

Travaux

n° 741

SOLS

- La protection du Stade de France contre les émanations gazeuses et les travaux de dépollution
 - Maîtrise de remblais sidérurgiques et houillers en combustion
- Traitement de la zone industrielle de Decazeville (Aveyron)

FONDACTIONS

- Fondations spéciales pour projet en "Top and Down"
- Confortement des fondations d'un immeuble à Paris
Rigidification par voiles et longrines en béton armé associée à une reprise en sous-œuvre par micropieux
- Gain d'espace en souterrain
Construction d'un complexe sportif souterrain au lycée La Rochefoucauld (Paris VII^e)
- Histoires d'eaux en Terre Normande
Deux exemples de soutènement en parois moulées autostables

PONTS

- Le viaduc du Viaur dans l'Aveyron
Un record de France sous vent turbulent
- Langon : ligne SNCF Bordeaux - Sète
Remplacement du tablier métallique du viaduc sur la Garonne
- A 104 : Le viaduc de Pomponne
Levage assisté par ordinateur



Sols et fondations

Ponts

Travaux

numéro 741

avril 1998

Sols et fondations - Ponts



Notre couverture

**Foreuse Soil Mec 350
en espace exigü**

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

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

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél.: (33) 02 41 35 09 95

MAQUETTE

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

VENTES ET ABONNEMENTS

Lucienne Forest
RGRA
9, rue Magellan - 75008 Paris
Tél.: (33) 01 40 73 80 05
France: 900 FF TTC
Etranger: 1100 FF
Prix du numéro: 115 FF (+ frais de port)

PUBLICITÉ

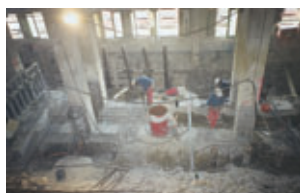
Régie Publicité Industrielle
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél.: (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

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



éditorial

Daniel Tardy

actualités

matériels

Les signatures des entreprises françaises à travers le monde

PRÉFACE

◆ Témoigner du progrès technique
- *Witnessing technological progress*
Jean-Pierre Magnan

SOLS

◆ La protection du Stade de France contre les émanations gazeuses et les travaux de dépollution
- *Protection of Stade de France stadium against gas releases, and pollution control work*
Y. Guillermit, P. Berger

◆ Maîtrise de remblais sidérurgiques et houillers en combustion. Traitement de la zone industrielle de Decazeville (Aveyron)
- *Control of steelworks and coal-field embankments under combustion. Treatment of industrial zone of Decazeville (Aveyron region)*
Y. Paquette, M. Audouin, M. Wojnarowicz, Ch. Lac

FONDACTIONS

◆ Fondations spéciales pour projet en "Top and Down"
- *Special foundations for "top-down" project*
G. Plumerel, B. Walbron, Fr. Renaud

◆ Confortement des fondations d'un immeuble à Paris. Rigidification par voiles et longrines en béton armé associée à une reprise en sous-œuvre par micropieux
- *Strengthening of foundations of a Paris building. Stiffening by bearing walls and footings in reinforced concrete associated with underpinning using micropiles*
B. Mazaré, H. Simon, P. Vandangeon

◆ Gain d'espace en souterrain. Construction d'un complexe sportif souterrain au lycée La Rochefoucauld (Paris VII^e)
- *Space gain underground. Construction of an underground sport facility at the Lycée La Rochefoucauld (Paris VII)*
M. Guillaud

Sommaire

avril 1998

Sols et fondations - Ponts

Dans les prochains numéros

TGV

Méditerranée

Pont sur le Tage

Tunnels

Autoroute

de la Maurienne

Eau

Terrassements

International

Ponts

Routes

Barrages



◆ Histoires d'eaux en Terre Normande. Deux exemples de soutènement en parois moulées autostables
- *All about water in Normandy. Two examples of support using self-stable diaphragm walls*

Ch. Besson

48



PONTS

◆ Le viaduc du Viaur dans l'Aveyron. Un record de France sous vent turbulent

- *The Viaur viaduct in the Aveyron region. A record achievement under turbulent wind*

R. Caffort, G. Vertut, J. Wabinski, D. Le Page, R. Gachiteguy, V. Preyssas, G. Viossanges, M. Roudanes

54



◆ Langon : ligne SNCF Bordeaux - Sète. Remplacement du tablier métallique du viaduc sur la Garonne

- *Langon: SNCF Bordeaux-Sète line. Replacement of metallic deck of viaduct over the Garonne*

