nombre de forages, l'opération est venue en recouvrement et cette contrainte de délai n'a entraîné d'arrêt de chantier que sur la fin.

Enfin, il y a les cas particuliers, détectés grâce à une observation et une interprétation constantes et minutieuses des paramètres de forage et d'injection. Il s'agit des zones de terrain qui présentent des décompressions et qui n'ont pas pu être traitées lors des opérations de remplissage et de clavage. En l'occurrence le cas s'est présenté sur 24 forages. Ceux-ci ont alors été équipés de tubes à manchettes scellés au terrain. Il s'agit de tubes munis de clapets qui permettent ainsi une injection sous pression et quantité contrôlées, tranche par tranche, et répétitive si besoin est.

La méthode, très différente et beaucoup plus minutieuse que les précédentes, procède par injection de coulis de bentonite-ciment fluide capable d'imprégner le terrain, et requiert un matériel d'un autre type. Il a donc été nécessaire de mettre en œuvre une centrale de fabrication et d'injection de coulis associée à une unité de gestion informatisée de type Spice, servie par une équipe autonome de spécialistes.

CONCLUSION

Après huit mois de labeur souvent très intense, Solétanche Bachy a rendu le site dans le même état de surface qu'à l'origine. C'est le paradoxe de ce type de chantier : tout est important mais tout est invisible. Les quantités sont pourtant impressionnantes :

- ◆ 52 km de perforation ;
- ◆ 17 435 m³ de mortier de remplissage ;
- ◆ 3 270 m³ de mortier de clavage ;
- ◆ 541 m³ de coulis d'injection.

Ces volumes représentent autant de vides qui existaient dans le sol et qui constituaient un risque réel de tassement, voire d'effondrement.

Le risque géotechnique ainsi traité et supprimé, la réhabilitation du bâtiment a pu s'effectuer pour offrir aux étudiants et à leurs professeurs un cadre grandiose sur une fondation solide. Au-delà de la nécessité technique, c'est aussi un symbole pédagogique.

ABSTRACT

Filling of gypsum dissolution voids under Paris 13 University in Bobigny

M. Yon, H. Grünwald, G. Dufour

In Bobigny, in order to expand, the Paris XIII Villetaneuse University has no solution but to reclaim the former printing shops of the review entitled "L'illustration", located nearby, on 5 hectares of land adjacent to the establishment founded in 1969.

The geology of the zone shows large quantities of gypsum, a rock having the property of dissolving in water. Before continuing with renovation of the building, the university entrusted to Solétanche Bachy the work of filling in the gypsum dissolution voids on the site as a whole.

RESUMEN ESPAÑOL

Rellenos de los huecos de disolución del yeso bajo la Universidad Paris 13, en Bobigny

M. Yon, H. Grünwald y G. Dufour

En Bobigny, para la Universidad Paris XIII Villetaneuse la única solución para su ampliación ha consistido en rehabilitar las antiguas imprentas de la revista L'illustration, ubicadas en las cercanías, sobre un terreno de cinco hectáreas, contiguo a la implantación creada en 1969.

La geología de la zona presenta importantes cantidades de yeso, roca que, así como es sabido, posee la facultad de disolverse en el agua. Antes de proceder a la rehabilitación del edificio, la Universidad ha encargado a Solétanche Bachy el relleno de los huecos de disolución del yeso para el conjunto del emplazamiento.

De nouvelles applications en forage horizontal dirigé

Installation de 1 250 ml de canalisation PEHD de 630 mm de diamètre dans un massif rocheux

La Satrod, plus grand centre d'enfouissement technique de classe II (C.E.T.) de la région Rhône-Alpes, aurait perdu 20 ans d'exploitation si aucune solution n'avait été trouvée pour assurer le transfert sécurisé des eaux du ruisseau de Borde Matin entre l'amont et l'aval de son site classé. Le système existant est en effet considéré peu fiable par l'administration de tutelle et doit à court terme être abandonné. C'est ainsi que malgré des contraintes environnementales drastiques, une canalisation PEHD de 1 250 m de long et de 630 mm de diamètre a été installée sous le centre, dans le substratum rocheux, en utilisant la technique du forage horizontal dirigé. Cet ouvrage est inscrit désormais dans le palmarès mondial des plus gros forages jamais réalisés dans le rocher, et ouvre la voie à de nouvelles applications pour cette technique d'avenir.

■ CONTEXTE ET CHOIX DU FORAGE HORIZONTAL DIRIGÉ

Contexte

L'activité principale de Satrod est le stockage sécuritaire de déchets non dangereux (déchets ménagers et assimilés, déchets industriels banals et commerciaux) dits "ultimes", autrement dit ni recyclables, ni valorisables.

Satrod, filiale à 100 % de la société Sita FD, est le premier centre d'enfouissement technique (C.E.T.) de classe 2 de la région Rhône-Alpes ; il a l'autorisation de recevoir 500 000 t de déchets par an et emploie près de 40 salariés. Situé à proximité de Saint-Etienne, ce C.E.T. s'étend sur une superficie de 63 ha, et se situe au cœur d'un vallon emprunté par un ruisseau au débit saisonnier, appelé le Borde Matin. Ce cours d'eau est principalement alimenté par le ruissellement des eaux de pluie des bassins versants situés en amont.

Afin d'assurer une protection optimale de l'environnement du vallon et permettre l'exploitation d'un centre de stockage, la canalisation du Borde Matin a été rendue nécessaire dès 1972, date de création du site par l'entreprise "benne Marrel". C'est donc à cette date qu'un premier dalot (galerie en béton armé enterrée) a été construit au fond du vallon, puis prolongé en 1992, pour atteindre une longueur totale de 1 200 m.

Mais plus de vingt ans après sa construction, la résistance du dalot montre ses limites, laissant apparaître des fissures à différents endroits. Afin de le préserver et éviter tout incident environnemental, l'administration a décidé de limiter la charge

représentée par les déchets à 40 m sur la zone située au-dessus du dalot, elle-même située au cœur du site. Cette décision ayant pour conséquence d'amputer la durée d'exploitation du site de Satrod de 20 ans environ, elle mettait directement en péril son activité, soit les emplois de 40 personnes.

Les solutions

Face à l'urgence de la situation, une solution de substitution ne faisant pas appel aux techniques de pompage, interdites par l'Arrêté préfectoral, devait alors être trouvée rapidement afin d'assurer la pérennité de l'activité de Satrod. Différentes hypothèses ont été étudiées, dont notamment :

- ◆ la création d'un tunnel de dérivation du Borde Matin vers une autre vallée ;
- ◆ la réhabilitation et confortement de la structure du dalot existant ;
- ◆ la mise en place d'une nouvelle canalisation sécurisée en profondeur dans le soubassement rocheux du site.

Après de nombreux mois d'études et prospections, la technique du forage horizontal dirigé s'impose comme une évidence à l'équipe de Sita FD - Satrod, tant au niveau technique qu'au niveau économique (cf. tableau I, page suivante).

Le forage horizontal dirigé

La technique du franchissement d'obstacles par forage horizontal dirigé, directement issue des techniques du forage pétrolier, existe depuis les années 80 ; cette méthode est de nos jours très répandue pour l'exécution des franchissements de faible longueur (chaussées, voies ferrées, ruis-

Laurent Casgrande



CHEF DE PROJET
Sita FD

François Gandard

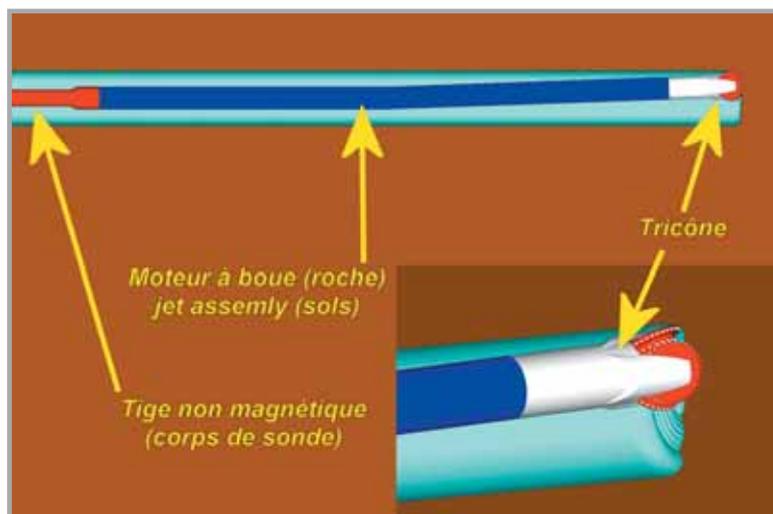


CHEF DE PROJET
Horizontal Drilling International
SAS

Tableau I
Analyse des différentes solutions étudiées par Satrod
Analysis of Satrod's alternatives

Solutions	Avantages	Inconvénients
Tunnel sous la colline « Côte Gravelle » vers l'Ondaine (800 m)	· Visibilité de l'ouvrage par l'homme	· Canalisation en agglomération (400 m) · Hors de l'emprise du site (autorisations) · Maîtrise foncière difficile · Coûts très élevés > 20 MF
Tunnel rive droite ou rive gauche	· Dans l'emprise du site	· Grand linéaire · Passage dans les déchets · Coûts très élevés
Confortement et réhabilitation des dalots		· Faisabilité technique très difficile · Temps d'exécution très longs · Risques importants pour le personnel · Risques de désordres mécaniques à long terme
Forage dirigé	· Dans de l'emprise du site (contrôle) · Temps de travaux relativement courts · Pérennité de l'ouvrage · Visibilité par vidéo inspection	

Figure 1
Schéma de principe du tir pilote
Pilot hole scheme



■ UN PROJET PARTICULIER : DÉFI TECHNIQUE ET RECORD DU MONDE

Une fois la solution du forage horizontal dirigé validée par Satrod, il restait à la réaliser. En effet, les dimensions de ce forage le faisaient accéder au podium mondial des plus gros chantiers de forage dirigé de ce diamètre jamais réalisés en roche dure. Seules quelques sociétés dans le monde possèdent des références et le savoir-faire pour de tels ouvrages. Satrod retient finalement la société française Horizontal Drilling International (HDI), qui venait d'achever trois traversées du même type au Brésil dans des quartzites extrêmement abrasives (cf. article paru dans le n° 785 d'avril 2002 de *Travaux*, page 69).

L'ensemble des éléments techniques communiqués par le département Etude du siège de Sita FD transforme rapidement ce forage en défi technique, et ce à bien des égards.

Choix de la conduite et méthode opératoire pour l'assemblage

Selon le cahier des charges, la canalisation doit avoir un diamètre intérieur d'au moins 500 mm. L'usage en forage horizontal dirigé pour ces longueurs est d'installer une canalisation en acier ; les forces de tirage acceptables par ce type de canalisation sont en effet considérables. Cependant, la construction d'une canalisation en acier nécessite l'aménagement d'une piste d'au moins 10 m de large, dans l'alignement du forage, et la plus rectiligne possible étant donné la "raideur" du matériau. Or un tel aménagement dans l'axe du forage est possible, mais nécessite d'entamer d'importants terrassements qui dénatureraient le paysage, ce que Satrod refuse catégoriquement. Les exigences de Satrod sont claires : ce tube doit être assemblé en surface tout en préservant au maximum l'environnement boisé et vallonné du secteur. C'est pourquoi le choix d'une canalisation PEHD de 630 mm de diamètre s'impose. Ce matériau a de plus le mérite d'être beaucoup moins

seaux...), mais reste encore assez méconnue des donneurs d'ordre pour les traversées de grande longueur et de gros diamètres. Les marchés de pipeline utilisent pourtant cette technique depuis de nombreuses années, et quelques milliers de canalisations ont déjà été installées sous les plus grands fleuves du monde. Un forage dirigé se décompose toujours en trois étapes distinctes :

- ◆ le tir pilote est foré selon un profil préalablement établi ; il est guidé par l'intermédiaire d'une sonde localisée derrière l'outil de forage dans une tige non magnétique (figure 1) ;
- ◆ une fois réalisé, le tir pilote est alésé en une ou plusieurs passes selon le diamètre de la canalisation, jusqu'à ce que son diamètre atteigne à peu près 1,5 fois celui de la canalisation. Pendant ces opérations, la continuité du train de tiges entre les deux extrémités du forage est maintenue en permanence, l'alésoir étant intercalé dans le train de tige (figure 2) ;
- ◆ quand le trou est alésé et nettoyé convenablement, la canalisation préalablement assemblée dans l'axe du forage, du côté opposé à la foreuse, est connectée au train de tiges par l'intermédiaire d'une tête de tirage puis tirée dans le trou alésé par la foreuse.

sensible aux effets du temps, ce qui séduit Satrod qui se doit avant tout de réaliser un aménagement durable sur le long terme.

Cette canalisation (PE 100, PN16, 57,4 mm d'épaisseur) dont le poids au mètre linéaire est de 103 kg peut tolérer un effort de traction maximum de 70 t, ce qui semble juste au regard de l'effort nécessaire pour la tirer dans le trou foré. Bien que le coefficient de sécurité choisi pour calculer cet effort soit de 3, HDI décide de ballaster la conduite pendant l'opération de tirage afin de réduire les efforts : il s'agit tout simplement de contrecarrer la force de poussée d'Archimède qui s'appliquerait naturellement sur une conduite vide en la remplissant au fur et à mesure de sa progression dans le trou. Un système innovant de tête de tirage ouverte est mis au point par les ingénieurs de HDI, afin que la boue de bentonite du trou pénètre naturellement dans la canalisation par équilibre de la pression hydrostatique.

Ce choix effectué, il reste néanmoins à trouver une solution pour la construction de la canalisation dans ce secteur difficile d'accès, vallonné et boisé. C'est là qu'interviennent les spécialistes de la société Corefic (devenue depuis Axeo), qui relèvent le défi et proposent à HDI un tracé audacieux (photo 1), ainsi qu'un mode opératoire ingénieux, qui consiste à souder les tubes en poste fixe et à tirer la canalisation à l'aide d'un camion treuil et de multiples renvois de poulies judicieusement disposés le long du tracé.

Topographie du site et choix du tracé

Le forage, situé dans un vallon, présente un dénivelé naturel de 50 m entre les extrémités du forage. Ceci provoque une situation inhabituelle pour un forage dirigé, car toute une partie du trou allait être vide pour une raison simple d'équilibre hydrostatique. HDI avait acquis cette expérience sur les trois forages du Brésil qui venaient de s'achever, et savait qu'il ne s'agissait pas d'une situation anodine. En effet, dans la partie sèche, les outils ne sont pas lubrifiés et les *cuttings* (débris de sols) qui ne sont pas transportés par la boue sédimentent dans le trou. C'est pourquoi HDI a pris le parti d'effectuer un profil en siphon qui limite la partie sèche à son strict minimum (200 m amont). C'est pour cela également qu'il a été décidé d'installer le cirque de forage en aval, là où les retours de boue allaient naturellement se diriger (figure 3). Par ailleurs, le contexte et les contraintes du site ne permettaient pas de produire un tracé rectiligne ; il a donc été nécessaire d'effectuer une courbe horizontale de 15° en cours de tracé (photo 2), ce qui n'a pas facilité le guidage du tir pilote. Enfin, une profondeur minimale est imposée pour le passage sous la bêche d'ancrage du barrage amont. Ce barrage en terre, qui a été construit

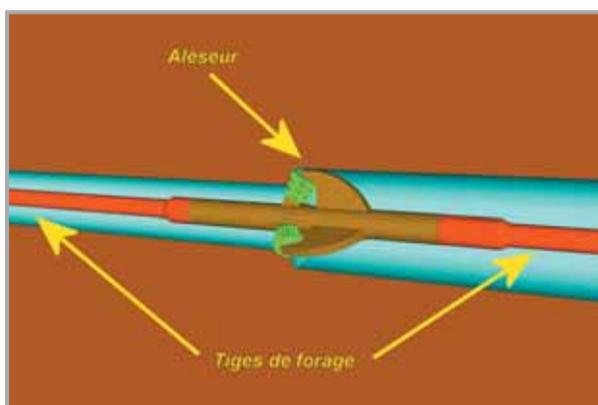


Figure 2
Schéma de principe d'un alésage
Reaming scheme



Photo 1
Vue aérienne du tracé de la canalisation avant installation dans le forage
Air view of the product pipe path during construction

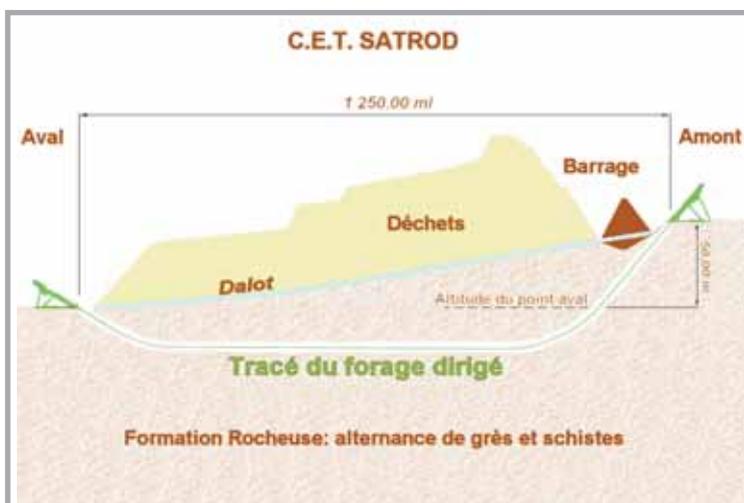


Figure 3
Coupe de principe du forage dirigé de Satrod
Side view of Satrod crossing



Photo 2
Vue aérienne de la projection en surface du tracé du forage horizontal dirigé
Air view of horizontal directional drilling path on surface

Photo 3
Passage
de la canalisation
en sous-bois
avant installation
dans le forage

*Product pipe
under wood
before pulling*



► en amont du C.E.T. dans les années 90 par Satrod, permet d'assurer le stockage des eaux du Borde Matin quand son débit est supérieur au débit maximum admissible par le "dalot".

Géologie

Afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage, Satrod souhaite que le tracé du forage n'intercepte jamais les déchets stockés et se situe dans le substratum rocheux. Il s'agit d'une alternance continue de bancs de dimensions métriques de grès abrasifs et de schistes houillers. Ces deux formations sont très peu semblables, tant en terme d'abrasivité qu'en terme de dureté; or, ces deux paramètres sont essentiels dans le choix des outils de forage ainsi que dans l'estimation des cadences d'avancement. Sachant par ailleurs que les interfaces entre deux roches aussi différentes ne sont jamais faciles à forer, les ingénieurs de HDI ont tout de suite mesuré la difficulté du chantier.

L'étude géologique préalable jointe au marché localisait de plus une faille géologique que le tracé du forage interceptait en son milieu. Les foreurs devaient anticiper un comportement différent des matériaux forés dans cette zone, d'autant qu'ils avaient prévu un nombre élevé de *hole-openers* par passe. En effet, ces outils massifs et lourds, ont souvent tendance à s'enfoncer dans les zones de faille où les matériaux forés conservent rarement les caractéristiques d'une roche (roches broyées par exemple), creusant ainsi le profil : on détecte alors des "marches" sur le profil à la frontière avec la partie indéformable, car purement rocheuse; le franchissement de ces "marches" par les *hole-openers* crée des contraintes telles sur le train de tige qu'il peut rompre ou bloquer l'aléreur. Conscients de ce problème, les ingénieurs de HDI ont mis au point un phasage des opérations d'alésage qui évite ce phénomène en limitant le nombre des passages d'aléisseurs dans cette zone au minimum, selon la procédure suivante :

- ◆ positionnement de la faille sur le tracé pendant le forage du tir pilote ;
- ◆ alésage du tir pilote depuis l'extrémité aval jusqu'au début de la zone de faille, sans la franchir; cette opération très particulière nécessite une seconde foreuse en amont pour tirer l'aléreur (il n'est pas possible de pousser sur un aléreur car le train de tige flamberait dans le trou), la foreuse "aval" continuant à assurer pompage et rotation du train de tiges ;
- ◆ fin de l'alésage du tir pilote depuis l'amont de telle manière que, pour chacune des passes d'alésage, seul le dernier aléreur "circule" dans cette zone de faille.

MOYENS ET QUANTITÉS

- 1 Rig (foreuse) de forage de type HD 650 pouvant développer 250 t en traction et 100000 N.m de couple
- 1 second Rig de forage pour les opérations d'alésages dites en "yoyo"
- 2 pelles hydrauliques de 20 t de type Cat 320
- 1 unité de mixage et préparation des boues bentonitiques
- 2 unités de recyclage de 200 m³/h pour le traitement des retours de boue : une unité de dessablage et une de désiltage
- 2 pompes haute pression de type EW 446 triplex capables de développer 2 m³/mn à 60 bars de pression
- 8 pompes thermiques de 100 m³/h à 5 bars de type Selwood ou Varisco
- 2 pompes thermiques de 150 m³/h à 10 bars de type Selwood S 150
- 3 000 m de tiges de forage 5 in., grade S 135
- 1 330 m de canalisation PEHD, PE 100, DN 630 mm, ép. 57,4 mm en barres de 13 m
- 1500 m de tuyauterie mixte (galvanisé et PEHD) de 150 mm de diamètre reliant les extrémités du forage destinés à véhiculer la boue d'un côté à l'autre du forage
- 3 moteurs à boue 6 in. 3/4 de type Black Max
- 2 tricônes 9 in. 7/8 TCI
- 5 corps d'aléisseurs de type rock reamer RR 17 et 5 jeux de trois mollettes TCI de type D
- 4 corps d'aléisseurs de type Hugues 30 in. et 4 jeux de quatre mollettes TCI 17"
- 8 corps d'aléisseurs de type Smith 36 in. et 8 jeux de cinq mollettes TCI 17"
- 1 camion treuil équipé de 1500 m de câble acier DN 25 pouvant tirer 15 t sur un brin à 30 m/min
- 1 unité de soudure au miroir pour les canalisations de gros diamètre

Obstacles artificiels

La plate-forme de forage principale est située en aval du C.E.T. au pied d'un immense talus de suies; ces suies constituent l'héritage des anciens puits de mines de Firminy qui rejetaient depuis le haut de ce vallon les résidus des combustions qu'ils effectuaient en sortie de mine. Ainsi la morphologie actuelle du site n'est pas naturelle, ce qui aura des conséquences par la suite.