B. Chausse, J.-Fr. Weber, B. Plu

64



◆ A 104 : Le viaduc de Pomponne. Levage assisté par ordinateur

- *A 104: The Pomponne viaduct. Computer-assisted hoisting*

Ph. Guggemos

71

économie

75

**répertoire
des fournisseurs**

78



Les signatures des entreprises françaises à travers le monde

DEPUIS 1934 DANS TRAVAUX

Fondations

> **Travaux**

RÉGION	PAYS	OUVRAGE	ENTREPRISES	Année	N°
Afrique	Egypte	Fondations du mÉtro du Caire	Solétanche, Bachy	1985	604
Afrique	Kenya	Jet grouting au barrage de Thika	Bachy	1994	701
Afrique	Madagascar	Sondage minier	Bachy	1973	464
Afrique	Maroc	Pieux à Port Lyautey	Selva Frères, Rondeau et Makcheeff, Maillet Courbot	1938	71
Afrique	Maroc	Tirants d'ancrage du barrage Lalla Takerkoust	Gtm, Intrafor Cofor	1981	554
Afrique	Nigeria	Parois moulées du barrage de Jebba	Fougerolle, Solétanche	1982	566
Afrique	Nigeria	Parois moulées du barrage de Jebba	Solétanche	1984	586
Afrique	Sénégal	Forages dans les Iles du Saloum	Intrafor	1988	637
Afrique	Tunisie	Injections du barrage Bir M'Cherga	Bachy	1973	458
Amérique Nord	Canada	Parois moulées du barrage Manicouagan	Sepicos	1974	466
Amérique Nord	U.S.A	Parois moulées du Fontenelle Dam	Solétanche	1988	637
Amérique Nord	U.S.A	Parois moulées du Navajo Dam	Solétanche	1988	637
Amérique Nord	U.S.A	Parois moulées de Mud Mountain	Solétanche	1992	672
Amérique Sud	Argentine	Parois moulées du barrage deYacyreta	Dumez, Solétanche	1992	672
Amérique Sud	Vénézuela	Parois d'étanchéité et injections au barrage de la Vueltoa	Bachy	1984	593
Amérique Sud	Chili	Ecran étanche du Barrage des Aromos	Bachy	1973	464
Amérique Sud	Chili	Parois moulées du barrage Los Aromos	Bachy	1975	487
Amérique Sud	Venezuela	Parois moulées de la centrale thermique de Moron	Bachy	1978	524
Amérique Sud	Venezuela	Parois moulées à Caracas	Bachy	1973	464
Asie	Hong Kong	Parois moulées de la Gare Centrale	Bachy, Solétanche	1996	726
Asie	Hong Kong	Sondages pour les parois moulées du métro de Hong-Kong	Bachy	1973	464
Asie	Japon	Injections du tunnel de Takayama	Solétanche	1978	524
Asie	Japon	Parois moulées à Sodegaura	Solétanche	1988	637
Asie	Japon	Parois moulées au pont du Shikoku Bridge	Solétanche	1988	637
Asie	Singapour	Parois moulées du barrage Kranji Pan Dam	Bachy	1973	464
Asie	Thaïlande	Consolidation dynamique de barrage	Solétanche	1987	626
Asie	Thaïlande	Parois moulées à Bangkok	Solétanche	1994	697
Europe	Bénélux	Forage de Noord Hollandse Kanaal	Spie Batignolles	1992	672
Europe	Bénélux	Injections à la Cité Administrative de Bruxelles	Solétanche	1973	464
Europe	Bénélux	Injections à Bruxelles Galilee	Solétanche	1973	464
Europe	Bénélux	Pieux du World Trade Center à Bruxelles	Sepicos	1973	464
Europe	Danemark	Parois moulées du tunnel de Borups	Sepicos	1973	464
Europe	Grande-Bretagne	Injections à Kensington	Solétanche	1973	464
Europe	Grande-Bretagne	Injections du Wandsworth Bridge	Solétanche	1973	464
Europe	Grande-Bretagne	Parois moulées à Bristol	Bachy	1973	464
Europe	Grande-Bretagne	Parois moulées du port de Redcar	Sepicos	1973	464
Europe	Grande-Bretagne	Parois moulées de la traversée sous-fluviale à Conway	Bachy	1988	637
Europe	Grande-Bretagne	Parois moulées à la Jubilee Line Extension	Bachy	1995	715
Europe	Grèce	Parois moulées du port d'Eleusis	Sepicos	1973	464

RÉGION	PAYS	OUVRAGE	ENTREPRISES	Année	N°
Europe	Italie	Consolidations au tunnel du Gran Sasso	Bachy	1975	482
Europe	Italie	Injections du tunnel de Gran Sasso	Bachy	1973	464
Europe	Pays-Bas	Injections à Rotterdam	Solétanche	1973	464
Europe	Pays-Bas	Pieux à Omval	Bachy	1973	464
Europe	Portugal	Parois moulées à Lisbonne	Bachy	1973	464
Europe	R.F.A	Injections du Réseau Express à Francfort	Bachy, Solétanche	1973	464
Europe	R.F.A	Barrage de Brombach	Solétanche	1984	593
Europe	Suède	Injections à Stockholm	Solétanche	1973	464
Europe	Suisse	Congélation de sols à Hongrin-leman	Bachy	1973	464
Moyen orient	Arabie Saoudite	Amélioration de sols à Yanbu	Solcompact Ménard	1986	615
Moyen orient	Arabie saoudite	Compactage dynamique à Yanbu	Techniques Louis Ménard	1981	560
Moyen orient	Iran	Colonnes balastées à Tchalus (complexe résidentiel)	Bachy	1979	537
Moyen Orient	Iran	Injections des barrages de Foumen, Sarcheshmeh, Khourang	Bachy	1975	487
Moyen Orient	Iran	Parois moulées des barrages de Mahabad, Nekeuabad, Gotvand	Bachy	1975	487
Moyen Orient	Iran	Fondations par pieux de 12 ponts et de 14 bâtiments industriels	Bachy	1975	487
Moyen Orient	Iran	Sondage à Chah Abbas Kabir	Bachy	1973	464
Moyen Orient	Liban	Injections du barrage de Karaoun	Bachy	1964	353
Moyen orient	Liban	Parois moulées à Beyrouth	Bachy	1973	464
Moyen orient	Turquie	Sondages à Keban	Bachy	1973	464
Océanie	Australie	Fondations de l'Échangeur routier de Perth	Citra(Cie Industrielle de Travaux)	1973	464
Océanie	Australie	Parois moulées et jet grouting de la Southern Railway	Intrafor	1996	725
Océanie	Australie	Micropieux pour reprise en sous-oeuvre à Melbourne	Bachy	1978	524

Témoigner du progrès technique

Dans le monde du génie civil, et tout particulièrement dans celui des sols et fondations, le chantier reste le juge souverain de l'innovation et du progrès des connaissances : les méthodes de reconnaissance et de calcul, comme les techniques de construction et de contrôle, ne peuvent se répandre que quand elles ont déjà été appliquées, et si ces expériences sont décrites et largement diffusées. La revue Travaux est l'un des vecteurs indispensables de cette information technique et ce numéro d'avril 1998 témoigne de la diversité et de la créativité de nos bureaux d'études et entreprises.

Malgré la morosité du climat économique et les difficultés de ces grandes, moyennes et petites entreprises, jamais leurs moyens techniques n'ont été aussi puissants et les procédés de travaux sont bien souvent en avance sur les méthodes de conception et de contrôle. Le chantier est pour cette raison aussi l'inspirateur de beaucoup de recherches, sur les méthodes de reconnaissance et d'essais, sur les méthodes de calcul, sur le comportement des matériaux.

Plus profond, plus gros, plus rapide, plus fiable, plus confortable... l'évolution s'est faite à la fois dans tous les sens. Descendre les fondations à plus de cinquante mètres, raser des collines pour constituer des îles artificielles, construire des ponts de plus de deux kilomètres de portée, creuser des tunnels sous les mers... sont devenus des actes presque courants, qui repoussent toujours plus les limites de nos rêves. Ce sont ces travaux qui montrent les insuffisances de nos méthodes d'étude.

Les ingénieurs des bureaux d'études et des entreprises doivent attribuer des propriétés physiques et mécaniques à des terrains de toutes natures, même quand ils ne peuvent les prélever pour faire des essais. Ils portent un regard renouvelé sur les méthodes de calcul des interactions entre les sols et les structures, pour les solliciter aux limites de leurs possibilités, souvent au-delà... Car le coût des ouvrages dépend parfois de détails infimes. Dans une étude récente, la déci-

sion de chemiser des barrettes sur près de trente mètres dépendait de l'estimation des tassements au-delà de trente mètres de profondeur dans des dépôts deltaïques argilo-sableux récents. Ce tassement ne représentait que 10 % du tassement total des couches déformables et il fallait de plus le limiter aux déformations après une certaine date. Ce tassement estimé était ensuite comparé à un seuil de quelques centimètres, dépassant à peine l'incertitude des mesures, pour le cas où l'on aurait voulu le contrôler directement.

On est bien au-delà de la précision couramment acceptée pour l'amplitude des tassements totaux et la consolidation des couches argileuses.

Le progrès des chantiers suscite donc celui des projets, et des disciplines de la recherche. Les problèmes d'environnement, l'exploitation plus complète de l'espace disponible dans les villes, les travaux nécessaires au développement des communications et des transports sont

quelques-uns de ces champs d'expérience et de développement technique qui conditionnent les connaissances du XXI^e siècle et qui feront sans nul doute partie des thèmes des numéros futurs de cette revue.



■ **JEAN-PIERRE
MAGNAN**
**Directeur technique
au LCPC**
Professeur à l'ENPC

La protection du Stade contre les émanations gazeuses

La présence d'une forte pollution par hydrocarbures de la nappe et des terres sur le site de construction du Stade de France, accompagnée d'émanations de H₂S a nécessité la réalisation d'importants travaux de protection de l'ouvrage contre des risques et nuisances inacceptables. Les travaux de protection par confinements vertical et horizontal ont été complétés pour réduire les coûts ultérieurs d'exploitation, par une dépollution par pompages des gaz et écrémage de la nappe.

■ HISTORIQUE DE LA POLLUTION

Sur la zone du Cornillon site de construction du stade, depuis 1882 et jusqu'à 1969 des activités de production et stockage de gaz de houille, de fabrication de produits chimiques, de coke, et finalement une usine à goudron routier se sont succédés.

Par ailleurs, sur l'ensemble de la Plaine Saint-Denis des industries anciennes potentiellement polluantes, et des installations de stockages de solvants et d'hydrocarbures sont répertoriées.

Héritage de ce passé du site et de son environnement industriel, deux types de pollutions ont été successivement révélés par les investigations préalables à la construction du stade et par les travaux de fondation eux-mêmes.

■ CHRONOLOGIE DES ACTIONS ENVIRONNEMENTALES

Avant la prise de possession du site par le Consortium, Gaz de France, a fait réaliser une dépollution des terrains superficiels principalement contaminés par des hydrocarbures polycycliques. Environ 70 000 m³ de sols ont été excavés, triés, évacués ou décontaminés pour réemploi sur place. En juillet 95 après mise en évidence d'une importante pollution profonde par hydrocarbures flottants sur la nappe phréatique, le Consortium a confié à la société Sefi la réalisation d'une paroi périphérique de confinement isolant le sous-sol du stade des apports extérieurs possibles par l'écoulement général de la nappe.

Au cours des travaux de fondation et de confinement des émanations gazeuses (H₂S et hydrocar-

bures) ont été décelées. En octobre 95, les risques et les nuisances engendrés par les émanations gazeuses étant jugés inacceptables, le Consortium a lancé pour le compte de l'État un concours pour la conception et la réalisation d'une protection du stade contre ces émanations.

Le groupement Antéa - Ménard Soltraitement a remporté ce concours.