En tout état de cause, et selon l'étude géologique, le forage traverse ces suies sur 60 m avant de pénétrer le substratum. Ces matériaux sont problématiques à plus d'un titre pour un tel forage; en effet, pendant le forage du tir pilote, la force de poussée appliquée par la foreuse sur le train de tiges pourrait faire flamber celui-ci dans cette partie molle plutôt que de faire progresser le forage dans la roche. D'autre part, le passage des *hole-openers* pendant les alésages aurait sans nul doute créé une marche au niveau de l'interface avec le substratum par poinçonnement des suies (cf. paragraphe "Géologie"). Il était donc indispensable de s'affranchir de ces suies; HDI propose à Satrod un système innovant, qui consiste à foncer une gaine acier de 1000 mm de diamètre jusqu'au toit du substratum préalablement aux opérations de forage. Le forage s'effectue ensuite au travers d'un système composé de centreurs et de *casing* acier 300 mm destiné à centrer le train de tige dans la gaine acier 1000 mm.

■ LA RÉALISATION DU PROJET

Étant donné le challenge technique que constitue la construction de la canalisation, il est décidé d'un commun accord de ne commencer les opérations de forage qu'une fois la canalisation construite. Les conditions climatiques hivernales de la région (températures négatives, risques de fortes pluies pouvant inonder l'amont du barrage, etc.) et les impératifs de la société HDI ont conduit au planning de réalisation suivant : construction de la canalisation entre les mois de juillet et septembre 2002, suivie des opérations de forage entre les mois de mai et octobre 2003.

La réalisation de ce projet a nécessité la mobilisation sur site de nombreux moyens humains et matériels (cf. encadré "Moyens et quantités").

Construction de la conduite

L'assemblage de la canalisation s'est étalé sur deux mois pendant l'été 2002. Les équipes d'Axeo ont fait preuve d'une grande intelligence du terrain, car ils ont réussi à amener la canalisation jusqu'au point de sortie du forage en passant par une buse sous chaussée, un bois escarpé, et de nombreuses courbes (photo 3), avec un impact minime sur l'en-

vironnement. Le treuil a été mis en station à trois endroits différents, idéalement choisis sur le tracé pour qu'aucune piste ne soit nécessaire. Quelques rouleaux de lancement ont été installés aux points stratégiques et les renvois de poulies ont été accrochés à des arbres centenaires préalablement protégés. Seule une plate-forme de soudage a été construite (puis remise en état) à proximité d'une voirie existante.

Cent un tuyaux d'une longueur de 13 m ont été approvisionnés sur cette plate-forme où ils ont été soudés selon une procédure rigoureuse et un contrôle continu (contrôleur électronique). A chaque soudure, les bourrelets intérieurs et extérieurs sont rabotés de manière à obtenir la canalisation la plus lisse possible.

Les forces de tirages mesurées par le treuil ont cru avec la longueur assemblée. La force maximale appliquée par le treuil en fin d'assemblage a été de 54 t.

Trou pilote

Les travaux ont commencé par la mise en place sur les 60 premiers mètres du tracé d'une gaine acier de 1 m de diamètre avec un angle d'attaque de 8°.

Ces travaux, sous-traités à la société SMCE Forge, se sont déroulés au mois d'avril 2004. La technique adoptée pour installer ce *casing* a été celle du forage à la tarière. Le substratum a été rencontré après 40 m de forage et la tête du *casing* cimentée afin de l'ancrer dans la roche en place et d'éviter des pertes de boues dans les suies.

Pendant que le cirque de forage est mobilisé et installé (mai 2003), un fil électrique est installé sur la projection de l'axe en surface en prévision de l'utilisation du système de guidage breveté Paratrack 2°. Pendant le tir pilote, l'injection d'un courant alternatif dans ce fil crée un champ magnétique artificiel qui permet de localiser la sonde située en tête du train de tige avec une précision égale à 2 % de la profondeur verticale. Ce forage étant stabilisé à 40 m sous la surface, la précision atteinte en continue pour le repérage de ce tir pilote était donc de 80 cm.

Parallèlement à ce système, les sociétés Prime Horizontal et Vector Magnetic ont sollicité HDI pour que soit testé pour la première fois in situ un système révolutionnaire de guidage appelé le Ac Solenoid. Le site de Satrod étant idéal puisqu'il offre la possibilité d'obtenir une couverture de Paratrack continue entre les extrémités du forage (contrairement à une traversée de rivière traditionnelle), les ingénieurs ont pu affiner leur nouveau système en comparant les résultats avec ceux du Paratrack.

L'assemblage utilisé pour le forage du tir pilote est constitué d'un moteur à boue 6 in.3/4 (170 mm) et d'un tricône équipé d'inserts au carbure de tung-



Photo 4
Rig HD 650 en station en amont du forage pour les alésages (on aperçoit derrière la pelle hydraulique la paroi du barrage de retenue)
HD 650 drilling rig located upstream of the crossing for reamings (one can see behind the backhoe the upstream-wall of the dam)



Photo 5
Canalisation prête pour son introduction dans le forage alésé
Product pipe ready for pulling



stène de 9 in.7/8 (250 mm). Après un mois, la tête de forage sort de terre en amont dans les tolérances imposées par Satrod. Compte tenu de l'abrasivité des terrains forés, il a été nécessaire d'effectuer un changement d'outil en cours de forage.

Alésages

Etant donné le diamètre de la canalisation et la nature des terrains, HDI décide d'ouvrir le tir pilote à un diamètre de 900 mm pour laisser un espace annulaire suffisant pour permettre le tirage de la canalisation dans le trou alésé. Deux alésages intermédiaires ont été nécessaires : tout d'abord, une première passe au diamètre 550 mm, suivie d'une passe à 750 mm, et un alésage à 900 mm pour terminer.

Du fait de l'extrême abrasivité des formations rocheuses constatée par les équipes de forage le nombre d'outils utilisés pour réaliser les opérations d'alésage a été très important : en effet, 17 corps d'alésoirs et 65 mollettes serties de picots en carbure de tungstène ont été consommés.

Après 3 mois de dur labeur pour deux foreuses HD 650 (photo 4), et des équipes se relayant nuit et jour, le trou atteint enfin son diamètre ultime de 900 mm.

Tirage

La canalisation a été tirée à l'intérieur du trou par le train de tiges de forage (photo 5) que la foreuse ressortait en aval au fur et à mesure. Cette opération cruciale pour la réussite du projet a duré 15 heures, de 11 heures à 2 heures du matin. En pleine nuit, la conduite apparaît de l'autre côté du forage (photo 6) : le pari est gagné.

Grâce au système d'auto ballastage, les efforts de tirage ont diminué au fur et à mesure que la canalisation pénétrait dans le trou : ainsi, l'effort maximum de 62 t a été enregistré lors du décollage du tube. Il s'est ensuite rapidement stabilisé à 37 t, et diminua progressivement jusqu'à atteindre la valeur excessivement faible de 25 t en fin de tirage (la canalisation pèse 140 t).

Le nettoyage et l'ancrage de la canalisation se sont déroulés sans problème. Satrod dispose désormais d'un système de transfert des eaux du Borde Martin fiable et pérenne, qui a pu être testé lors des très fortes précipitations qui se sont produites dans la région de Saint-Etienne au mois de décembre 2003.

CONCLUSION

Le succès de ce chantier le rend exemplaire à plus d'un titre.

En effet, jamais un forage dirigé n'avait contenu une aussi longue canalisation en PEHD, ce qui donne ses premières lettres de noblesse à ce matériau peu utilisé pour les grands forages. Il s'agit également de la première application de cette technique au domaine du traitement des déchets et, en particulier, à la filière stockage.

Le déroulement du chantier a révélé un véritable esprit d'équipe, emprunt de professionnalisme et de respect mutuel entre tous les acteurs du projet, ce qui leur a permis de surmonter les difficultés et d'arriver à ce résultat.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Satrod

Maître d'œuvre
Sita FD, assisté par Sotrec Ingénierie

Entreprise principale
Horizontal Drilling International (HDI)

Entreprise sous-traitante
Axeo Travaux Spéciaux, agence de Calluire

• Montant du chantier : 2,4 M€

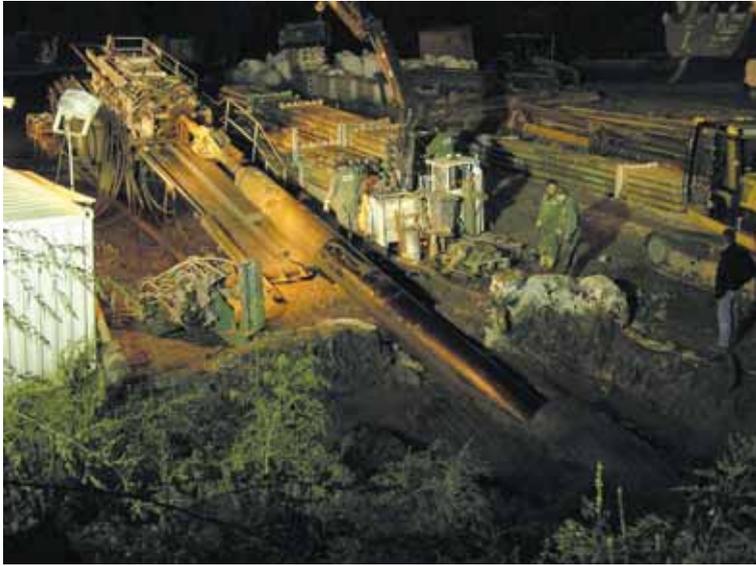


Photo 6
 Vue de la plate-forme de forage aval à la fin
 du tirage : la canalisation est encore connectée
 au Rig HD 650

*Downstream platform at the end of the pull back :
 the product pipe is still connected to the HD 650 rig*

En tout état de cause, ce chantier, qui accède par ailleurs au podium mondial des plus gros chantiers de forages dirigés de ce diamètre jamais réalisés en roche dure, restera à jamais gravé dans les mémoires des personnes qui y ont participé.

ABSTRACT

New applications for directional horizontal drilling. Installation of 1250 linear metres of HD polyethylene piping 630 mm in diameter in a rock mass

L. Casgrande, Fr. Gandard

Satrod, the largest Class II landfill centre in the Rhône-Alpes region, would have lost 20 years of operation if no solution had been found to ensure the safe transfer of water from the Borde Matin stream between the upstream and downstream ends of its classified site. This is because the existing system is considered unreliable by the supervisory authorities and will have to be abandoned in the near future. Accordingly, despite drastic environmental constraints, a high-density polyethylene pipeline 1250 metres long and 630 mm in diameter has been installed under the centre, in the rocky substratum, using the directional horizontal drilling technique. This structure now ranks among the largest boreholes in the world ever produced in rock, and opens the way to new applications for this technique of the future.

RESUMEN ESPAÑOL

Nuevas aplicaciones de la perforación horizontal dirigida. Tendido de 1 250 m de canalizaciones PeHD de 630 mm de diámetro en un macizo rocoso

L. Casgrande y Fr. Gandard

El Satrod, que constituye el vertedero técnico de clase II más importante de la región Ródano-Alpes, se exponía a perder 20 años de explotación de no haber podido encontrar una solución para permitir el traslado protegido de las aguas del arroyo de Borde Matin, ubicado entre aguas arriba y aguas abajo de su emplazamiento clasificado. Efectivamente, el sistema existente parece ser poco seguro por parte de la administración tutelar y deberá, a corto plazo, ser abandonado. Así, pues, a pesar de los imperativos medioambientales drásticos, se ha instalado en el centro, en el substrato rocoso, una canalización de 1 250 m de longitud

y 630 mm de diámetro utilizando para semejante menester la técnica de la perforación horizontal dirigida. Estas obras figuran ya en el palmarés mundial de las mayores perforaciones jamás realizadas en la roca y abre el camino para nuevas aplicaciones para esta técnica de gran futuro.

Marseille : parking des Belle de Mai

L'entreprise Mercury Sud (groupe HC) réalise un soutènement du type paroi berlinoise pour la ville de Marseille (quartier Belle de Mai, tissu urbain ancien). Ces travaux qui ont lieu dans une enceinte fermée de 2 000 m², concernent les fondations d'un parking sur quatre niveaux, qui pourra accueillir environ 320 véhicules.

Une méthode organisationnelle efficace conditionne le bon déroulement des travaux du futur parking dessiné par le cabinet Biaggi et Maurin.

Mercury Sud réalise sur ce chantier un soutènement du type berlinoise, en sous-traitance de l'entreprise Chiarella chargée du gros œuvre. Ces travaux ont lieu dans une enceinte fermée, qui verra bientôt s'élever un parking sur quatre niveaux, d'une capacité d'environ 320 véhicules (photos 1 et 2).

guière) s'effectue à l'aide de trois pelles mécaniques de 28 t dont deux sont équipées de brise-roche (2,5 t). L'évacuation des matériaux est assurée par cinq camions bennes (semi-remorques) en rotation journalière.

Les deux premières passes de terrassement comprennent la réalisation de tirants actifs (25 t) ou passifs suivant la distance qui sépare les murs mitoyens (poids pris en compte) de la paroi à exécuter.

Le voile en béton armé comprend la pose de treillis soudés dans les intervalles des HEB; le béton projeté est mis en œuvre par-dessus les armatures fixées sur les profilés.

Photo 1
Foreuse 1
à poste
Drill station 1



Photo 2
Foreuse 2
à poste
Drill station 2



Les profilés HEB de 8 m constituant la paroi de 212 ml, sont scellés dans le terrain et espacés de 1,50 m sur la périphérie du parking. Une excavation de 6 m de profondeur par rapport au terrain naturel, est exécutée en suivant par passes de 2 m de hauteur, au droit des profilés HEB. Confronté à un terrain dur (marno-calcaire), à très dur, le terrassement (exécuté par l'entreprise Fi-

LES TRAVAUX

Les opérations se déroulent comme suit :

- ◆ foration des micropieux définissant le contour du bâtiment ;
- ◆ terrassement effectué par passes de 2 m ;
- ◆ foration des tirants qui seront actifs ou passifs suivant la distance qui sépare le mur mitoyen de la paroi à exécuter ;
- ◆ ferrailage ;
- ◆ bétonnage (projection par voie sèche) ;
- ◆ réglage ;
- ◆ mise en tension des tirants actifs avant le terrassement de la passe suivante...

Un mode opératoire qui se répétera donc trois fois, pour une cadence imposée par des délais d'exécution très courts, nécessitant jusqu'à 40 m² par jour de mur fini (photo 3).

En phase définitive, les quatre niveaux de planchers viendront reprendre le travail des tirants (provisaires)

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Ville de Marseille

Mandataire
Icade G3A

Maîtres d'œuvre

- Bureau d'études Thales
- Cabinet Biaggi et Maurin (architectes lauréats du concours proposé par la ville de Marseille en 2001)

Démarrage des travaux : 20 octobre 2003

Fin des travaux : fin mars 2004

Archives municipales

Olivier Deméo

CONDUCTEUR
DE TRAVAUX
Mercury Sud - Groupe HC



et des clous. Par contre, les micropieux sont dimensionnés pour reprendre uniquement les charges verticales du bâtiment.

L'organisation des postes, le point crucial du chantier

Situés dans une enceinte fermée de 2 000 m² (accès par un porche unique de 5 m de large donnant sur la rue Clovis Hugues), avec un délai de trois mois pour réaliser la paroi, les matériels suivants sont positionnés :

- ◆ deux ateliers de forage (trois personnes) ;
- ◆ un atelier d'injection (deux personnes) ;
- ◆ un atelier de ferrailage (quatre personnes) ;



Photo 3
Terrassements
Earthworks

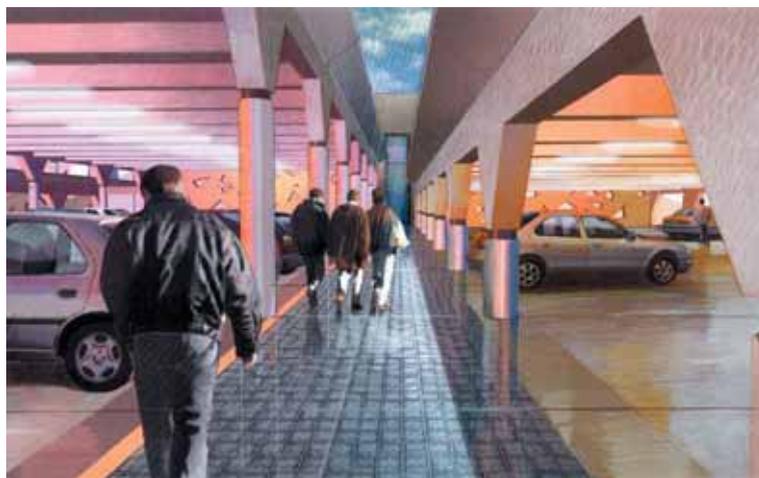
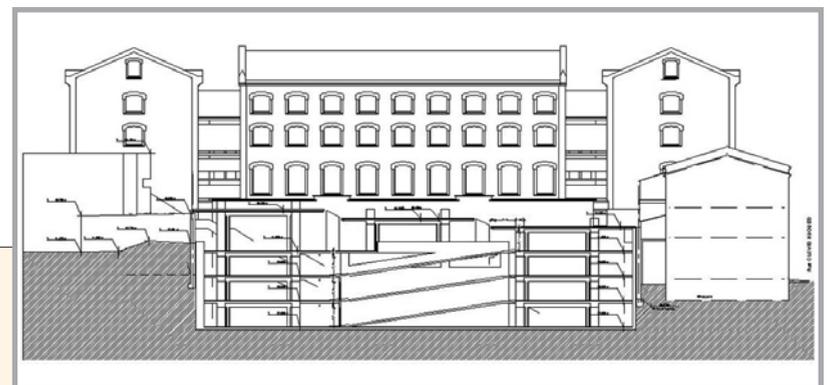


Photo 4 et figure 1
Projection architecturale
du futur parking

*Architectural projection
view
of the future car park*



L'ASPECT ARCHITECTURAL

La particularité de ce parc de stationnement de 320 places, est d'intégrer les contraintes d'évolution du lieu de stationnement vers un développement possible de stockage d'archives. En effet l'ouvrage projeté, contigu au bâtiment des Archives municipales, pourra à l'avenir lui servir d'extension.

Le parking sera utilisé par les occupants de l'îlot 2 et de l'îlot 1 des friches de la Belle de Mai soit le PICC, les Archives municipales, le CICRCP, et la réserve des musées.

Le terrain, quartier Belle de Mai, rue Clovis Hugues, est situé dans un tissu urbain ancien, l'arrière cour ou jardin des maisons marseillaises.

La forme architecturale souhaite restituer un espace simple, aménagé en toit végétalisé à l'aide de plantes méditerranéennes, venant prolonger l'espace vert du couvent du Sacré Cœur. Ce qui imposait :

- que les volumes du parc qui émergeraient, ne devaient pas dépasser le mûr de clôture du terrain des sœurs ;
- de n'avoir aucune vue directe proche sur leur terrain ;
- de restituer un site planté, certes structuré par les dalles du parking, mais avec des volumes qui gravissent l'ascension au niveau 47.50 toute en douceur, en progression lente à l'image des restanques (photo 4 + figure 1).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 1 200 ml de micropieux Ø 250 mm
- 1 080 ml de tirants actifs
- 450 ml de tirants passifs
- 1 386 m³ de béton projeté



Photo 3
Vue générale de l'avancement des travaux
General view of work progress

- ◆ un atelier de projection (quatre personnes);
 - ◆ une grue à tour;
 - ◆ un atelier de gros œuvre (cinq personnes).
- Sans compter les zones de stockage de matériaux et les emplacements nécessaires temporairement aux toupies béton (photo 5).

ABSTRACT

Marseilles : "Belle de Mai"
municipal archives car park

O. Deméo

The company Mercury Sud (HC group) is executing supports of the Berlin retaining wall type for the city of Marseilles (Belle de Mai district, with an old urban fabric). These works, which are being carried out in an enclosed area of 2,000 m², concern the foundations of a car park on four levels, which will be able to receive about 320 vehicles. An effective method of organisation is essential for satisfactory execution of the work on the future car park designed by architectural firm Biaggi et Maurin.

RESUMEN ESPAÑOL

Marsella : Aparcamiento de los Archivos municipales de Belle de Mai

O. Deméo

La empresa Mercury Sud (Grupo HC) lleva a cabo actualmente, por cuenta de la Villa de Marsella (barrio Belle de Mai, entramado urbano antiguo) las obras de contención del tipo pared berlinesa. Estas obras han dado lugar a la ejecución de un recinto cerrado de 2,000 m², y constituyen los cimientos de un aparcamiento de cuatro niveles, que podrá admitir unos 320 vehículos. Se ha aplicado un método organizativo eficaz para el correcto desarrollo de las obras del futuro aparcamiento, proyectado por el Gabinete Biaggi et Maurin.

La Méthode observationnelle : réexaminer le dimensionnement d'un ouvrage géotechnique pendant les travaux

La Méthode observationnelle constitue une approche originale permettant d'adapter et d'optimiser les ouvrages géotechniques en fonction des observations réalisées sur leur comportement lors de la construction.

Dans le cadre de l'Irex, un groupe de travail élabore un guide pour permettre l'utilisation fructueuse de cette méthode dans un contexte technique et contractuel adapté.

■ INTRODUCTION

L'Eurocode 7 (XP-ENV 1997-1), calcul géotechnique, règles générales, donne une définition de la Méthode observationnelle résumée ci-après :

"Dans la mesure où la prévision du comportement des ouvrages géotechniques est souvent difficile, il est parfois approprié d'adopter une approche connue sous le nom de "Méthode observationnelle", dans laquelle le dimensionnement est réexaminé pendant l'exécution des travaux.

Au cours des travaux, le suivi doit être réalisé conformément au programme établi et un suivi complémentaire ou de remplacement doit être entrepris, si nécessaire. Les résultats du suivi doivent être évalués à des étapes appropriées des travaux et les mesures d'urgence prévues doivent être mises en œuvre si cela s'avère nécessaire."

Les méthodes usuelles de dimensionnement et de justification des ouvrages géotechniques courants permettent de maîtriser les problèmes rencontrés, pourvu que le contexte soit identifié avec des incertitudes limitées. En revanche, la Méthode observationnelle est une approche pertinente qui permet, dans les contextes délicats, d'aboutir à des ouvrages qui ne sont pas inutilement surdimensionnés et coûteux, sans concession sur les objectifs visés de sécurité et de comportement.

Dans les faits, la Méthode observationnelle est peu ou mal utilisée.

Un groupe de travail a donc été constitué, animé par D. Allagnat, composé, d'une part, de techniciens apportant leur expérience de la pratique de la Méthode observationnelle et, d'autre part, de spécialistes des problèmes réglementaires et contractuels du BTP.

Ce groupe est issu du "pôle sols" de l'Irex où il a été constaté que la Méthode observationnelle peut ne pas donner satisfaction si elle est utilisée sans faire preuve de rigueur et surtout qu'elle pourrait utilement être exploitée plus souvent.

Le présent article fait le point sur les travaux en cours d'achèvement dont l'objectif est la réalisa-

tion d'un guide à l'attention des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et bureaux d'études pour une meilleure utilisation de la Méthode observationnelle. L'établissement de ce document a été jugé opportun par le RGC&U et il a reçu le soutien financier de la DRAST ainsi que ceux de la FFB, de la FNTP et de l'USG.

Cet article présente également un exemple de travaux de confortement d'un glissement de talus pour lesquels une approche observationnelle a été appliquée.

■ RAPPEL HISTORIQUE

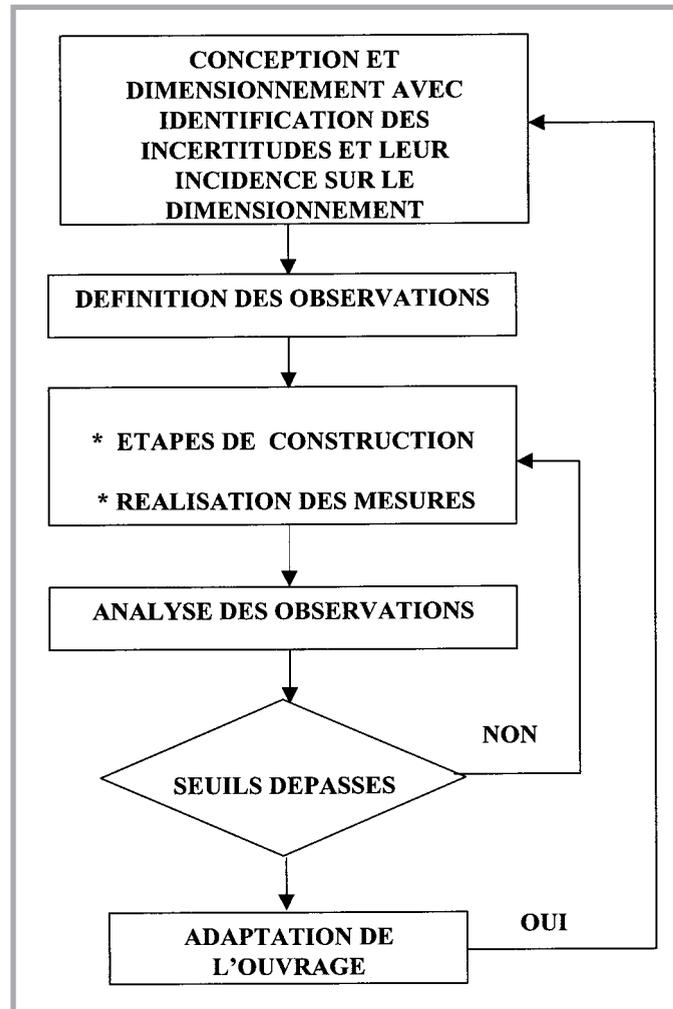
Les mineurs, qui ont creusé dans le passé des tunnels ou des mines, sont sans doute des précurseurs de la Méthode observationnelle : les boisages et cintres étaient approvisionnés et mis en place en fonction des observations qui accompagnaient l'exécution.

Mais on doit sans doute attribuer à Terzaghi et Peck (1967) la première formulation de la Méthode observationnelle : *"Le dimensionnement basé sur les hypothèses les plus défavorables est inévitablement peu économique, mais aucune autre procédure ne fournit au concepteur qui intervient avant la construction l'assurance que l'ensemble sol-structure ne sera pas le siège d'effets inattendus. Néanmoins, si le projet permet des modifications du dimensionnement pendant la construction, des économies importantes peuvent être faites au moyen d'un dimensionnement basé sur les hypothèses les plus probables plutôt que sur les plus défavorables"*.

La véritable dénomination "Méthode observationnelle" a été introduite par Peck dans sa conférence Rankine en 1969.

Depuis, la Méthode observationnelle a fait l'objet d'applications et de recherches. Elle a été reconnue comme une méthode de dimensionnement des fondations et des ouvrages géotechniques dans plusieurs codes ou règles de dimensionnement,

Figure 1
Principe de la Méthode observationnelle
Principle of the observational method



► dont l'Eurocode 7. On peut en particulier signaler le document anglais "The Observational Method in ground engineering : principles and applications" publié par le Ciria en avril 1997.

■ PRÉSENTATION DU GUIDE SUR LA MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

Le lecteur trouvera dans le guide en cours de préparation :

- ◆ une description générale sur la Méthode observationnelle ;
- ◆ la présentation d'exemples d'application dans des domaines variés ;
- ◆ des fiches méthodologiques destinées à guider ses réflexions pour l'exploiter dans le domaine technique ;
- ◆ un dernier chapitre consacré aux problèmes d'ordre juridique et contractuel que peut poser l'application de la Méthode observationnelle.

La méthode

Avec les Eurocodes, mais aussi avec la plupart des règlements antérieurs, les règles de justification par le calcul de la sécurité et du comportement des ouvrages reposent généralement sur la méthode

des états limites, avec des coefficients partiels de sécurité et des coefficients de pondération des actions. La "valeur caractéristique" d'un paramètre est réputée choisie représentative du fractile 5 % (ou 95 %) de sa distribution.

Dans le domaine géotechnique, compte tenu des hétérogénéités spatiales, de l'anisotropie, des variations temporelles de la teneur en eau, des limites des procédures expérimentales, etc., la référence au fractile 5 % est au mieux une référence intellectuelle pour l'ingénieur qui doit choisir la valeur caractéristique d'un paramètre, sans disposer (sauf exception) d'informations autorisant un traitement statistique. Celui-ci exploite des résultats d'essais et utilise l'identification et la classification des matériaux, son expérience locale.

Lorsqu'à l'issue d'une reconnaissance géotechnique pertinente, il subsiste une forte incertitude relative à un paramètre ayant une influence significative sur le projet et/ou sa réalisation, et ce malgré des investigations complémentaires spécifiques réalisées en vue de réduire cette incertitude, plusieurs attitudes peuvent être envisagées :

- ◆ réaliser un ouvrage expérimental préalable ou une planche d'essais ; on peut ainsi tester la validité d'une technologie dans le contexte du projet, évaluer les performances accessibles à un matériel, et par exemple, évaluer la stabilité d'un remblai sur sol compressible et les délais de consolidation ;

- ◆ choisir une valeur "conservative" du paramètre et assumer les conséquences de ce choix en matière économique ;

- ◆ appliquer la Méthode observationnelle lorsque c'est possible (figure 1).

La Méthode observationnelle impose une démarche très rigoureuse et implique les concepteurs et les exécutants. Elle n'est pas économique en matière d'investissement intellectuel. Elle a pour inconvénient de devoir envisager une fourchette de coûts et de délais. Mais elle est aussi la démarche qui offre les meilleures garanties de maîtrise des risques techniques tout en permettant une optimisation de l'économie du projet (en coût comme en délai).

Domaines d'application

Dans le projet de guide, le champ d'application de la Méthode observationnelle est présenté par le biais d'exemples représentatifs des ouvrages et des situations adaptées à cette méthode.

Ainsi, sont abordés les domaines suivants :

- ◆ ouvrages de soutènement, plus particulièrement en déblai ;
- ◆ fondations en site difficile ;
- ◆ remblais sur sols compressibles ;
- ◆ ouvrages sous nappe ;
- ◆ ouvrages souterrains ;
- ◆ ouvrages innovants...

Les ouvrages concernés sont généralement ceux

pour lesquels, soit le contexte (géologique, géotechnique ou hydrogéologique) présente des incertitudes, malgré le soin apporté à la reconnaissance géotechnique, soit la caractérisation des paramètres de dimensionnement (caractéristiques mesurées, loi de comportement) a une influence significative sur le comportement de l'ouvrage en construction, voire en exploitation.

Il convient aussi que les ouvrages et leur comportement se prêtent bien à l'observation. En effet, les observations réalisées lors de la construction doivent s'appuyer sur des indicateurs pertinents (par exemple les mesures de pressions interstitielles pour les remblais sur sols compressibles). D'autre part, la conception du système d'instrumentation doit répondre à certaines règles particulières :

- ◆ précision optimale des mesures ;
- ◆ fiabilité des informations recueillies par l'observation ;
- ◆ redondance des observations ;
- ◆ fiabilité des procédures et systèmes pour l'acquisition et la transmission des mesures ;
- ◆ rapidité de la mise à disposition des informations ;
- ◆ compétence des personnels chargés de l'interprétation des mesures.

En ce qui concerne le choix des dimensionnements pendant la construction, il est essentiel que les méthodes et les outils soient les plus performants possibles pour une réactivité optimale des décisions relatives aux travaux.

Enfin, les adaptations réalisées sur les ouvrages en cours de travaux suite à l'application de la Méthode observationnelle (alternatives, renforcements, optimisations...) doivent rester réalistes après avoir été étudiées en détail dès la phase de conception détaillée du projet (figure 2).

Exemple de préconisations techniques

Comme évoqué ci-avant, le guide en cours d'élaboration présente les préconisations techniques selon le type d'ouvrage géotechnique. Le présent paragraphe résume les recommandations relatives à la **Stabilisation des talus** (déblais ou pentes naturelles).

Généralités

Dans le cadre de la construction de déblais dans les sols meubles, le concepteur est souvent confronté à l'optimisation de la pente des talus. La stabilité dépend souvent, en plus de la configuration géométrique des talus et du terrain naturel, ainsi que des caractéristiques de cisaillement des sols, des conditions hydrauliques qui peuvent avoir un rôle majeur. L'utilisation de la Méthode observationnelle porte alors sur les travaux d'amélioration des conditions de la stabilité des talus tels que

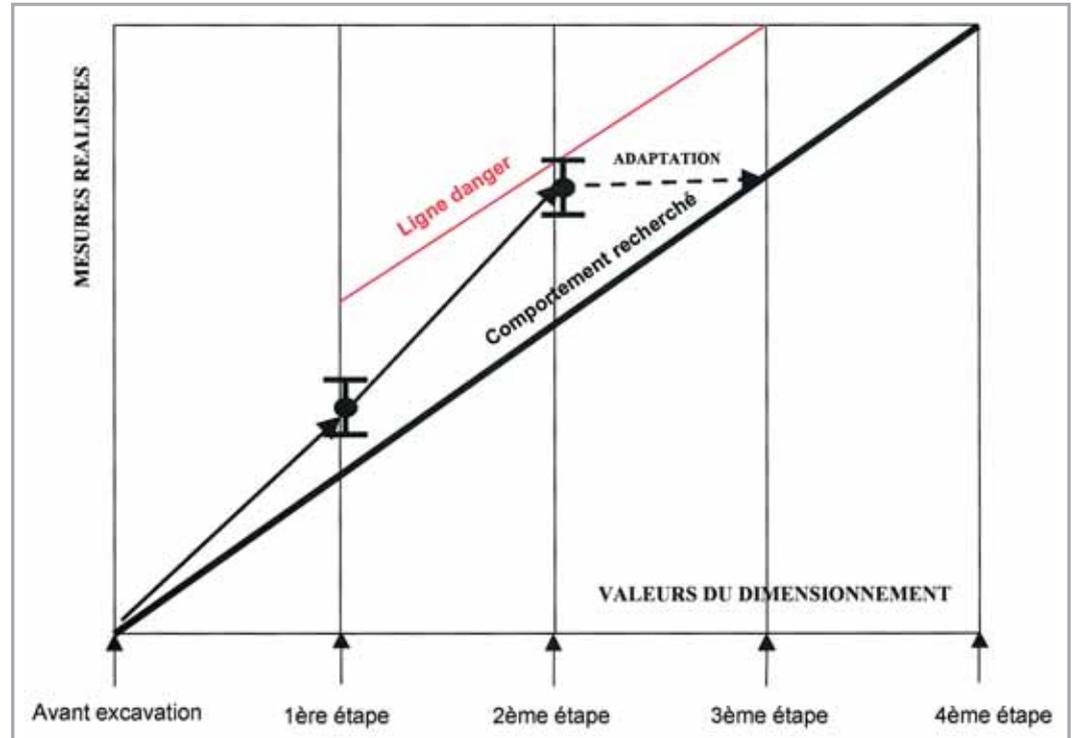


Figure 2
L'utilisation de la Méthode observationnelle pour la construction par étapes d'un soutènement (d'après Ikuta et al., 1994)

Use of the observational method for construction of support systems in stages (as per Ikuta et al., 1994)

masques, éperons drainants, dispositifs de drainage, confinement de surface et système de maîtrise de l'érosion.

Pour les déblais réalisés avec des talus subverticaux dans les massifs rocheux, la stabilité est gouvernée par la structure des formations rocheuses rencontrées. Pour cette situation, la Méthode observationnelle peut être appliquée sur la nature et l'importance des confortements lorsqu'ils sont nécessaires (clouage, épinglage, grillage de protection, contreforts, drainage...).

En ce qui concerne la stabilisation des pentes naturelles, les travaux sont en général plus concentrés géographiquement, mais les techniques envisagées sont complexes et les choix sont plus ouverts. Dans ce cas, la Méthode observationnelle, qui s'appuie sur la mesure de l'efficacité du confortement (maîtrise des déformations et des conditions hydrauliques), peut permettre une optimisation économique significative.

Dimensionnement

Les calculs de stabilité sont généralement des calculs à la rupture utilisant des méthodes classiques en mécanique de sols (ruptures potentielles circulaires ou planes) et en mécanique des roches (ruptures planes ou tridimensionnelles selon des dièdres) pour les talus rocheux. Il en est de même pour le dimensionnement des confortements destinés à la stabilisation des pentes naturelles. Dans certains cas particuliers, des modélisations plus complexes (calculs aux éléments finis) sont utilisées pour évaluer les déformations.

Pour les calculs à la rupture, il se pose la question du niveau de sécurité requis, ou plus sommairement de la valeur du coefficient de sécurité global. Ce niveau doit être défini à partir d'une analyse des risques en considérant le risque lié à l'économie

► du projet et celui lié à la sécurité du public et des biens matériels en cas de désordres importants, voire de rupture.

Pour les sols, ces calculs font intervenir principalement le modèle stratigraphique, les caractéristiques de cisaillement à long terme des différentes formations et les conditions hydrauliques.

Pour les talus rocheux, il s'agit d'appréhender la géologie structurale du massif, les caractéristiques de résistance au cisaillement des joints (stratification, foliation, schistosité, failles, diaclases,...) ainsi que les conditions hydrauliques faisant intervenir des connaissances en matière d'hydraulique souterraine dans les milieux fissurés.

veau de risque. Des mesures automatiques peuvent s'imposer dans certains cas.

Seuils

Les seuils de déplacement (ou déformation annonciatrice d'une évolution vers la rupture) peuvent s'avérer extrêmement variables selon les situations, d'ordre centimétrique à décimétrique, voire plus dans certains cas particuliers. Il en est de même pour les vitesses de déformation.

Bien qu'il soit délicat de se fixer des seuils a priori, on peut retenir des valeurs d'ordre centimétrique pour les déblais réalisés dans les sols meubles ou rocheux à l'exception des phénomènes "d'instabilité de surface" affectant les sols très argileux. Dans cette situation, le seuil de déformation peut être largement augmenté.

Recommandations

La Méthode observationnelle est particulièrement bien adaptée à la gestion de la sécurité des talus de déblai dans les sols meubles ou rocheux.

Les observations les plus courantes concernent les conditions géologiques (pertinence du modèle géologique prévisionnel) et géotechniques (nature des terrains et conditions piézométriques). Elles doivent être réalisées par un personnel compétent (géologue et géotechnicien expérimentés).

Dans la plupart des cas, ces observations restent visuelles, l'instrumentation complète des talus étant réservée aux cas jugés sensibles lors des études géotechniques détaillées.

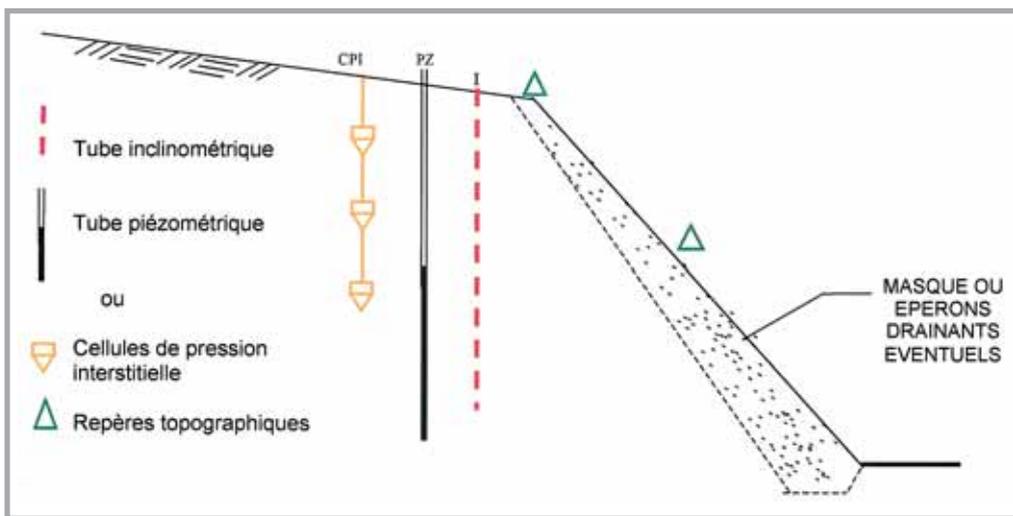


Figure 3
Principe d'observation
des talus de déblai

Principle for observation
of excavation earth banks

Nature et consistance des observations

Au préalable, il faut souligner une difficulté particulière pour l'instrumentation des talus de déblai, dans la mesure où il n'est généralement pas possible de suivre le talus lui-même avant qu'il ne soit réalisé.

Cette configuration impose la mise en place d'une instrumentation en amont du déblai, sauf dans le cas de talus très hauts pour lesquels il est possible d'imposer des étapes de construction bien identifiées. Ces étapes peuvent alors constituer des points d'arrêt et la poursuite, voire la nature des travaux, est conditionnée par le résultat des observations effectuées dans les parties supérieures.

L'instrumentation utilisée est basée classiquement sur :

- ◆ des relevés géotechniques et géologiques pertinents ;
- ◆ des inclinomètres en forage et des électroniques ;
- ◆ des repères topographiques relevés en X, Y, et Z ;
- ◆ des piézomètres avec mesures manuelles ou automatiques, ou des cellules de pression interstitielles installées en forage (figure 3).

La fréquence des mesures est variable en fonction de la sensibilité des ouvrages concernés et du ni-

■ ASPECTS CONTRACTUELS

Positionnement de la méthode

La Méthode observationnelle, qui s'applique à des projets où la nature aléatoire du problème traité est reconnue, est particulièrement bien adaptée aux projets géotechniques compte tenu des nombreuses incertitudes qui s'attachent à la discipline. Elle permet théoriquement, grâce à sa simplicité, de pouvoir gérer aisément et efficacement le risque géotechnique.

Cependant, son application se heurte à quelques difficultés car elle nécessite une interaction forte entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise.