■ LA PAROI DE CONFINEMENT VERTICAL

La ceinture étanche antipollution réalisée par Sefi en moins de 2,5 mois pour 16 000 m² est une paroi au coulis autodurcissable, moulée dans le sol et forée à l'aide d'outillages classiques (pelle hydraulique et benne hydraulique à câble).

La paroi est réalisée en continu, les joints entre panneaux sont assurés par reforage du coulis des panneaux adjacents.

Principales caractéristiques de la paroi

Longueur : 1100 m ;

Épaisseur : 0,6 m ;

Profondeur : 14,5 m.

Le coulis autodurcissable est un mélange de bentonite, de ciment, de sable, d'argile et d'adjuvants, qui reste fluide pendant la perforation et fait prise au bout de quelques heures, constituant le rideau étanche définitif.

Propriétés du coulis Ecoséal Sefi

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

◆ étanchéité : $k < 10^{-8}$ m/s ;

◆ pérennité : bonne résistance à la pollution aux hydrocarbures ;

◆ fissuration limitée : module voisin de celui du sol. Comportement élastoplastique limitant la fissuration.

■ LE CONFINEMENT HORIZONTAL, LA BARRIÈRE AÉRAULIQUE

(photos 1 et 2)

Les émanations gazeuses sont interceptées par un système de captage horizontal continu constitué d'un tapis drainant en grave naturelle et d'un ré-

Photo 2
Travaux drains
et membranes
sous pelouse

*Works for placing drains
and membranes
under turf*



de France et les travaux de dépollution

Yves Guillermit



INGÉNIEUR
ENVIRONNEMENT
Ménard Soltraitemnt

Pierre Berger



DIRECTEUR GÉNÉRAL
Sefi

seau dense de drains type Ménard Vacuum dans lequel une légère dépression de 50 mm de CE environ est maintenue.

Sous les zones de gradins le dispositif est séparé de l'atmosphère par les dallages en sous-sol. Sous aire de jeu, pistes et pelouse une membrane horizontale en PVC assure cette fonction (figure 1). La conception du système permet à la fois le captage des polluants gazeux et un balayage de la couche drainante par de l'air frais introduit par des fuites en périphérie de la membrane sous aire de jeux et par les dallages. Ces dispositions interdisent une accumulation localisée de gaz sous l'ouvrage.

Des capteurs de concentration de gaz sont disposés sous les zones protégées, ils sont reliés à une télésurveillance externe.

L'aspiration est assurée par un ensemble de huit surpresseurs à vitesse variable, installés dans quatre locaux techniques insonorisés situés au niveau de la piste. Ils sont reliés, par un réseau de collecteurs enterrés, à vingt-quatre zones de captage dont les paramètres de fonctionnement peuvent être ajustés individuellement. Le mélange air, émanations gazeuses est refoulé vers une salle de traitement équipée de deux filtres à charbon actif et de puissants ventilateurs.

Ces équipements sont reliés entre eux par le réseau câblé du stade et pilotés par une GTC dédiée.

Caractéristiques de la barrière aéraulique

Elles sont les suivantes :

- ◆ surface protégée : 55 000 m² ;
- ◆ drains Ménard Vacuum : 60 000 m ;
- ◆ collecteurs : 6 000 m ;
- ◆ étanchéité joints : 10 000 m ;
- ◆ membrane : 22 000 m² ;
- ◆ terrassements : 25 000 m³.

Equipement locaux techniques

Il s'agit de :

- ◆ 4 pompes 2 000 m³/h, 25 kW ;
- ◆ 4 pompes 250 m³/h, 5 kW ;
- ◆ 2 ventilateurs 3 500 m³/h, 30 kW ;
- ◆ 10 cyclones refroidisseurs, 250/3000 m³/h ;
- ◆ 2 filtres charbon, 1 000 kg ;
- ◆ 2 postes GTC.

La principale difficulté du chantier était de réaliser les travaux quasiment en temps masqué dans le programme général de construction du Stade de France qui ne les prévoyait pas à l'origine. Le projet a donc été continuellement adapté pour tenir compte de cet impératif.

Le type d'organisation Assurance Qualité très rigoureux, en particulier dans la gestion des interfaces, adoptée par le Consortium, a révélé en fait,