Dans le "mode classique" pour traiter les projets géotechniques, la gestion des incertitudes n'est certes pas absente, mais elle y vise d'avantage à cantonner les répercussions de ces incertitudes entre les participants à l'acte de construire plutôt qu'à réduire réellement ces incertitudes. Elle cherche en effet à éviter les nécessaires interférences entre les acteurs ainsi qu'entre les choix à faire aux différentes étapes du projet : conception, base de l'attribution du marché et exécution.

Quelques préconisations

La Méthode observationnelle apparaît comme un mode de gestion des incertitudes mieux adapté que le mode classique, chaque fois que la réduction a priori des incertitudes aurait un coût excessif.

Pour une décision de recourir à la Méthode observationnelle dès l'origine (plutôt qu'en cours d'exécution sous la pression des circonstances), la première étape est donc le diagnostic que peut faire le maître d'œuvre sur les incertitudes qu'il faudra gérer.

L'étape suivante sera, toujours pour le maître d'œuvre, de convaincre le maître d'ouvrage qu'une solution ouverte à plusieurs dimensionnements permet de faire le meilleur usage du budget de construction en optimisant le coût (et souvent aussi le délai) si les circonstances se révèlent favorables, sans peser de façon imprévisible sur le coût et le délai si les circonstances sont défavorables. Mais cette ouverture appelle quelques dispositions spéciales pour la mise en concurrence du marché de travaux, son attribution et son exécution.

Si le principe en est admis, la définition technique du projet en tiendra compte en envisageant plusieurs scénarii, en général un cas "probable" et un cas "pessimiste" dont le dimensionnement assurera la sécurité malgré des caractéristiques moins favorables. Elle comprendra aussi le dispositif d'observation (appareils de mesure...) qui fournira en exécution les éléments de jugement permettant d'adapter la réalisation aux résultats des observations faites.

◆ Le règlement de consultation demandera que les offres chiffrées de ces cas, décrits au CCTP, et précisera selon quel critère (par exemple moyenne pondérée) ces offres de prix seront combinées pour le classement des propositions.

◆ Le CCAP évoquera les modalités de décision, après examen concerté des données d'observation, en vue de déterminer en cours d'exécution la constitution finale de l'ouvrage. Dans certains cas, la mise en place d'un groupe d'experts peut apporter un éclairage complémentaire utile à une prise de décision concertée entre maître d'œuvre et entrepreneur.

◆ Autant que possible, les modalités de détermination du prix du marché feront place à une incitation à la recherche du moindre coût : pour que cette recherche soit bien l'intérêt commun des parties, il faut que l'entrepreneur y trouve avantage au même titre que le maître d'ouvrage. Dans tous les cas, ces modalités définiront clairement la répartition des risques entre maître d'ouvrage et entrepreneur.

La qualité du dossier de consultation des entreprises est de première importance pour que :

◆ le jugement des offres et l'attribution du marché échappent aux ambiguïtés ;

◆ les efforts de tous les acteurs se conjuguent, à l'exécution, pour rechercher la meilleure gestion technique et économique des problèmes.

A l'inverse du cas fréquent où la Méthode observationnelle vient après coup au secours des "impasses" du projet, on voit que l'intégration de cette méthode dès l'origine du marché donne à la maîtrise d'œuvre un rôle tout à fait central et suppose de sa part un engagement fort pour définir tous les éléments qui permettront une application fructueuse.

■ EXEMPLE DE TRAVAUX DE CONFORTEMENT – APPROCHE OBSERVATIONNELLE

Contexte général

Au voisinage du PR 10.500 de l'antenne autoroutière d'Oyonnax (SAPRR, A404 située dans le département de l'Ain), le versant ouest présente une instabilité mise à jour lors de la construction de l'ouvrage. Il a été constaté que cette zone était en fait le siège d'un glissement très ancien dont les traces sont repérables géologiquement. Celui-ci s'est trouvé réactivé à la suite de l'élimination des terrains qui assuraient la butée en pied, à l'occasion des terrassements de l'autoroute. Les mesures d'urgence prises lors des travaux, notamment la construction d'un masque poids, n'ont pas permis de stabiliser totalement la zone comme l'a montré la surveillance continue réalisée pendant plusieurs années dans le cadre d'un plan de surveillance (inclinométrie, topographie, piézométrie). Ainsi, la connaissance du phénomène et l'évaluation de son évolution probable ont conduit à envisager un confortement définitif du site afin de protéger l'autoroute. Il convenait aussi d'empêcher une régression du glissement vers l'amont.

Contexte géologique et géotechnique

Le glissement évoqué ci-avant concerne un versant où le substratum rocheux est subaffleurant, dont la pente naturelle moyenne est de l'ordre de 15 degrés, entaillé en pied par le déblai de l'autoroute A404. Les désordres observés couvrent une surface de deux hectares environ.

Le massif rocheux est constitué de bancs calcaires de l'Hauterivien relativement compacts mais assez contrastés.

Entre ces bancs calcaires, des niveaux marneux s'intercalent. Ces niveaux marneux sont générateurs d'instabilité. Après un événement pluvieux significatif, l'eau percole et tend à se concentrer au niveau des plans marneux supérieurs, a priori imperméables. Ce contexte hydrogéologique particulier est essentiel dans l'explication du phéno-

Figure 4
Schéma
de rupture
Failure diagram

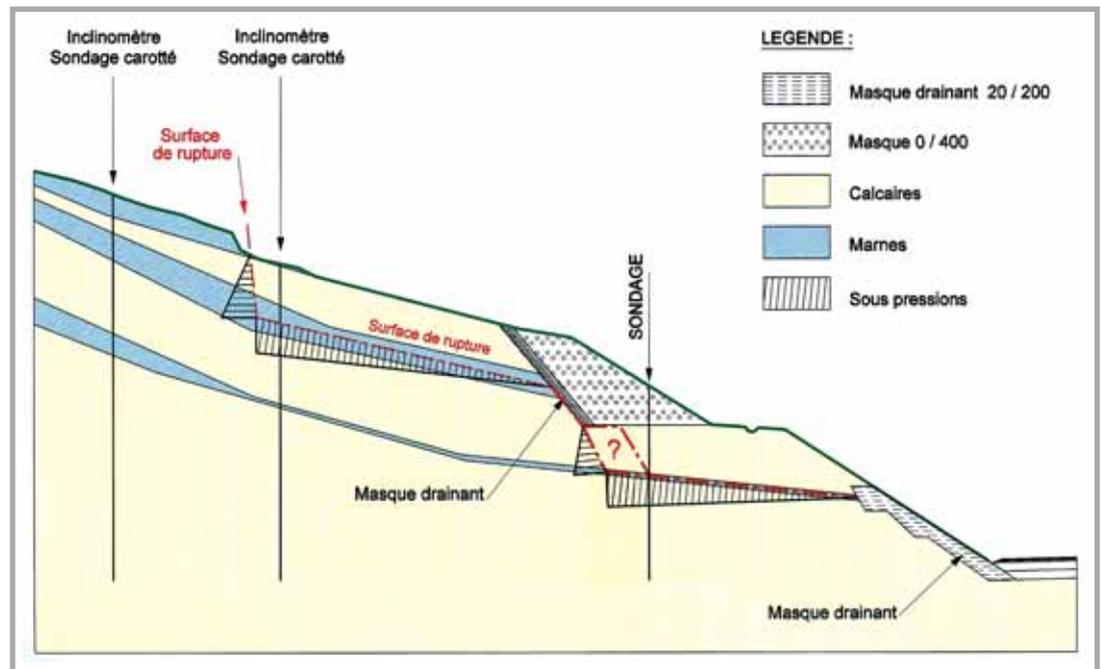


Figure 5
Travaux
de drainage
et confortement
Drainage
and consolidation
work

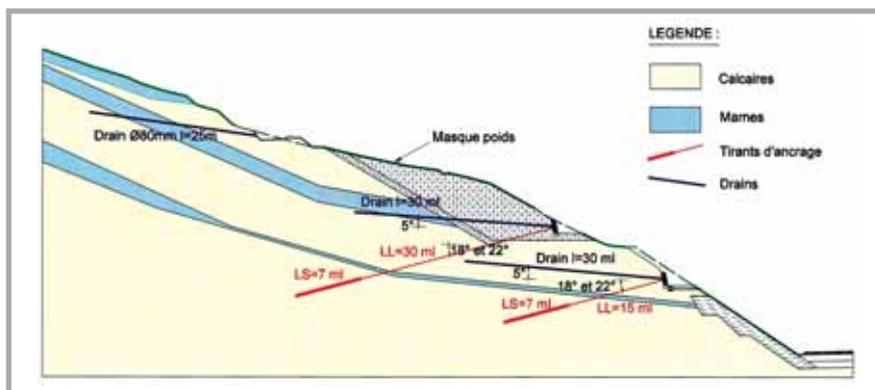
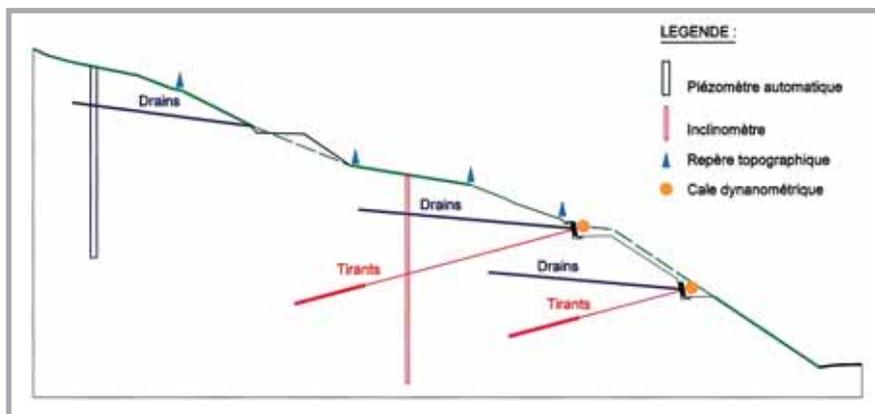


Figure 6
Schéma
de principe
de l'instrumentation
Schematic diagram
of instrumentation



► mène de glissement. En effet, il permet de démontrer la génération de pressions dans les fissures des formations calcaires provoquant ainsi des déplacements. Ces déplacements génèrent alors une ouverture des fissures et donc une diminution des pressions et en corollaire un ralentissement des mouvements. On observe ainsi des mouvements par "saccades" à la faveur des fortes pluviométries, notamment au printemps, alternés avec des périodes de relative stabilité.

La modélisation géotechnique

Compte tenu de l'évolution du glissement observée, les déplacements cumulés enregistrés sur quelques années atteignent en moyenne 150 à 200 mm, des travaux de confortement s'imposaient. Il a été décidé la mise en œuvre de mesures de confortement progressives, basées sur les résultats de l'observation.

La modélisation géotechnique du glissement a été réalisée sur la base d'analyses de stabilité "rétrogrades" en considérant le versant en état d'équilibre limite. La méthode de calcul choisie est la méthode dite des "perturbations" (figure 4).

Les caractéristiques physiques prises en compte sont celles de matériaux rocheux plus ou moins compacts avec un poids volumique moyen de 24 kN/m³. Le champ de pressions régnant dans les fissures a été évalué en se référant aux mesures de la piézométrie relevées en continu sur le site et en déterminant le fonctionnement le plus probable du réseau de drainage.

Selon les configurations géométriques (profil en travers, modèle de ruptures...), les pressions générées dans les fissures d'extension à l'amont sont variables avec une valeur maximale de 90 kPa. L'angle de frottement résiduel, obtenu par les calculs rétrogrades, est de l'ordre de $\phi = 12$ à 14° selon les différents modèles de rupture envisagés. L'amélioration de sécurité recherchée correspond à une augmentation de 20 % environ du coefficient de sécurité.

Le projet de confortement

Une étude technico-économique relativement détaillée a été entreprise pour examiner plusieurs solutions de confortement (drainage, terrassement,

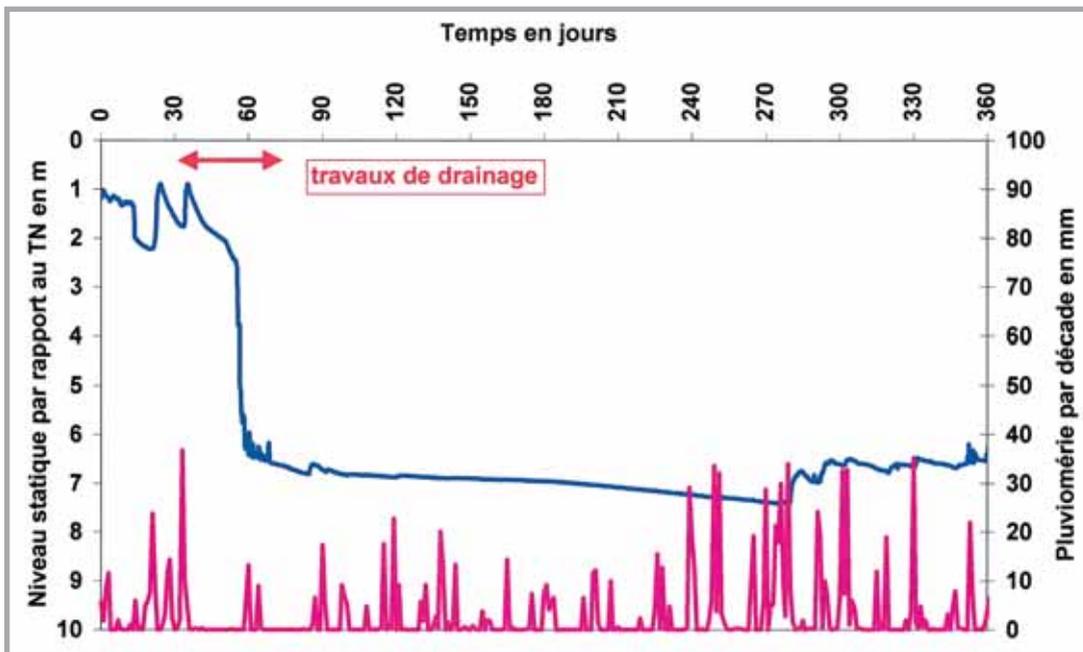


Figure 7
Influence des travaux de drainage sur les mesures piézométriques
Influence of drainage work on piezometric measurements

confortement par tirants précontraints,...) selon les critères suivants : maîtrise des déplacements, coût, délais, fiabilité à long terme, maintenance et gêne à l'exploitation de l'autoroute pendant la période des travaux.

En définitive, il a été retenu les principes suivants :

- ◆ drainage préalable dans la partie amont du glissement et observation sur une durée de 6 mois ;
- ◆ travaux de confortement selon deux solutions :
 - solution 1 : drainage complémentaire + confortement par deux poutres ancrées (figure 5),
 - solution 2 : drainage complémentaire + confortement par poutres ancrées de longueur réduite + substitution des terrains servant de butée de pieds par des matériaux frottants.

Les travaux de confortement ont été lancés avec un phasage de l'opération sous forme d'une tranche ferme et d'une tranche conditionnelle. Ce phasage porte sur le nombre de tirants effectivement mis en œuvre. La tranche ferme représente 55 % du nombre total des tirants. En revanche, la poutre ancrée est réalisée en première phase sur toute sa longueur. La tranche conditionnelle pourrait ne pas être engagée en fonction de l'efficacité mesurée du drainage par drains subhorizontaux.

La réalisation des travaux

Les travaux préparatoires de drainage amont ont fait l'objet d'une consultation spécifique. Ils sont constitués de drains subhorizontaux de longueur 25 m. Ils ont été réalisés début 2003 par la société Heaven Climber pour un montant de 160 k€ TTC.

Les travaux de confortement proprement dits ont fait l'objet d'une consultation menée sur les deux solutions évoquées ci-avant avec deux tranches. La tranche conditionnelle peut être lancée dans un dé-

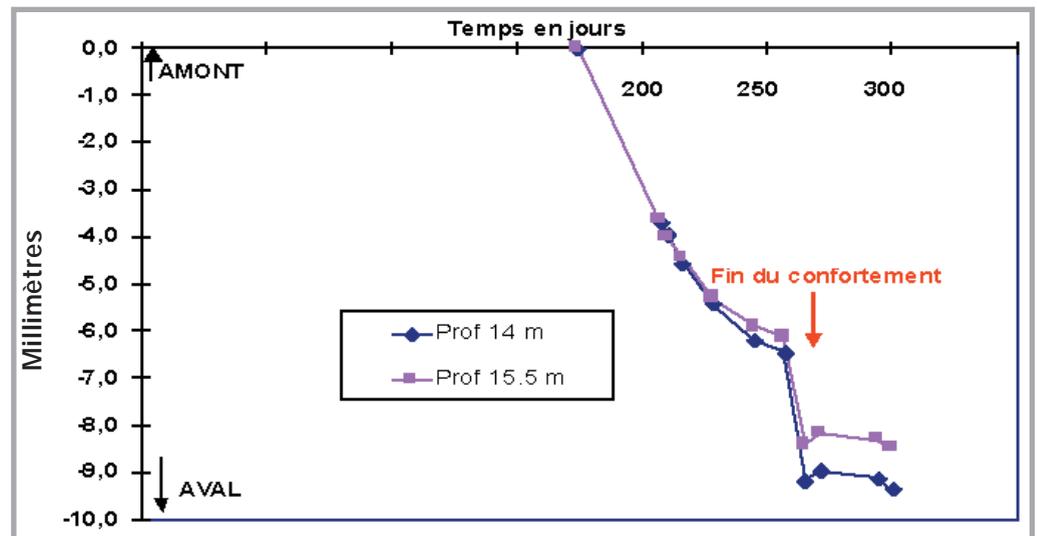


Figure 8
Influence des travaux de confortement sur les déformations mesurées par inclinométrie
Influence of consolidation work on the deformation measured by inclinometry

lai d'un an après l'achèvement de la tranche ferme. A l'issue de la consultation, c'est la solution 1 qui a été choisie pour un coût équivalent et un impact moindre des travaux sur l'exploitation de l'autoroute. Le montant total des travaux de confortement s'élève à 1940 k€ TTC dont 74 % en tranche ferme.

Les travaux ont été réalisés par les entreprises Solétanche Bachy et Demathieu et Bard au cours du second semestre 2003. Ils comprennent les terrassements pour pistes d'accès, les poutres et 212 tirants précontraints dont 116 en tranche ferme.

Actuellement, les travaux de la tranche ferme sont achevés et le glissement reste sous surveillance. On constate que les mesures de suivi démontrent l'efficacité du drainage par une diminution de la piézométrie malgré les conditions pluviométriques défavorables de l'automne 2003 (figure 7) et la stabilisation des mouvements lors de la mise en tension des tirants (figure 8). Le suivi et l'interprétation



Photo 1
Vue générale des travaux (tranche ferme)
General view of the works (closed trench)

de ces mesures permettront de déclencher ou non la tranche conditionnelle portant sur la réalisation des tirants d'ancrage complémentaires. Une vue générale des travaux est donnée par la photo 1.

CONCLUSION

La Méthode observationnelle appliquée aux ouvrages géotechniques dans un cadre technique et contractuel rigoureux devrait permettre d'optimiser en coût et en délai les ouvrages sensibles avec une meilleure maîtrise des risques.

Les quelques tentatives d'application sont prometteuses, il reste à faire passer cette démarche originale dans les mœurs en fédérant dans la mesure du possible tous les acteurs de la construction.

Les travaux du groupe de travail du pôle de compétence Sols de l'Irex sur la Méthode observationnelle se poursuivent et devraient permettre d'éditer un guide à la mi-2004.

Ont participé à l'élaboration de ce projet, outre l'auteur du présent article, MM. Bastick, Bernardini, Combarieu, Dieudonné, Dore, Haiun, Kastner, Magadoux, Moreau de Saint-Martin, Schlosser et Vezole. Qu'ils en soient tous ici remerciés.

ABSTRACT

The observational method : reconsidering the structural design of a geotechnical structure during the works

D. Allagnat

The observational method is an original approach allowing geotechnical structures to be adapted and optimised according to observations made of their behaviour during construction. Within the framework of Irex, a working group is preparing a guide to enable profitable use of this method in an appropriate technical and contractual context.

RESUMEN ESPAÑOL

Método observativo : reexaminar el cálculo dimensional de una estructura geotécnica durante las obras

D. Allagnat

El método observativo constituye un enfoque original que permite adaptar y optimizar las estructuras geotécnicas acorde a las observaciones realizadas con respecto a su comportamiento durante la construcción.

Actuando en el marco del Irex, un grupo de trabajo elabora una guía para permitir la utilización fructuosa de este método en un contexto técnico y contractual adaptado.

Confortements rocheux à l'Aiguille du Midi

Travaux acrobatiques à 3842 m d'altitude

Le site de l'Aiguille du Midi qui culmine à 3842 m d'altitude est accessible depuis Chamonix par un téléphérique qui permet chaque année à des milliers de personnes de profiter d'un point de vue exceptionnel sur le Mont-Blanc et les sommets environnants.

Depuis maintenant plusieurs années, la Compagnie du Mont-Blanc, qui exploite le téléphérique et gère le site fait appel à CAN pour la réalisation de travaux de mise en sécurité du site : purges contrôlées de blocs rocheux instables, forages et scellements d'ancrages de confortement ou encore pose de filets de protection.

Les exigences de la haute altitude sont très fortes vis-à-vis des moyens humains et matériels nécessaires à la bonne exécution des travaux.