Photo 1
Pose des drains sous pelouse
Placing of drains under turf

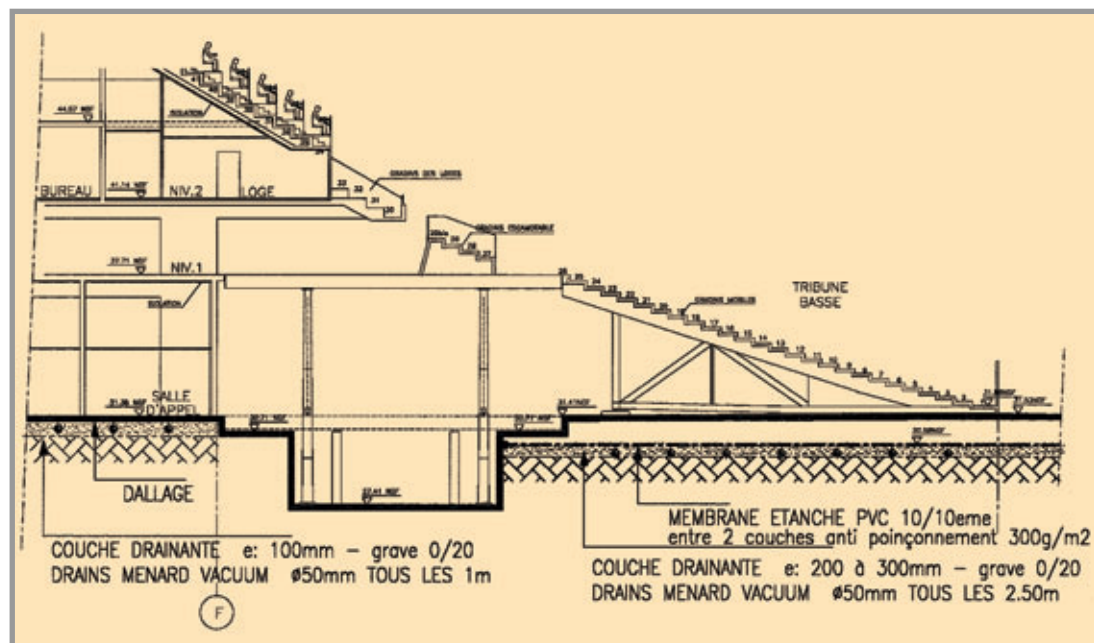


Figure 1
Dispositif de captage des émanations gazeuses
barrière aéraulique

Air-flow barrier system for catching gas releases



Photo 3
Oxydeur
catalytique
Catalytic
oxidiser



Photo 4
Tête de puits d'écumage.
Parvis Stade de France
Skimming shaft head.
Stade de France court

Dépollution par "venting"	Dépollution par écrémage
6 pompes de 22 kW	680 ml de tranchés drainantes
120 000 000 m ³ d'air traité	8 puits de 1,2 m, profondeur 15 m
2 oxydeurs catalytiques de 1 300 m ³ /h	50 000 m ³ d'eau traitée
50 000 kg de C.O.V. extraits	22 000 litres d'hydrocarbures détruits

Tableau I
Dépollution,
quelques chiffres significatifs
Decontamination,
a few significant figures

► une remarquable souplesse permettant cette adaptation en continu dans le respect de la qualité et des délais.

■ LES ACTIONS DE DÉPOLLUTION

Les pompages de sécurité

Pendant les travaux de construction du stade à mesure de l'avancement des dallages, les zones terminées sont mises en légère dépression par des pompes provisoires, pour pallier tous risques d'accumulation et de concentration excessives des gaz provenant du sous-sol.

Les gaz extraits sont détruits par oxydation catalytique, tant que les concentrations excèdent les valeurs de rejet libre dans l'atmosphère.

Les concentrations en gaz polluants sont mesurées et suivies par des capteurs avec enregistrement séquentiel des valeurs, un échantillonnage régulier avec analyse en laboratoire et par appareils portables de chantier.

La dépollution par "venting"

(photo 3)

Le groupement Antéa - Ménard Soltraitement ayant démontré l'intérêt économique d'une pré-exploita-

tion intensive du système, les pompages de sécurité ont été renforcés pendant toute la durée des travaux pour extraire un maximum de polluants par "venting". Le découpage de la barrière en zones a permis une action sélective d'optimisation du traitement. La destruction des C.O.V. par deux oxydeurs catalytiques combinée à des rejets directs a conduit à des concentrations permettant de prévoir que le recours aux filtres à charbon actif pendant l'exploitation du stade sera exceptionnel.

La dépollution par écrémage de la nappe (photo 4)

Pour compléter la dépollution en phase gazeuse, un pompage sélectif a permis d'éliminer par écrémage un maximum d'hydrocarbures légers flottants.

Deux systèmes ont été utilisés conjointement. Sur un demi-stade, dans la zone la plus polluée deux tranchées drainantes profondes de part et d'autre de la fosse de relevage des gradins ont été mises en place à l'occasion de la construction de cette fosse.

Des puits "captants" situés entre la paroi et le voile extérieur de l'arène ont été maintenus en exploitation tant qu'ils ne gênaient pas les travaux du Consortium. Les polluants écrémés sont stockés puis envoyés pour destruction dans un centre spé-

cialisé. Les eaux de pompage sont traitées par une unité de séparation des hydrocarbures liquides et dissous résiduels avant rejet à l'égout aux normes en vigueur (tableau I).

■ CONCLUSIONS

Cette opération combinée de confinements vertical et horizontal et de dépollution est la plus importante connue à ce jour, menée pour permettre la construction et l'exploitation sans nuisances d'un ouvrage aussi sensible qu'un stade recevant 80 000 personnes. En dépit de la difficulté extrême qu'il y avait à inscrire de tels travaux, non prévus, dans le planning général de réalisation du Stade de France Antéa - Ménard Soltraitement, titulaire d'un contrat "conception - construction" a exécuté sa mission et atteint les objectifs fixés, dans les délais convenus.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **La Dicom** : Délégation interministérielle à la Coupe du Monde représentant l'État, le concédant
- **La SANEM** : Société anonyme d'économie mixte. Aménageur de la ZAC du Cornillon à Saint-Denis
- **Le Consortium Stade de France** : concessionnaire et maître d'ouvrage du stade
- **GSP** : Grand stade projet, maître d'œuvre du stade
- **CEP Véritas** : bureau de contrôle nommé par GSP
- **GSC**, le GIE Grand Stade Construction réalisant les travaux de construction du stade
- **Antéa et Ménard Soltraitement**, le groupe titulaire du contrat de "Protection du stade contre les émanations gazeuses" en conception-construction, maître d'œuvre et entreprises pour les travaux et la dépollution

ENGLISH SUMMARY

Protection of Stade de France stadium against gas releases, and pollution control work

Y. Guillermit, P. Berger

The presence of significant hydrocarbon pollution in the groundwater and land on the Stade de France stadium construction site, accompanied by emanations of H₂S, required major works to protect the structure against unacceptable disturbances and risks. The protection works, using vertical and horizontal confinement, were supplemented, to reduce subsequent operating costs, by decontamination work involving gas pumping and groundwater skimming.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Schutz des Stade de France vor Gasausströmungen und Untergrund-sanierung

Y. Guillermit, P. Berger

Das Vorliegen einer starken Kohlenwasserstoffverseuchung des Grundwassers und des Bodens am Standort des Stade de France in Verbindung mit H₂S-Ausströmungen hat umfangreiche Maßnahmen erforderlich gemacht, um das Stadion vor dem Auftreten unzumutbarer Risiken und Belästigungen zu schützen. Die Arbeiten in Form von vertikal und horizontal realisierten Einschließungen werden durch Abpumpen der Gase und Abschäumen des Grundwassers ergänzt, um die künftigen Betriebskosten nicht in die Höhe zu treiben.

RESUMEN ESPAÑOL

Protección del Estadio de Francia contra las emanaciones gaseosas. Trabajos de descontaminación

Y. Guillermit y P. Berger

La existencia de una intensa contaminación por los hidrocarburos de las aguas subterráneas (capa freática) y de los terrenos en el emplazamiento de construcción del Estadio de Francia, acompañada de emanaciones de H₂S ha precisado la ejecución de importantes trabajos de protección de la estructura contra diversos riesgos y molestias inaceptables. Los trabajos de protección por confinamientos vertical y horizontal se han complementado para reducir los gastos ulteriores de funcionamiento, por medio de una descontaminación por bombeos de gas y limpieza de la capa freática.

Maîtrise de remblais sidérurgiques

Traitement de la zone de Decazeville (Aveyron)

Une plate-forme de remblais issus des industries du charbon et de l'acier était en combustion depuis quelques années sur le site de la zone industrielle centre de Decazeville (Aveyron).

Pour faire face à la progression rapide et inquiétante de cet échauffement à proximité d'une conduite de gaz, de bâtiments industriels, d'habitations ainsi que d'une route nationale, des techniques spécifiques de reconnaissance, d'analyse des matériaux puis de traitement ont été mises en œuvre pour assainir le site dans des conditions de sécurité optimales, tout en minimisant les nuisances environnementales de cet important chantier en site urbain.

Début 1997, l'Ineris a effectué, pour le compte de la mairie de Decazeville, maître d'ouvrage, la reconnaissance par sondages et analyses d'une plate-forme de remblais houillers et sidérurgiques en cours de combustion sur le site de la zone industrielle centre (figure 1). Cette étude a révélé les risques sérieux d'extension de l'échauffement à l'ensemble de la plate-forme industrielle, avec d'importantes conséquences économiques, outre les risques d'explosion et d'incendie liés à la proximité d'une conduite de gaz basse pression. L'Ineris a alors élaboré et proposé à l'administration un avant-projet sommaire de traitement du site. Ce projet aussitôt approuvé, les lourdes opérations d'assainissement du site qui s'imposaient ont été engagées rapidement.

Après consultation de bureaux d'ingénierie en géologie et géotechnique environnementales, la maîtrise d'œuvre et la conception technique du projet définitif ont été confiés à Terrasol, qui possède une bonne expérience de la conduite de projets de gestion de déchets.

La consultation des entreprises de travaux a désigné le groupement Fougerolle-Ballot, spécialisé dans l'exécution de travaux environnementaux spéciaux, comme mandataire en association avec deux entreprises locales : Sats pour les travaux d'injection et de soutènement, Rouquette pour les terrassements et transports.

L'Ineris a assuré tout au long des travaux la direction de la maîtrise des risques en tant qu'assistant au maître d'ouvrage.

Trois mois de travaux de terrassement lents et méthodiques dans des matériaux incandescents, d'in-

jections spéciales et de soutènement, ont été nécessaires pour traiter et mettre en sécurité le site, entre juillet et octobre 1997.

Après un bref rappel sur la sensibilité des matériaux houillers et sidérurgiques aux risques de combustion, nous présenterons successivement le contexte particulier du site, la méthodologie employée pour la reconnaissance et l'évaluation des risques, les travaux de traitement entrepris et les techniques de contrôle mises en œuvre, tant pour le suivi de l'évolution de l'échauffement que pour l'évaluation du potentiel polluant des produits manipulés, ainsi que les moyens de prévention adoptés.

■ SENSIBILITÉ DES DÉPÔTS HOUILLERS ET SIDÉRURGIQUES AUX RISQUES D'ÉCHAUFFEMENT

Les dépôts houillers présentent classiquement des risques d'échauffement lorsque certaines conditions sont réunies, principalement la présence de matières combustibles (charbons, schistes charbonneux ou bitumineux) et d'une granulométrie hétérogène et grossière favorisant la pénétration d'air et l'apport d'oxygène nécessaire à la combustion (cf. biblio. Y. Paquette, 1997).

Les schistes noirs et bitumineux du bassin houiller de Decazeville sont réputés de longue date pour leur propension à se consumer, tant dans les terrains en place que dans les zones de verses minières, du fait de leur teneur en carbone, en matières volatiles et en pyrite.

Morand en 1781 (cf. biblio), dans sa note "Sur les montagnes ou mines de charbon de terre embrasées spontanément", décrit dès cette époque très précisément les effets de ce phénomène "naturel", notamment dans les montagnes du Rouergue.