Au début du XX^e siècle, la renommée naissante de Chamonix est due à sa célèbre compagnie des guides et à l'attrait grandissant représenté par le Mont-Blanc. Gravi pour la première fois en 1786, le toit de l'Europe (4808 m) suscite de plus en plus de vocations d'alpinistes. L'idée naît alors à cette époque d'en raccourcir le chemin d'accès en construisant un téléphérique jusqu'à un sommet voisin : l'Aiguille du Midi (3842 m). Divers projets verront le jour mais n'aboutiront pas en raison des deux guerres mondiales et des difficultés techniques liées à la réalisation.

La construction de l'actuel téléphérique, scindée en deux tronçons, commença en 1950.

L'Aiguille du Midi devenue facilement accessible va alors connaître de nombreux travaux d'aménagement, essentiellement touristiques, tout en étant toujours utilisée par les alpinistes pour faciliter leur accès aux sommets voisins.

Actuellement fréquenté par plus de 5000 personnes certains jours d'été, ce site n'en demeure pas moins soumis aux forts aléas climatiques de la haute altitude. Des travaux de confortement comme ceux décrits dans cet article sont rendus nécessaires pour assurer la sécurité des touristes et des alpinistes.

■ CADRE DE L'INTERVENTION

L'Aiguille du Midi est composée de deux sites principaux (figure 1), le piton nord – sur lequel on arrive depuis Chamonix – et le piton central qui permet notamment d'accéder à la Vallée Blanche, connue pour son exceptionnel parcours de ski hors-piste qui se déroule au milieu de nombreux sommets mythiques, comme les Grandes Jorasses.

Les deux éperons sont reliés par une passerelle

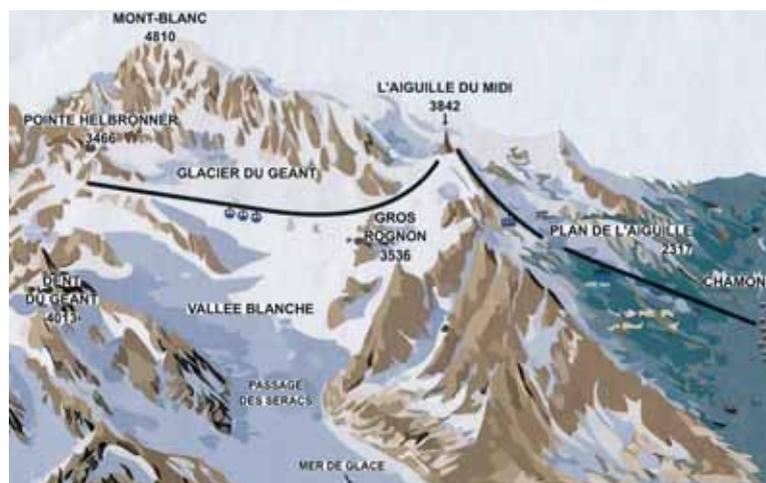


Figure 1
Vue générale
du site
General view
of the site



Photo 1
Vue de la passerelle
depuis le piton central
View of the foot bridge
from the central piton

aérienne, "exposée", car située en contrebas de la face nord de l'éperon central qui la domine d'une soixantaine de mètres (photo 1).

En 2003, les travaux réalisés ont concerné cette face nord et une autre zone rocheuse surplombant la sortie vers la Vallée Blanche.

La canicule de l'été 2003 a été ressentie jusqu'à

Michel Richard

PRÉSIDENT DIRECTEUR
GÉNÉRAL
CAN SA



David Vallée

DIRECTEUR DE TRAVAUX
CAN SA



François Vicard

CONDUCTEUR
DE TRAVAUX
CAN SA



Photo 2
Evacuation
d'un bloc
*Removing
a block*



Photo 3
Sommet
de l'Aiguille du Midi
avec hélicoptère
*Peak of the Aiguille
du Midi from helicopter*



► l'altitude de l'Aiguille du Midi, occasionnant la mise à nu de nombreux éléments rocheux plus ou moins instables habituellement bloqués par la neige ou la glace, et mettant en évidence, encore plus que les années précédentes, la nécessité des travaux visant à protéger le site.

A la demande de la Compagnie du Mont Blanc et après visite sur site en technique alpine, le bureau d'études Alpes Ingé a préconisé des travaux devant être définis ultérieurement de manière plus précise dès que CAN serait opérationnel sur le site. Au vu de ces préconisations et des observations de terrain affinées, le chef de chantier a choisi sur site les techniques d'intervention les plus appropriées.

Les blocs instables ont été traités de quatre manières différentes :

- ◆ purge contrôlée ;
- ◆ clouage en place ;
- ◆ blocage par filets de câble à anneaux type "ASM" (anti-sous-marin) ;
- ◆ blocage par câbles.

■ TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

Purge contrôlée

Un chariot à câble de type blondin a été installé pour pouvoir treuiller les blocs rocheux les plus volumineux. Ce blondin permet aussi d'approvisionner certaines zones de travaux. Le déplacement et l'évacuation des blocs plus petits ont pu être réalisés à l'aide d'un tirfor (photo 2).

Forages

Pour les clouages de blocs en place, les forages à réaliser sont d'une longueur variant entre 4 et 6 m. Il faut en effet percer le bloc de part en part, traverser d'éventuelles failles et s'assurer une longueur de scellement suffisante dans le rocher sain. Les machines de forage qui ont été utilisées sont des AJA 205 Montabert, chariots de foration légers, facilement déplaçables en paroi à l'aide de tirfor du fait de leur faible poids, environ 250 kg châssis compris. En pratique, ces machines sont pendues en falaise sur des points d'amarrage différents de ceux utilisés par les techniciens cordistes. L'amenée sur site et les changements de zone ont été effectués par hélicoptère, ce qui a permis un gain de temps substantiel sur le délai global de réalisation des travaux (photo 3).

Pour les travaux de blocage par câbles ou filets ASM, les forages ont été réalisés sur une longueur plus courte (1 m dans du rocher sain). La faible longueur de forage autorise ainsi l'emploi de perforateurs légers type T18 Montabert, facilement manipulables par un ou deux techniciens cordistes. Il suffit en effet d'équiper une corde de plus pour permettre d'accrocher et de déplacer le perforateur, en plus de l'équipement individuel déjà mis en place (deux cordes pour chaque technicien sur les postes de travail fixes comme les ateliers de forage).

Scellements

CAN a expérimenté plusieurs techniques de scellement sur le site de l'Aiguille du Midi. Lorsque la température descend en dessous de 0 °C, l'utilisation de coulis de ciment requiert par exemple l'emploi de systèmes de chauffage de l'eau et d'antigel. Les barres d'ancrages doivent être entourées d'une résistance chauffante et capuchonnées pour éviter l'entrée du gel durant la nuit. Des mesures de température au thermocouple sont également nécessaires dans le trou, avant de procéder au scellement.

Toutes ces contraintes imposaient aux techniciens cordistes des procédures lourdes et pénibles à mettre en place.

Bien qu'elle soit dix à quinze fois plus chère à l'achat

que le ciment, la résine a donc été choisie cette année (figure 2). Elle présente plusieurs avantages :

- ◆ pas d'installation de centrale à injection, ni de contrainte de chauffage ;
- ◆ conditionnement léger (pots de 5 kg) ;
- ◆ possibilité de sceller dans un trou mouillé ;
- ◆ retrait quasi nul.

Dotée d'un temps de prise très rapide (25 minutes) elle permet un très bon remplissage du forage grâce à une excellente fluidité et présente une résistance à la traction de 24 MPa après 6 heures. Cette résine est notamment utilisée pour les scellements de déclencheurs artificiels d'avalanche type "Gazex", pour les travaux subaquatiques ou encore pour le calage de concasseurs.

■ SOLUTIONS FACE AUX CONTRAINTES LIÉES À L'ALTITUDE

Contraintes humaines

En plus des problèmes de scellements évoqués plus haut et résolus grâce à l'utilisation de résine, la haute altitude de l'Aiguille du Midi oblige à composer avec d'autres contraintes. L'air ambiant contient environ deux fois moins d'oxygène qu'au niveau de la mer ! De plus, pour des raisons liées à l'exploitation, une grande partie des travaux a dû être réalisée de nuit.

L'organisme des hommes a donc été soumis à rude épreuve. Heureusement, pour la plupart d'entre eux, les techniciens cordistes CAN ou VLM travaillant sur le chantier sont aguerris à ce type de conditions qu'ils rencontrent lors de la pratique de leurs loisirs favoris : alpinisme, ski... Les premiers jours sont cependant pénibles, chacun ressentant les symptômes du mal des montagnes : maux de tête voire vomissements sont alors généralement au rendez-vous. La prise d'aspirine, le repos et la redescente à Chamonix pour retrouver une altitude plus clémente, permettent à l'organisme de s'acclimater (photos 4 et 5).

Contraintes techniques

La fourniture de l'air comprimé est assurée par un compresseur électrique, la raréfaction de l'oxygène ne permettant pas l'utilisation de compresseurs à moteurs thermiques généralement rencontrés sur les chantiers de ce type.

Les dimensions extérieures du compresseur doivent aussi être contrôlées afin de permettre son chargement dans la benne de la remontée mécanique et son déplacement sur site dans des galeries de faibles hauteurs (1,85 m). Les rendements constructeurs annoncés sont amoindris de 30 à 40 % (volume d'air et pression maximale disponibles), ce dont il a fallu tenir compte avant de com-

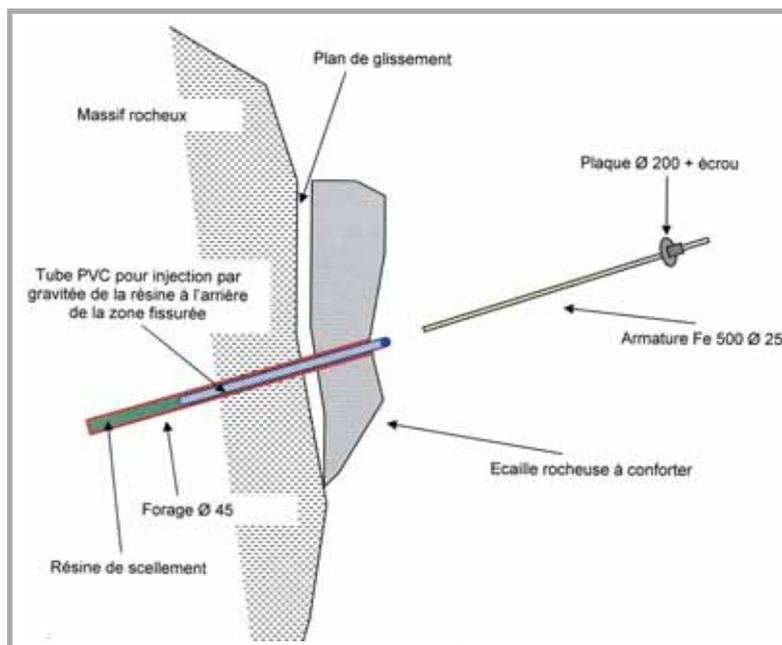


Figure 2
Schéma de principe de scellement à la résine d'un ancrage de confortement destiné au "clouage" d'un bloc rocheux

Schematic diagram of resin sealing of a consolidation anchor bolt designed to "nail" a block of rock

mencer les travaux. Les rendements des perforateurs sont également diminués.

Le choix a donc été fait de réaliser les forages du plus petit diamètre possible, tout en garantissant un enrobage de scellement suffisant pour les armatures.

Là encore, la résine a permis la réduction de ces diamètres, car sa mise en œuvre autorise une épaisseur de scellement (5 mm) plus faible que pour le coulis de ciment classique.



Photos 4 et 5
Des techniciens cordistes en action
Rope-harnessed technicians in action

CONCLUSION

Les travaux ont été réalisés durant tout le mois de septembre 2003, essentiellement de nuit, profitant de la relative clémence du temps, la température descendant quand même fréquemment en dessous de 0 °C. Ce chantier aura comporté une heure d'hélicoptage, et aura vu la réalisation d'environ 150 ml d'ancrages scellés à la résine et la pose de 165 m² de filet type ASM.

L'équipe était constituée d'un chef de chantier possédant le CQP cordiste (certificat de qualification professionnelle) et de quatre à six techniciens cordistes expérimentés. Le groupement d'entreprises solidaire CAN/VLM a permis la mise en commun des moyens matériels et humains nécessaires à la bonne marche du chantier. CAN a, de plus, assuré la gestion administrative et surtout logistique du chantier, permettant la réalisation complète des travaux entre la fin de l'été (période de grande affluence touristique) et l'apparition de conditions météorologiques trop défavorables.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Compagnie du Mont Blanc

Entreprise

CAN SA (Mirmande)

Cotraitant

Vertical Levage Montagne (LVM)

Fournisseurs

- Traction levage : câbles
- Ars Industries : résines
- DSI : barres d'ancrage

ABSTRACT

Consolidation of rocks on l'Aiguille du Midi. Acrobatic work at an altitude of 3842 metres

M. Richard, D. Vallée, Fr. Vicard

The Aiguille du Midi site, culminating at an altitude of 3842 metres, can be accessed from Chamonix by a cable car which each year enables thousands of people to profit from an exceptional view of Mont-Blanc and the surrounding peaks.

For several years now, Compagnie du Mont-Blanc, which operates the cable car and manages the site, has called on CAN to conduct safety improvement work on the site : controlled removal of unstable blocks of rock, drilling and grouting of consolidation anchor bolts, or again, installation of protective nets. High altitudes are very demanding with respect to the human and material resources required for satisfactory work performance.

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidaciones rocosas en la Aiguille du Midi. Obras acrobáticas a 3842 m de altitud

M. Richard, D. Vallée y Fr. Vicard

El emplazamiento turístico de la Aiguille du Midi, que culmina a 3842 m de altitud, es accesible desde Chamonix mediante un teleférico que permite cada año a varios miles de personas admirar el Mont Blanc y las cumbres circundantes desde un punto de vista excepcional.

Desde hace ya varios años, la Compagnie du Mont-Blanc, que opera el teleférico, así como la gerencia del emplazamiento, ha recurrido a CAN para la ejecución de los trabajos tendientes a poner el emplazamiento en condiciones de seguridad : saneado controlado de bloques rocosos inestables, perforaciones y sellados de anclajes de consolidación e, incluso, instalación de redes de protección.

Los requerimientos de las operaciones a elevada altitud son sumamente exigentes con respecto a los medios humanos y materiales necesarios para la correcta ejecución de las obras.

Infos chantiers : 3^e trimestre 2003

■ MISES EN SERVICE

A432 : La Boisse - Pusignan - Saint-Laurent-de-Mure

Le 21 juin dernier, l'autoroute A432, entre l'A42 Lyon - Genève et l'A43 Lyon - Chambéry, a été mise en service. Désormais, grâce à cette infrastructure, il devient possible, pour le transit national et international de contourner, par l'est, l'agglomération lyonnaise. Parmi les points remarquables, on retiendra 15 ouvrages d'art dont un viaduc-phare de 530 m de long et des chaussées haute performance avec l'utilisation des déblais de terrassement en remblais de la plate-forme routière. Il reste à réaliser le tronçon entre l'A46 et la jonction A41-A432.

- Investissement : 105 M€.

Station d'épuration de Caen

La nouvelle station d'épuration de la communauté d'agglomération de Caen-la-Mer vient d'être inau-

gurée. Conçue pour couvrir les besoins actuels d'une population de 240 000 habitants, elle traite 40 000 m³/jour d'eaux usées. Répondant aux normes européennes les plus exigeantes (azote et phosphore), l'installation a été spécialement conçue pour la visite. De grandes baies vitrées donnent accès à toutes les étapes du traitement. Un parcours de découverte des écosystèmes et une promenade de 4 km seront aménagés d'ici 2004.

- Début des travaux : 2000

- Investissement : 63 M€.

Pont de Triel-sur-Seine

Le 11 septembre dernier, le ministre de l'Équipement a inauguré le pont de Triel-sur-Seine dans les Yvelines. Il s'agit du premier pont sur la Seine construit depuis 120 ans. Long de 3,6 km, il a pour objectif de remplacer l'actuel pont suspendu de Triel-sur-Seine datant de 1956 et de permettre aux automobilistes venant du Val d'Oise, ou de la boucle de Chanteloup-les-Vignes, de

rejoindre les autoroutes A13 et A14 à Orgeval. - Investissement : 80 M€, cofinancés par la région Ile-de-France et le conseil général des Yvelines

- Durée des travaux : 3 ans

- Trafic attendu : 19 000 véhicules/jour.

■ LANCEMENTS

Tramway des Maréchaux (Paris)

Peu après que le Conseil de Paris ait donné son feu vert le 8 juillet dernier, les travaux pour la réalisation de la 1^{re} tranche du tramway des Maréchaux ont été lancés. Ce chantier représente 7,9 km entre le pont de Garigliano et la porte d'Ivry, avec 17 gares et un trafic estimé à 28 millions de voyageurs par an. Alors que l'UMP avait tenté de rouvrir le débat sur le tracé en mettant en avant la voie ferroviaire désaffectée de la Petite Ceinture, l'enquête publique a pourtant validé le tracé empruntant les boulevards des Maréchaux.

- Investissement : 214 M€

- Mise en service : 2006.

Liaison ferroviaire Ermont (95) - Gare de Saint-Lazare (Paris)

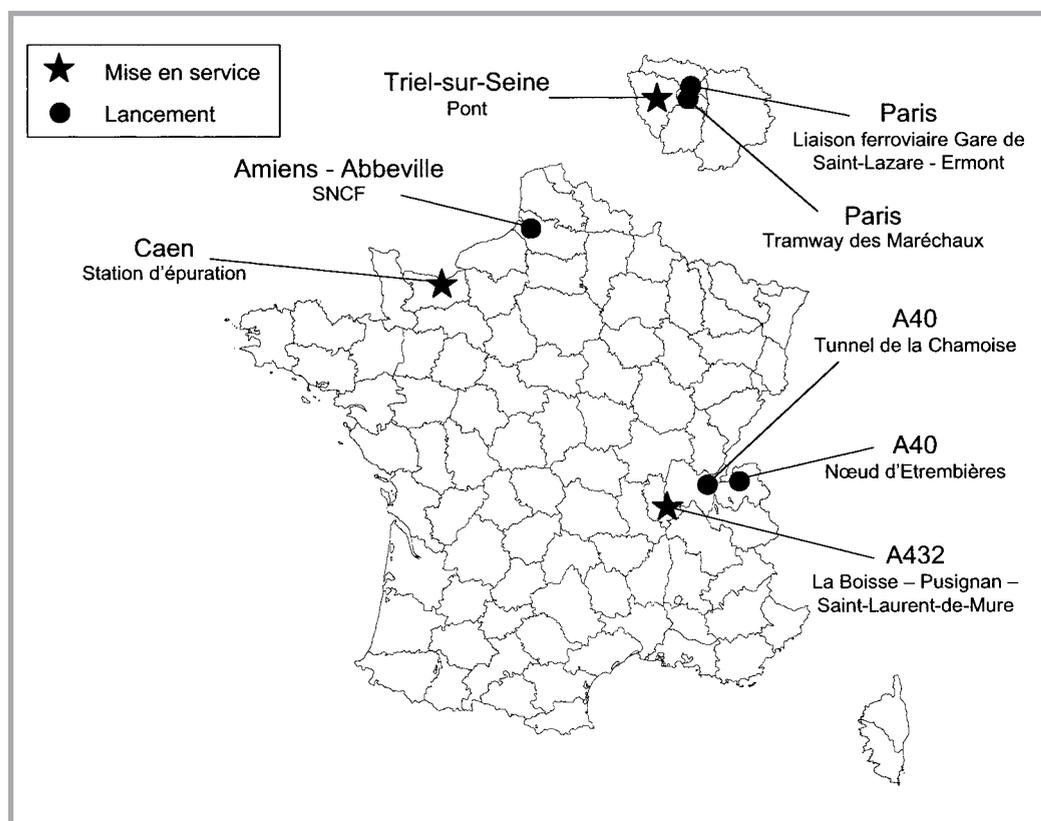
Le 2 juillet 2003, a été donné le premier coup de pioche de la liaison ferroviaire Ermont/Saint-Lazare et du nœud d'Ermont. Il s'agit de la plus grosse opération de transport en commun du contrat de plan Etat - Région 2000-2006 en phase de réalisation. Ce projet qui reste dans les emprises ferroviaires ou publiques n'a pas nécessité d'expropriation. Il est destiné à améliorer la desserte ferrée du nord-ouest francilien.

- Investissement : 196 M€, dont 113 M€ financés par la Région, 56 M€ par l'Etat, 16 M€ par RFF et 8 M€ par le conseil général du Val d'Oise.

- Mise en service : fin 2006 et 2008 pour le bâtiment voyageurs en gare d'Ermont.

A40 : Nœud d'Etrembières

Mis en service en 1982, le nœud autoroutier d'Etrembières connaît aujourd'hui une saturation



fréquente. Afin d'accroître la fluidité et la sécurité du trafic, Autoroutes et Tunnel du Mont-Blanc engage un vaste programme de travaux : suppression de l'entrecroisement des flux A40- A411, installation de protections acoustiques, mise en place d'un système de collecte et de traitement des eaux pluviales, aménagement paysager...

- Investissement : 10 M€
- Fin des travaux : fin 2005.

SNCF : Amiens - Abbeville

Après l'inauguration de la ligne Amiens - Compiègne, le gros chantier inscrit au contrat de plan ferroviaire Etat - Région passera à l'ouest, entre Amiens et Abbeville. Le programme prévoit la modernisation des voies, l'aménagement des gares et des quais sur le parcours et une nouvelle signalétique.