A Cransac, dans le bassin houiller de Decazeville, le site de "La montagne qui brûle" fait ainsi l'objet, depuis l'époque romaine (cf. biblio. abbé Bosc, 1797), d'une activité thermique exploitant les bienfaits thérapeutiques des émanations gazeuses sulfurées et des eaux thermales minéralisées au contact des zones échauffées (cf. biblio. Lacout et Mazars).

Enfin, les scories issues des cendrées des hauts-fourneaux, voire de celles des anciennes locomotives à vapeur, sont également connues pour les risques d'échauffement de remblais constitués à

Figure 1
Vue aérienne du site en combustion de la zone industrielle de Decazeville
Aerial view of site under combustion in the Decazeville industrial zone



et houillers en combustion industrielle

partir de ces matériaux, lorsqu'ils contiennent suffisamment de résidus charbonneux (coke) imbrûlés (cf. Y. Paquette, 1997).

■ CONTEXTE GÉNÉRAL DU SITE ET HISTORIQUE DES DÉSORDRES

Contexte général

La zone en combustion a concerné l'extrémité ouest de l'ancienne plate-forme des installations sidérurgiques de Decazeville, édifiée au début du XIX^e siècle dans la vallée du Riou-Mort.

Ce secteur marécageux a été progressivement comblé par des remblais d'origine sidérurgique (scories, laitiers, mâchefers, verres), issus des premières batteries de hauts-fourneaux installées sur le site, pour permettre l'extension des usines (*Historique des forges de Decazeville*, cf. Levêque, 1916). L'épaisseur des remblais sidérurgiques, mis en place dans le secteur étudié vers 1892, était de 5 à 7 m (figure 2).

En 1959, la plate-forme d'activité Vallourec, longue de 750 m et large de 400 m, a fait à nouveau l'objet d'une extension vers l'ouest pour réaliser un quai ferroviaire de chargement, le long de l'ancienne voie ferrée de desserte régionale.

Pour ce faire, une partie de l'ancien parc d'agrément de la Direction des Houillères a été acquise par Vallourec et remblayée. Cent mille mètres cubes d'enrochements issus des terrains de découverte de la mine à ciel ouvert de charbon de Decazeville, constitués de schistes noirs et grès arkosiques, ainsi que 3 000 m³ de schistes de la voir, ont permis d'édifier une nouvelle plate-forme

de remblais de 2 ha, épaisse d'une dizaine de mètres.

Avec la fermeture en 1987 de l'établissement sidérurgique, la friche industrielle a été progressivement réaménagée et de nouvelles usines installées dans les bâtiments réutilisables, dans le cadre des plans de reconversion de l'acier et du charbon.

La plate-forme de l'ancien remblai houiller a été aménagée en aire de parking, en 1989, après le démantèlement et la dépose des bois de traverses ferroviaires.

L'emprise de l'ancienne voie ferrée régionale a finalement été réutilisée en 1991 pour servir d'assise au tracé de l'actuelle RN 140.

Evolution des désordres

Initiation de l'échauffement dans le remblai houiller

L'échauffement se serait initié en 1991 à l'extrémité ouest du remblai houiller schisto-gréseux à la suite des travaux d'aménagement de l'ancienne friche industrielle, soit par un mécanisme d'auto-échauffement des matériaux amorcé par des terrassements, soit par un feu de bois et de broussailles.

L'échauffement s'est ensuite propagé lentement à l'ensemble de la plate-forme du remblai houiller, en progressant d'une centaine de mètres vers le nord, le long du talus, et d'une quarantaine de mètres vers l'est, sans poser de sérieux problèmes environnementaux ni de désordres importants de type affaissement. La vitesse de progression dans les schistes et grès houillers a été de 20 m par an en moyenne, le long du talus ouest, de 1991 à fin 1995 (figure 3).

Yves Paquette

CHEF DE PROJET
Ineris



Michel Audouin

DIRECTEUR
DU DÉPARTEMENT
TERRASSEMENT
Fougerolle-Ballot



Michel Wojnarowicz

DIRECTEUR DE PROJET
ET DU DÉVELOPPEMENT
Terrasol



Christophe Lac

INGÉNIEUR
GÉOTECHNICIEN
Terrasol

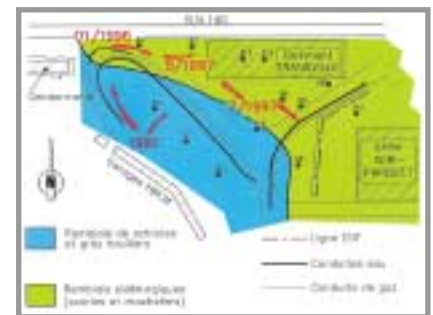


Figure 3
Etat initial du site, sondages de reconnaissance, cinématique de la propagation de l'échauffement