- Investissement : 36,5 M€
- Mise en service : début 2007.

Tunnel de la Chamoise

Les tubes nord et sud du tunnel de la Chamoise (Ain) sur l'A40 sont entrés dans une période de travaux qui durera jusqu'au 4^e trimestre 2004 à raison de phases de trois à quatre mois : génie civil, recueil des liquides sur la chaussée, ventilation et désenfumage, gestion technique centralisée, chaussée...

- Investissement : 28,1 M€ (+ 16,6 M€ pour les tunnels à Saint-Germain-de-Joux et à Châtillon-en-Michaille dont les travaux seront conduits en 2005 et 2006).

■ OÙ EN SONT-ILS ?

Pénétrante du Paillon (Alpes-Maritimes)

Le creusement à partir de l'extrémité sud du tunnel de la Condamine a commencé, après des travaux préparatoires rendus nécessaires par la nature du sol. Long de 740 m avec une galerie de secours, ce tunnel est l'ouvrage principal de la future section Cantaron/Pointe-de-Contes de la pénétrante du Paillon. Ce chantier constitue actuellement l'investissement routier direct le plus important du conseil général des Alpes-Maritimes.

- Investissement : 61 M€ (dont près de 30 M€ pour le tunnel)
- Longueur du tronçon : 2,7 km
- Mise en service : 2005.

TGV Est : viaduc de Jaulny

La ligne ferroviaire à grande vitesse Est traverse le parc naturel régional de la Lorraine. Pour

faire face aux contraintes imposées par le milieu environnemental, le maître d'ouvrage, RFF, a opté pour la solution d'un concours en conception - réalisation. Cette procédure lui a notamment permis de confier l'ingénierie du projet à la maîtrise d'œuvre constituée d'un groupement pluridisciplinaire comprenant des bureaux d'études, des architectes, des paysagistes et des entreprises.

Le marché a été attribué en décembre 2001 et le chantier a réellement commencé en septembre 2002 avec les déblais-remblais d'accès au viaduc.

- Investissement : 20,7 M€
- Longueur : 480 m
- Hauteur maximale des piles : 50 m
- Opération de lancement du tablier : août 2003 - février 2004

RRF a attribué 100 % des lots de génie civil pour la construction des 300 km entre Vaires-sur-Marne et Baudrecourt. L'ensemble de la LGV Est (1^{re} phase) sera en travaux à l'automne.

La Cereirède à Montpellier

Sur le chantier d'extension et de modernisation de la station d'épuration de La Cereirède, le lot terrestre de l'émissaire de rejet en mer vient d'être attribué.

- Investissement : 18,1 M€
- Début des travaux : septembre 2003
- Durée des travaux : 10 mois.

L2 : rocade est et nord de Marseille

Après sa remise à plat provoquée par un fort mécontentement des riverains du chantier (annulation de la DUP + triplement du devis), la construction de la rocade Est avance lentement mais sûrement. La livraison de la L2 Est est cependant conditionnée à son inscription au prochain CPER.

Pour la deuxième portion, la rocade nord, les études se déroulent bien : l'option retenue par la DDE semble également susciter l'adhésion de la population.

La place importante accordée à l'urbanisme devrait alourdir son coût. La DUP est attendue pour fin 2004.

- Investissement : 577 M€ (rocade est) + environ 400 M€ (rocade nord)
- Mise en service : 2009 (rocade est) et 2012 (rocade nord).

Tunnel de l'A86 ouest

Victime d'une longue série de contretemps (annulation de la convention, grève des ouvriers, incendie accidentel), le creusement du souterrain

de l'A86 à l'ouest a pris 3 ans de retard. La société Cofiroute a en effet annoncé hier que l'ouverture de la première section, entre Rueil-Malmaison et Vaucresson n'interviendrait pas avant le 3^e trimestre 2007.

Les nouvelles normes de sécurité imposées par la réglementation française depuis le drame du tunnel du Mont-Blanc expliquent aussi une part du retard.

■ CE SERA DEMAIN...

Liaison A2/A23 (nord)

Les crédits d'Etat (1,6 M€) permettant de boucler le financement (125 M€) du nœud autoroutier A2/A23 à hauteur de Valenciennes sont débloqués.

Dominique Bussereau, secrétaire d'Etat aux Transports, l'a annoncé aux élus et aux responsables locaux fin juin. Les travaux pourraient débuter en 2004. La bretelle Lille/Bruxelles pourrait être mise en service en 2005 et l'ensemble de l'équipement en 2007.

Haut débit à Bordeaux

Le conseil de la communauté urbaine de Bordeaux a adopté le 11 juillet dernier un schéma haut débit qui prévoit la réalisation, entre 2004 et 2006, d'un réseau métropolitain de fibres optiques destiné à relier les zones d'activités économiques, les universités et les hôpitaux de l'agglomération.

- Investissement : 21 M€
- Lancement de la consultation pour la délégation de service public : automne 2003.

TCSP de Lorient

La communauté d'agglomération de Lorient vient de commencer l'enquête d'utilité publique pour son projet de création d'une première ligne de transport en commun en site propre. Grâce à ce premier axe qui reliera Lorient à la ville de Lanester, située dans la partie est de l'agglomération, les élus espèrent désengorger ce secteur très chargé qui accueille près de la moitié des emplois du bassin économique.

■ ...OU APRÈS DEMAIN

DUP

DUP concernant :
- les travaux de désensablement de la baie du Mont-Saint-Michel, les 17 (autorités bretonnes) et 21 (autorités normandes) juillet 2003 ;

- ▶ - les acquisitions et travaux nécessaires à la réalisation de la première ligne de tramway de l'agglomération orléanaise sur le territoire des communes de Fleury-les-Aubrais, Orléans et Olivet, le 30 juillet 2003 (prorogation de la DUP prononcée par décret le 28 juillet 1998) ;
- les travaux de construction de la section de l'autoroute A104 constituant le contournement de la plate-forme aéroportuaire de Roissy Charles-de-Gaulle entre l'autoroute A1 (échangeur d'Épiais-lès-Louvres et la RN2 (échangeur de Compans), le 22 septembre 2003 ;
- les travaux de construction d'une troisième voie ferrée et d'aménagement des gares entre Antibes et Nice, en vue de l'augmentation de capacité de la ligne ferroviaire entre Cannes et Nice, le 8 septembre 2003 ;
- les travaux de construction de la section Alençon - Tours de l'autoroute A28, le 16 juillet 2003 (prorogation de la DUP prononcée par décret le 20 juillet 1993) ;
- les travaux d'élargissement à 2 x 2 voies de la section de la RN10 comprise entre Rambouillet et Ablis dans le département des Yvelines, le 22 juillet 2003 (prorogation de la DUP prononcée par décret le 25 août 1998).

Lancement du débat public

Concernant :

- la construction du réservoir de Charlas, à 18 km au nord de Saint-Gaudens (Haute-Garonne), du 8 septembre au 19 décembre 2003 ;
- la réalisation de l'autoroute A24 entre Amiens et la frontière belge, du 30 septembre 2003 au 31 janvier 2004 ;
- le projet de liaison ferroviaire express directe entre la gare de l'Est à Paris et l'aéroport de Roissy Charles-de-Gaulle, du 25 août au 15 décembre 2003.

■ DES PROJETS PLUS LOINTAINS

Annecy : tunnel du Semnoz

L'urbanisation des rives du lac d'Annecy engorge l'étroite RN508 à la sortie d'Annecy. Seule issue : creuser un tunnel sous le Semnoz. Un marché d'assistance au maître d'ouvrage vient donc d'être lancé afin de vérifier la faisabilité de l'hypothèse retenue : un tunnel monotube à deux voies superposées, réservé aux voitures et camionnettes, concédé à un partenaire privé. Un ouvrage de 3 km entre la zone de Vovray à Annecy et l'entrée de Sevrier, avec un péage d'environ 1 €.

- Investissement : de l'ordre de 100 M€
- Résultats des études de faisabilité pour fin 2004.

Tangentielle nord (IDF)

Le 2 avril dernier, le Syndicat des Transports d'Ile de France a décidé, compte tenu du développement programmé du fret et du coût élevé des infrastructures, d'étudier une variante "train léger" à la Tangentielle nord. Cette variante prévoit la création de deux voies réservées aux voyageurs, parallèles aux deux voies existantes dédiées au fret et à la circulation d'un matériel de type "tram-train". Le choix entre les projets ne devrait pas intervenir avant juillet 2004 (après les élections régionales).

- Investissement : entre 750 et 850 M€ (selon le projet retenu et hors matériel roulant)
- Longueur du tronçon : 28 km.

■ ON ATTENDAIT UNE RÉPONSE

Troisième aéroport parisien

À l'issue de neuf mois de travaux, les quatorze membres de la mission parlementaire chargée du dossier du 3^e aéroport parisien ont jugé inopportune la réalisation d'un tel projet dans le grand bassin parisien. Investissement trop lourd, localisation toujours fantôme faute de consensus et malgré plus de sept années de recherche... Bien sûr, les raisons invoquées ne convainquent pas les partisans de l'infrastructure, notamment les riverains de Roissy et de Orly. Par ailleurs, le diagnostic s'accompagne de 21 propositions parmi lesquelles le développement des plates-formes régionales.

Ligne THT Baixas – Frontière espagnole

Il n'y aura pas de ligne aérienne à 400 000 volts entre la France et l'Espagne sur le tracé envisagé par RTE : une trentaine de kilomètres entre Baixas, près de Perpignan et la frontière espagnole. Après trois mois de débat public, et sans attendre le compte rendu officiel de la commission qui l'a animé, la ministre déléguée à l'Industrie, Nicole Fontaine, a demandé au maître d'ouvrage de proposer de nouvelles alternatives pour respecter l'engagement que la France a pris vis-à-vis de l'Espagne de porter la capacité d'interconnexion entre les deux pays à 4 000 MW à moyen terme. RTE devrait donc proposer d'ici fin 2003 un nouveau projet, intégrant davantage la notion de préservation du paysage.

TGV Rhin-Rhône (branche est)

Le gouvernement suisse a décidé de financer à hauteur de 76 M€ le projet de TGV Rhin-Rhône. Cette contribution représente 6 % du coût es-

timé de la branche Est (Mulhouse – Dijon) qui serait la première à être mise en chantier. Ce projet fait partie des infrastructures étudiées lors de l'audit, dont le sort doit être scellé en fin d'année par un Comité interministériel à l'aménagement du territoire.

- Investissement : 1,3 Md€
- DUP : 25 janvier 2002.

■ GRANDS CHANTIERS

A51 : Grenoble - Sisteron

Cet été, le ministre des Transports, Gilles de Robien, a relancé le dossier à rebondissements de l'A51 en se déclarant favorable à la poursuite de l'autoroute par l'est de Gap et le Champsaur. Il met ainsi fin à la solution prônée notamment par le conseil régional de Rhône Alpes pour un passage à l'ouest, par Lus-la-Croix-Haute, dans la vallée de Buëch. Inscrit au schéma d'aménagement du territoire en 1986, le projet, et plus particulièrement le tronçon central long d'une centaine de kilomètres entre La Saulce et le Col du Fau était bloqué depuis quelques années.

- Investissement : 1,98 Md€, dont théoriquement 50 % financés par l'Etat.

(Source FNTP)

Infos chantiers : 4^e trimestre 2003

■ MISES EN SERVICE

Contournement de Besançon

Les 6 km de la voie nouvelle des Montboucons ont été ouverts à la circulation le 25 septembre dernier.

Cette rocade urbaine à 2 x 2 voies, première étape du contournement de Besançon, permet d'écouler un trafic de transit et local, de l'ordre de 25000 véhicules par jour. La voie de Montboucons (83,1 M€) se prolongera au sud par la voie des Mercureaux (125,6 M€) dont les travaux devraient être achevés pour 2008 mais les collectivités locales craignent des retards dans l'affectation des crédits d'Etat (environ 27 % de l'enveloppe financière totale).

"Petit RER" Nantes - Vertou

Depuis le 3 novembre dernier, la SNCF assure la nouvelle liaison entre la gare de Nantes et Ver-

tu, commune de l'agglomération nantaise située à 15 minutes par le fer, 50 minutes en voiture. La liaison remporte déjà un grand succès : il est possible de l'emprunter avec un ticket de bus, d'y emmener sa bicyclette ou d'effectuer la correspondance avec le tramway.

- Investissement : 16,5 M€

- Fréquentation attendue : 3500 voyageurs par jour en 2004

- Objectif à terme : un train toutes les 20 minutes aux heures de pointe.

RN 124 : déviation d'Aubiet

La déviation d'Aubiet, sur la RN 124, dans le Gers, a été ouverte à la circulation en octobre 2003. Etape majeure dans l'aménagement en voie rapide de la liaison Toulouse - Auch, cette déviation de 8 km à 2 x 2 voies a nécessité, pour son intégration dans l'itinéraire à grand gabarit Langon - Toulouse, la création de deux bretelles supplémentaires.

- Investissement : 44 M€, financés pour 15 % au titre du XI^e plan et 85 % au titre du XII^e plan.

Prolongement de la ligne 2 du tramway de Lyon

Peu de temps après l'ouverture de la ligne 2 du tramway entre la gare de Perrache et la Porte des Alpes en janvier 2001, le syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise (Sytral) engageait les travaux d'extension. Le 27 octobre dernier, les 5 km de voies supplémentaires, jusqu'à Saint-Priest Bel-Air, sont inaugurés. Le prolongement a coûté beaucoup moins cher que les deux premières lignes de tramway : respectivement 12,9 M€ du kilomètre contre 20,5 M€ (ce dernier ratio moyen incluant les équipements centraux de maintenance et des systèmes d'information).

- Investissement : 64 M€

- Longueur : 5 km et 9 stations

- Fréquentation attendue sur l'extension : 6000 voyageurs par jour.

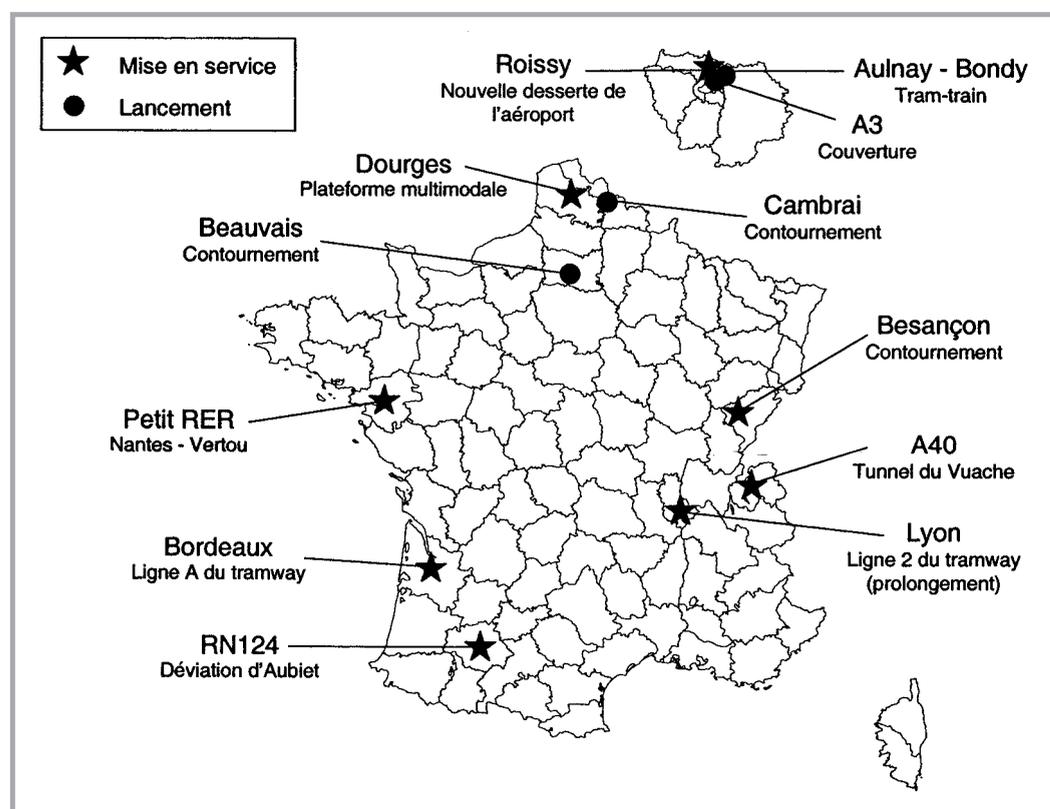
Nouvelle desserte de Roissy - CDG

Le 14 novembre dernier, un nouvel accès routier à l'aéroport de Roissy - Charles-de-Gaulle a été inauguré. Cette desserte, à l'est de l'aéroport, vers le département de Seine-et-Marne était très attendue. En effet, jusqu'à présent, la majorité des 180000 passagers et des 80000 employés qui se rendent chaque jour sur la plate-forme par la route, ne pouvaient qu'arriver par l'ouest en empruntant l'autoroute A1 souvent saturée.

- Investissement : 7,8 M€ pour l'échangeur avec la D212 financés par la région + 43,6 M€ pour les voiries intérieures financés par ADP.

Tunnel du Vuache (A40)

Le 17 novembre dernier, les pouvoirs publics ont confirmé la réouverture complète du tunnel du Vuache, situé sur l'autoroute blanche A40, entre Bellegarde et St-Julien-en-Genevois. Suite à l'incendie survenu en mars 1999 dans le tunnel du Mont-Blanc et aux recommandations émises par le Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels



▶ routiers, il avait été décidé de procéder à la rénovation de ce tunnel à 2 tubes (1 400 m) mis en service en 1982.

- Investissement : 28 M€
- Travaux sur 2 périodes de 8 mois (2002 et 2003), une par tube.

Tramway de Bordeaux (ligne A)

Le 21 décembre dernier, la communauté urbaine de Bordeaux a inauguré sa première ligne de tramway.

L'ouverture des lignes B et C devrait survenir dans les prochains mois. C'est un vaste chantier, mais également une multitude de désagréments pour les Bordelais, qui prennent fin. L'infrastructure est très novatrice : pour la première fois au monde, le système d'Alimentation par le sol (APS) a été retenu permettant ainsi de ne pas dégrader l'esthétique de la ville.

- Investissement : 630 M€ pour les 3 lignes (hors extension)
- Début des travaux : février 2000.

Plate-forme de Dourges (62)

Conformément au calendrier, la plate-forme multimodale Delta 3 de Dourges a été inaugurée le 5 décembre dernier. Les premiers trains sont entrés sur le site le 13 décembre et le terminal de transport combiné a débuté son activité le 15 décembre. Quelques travaux subsistent : 135 000 m² d'entrepôts sont encore en cours de construction.

- Investissement : 150 M€
- Début de travaux : décembre 2000.

■ LANCEMENTS

Contournement de Beauvais

Les travaux du contournement sud de Beauvais ont débuté en décembre dernier. Longue de 14,5 km, cette déviation à deux voies et trois créniaux de dépassement, désencombrera la préfecture de l'Oise en reliant la RN 31 à la RN 7. Actuellement, ce sont encore 18 000 véhicules, dont 15 % de poids lourds, qui traversent la ville chaque jour.

- Investissement : 76 M€, financés à 40 % par l'Etat, 40 % par la région, 10 % par le département et 10 % par la commune
- Mise en service : 2007.

Tram-Train Aulnay-Bondy (IDF)

Le 14 décembre dernier, la ligne ferroviaire Aulnay - Bondy a été fermée au trafic voyageurs, le temps d'une profonde transformation qui va voir

cette ligne devenir la première en France à accueillir un tram-train. Ce tronçon se prête bien à une exploitation de ce type du fait de son environnement très urbain : sur 8 km de trajet, on ne compte pas moins de 11 passages à niveau. En période de pointe, les trains pourront circuler toutes les 4 minutes.

- Investissement : 50,6 M€
- 40 000 clients attendus chaque jour
- Réouverture de la ligne prévue à l'été 2006.

Couverture de l'A3 (Seine-St-Denis)

Fin novembre dernier, les travaux de couverture de l'autoroute A3 dans la traversée de Bagnolet, Montreuil et Romainville ont été lancés. Cela faisait plus de 30 ans que les riverains exigeaient ces aménagements nécessaires pour échapper au bruit et à la pollution de cette 2 x 4 voies parcourue par près de 190 000 véhicules par jour, dont 30 000 poids lourds.

- Investissement : 80 M€
- Durée des travaux : 3 ans
- Longueur de la couverture : 700 mètres.

Contournement de Cambrai

Le chantier du contournement sud de Cambrai vient d'être lancé. Inscrit au précédent CPER, le dossier avait fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique en 1999 mais aussi de plusieurs recours. La rocade permettra notamment de desservir deux zones d'activité existantes et une zone programmée à Nierny.

- Investissement : 50 M€, financés en partie par des fonds européens.

■ OÙ EN SONT-ILS ?

Chantiers autoroutiers des Pays de la Loire

Après plusieurs mois d'attente, Cofiroute vient de reprendre les travaux préparatoires sur le chantier du contournement nord d'Angers (A11) dont la mise en service est prévue en août 2007. Par ailleurs, elle a également repris les travaux de l'A28 sur les sections Montabon - Tours. Enfin, ASF a remporté la concession du contournement sud de la Roche-sur-Yon dont la mise en service est prévue pour fin 2007.

Tunnel A86 (IDF)

Le tunnelier géant de l'A86 a refait surface le 14 octobre dernier, en lisière de Vaucresson (92) et du Chesnay (78). Longue de 4,5 km, la section souterraine constitue la première portion du tun-

nel de l'A86 ouest, un des plus grands chantiers d'Europe (avec le viaduc de Millau) avec un coût de 1,7 Md€. Le tunnel reliera, à horizon 2007, l'autoroute A13 depuis Rueil-Malmaison.

■ CE SERA DEMAIN...

Station d'épuration de Marseille

La Communauté urbaine de Marseille vient d'attribuer le marché de conception-réalisation de l'extension de la station d'épuration de Marseille. Ce marché comprend les options "désodorisation de l'air vicié" et "fabrication d'un engrais organo-minéral". La station d'épuration permettra de traiter 30 000 t de boues, contre 20 000 aujourd'hui.

- Investissement : 161,72 M€
- Mise en service : 2005-2006.

Tramway de Bordeaux

La communauté urbaine de Bordeaux est décidée à réaliser la deuxième phase du chantier de son tramway (extension des lignes en banlieue : 19 km) et ce malgré les incertitudes concernant le versement des subventions de l'Etat. En septembre dernier, le gouvernement a en effet annoncé son intention de supprimer les aides de l'Etat aux transports collectifs en site propre pour 2004.

- Investissement : 520 M€, dont 20 % de financements initialement attendus de l'Etat
- Travaux prévus entre fin 2004 et 2007.

■ ...OU APRÈS DEMAIN

DUP

DUP concernant :

- les acquisitions et travaux nécessaires à la création d'une voie nouvelle à 2 x 2 voies sur le territoire des communes de Petit-Couronne et de Saint-Etienne-du-Rouvray (Seine-Maritime, contournement sud de Rouen), le 22 septembre 2003 ;
- les travaux de construction du raccordement ferroviaire entre les lignes Moret - Lyon et Saint-Germain-des-Fossés - Nîmes, le 22 septembre 2003
- les travaux de construction du raccordement de l'autoroute A35, dite voie rapide du Piémont des Vosges, à l'autoroute A352, le 22 septembre 2003
- les travaux de construction d'une troisième voie entre Marseille et Aubagne, de création d'une gare à La Barasse et de l'aménagement des gares existantes, le 25 septembre 2003 ;

- les travaux de construction liés au projet de modernisation de la ligne ferroviaire entre Marseille et Aix-en-Provence et de création de trois nouvelles gares à Picon-Busserine, Saint-Joseph et Saint-Antoine, le 25 septembre 2003 ;
- les travaux de construction de la liaison est-ouest au sud d'Avignon, dénommée voie LEO, entre Les Angles (RN 100) et le lieudit l'Amandier, à Avignon (RN 7), ainsi que la déviation de la RN 570 à Rognonas entre le PR4 + 040 de cette voie et son raccordement à la LEO au sud d'Avignon, le 16 octobre 2003 ;
- les travaux d'aménagement à 2 x 2 voies de la route nationale 2 dans sa section comprise entre le Plessis-Belleville (Oise) et Soissons (Aisne), le 22 octobre 2003 ;
- les travaux de réalisation de la section de l'autoroute A86 comprise entre l'échangeur de Saint-Maurice et la bifurcation de Nogent-sur-Marne, dans les départements de Paris et du Val-de-Marne, le 21 novembre 2003 ;
- les acquisitions et les travaux nécessaires à la réalisation de la ligne de tramway de l'agglomération clermontoise sur les communes d'Aubière et de Clermont-Ferrand, le 6 décembre 2003.

Lancement d'enquête publique

Lancement d'enquête publique concernant :

- le contournement ferroviaire de Nîmes et de Montpellier, du 4 novembre au 19 décembre 2003 ;
- le tramway entre le terminus de la ligne 7 du métro à Villejuif et Athis-Mons via Rungis et Orly, à partir du 29 décembre 2003.

Lancement du débat public

Lancement du débat public concernant :

- le contournement autoroutier de Bordeaux, du 2 octobre 2003 au 2 janvier 2004.

■ DES PROJETS PLUS LOINTAINS

Tramway Chatillon – Viroflay (IDF)

- L'enquête publique préalable à la réalisation du futur tramway reliant Chatillon à Viroflay via Vélizy devrait être lancée en septembre 2004. Deux conseils généraux, Hauts-de-Seine et Yvelines, et la RATP se partagent la maîtrise d'ouvrage du projet. Le tramway qui circulera sur pneus desservira 21 stations, sur près de 14 kilomètres.
- Investissement : 308 à 350 M€
 - Début des travaux : second semestre 2006
 - Mise en service : 2009.

TGV Sud-Europe-Atlantique

Une double convention a été signée, vendredi 21 novembre 2003, entre les régions Centre, Aquitaine et Poitou-Charentes, l'Etat, la SNCF, RFF et les départements concernés par le tracé de la LGV Sud-Europe-Atlantique. Elle engage :

- le lancement de l'avant-projet sommaire entre Tours et Angoulême ;
- la préparation de l'enquête préalable à la DUP entre Angoulême et Bordeaux.

Les principaux contributeurs sont l'Europe (25 %), l'Etat (18,75 %) et le conseil régional d'Aquitaine (15 %) pour la section entre Angoulême et Bordeaux.

Par ailleurs, en avançant 40 % du total de l'avenant aux études pour Tours – Angoulême, le conseil régional d'Aquitaine espère faire comprendre, aux autorités française, espagnole et européenne, sa volonté de faire avancer le projet.

■ FEU VERT

Aéroport Notre-Dame-des-Landes

Le projet de l'aéroport Notre-Dame-des-Landes, près de Nantes, a franchi une nouvelle étape avec l'arrêté pris le 9 octobre dernier par le ministre de l'Équipement et des Transports qui s'est prononcé en faveur de la poursuite des études pour cette future plate-forme aéroportuaire devant desservir le grand ouest. Il entérine également le choix du site pressenti, un espace de 1 225 hectares situé à 20 km au nord de Nantes. Cette décision intervient près de 3 mois après la clôture du débat public.

- Investissement : 450 M€ (hors infrastructures d'accès)
- DUP : pas avant 2007.

■ ON ATTENDAIT UNE RÉPONSE

3^e aéroport parisien

Le ministre de l'Équipement a définitivement renoncé au projet de création du troisième aéroport d'Île-de-France.

Pour faire face à l'augmentation du trafic aérien, le gouvernement Raffarin mise plutôt sur une solution de court et moyen terme mettant à contribution les aéroports provinciaux. Cette solution s'appuie sur trois piliers :

- les aéroports du grand bassin parisien, notamment Vatry et Châteauroux pour le développement du fret ;
- les plates-formes régionales existantes, tel Lyon, qui doivent être confortées pour absorber un lar-

ge bassin de population autour de leur implantation et offrir des dessertes efficaces avec l'étranger ;

- de nouveaux aéroports de taille moyenne comme Notre-Dame-des-Landes à Nantes.

■ GRANDS CHANTIERS

Liaison CDG Express

Le débat public sur le projet CDG Express, qui doit relier la gare de Paris-Est à l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle, s'est achevé le 15 décembre. Le maître d'ouvrage, le GIE CDG Express (RFF, SNCF et ADP), va s'attacher début 2004 à poursuivre les études, notamment sur une solution alternative au tracé. Cette solution repose sur l'utilisation de la ligne Paris – Roissy – Mitry (RER B) avec l'arrivée à la gare du nord ou de l'est. Le GIE rendra son avis et fera connaître les suites qu'il entend donner au projet courant mai.

(Source FNTP)

Travaux 2003

Table des matières

Table of contents

Ponts (Janvier)

- ◆ Déviation de Meaux. Le viaduc sur la Marne : une structure innovante pour un ouvrage exceptionnel
- Meaux Diversion. The viaduct over the Marne : an innovative solution for an exceptional structure
O. Berthelot, J.-Y. Sablon, D. Lecointre, J. Petitjean, E. Boudot, E. Mercier, J.-P. Commun, M. Placidi 18
- ◆ Le deuxième pont sur le Rhône à Valence
- The second bridge over the Rhone at Valence
P. Charlon 30
- ◆ Le doublement du viaduc Jules Verne à Amiens : un pont de 943 m de long réalisé en 15 mois
- Doubling the Jules Verne viaduct in Amiens : a bridge 943 m long constructed in 15 months
J. Mossot, J.-Fr. Weber, I. Amami, J. Daquin 38
- ◆ La passerelle Victor Schœlcher à Nantes. Un pont mobile sur la Loire
- The Victor Schœlcher footbridge in Nantes. A movable bridge over the Loire
J.-B. Datry, Fr. Prunier 50
- ◆ L'élargissement des ponts en maçonnerie. Les contraintes architecturales
- Widening of masonry bridges. Architectural constraints
J.-L. Jolin 56
- ◆ La reconstruction du pont Sloboda à Novi Sad (R.F.Y.). Un défi technologique
- Reconstruction of Sloboda Bridge in Novi Sad (Yugoslavia). A technological challenge
G. Pequeux, W. Hamadeh, J.-M. Cathala, J.-P. Persy 62
- ◆ Le pont haubané de Muar en Malaisie
- The cable-stayed bridge of Muar in Malaysia
J.-M. Tanis, G. Frémont, N. Vivien 71
- ◆ La construction de la passerelle de Seonyu. Un arc en Ductal® à Séoul
- Construction of the Seonyu footbridge. A Ductal® arch in Seoul
M. Behloul, Kc Lee, Hk Kim, G. Comte, M. Loisel, G. Causse, D. Etienne, J. Davy, A. Sismeiro, Fr. Leve 76

Travaux souterrains - Ouvrages d'art (Février)

- ◆ Galeries de sécurité du tunnel du Somport. Galeries d'interconnexion entre les tunnels routier et ferroviaire
- Safety galleries in Somport Tunnel. Interconnecting galleries between the road and rail tunnels
P. Voron 16

- ◆ Nouvelle liaison ferroviaire transalpine Lyon-Turin. La descendrière et galerie de reconnaissance de Modane/Villarodin-Bourget
- New transalpine rail link Lyons-Turin. The decline and reconnaissance gallery of Modane/Villarodin-Bourget tunnel
P. Vignat 24
- ◆ Santa Augusta. Infrastructures souterraines pour une nouvelle carrière de cimenterie
- Santa Augusta. Underground infrastructure for a new cement plant quarry
G. Pétard, G. Vertut, P. Rolandetti, B. Lasnes 29
- ◆ Le collecteur du Cheval noir à Pantin
- Cheval Noir main sewer in Pantin
P. Sol 34
- ◆ Un microtunnel entre sable et roche
- A microtunnel between sand and rock
J. Aubry 36
- ◆ Le lot Arge-Ferden du projet Alp Transit. Un bi-tube de 11,6 km creusé à l'explosif
- The Arge-Ferden work section of the Alp-Transit project. A double-tube tunnel 11,6 km long with tunnelling by explosives
Y. Chamberlin, Ch. Hénault 38
- ◆ La traversée sous-fluviale de la Warnow à Rostock (Allemagne)
- The under-river crossing of the Warnow at Rostock, Germany
O. Miret, R. Roussel, M. Croll, L. Dabet, D. Coulet, F. Cao, M. Weick, J.-M. Constant 44
- ◆ Les tunnels d'El Azhar. Une nouvelle génération de tunnels routiers
- The El Azhar tunnels. A new generation of road tunnels
J. Petit, S. Guillion, P. Giraud, J.-Ph. Renard, B. Falconnat, J.-M. Charvier 51
- ◆ Le viaduc de Millau
- The Millau viaduct
J.-P. Martin, M. Buonomo, Cl. Servant 61
- ◆ Rode nord de Béziers. Le nouveau pont sur l'Orb
- Béziers northern ring road. The new bridge over the Orb
B. Vachin, V. Montel, R. Richard, J. Vassord, P.-G. Dezeuze, J.-P. Vitu, P. Carlos, G. Palancade, P. Gressier, M. Placidi, J.-L. Dufresne, L. Amoros 69
- ◆ Concours de conception réalisation pour le viaduc de Jaulny. LGV Est européenne
- Design and Build competitive bidding for the Jaulny viaduct. East European High-Speed Train Line
P. Charlon 79
- ◆ Viaduc de l'Anguienne. Conception d'un ouvrage atypique
- L'Anguienne viaduct. Design of an atypical structure
Y. Maury 85

Routes (Mars)

- ◆ Autoroute A1. Diffuseur de la RD 40E
- A1 motorway. RD 40E road interchange
D. De Paoli, M.-C. Merly, A. Benoist, H. Dugard, J.-L. Foti, B. Gausset 26
- ◆ Désengorger l'A13 en Normandie. Le tronçon Maison Brûlée - Bourneville passe à 2 x 3 voies
- Relieving congestion on the A13 motorway in Normandy. The Maison Brûlée-Bourneville section goes three-lane dual-carriageway
G. Mutel 32
- ◆ Autoroute A29 Neufchâtel-en-Bray/Saint-Quentin. Section Amiens/Saint-Quentin. Une autoroute à caractéristiques adaptées au trafic attendu
- A29 Motorway, Neufchâtel-en-Bray/Saint-Quentin. Amiens/Saint-Quentin section. A motorway with characteristics adapted to the expected traffic
D. Demeilliers, A. de Penfenteny 35
- ◆ Prise en compte des exigences environnementales sur les projets de construction autoroutière. Partenariat entre maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et l'entreprise sur deux chantiers autoroutiers : A20 et A66
- Allowance for environmental requirements in motorway construction projects. Partnership between contracting authority, project management and the contractor on two motorway projects : the A20 and A66
F. Beaudu, G. Habasque, E. Mazières 40

◆ Mise à 2 x 2 voies de la RN 21 : un projet routier pas tout à fait comme les autres... - <i>Upgrading of the RN 21 to a two-lane dual-carriageway : not just another road engineering project...</i>	
D. Bach	46
◆ Une déviation toute en douceur pour Seilhac - <i>A very gentle diversion for Seilhac</i>	
A. Chassang, J. Segui	50
◆ Natitingou-Porga : 102 km de route neuve au Bénin - <i>Natitingou-Porga : 102 km of new highway in Benin</i>	
D. Morin	56
◆ Du béton armé continu dans un tunnel à Liège en Belgique - <i>Continuous reinforced concrete in a tunnel in Liège, Belgium</i>	
A. Jasienski, D. Verlaïne	61
◆ Environnement, sécurité et patrimoine : les solutions ciment/béton pour la route - <i>Environment, safety and the heritage : cement/concrete solutions for highway engineering</i>	
J. Abdo	70
◆ Le centre d'exploitation de la Grande Chaloupe à la Réunion - <i>The Grande Chaloupe operations centre on Reunion Island</i>	
S. Geaufreau	78

Sols et fondations (Avril)

◆ Le chantier du tunnel du port de Dublin. 50 000 m ² de parois moulées dans de mauvais sols - <i>The Dublin Port Tunnel project. 50,000 m² of diaphragm walls in poor soils</i>	
D. Clert	24
◆ Construction d'une usine horlogère à Genève - <i>Construction of a watchmaking factory in Geneva</i>	
R. Degeorge, G. Krüger	28
◆ Des fondations records pour Mega Tower à Hong Kong - <i>Record foundations for Mega Tower in Hong Kong</i>	
CK. Siu, C. Doby, G. Viroles	38
◆ Le confortement de l'institut Thalazur à Antibes - <i>Consolidation of the Thalazur Institute in Antibes</i>	
M. Malard, J.-Ph. Depardon	42
◆ Métropole Lilloise. Remblai d'accès à un ouvrage d'art ferroviaire sur terrain compressible - <i>Lille metropolitan area. Embankment for access to a bridge over the railway track on compressible ground</i>	
L. Brouet, K. de Kroes, V. Lecendre	46
◆ Colonne à Module Contrôlé® à Newport (Pays de Galles) - <i>Controlled Modulus Columns®, in Newport (Wales)</i>	
M. Lacazedieu	52
◆ Penny's Bay (Hong Kong). Etude géotechnique, vibrocompactage, instrumentation et auscultation - <i>Penny's Bay (Hong Kong). Geotechnical study, vibratory compacting, instrumentation, detailed analysis</i>	
A. Abinader, D. Johnson	56
◆ Station d'épuration de Clermont-Ferrand. Réalisation d'une paroi d'étanchéité au coulis avec vibreur - <i>Clermont-Ferrand sewage treatment plant. Construction of a grouted cutoff wall with vibrator</i>	
J.-M. Dumazert, N. Deryckère	62
◆ National City Marine Terminal à San Diego (Californie). Extension du prolongement sud du quai 24-4 - <i>National City Marine Terminal in San Diego (California). Southern extension of quay 24-4</i>	
Ch. Spaulding, S. Briet	65
◆ Le tombeau de Khéops et le témoignage d'Hérodote. Une vérification peu coûteuse à distance de la pyramide - <i>The tomb of Cheops and Herodotus' testimony. An inexpensive remote appraisal of the pyramid</i>	
J. Kerisel	68

Eau (Mai)

◆ La "Meuse" : les crues et les risques d'inondation. Aménager et prévoir - <i>The Meuse River : flood waters and risks of flooding. Develop and plan</i>	
D. Bertel	16

◆ Structures souterraines pour la réalisation de bassins d'orage - <i>Underground structures for setting up stormwater tanks</i>	
J. Landrot	22
◆ De la conception à la réalisation : une gestion maîtrisée de l'environnement - <i>From design to construction : controlled management of the environment</i>	
Br. Cote, A. Rech, O. Pal, J. Bonaccorsi, G. de Pous, S. Heude, R.-N. Trouilhas, M. Courtaud	28
◆ Captage des eaux souterraines par puits à drains rayonnants - <i>Groundwater catchment by radial well</i>	
Ch. Archambault, P. Galtier, A. Jouty, O. Murzilli	36
◆ Chengdu N°6 Water Plant B, un projet pour l'eau au cœur de la Chine. Extension des structures de production d'eau potable de Chengdu, quatrième ville de Chine - <i>Chengdu N° 6 Water Plant B, a water project in the heart of China. Extension of the potable water production structures in Chengdu, the fourth largest city in China</i>	
A. Ambrosini	48
◆ Dépollution des eaux pluviales. Collecteur ZOH Grigny - <i>Pollution removal from rainwater. Main drain in Grigny residential area</i>	
Th. Bauer, H. Sauvestre	55
◆ Usine de dépollution des eaux usées de l'agglomération valentinoise : le chantier mois par mois - <i>Sewage pollution control plant in the Valence urban area. The project month by month</i>	
R. Mégnegnéau	60
◆ Protection côtière par tubes conteneurs brise-lames. Cas de la plage de l'Amélie dans le Médoc - <i>Coastal protection by breakwater container tubes. Case of l'Amélie Beach in the Médoc region</i>	
O. Artières, M. Dunand, Fr. Durand	65
◆ Modernisation des postes 415-416 au port de Bordeaux Bassens - <i>Modernisation of berths 415-416 in Bordeaux Bassens Port</i>	
H. Duplaine, J. Garrissou, J.-Y. Coutures	71
◆ Synthèse sur le système des Attestations de conformité sanitaire (ACS) françaises concernant les matériaux au contact des eaux destinées à la consommation humaine - <i>Synthesis regarding the French Sanitary Conformity Certificates (ACS) system concerning materials in contact with water intended for human consumption</i>	
P. Pellarin, A. Khadir	76
◆ L'eau à son école à Strasbourg - <i>School for water studies in Strasbourg</i>	
D. Loudière	80

Terrassements (Juin)

◆ A75 La Méridienne. Le chaînon manquant - <i>A75 motorway, "La Méridienne". The missing link</i>	
Cl. Girard	32
◆ D'Est en Ouest. Le chantier RCEA (Route Centre Europe Atlantique) - <i>From East to West. The RCEA project (Central Europe - Atlantic Highway)</i>	
Y. Donadey	36
◆ RN 88. Déviation de La Guide-La Besse. Un chantier de terrassements complexes - <i>National highway RN 88. La Guide-La Besse diversion. A complex earthworks project</i>	
G. Perrier, Fl. Brochard	40
◆ Stabilité de dispositifs d'étanchéité par géomembranes sur talus. Exemples de réalisation et méthodes de calcul - <i>Stability of geomembrane sealing systems on earth banks. Construction examples and calculation methods</i>	
D. Poulain, B. Steiner	44
◆ Cap Découverte. Aménagement du site de la mine à ciel ouvert de Carmaux - <i>Rock excavated. Development of the site of Carmaux opencast mine</i>	
M. Etcheverry	48
◆ Le renforcement des berges de la Seine à Honfleur - <i>Reinforcing the banks of the Seine at Honfleur</i>	
N. Gauthier D'Aunous	51
◆ Déroctage de falaises en présence d'amiante - <i>Rock excavation from a cliff in the presence of asbestos</i>	
J. Bordignon, Fr. Labaeye	54
◆ Ligne grande vitesse Est - Lot 23B tronçon C. Saint-Hilaire-au-Temple/Tilloy et Bellay - <i>Eastern High-Speed Train Line - Work package 23B, section C. Saint-Hilaire-au-Temple/Tilloy and Bellay</i>	
B. Del Piero	57

Recherche et innovation (Juillet-août)

- ◆ Le RGC&U : un instrument de recherche pour la profession
- RGC&U : a research instrument for the industry
A. Colson 20
- ◆ Vingt-cinq innovations labellisées par le comité IVOR
- Twenty-five innovations labelled by the IVOR Committee
H. Thuillier 24
- ◆ La recherche au LCPC par des exemples
- Examples of research at French road and bridge research institute LCPC
J. Roudier, L. Delattre 32
- ◆ De pont à bridge par OA_Express. Vers un standard international d'échange de données de projets de ponts
- From "pont" to "bridge" via OA_Express. Towards an international standard for data interchange on bridge projects
Ph. Brehmer, J. Gual, Cl. Simon, G. Veylon 38
- ◆ Contribution des universitaires à la recherche, au développement et à l'innovation en génie civil. Organisation de la recherche universitaire et partenariats avec les entreprises
- Contribution of university staff to civil engineering research, development and innovation. Organisation of university research and partnerships with companies
J.-P. Ollivier, G. Pijaudier-Cabot, Fr. Buyle-Bodin, M. Dekoster, O. Blanpain, R. Jauberthie, Y. Mélinge, Ch. Lanos, A. Alexis, G. Le Bras, T. Collet, F. Masroui, R. Kastner, F. Emeriault 43
- ◆ Le Projet National CRITERRE
- Le Projet National CRITERRE
G. Verrier, P. Le Tirant 51
- ◆ L'innovation, les entreprises françaises et les initiatives européennes
- Innovation, French companies and European initiatives
V. Cousin 58
- ◆ Recherche et innovation dans la profession routière
- Research and innovation in the highway engineering industry
Ph. Gresset, L. Maison 65
- ◆ Appia fait rimer recherche et développement durable
- Appia performs research for sustainable development
J.-P. Antoine, J. Marcilloux 69
- ◆ Le concours international de l'Innovation du groupe Colas
- The International Innovation Contest of Colas Group
J.-P. Reymonet 72
- ◆ L'exploitation du Prix de l'innovation Vinci 2001 chez Eurovia
- Exploitation of the Vinci 2001 Prize for Innovation at Eurovia
M. Cyna 76
- ◆ Recherche, développement et innovation, moteurs du développement international
- Research, development and innovation, driving forces for international development
D. Gouvenot, J.-P. Hamelin 80
- ◆ L'innovation chez Spie au cours des cinq dernières années
- Innovation at Spie over the last five years
P. Chassagnette 84
- ◆ Prix de l'Innovation Vinci 2003. Sa nouvelle formule stimule et favorise la créativité
- Vinci 2003 Prize for Innovation. Its new formula stimulates and encourages creativity
P. Coppey 88
- ◆ Egis : toujours plus d'innovation, pour les maîtres d'ouvrages, avec les entreprises
- Egis : ever more innovation, for the contracting authorities, with the contractors
M. Ray, J.-M. Morin, M. Croc, S. Ghobad 94
- ◆ La recherche appliquée et l'innovation au LERM
- Applied research and innovation at the LERM
A. Ammouche 98

Environnement (Septembre)

- ◆ Les terres d'excavation valorisées en remblais techniques. Un avenir pour les terres de terrassement
- Earth cuts exploited as engineering backfill. A future for earth from earthworks
C. Buisine 24
- ◆ Réhabilitation de la lagune de déballastage de Brest. Mise en œuvre d'une solution innovante par enceinte active et stabilisation in situ
- Rehabilitation of the deballasting lagoon at Brest. Application of an innovative solution by active chamber and in-situ stabilisation
M.-Cl. Magnié, A. Barbier, J.-J. Kachrillo 30

- ◆ Autoroute A75. Les aires de repos de la Bête du Gévaudan et de Marvejols
- A75 motorway. The rest areas of Bête du Gévaudan and Marvejols
J. Brajon 34
- ◆ Travaux de génie écologique pour la restauration des berges de l'Isle (Gironde). Des techniques douces pour réussir une opération difficile...
- Ecological engineering work for restoration of the banks of the Isle (Gironde). Environmentally friendly techniques to succeed in a difficult operation...
Ph. Thiévent 38
- ◆ A750 - L'aire du Mas d'Alhen
- A750 - The Mas d'Alhen area
Br. Vachin 44
- ◆ Réalisation de la station d'épuration de Cork (République d'Irlande). Traitement des eaux usées et recyclage des boues : débit moyen 3 000 m³/h capacité 250 000 équivalents/habitant
- Construction of the Cork treatment plant (Republic of Ireland). Sewage treatment and sludge recycling : average throughput 3,000 cu. m/h, capacity 250,000 inhabitant equivalents
Br. Giroguy, N. Schneider-Maunoury 48
- ◆ Eco-Bois : une nouvelle réponse au recyclage et à la valorisation des bois de chantier
- Eco-Bois : a new answer to recycling and processing of construction site wood
D. Manseau, Ph. Lefils 58
- ◆ Le pont bois de Crest dans la Drôme
- The wooden bridge of Crest in the Drôme region
H. Gabouge 62

Travaux urbains (Octobre)

- ◆ La Défense - RN 314. Aménagement de la rampe des Bouvets
- La Défense. RN 314 - Development of the Bouvets ramp
R. Arab, P. Gendrin, A. Pieyre 18
- ◆ Lille : la rénovation de la rue Faidherbe dans le cadre de Lille 2004, capitale européenne de la Culture
- Lille : "rue Faidherbe" street renovation within the framework of the "Lille Cultural Capital of Europe 2004" event
Ph. Lemaire, Cl. Dhondt, J. Dejter 21
- ◆ RN 85. Aménagement de la traverse de Sisteron
- National highway RN 85. Development of the section passing through Sisteron
Ph. Auran, G. Durand 26
- ◆ La reconstruction du canal St-Martin à Paris X^e
- Reconstruction of the Saint-Martin Canal - Paris X^e
N. Pich, M. Yon 30
- ◆ Gestion des eaux pluviales en milieu urbain - Bassins de Rouillon (Sarthe)
- Rainwater management in an urban environment - Rouillon Basins (Sarthe region)
G. de Pous 34
- ◆ Centre historique de Lille. Innovation pour un collecteur d'assainissement
- Historic centre of Lille. Innovation for a main sewer
G. Zygomalas, St. Bakowski, E. Lemarchand, A. Avril 36
- ◆ Lutte contre les inondations. Dispositifs d'évacuation des crues vers la mer dans la région caennaise
- Flood control. Systems for flood discharge into the sea in the Caen region
N. Firmino 40
- ◆ Le métro de Copenhague. Zéro tassement, zéro nuisance
- The Copenhagen underground railway. No subsidence, no nuisance
D. Hayward 44
- ◆ Strasbourg : le nouveau siège d'Arte
- Strasbourg : the new Arte head office
B. Anstett, G. Dugard, E. Hartweg, C. Lebold, H. Struhk, P. Maechel 48
- ◆ Le réfrigérateur du Cours Albert I^{er} à Paris VIII^e
- The refrigerator on Cours Albert I^{er} in Paris VIII^e
Th. Dallais 54
- ◆ Aéroport Charles De Gaulle - Aérogare 2. Terrassements et parois moulées pour le nouveau centre de tri des bagages
- Charles De Gaulle Airport - Terminal 2. Earthworks and diaphragm walls for the new luggage sorting centre
D. Marchand, J.-B. Wittner 58
- ◆ Cap Découverte : construction de la Maison de la Musique. La banche Sateco SC9010 et le béton auto-plaçant donnent le "tempo" à Carmaux (Tarn)
- Cap Découverte : construction of the "Maison de la Musique". The Sateco SC9010 shuttering panel and self-placing concrete set the "tempo" in Carmaux (Tarn)
A. Meunier 61

Réhabilitation d'ouvrages

(Novembre)

- ◆ Le viaduc du Charmaix en Savoie. Un ouvrage à géométrie variable
- *The Charmaix viaduct in the Savoy region. A variable-geometry structure*
A. de Meyrignac, L. Brassac 20
- ◆ Réhabilitation du pont Royal sur la Seine à Paris
- *Renovation of Pont Royal bridge over the Seine in Paris*
Th. Dallais 26
- ◆ La rénovation du pont du Pouzin. Démolition et reconstruction complète de la dalle béton et remise en peinture
- *Renovation of Pouzin Bridge. Demolition and complete reconstruction of the concrete slab and repainting*
G. Mahot, C. Augonnet 29
- ◆ Confortement d'ouvrages sur la RN 311 à Argenteuil
- *Consolidation of civil engineering structures on the RN 311 highway in Argenteuil*
Gr. Nicolle, P. Charles 35
- ◆ Autoroute A49. Grenoble/Valence. Gainage des haubans du viaduc sur l'Isère
- *A49 motorway. Grenoble/Valence. Sheathing of stay cables on the viaduct over the Isère*
D. Noël, Ph. Jacquet, P. Malouet, J.-M. Sanchez, J.-M. Joly 42
- ◆ Deux réhabilitations novatrices. La passerelle d'Agen et le pont de Bellevue à Nantes
- *Two innovative renovation schemes. The Agen foot bridge and Bellevue bridge in Nantes*
S. Petit, Ch. Houix 52
- ◆ Le tunnel du Saint-Antoine. Mise au gabarit B1 et régénération de l'ouvrage
- *Saint-Antoine tunnel. Structure enlargement to B1 gauge and tunnel revamping*
Ph. Idrac, B. Lobbedez 56
- ◆ Confortement de l'assise du tunnel immergé de Rostock (RFA)
- *Consolidation of the footing of the submerged Rostock tunnel (Germany)*
J.-P. Fundenberger 62
- ◆ Réhabilitation du château d'eau de Mèze dans l'Hérault
- *Renovation of the Mèze water tower in the Hérault region*
G. Leca 65
- ◆ Le Grand Hôtel de l'Arsenal à Metz (57). Reprise en sous-œuvre d'un bâtiment par des colonnes de jet grouting
- *The Grand Hôtel de l'Arsenal in Metz (57). Underpinning of a building by jet grouting columns*
V. Spitz 69
- ◆ Musée de l'Orangerie. Surveillance vibratoire des Nymphéas de Monet pendant les travaux de réhabilitation du musée
- *Renovation of the Orangerie museum. Monitoring of the "Nymphéas" for vibration during the works*
J. Lebreton, A. Pinelli 72
- ◆ Réparation et renforcement d'ouvrages. Bien plus complexe qu'une nouvelle construction...
- *Repairs & strengthening. Far more complex than new construction...*
B. Gallagher 77

- ◆ Reconstruction du pont sur la Drôme sur A7. Deux ans de travaux sous circulation à pleine capacité
- *Reconstruction of the bridge over the Drôme on the A7 motorway. Two years' work under full-capacity traffic*
L. Borgna, A. Rung, Ph. Barry 73
- ◆ Les ponts-rails de Pantin. Le remplacement de cinq ouvrages au cœur du réseau ferré à la sortie de la gare de l'Est
- *The Pantin railway bridges. Replacement of five key structures in the railway network at the exit to "Gare de l'Est" railway station*
J.-Cl. Gincourt, D. Keller 81



Ponts

(Décembre)

- ◆ La construction des appuis et le lançage du tablier du viaduc de Millau
- *Construction of supports and launching the deck for the Millau viaduct*
J.-P. Martin, M. Buonomo, Cl. Servant 20
- ◆ Le viaduc du Lot et la tranchée couverte de La Garenne. La construction de deux ouvrages contigus
- *The Lot viaduct and the La Garenne cut-and-cover. The construction of two adjacent structures*
G. Briquet, J. Boutineau, P. Adier 34
- ◆ Un pont en arc mixte sur la Charente à Jarnac
- *A composite arch bridge over the Charente at Jarnac*
J.-P. Dargon, A. Valadier, J. Mac Farlane, J.-P. Grenery, P. Dugas, M. Virlogeux 48
- ◆ Le pont de Corbeil
- *Corbeil Bridge*
Fr. Guiot 59
- ◆ Le viaduc sur la Vilaine. Aménagement de la rocade Est de Redon entre l'Ille-et-Vilaine et la Loire-Atlantique
- *The viaduct over the Vilaine. Improvement of the bypass east of Redon between Ille-et-Vilaine and Loire-Atlantique*
E. Størksen 64

Table par nom d'auteurs/Authors

J. Abdo	Mars	70
A. Abinader	Avril	56
P. Adier	Décembre	34
A. Alexis	Juillet-Août	43
I. Amami	Janvier	38
A. Ambrosini	Mai	48
A. Ammouche	Juillet-Août	98
L. Amoros	Février	69
B. Anstett	Octobre	48
J.-P. Antoine	Juillet-Août	69
R. Arab	Octobre	18
Ch. Archambault	Mai	36
O. Artières	Mai	65
J. Aubry	Février	36
C. Augonnet	Novembre	29
Ph. Auran	Octobre	26
A. Avril	Octobre	36
D. Bach	Mars	46
St. Bakowski	Octobre	36
A. Barbier	Septembre	30
Ph. Barry	Décembre	73
Th. Bauer	Mai	55
F. Beauvu	Mars	40
M. Behloul	Janvier	76
A. Benoist	Mars	26
D. Bertel	Mai	16
O. Berthelot	Janvier	18
O. Blanpain	Juillet-Août	43
J. Bonaccorsi	Mai	28
J. Bordignon	Juin	54
L. Borgna	Décembre	73
E. Boudot	Janvier	18
J. Boutineau	Décembre	34
J. Brajon	Septembre	34
L. Brassac	Novembre	20
Ph. Brehmer	Juillet-Août	38
S. Briet	Avril	65
G. Briquet	Décembre	34
Fl. Brochard	Juin	40
L. Brouet	Avril	46
C. Buisine	Septembre	24
M. Buonomo	Février	61
Fr. Buyle-Bodin	Juillet-Août	43
F. Cao	Février	44
P. Carlos	Février	69
J.-M. Cathala	Janvier	62
G. Causse	Janvier	76
J.-M. Charvier	Février	51
J.-M. Constant	Février	44
Y. Chamberlin	Février	38
P. Charles	Novembre	35
P. Charlon	Janvier	30
	Février	79
P. Chassagnette	Juillet-Août	84
A. Chassang	Mars	50
D. Clert	Avril	24
T. Collet	Juillet-Août	43
A. Colson	Juillet-Août	20
J.-P. Commun	Janvier	18
G. Comte	Janvier	76
P. Coppey	Juillet-Août	88
Br. Cote	Mai	28
D. Coulet	Février	44
M. Courtaud	Mai	28
V. Cousin	Juillet-Août	58
J.-Y. Coutures	Mai	71
M. Croc	Juillet-Août	94
M. Croll	Février	44
M. Cyna	Juillet-Août	76
L. Dabet	Février	44
Th. Dallais	Octobre	54
	Novembre	26
J. Daquin	Janvier	38
J.-P. Dargon	Décembre	48
J.-B. Datry	Janvier	50
J. Davy	Janvier	76
K. de Kroes	Avril	46
A. de Meyrignac	Novembre	20
D. De Paoli	Mars	26
A. de Penfentenyo	Mars	35
G. de Pous	Mai	28
	Octobre	34
R. Degeorge	Avril	28
J. Dejter	Octobre	21
M. Dekoster	Juillet-Août	43
B. Del Piero	Juin	57
L. Delattre	Juillet-Août	32
D. Demeilliers	Mars	35
J.-Ph. Depardon	Avril	42
N. Deryckère	Avril	62
P.-G. Dezeuze	Février	69
Cl. Dhondt	Octobre	21
C. Doby	Avril	38
Y. Donadey	Juin	36
J.-L. Dufresne	Février	69
G. Dugard	Octobre	48
H. Dugard	Mars	26
P. Dugas	Décembre	48
J.-M. Dumazert	Avril	62
M. Dunand	Mai	65
H. Duplaine	Mai	71
Fr. Durand	Mai	65
G. Durand	Octobre	26
F. Emerault	Juillet-Août	43
M. Etcheverry	Juin	48
D. Etienne	Janvier	76
B. Falconnat	Février	51
N. Firmino	Octobre	40
J.-L. Foti	Mars	26
G. Frémont	Janvier	71
J.-P. Fundenberger	Novembre	62
H. Gabouge	Septembre	62
B. Gallagher	Novembre	77
P. Galtier	Mai	36
J. Garrissou	Mai	71
B. Gausset	Mars	26
N. Gauthier D'Aunous	Juin	51
S. Geaufreau	Mars	78
P. Gendrin	Octobre	18
S. Ghobad	Juillet-Août	94
J.-Cl. Gincourt	Décembre	81
Cl. Girard	Juin	32
P. Giraud	Février	51
Br. Giroguy	Septembre	48
D. Gouvenot	Juillet-Août	8
J.-P. Grenery	Décembre	48
Ph. Gresset	Juillet-Août	65
P. Gressier	Février	69
J. Gual	Juillet-Août	38
S. Guillien	Février	51
Fr. Guiot	Décembre	59
G. Habasque	Mars	40
W. Hamadeh	Janvier	62
J.-P. Hamelin	Juillet-Août	80
E. Hartweg	Octobre	48
D. Hayward	Octobre	44
Ch. Hénault	Février	38
S. Heude	Mai	28
Ch. Houix	Novembre	52
Ph. Idrac	Novembre	56
Ph. Jacquet	Novembre	42
A. Jasienski	Mars	61
R. Jaubertie	Juillet-Août	43
D. Johnson	Avril	56
J.-L. Jolin	Janvier	56
J.-M. Joly	Novembre	42
A. Jouty	Mai	36
J.-J. Kachrillo	Septembre	30
R. Kastner	Juillet-Août	43
D. Keller	Décembre	81
J. Kerisel	Avril	68
A. Khadir	Mai	76
Hk. Kim	Janvier	76
G. Krüger	Avril	28
Fr. Labaeye	Juin	54
M. Lacazedieu	Avril	52
J. Landrot	Mai	22
Ch. Lanos	Juillet-Août	43
B. Lasnes	Février	29
G. Le Bras	Juillet-Août	43
P. Le Tirant	Juillet-Août	51
C. Lebold	Octobre	48
J. Lebreton	Novembre	72
G. Leca	Novembre	65
V. Lecendre	Avril	46
D. Lecointre	Janvier	18
Kc. Lee	Janvier	76
Ph. Lefils	Septembre	58
Ph. Lemaire	Octobre	21
E. Lemarchand	Octobre	36
Fr. Leve	Janvier	76
B. Lobbedez	Novembre	56
M. Loisel	Janvier	76
D. Loudière	Mai	80
J. Mac Farlane	Décembre	48
P. Maechel	Octobre	48
M.-Cl. Magnié	Septembre	30
G. Mahot	Novembre	29
L. Maison	Juillet-Août	65
M. Malard	Avril	42
P. Malouet	Novembre	42
D. Manseau	Septembre	58
D. Marchand	Octobre	58
J. Marcilloux	Juillet-Août	69
J.-P. Martin	Février	61
	Décembre	20
F. Masrouri	Juillet-Août	43
Y. Maury	Février	85
E. Mazières	Mars	40
R. Mégnegeau	Mai	60
Y. Mélinge	Juillet-Août	43
E. Mercier	Janvier	18
M.-C. Merly	Mars	26
A. Meunier	Octobre	61
O. Miret	Février	44
V. Montel	Février	69
D. Morin	Mars	56
J.-M. Morin	Juillet-Août	94
J. Mossot	Janvier	38
O. Murzilli	Mai	36
G. Mutel	Mars	32
Gr. Nicolle	Novembre	35
D. Noël	Novembre	42
J.-P. Ollivier	Juillet-Août	43
O. Pal	Mai	28
G. Palancade	Février	69
P. Pellarin	Mai	76
G. Pequeux	Janvier	62
G. Perrier	Juin	40
J.-P. Persy	Janvier	62
G. Pétard	Février	29
J. Petit	Février	51
S. Petit	Novembre	52
J. Petitjean	Janvier	18
N. Pich	Octobre	30
A. Pieyre	Octobre	18
G. Pijaudier-Cabot	Juillet-Août	43
A. Pinelli	Novembre	72
M. Placidi	Janvier	18
	Février	69
D. Poulain	Juin	44
Fr. Prunier	Janvier	50
M. Ray	Juillet-Août	94
A. Rech	Mai	28
J.-Ph. Renard	Février	51
J.-P. Reymonet	Juillet-Août	72
R. Richard	Février	69
P. Rolandetti	Février	29
J. Roudier	Juillet-Août	3
R. Roussel	Février	44
A. Rung	Décembre	73
J.-Y. Sablon	Janvier	18
J.-M. Sanchez	Novembre	42
H. Sauvestre	Mai	
N. Schneider-Maunoury	Septembre	48
J. Segui	Mars	50
Cl. Servant	Février	61
	Décembre	20
Cl. Simon	Juillet-Août	38
A. Sismeiro	Janvier	76
CK. Siu	Avril	38
P. Sol	Février	34
Ch. Spaulding	Avril	65
V. Spitz	Novembre	69
B. Steiner	Juin	48
E. Størksen	Décembre	64
H. Struhk	Octobre	48
J.-M. Tanis	Janvier	71
Ph. Thiévent	Septembre	38
H. Thuillier	Juillet-Août	24
R.-N. Trouilhas	Mai	28
Br. Vachin	Février	69
	Septembre	44
A. Valadier	Décembre	48
J. Vassord	Février	69
D. Verlaine	Mars	61
G. Verrier	Juillet-Août	51
G. Vertut	Février	29
G. Veylon	Juillet-Août	38
P. Vignat	Février	24
M. Virlogeux	Décembre	48
G. Viroles	Avril	38
J.-P. Vitu	Février	69
N. Vivien	Janvier	71
P. Voron	Février	16
J.-Fr. Weber	Janvier	38
M. Weick	Février	44
J.-B. Wittner	Octobre	58
M. Yon	Octobre	30
G. Zygomas	Octobre	36