Initial condition of site, reconnaissance borings, heat propagation process

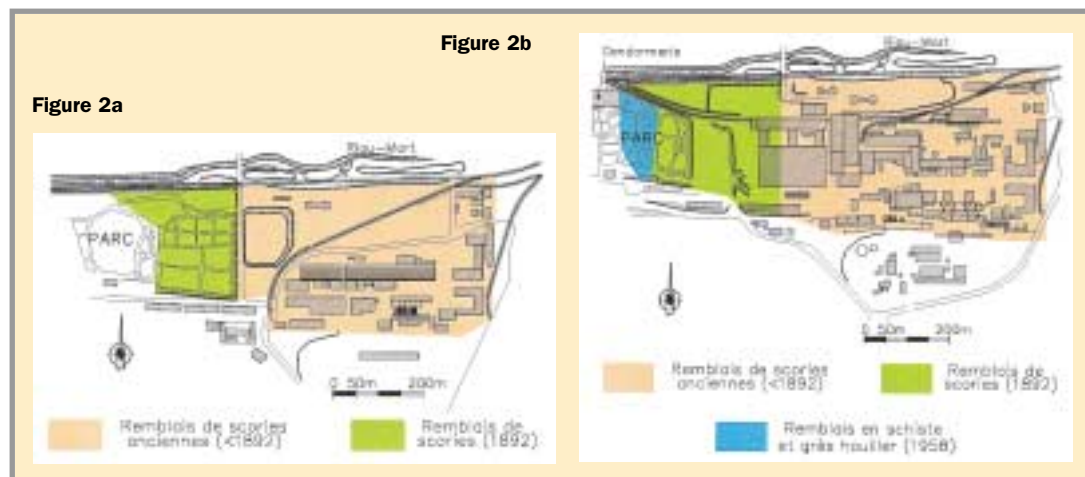


Figure 2
Evolution de la plate-forme d'activité sidérurgique de Decazeville au XIX^e siècle. Etat du site en 1892 (figure 2a) ; en 1912 (figure 2b) (d'après Levêque - 1916)

Evolution of Decazeville steelmaking activity district in the XIX century. Condition of site in 1892 (figure 2a) ; in 1912 (figure 2b) (after Levêque - 1916)

► **Propagation de l'échauffement dans le remblai sidérurgique** (photo 1)

Début 1996, l'évolution du phénomène s'est accélérée lorsque l'échauffement a atteint, au nord du site, les secteurs remblayés à la fin du XIX^e siècle par des scories et mâchefers riches en résidus de coke et particulièrement perméables à l'air.

De très fortes températures (de l'ordre de 750 °C) ont été mesurées sur le talus de scories, à une vingtaine de mètres d'un immeuble. Des flammèches liées à la combustion des gaz issus de la pyrolyse des matériaux y étaient visibles la nuit. Les nuisances olfactives liées aux émanations gazeuses soufrées se sont intensifiées, conjuguées à l'émission de poussières.

Des tassements de surface, associés à une importante fissuration ouverte, ont affecté une partie de l'accotement de la route nationale ainsi qu'un mur de soutènement, à l'emplacement de l'ancien embranchement ferroviaire.

L'échauffement a ensuite progressé rapidement vers l'est, le long de la RN 140. Il a atteint, à raison de 10 m d'avancée par mois, l'aile ouest d'un ancien bâtiment industriel à ossature métallique, récemment rénové mais heureusement inoccupé (bâtiment dit Transville).

Avec l'évolution de la combustion sous les fondations superficielles, d'importants dégâts sont apparus progressivement sur cette partie du bâtiment, entre mai 1996 et septembre 1997, date de sa démolition. On a observé au contact remblai/dallage, un affaissement de l'ordre de 1 m pour une épaisseur de 5 m de remblais sidérurgiques, soit 20 % de tassement.

Photo 1
Bâtiment Transville : crevasses et affaissements de la chaussée, bâtiment endommagé. Arrière-plan : remblai houiller
Transville building: cracks and sinking of pavement, with damage to building.
Background: coal-field embankment



A la fin du premier trimestre 1997, l'échauffement évoluait rapidement et dangereusement, devant ce bâtiment, vers une conduite de gaz industriel à basse pression et une ligne électrique à haute tension enterrées, ainsi que vers une usine de fabrication de parquets.

■ RECONNAISSANCES ET ANALYSES DES MATÉRIAUX

Sondages de reconnaissance, cartographie des températures

Treize sondages de 6 à 14 m de profondeur ont été réalisés sous le contrôle de l'Ineris en mars 1997 sur l'ensemble du site, afin de cartographier la nature et la composition des différents remblais, déterminer au laboratoire leur sensibilité à l'échauffement, contrôler et suivre la température des terrains.

Compte tenu des risques liés aux terrains chauds susceptibles de contenir des gaz toxiques et explosibles, les forages ont été effectués avec une foreuse marteau fond de trou équipée d'un arrêt d'urgence. Un contrôle de la nature des gaz et de leur concentration était régulièrement effectué pendant la foration. Le personnel de sondage disposait d'un matériel de respiration autonome en cas de nécessité.

Les produits bouillants ont été prélevés par passes de 1 m après battage d'un tube provisoire en acier Ø 180 mm. Un tube en acier de Ø 33/42 mm a été positionné ensuite dans chaque forage pour permettre le suivi des températures par un thermocouple. Le tubage provisoire une fois extrait, l'espace annulaire a été comblé par du sable puis bétonné en tête pour limiter les entrées d'air susceptibles d'attiser la combustion en profondeur.

Trois sondages (S1 à S3) ont reconnu le remblai houiller mis en place en 1959, avec des grès et des schistes noirs ou rouges, sur une épaisseur de 9 à 11 m. Des températures de 250 et 350 °C entre 3 et 5 m de profondeur, ont été mesurées dans les sondages S1 et S3, au centre et au nord du remblai (figure 4). Le sondage S2, au sud du remblai et dans des terrains plus gréseux, présentait un profil de température constant de 30 °C.

Dix autres sondages (S4 à S13) ont reconnu la composition et la température des remblais sidérurgiques, le long de la route nationale, dans le bâtiment industriel Transville, et au sud-est de la zone chaude, en direction de la plate-forme d'activité menacée par la progression de l'échauffement.

Les sondages S4 et S7 le long de la route nationale ont révélé des remblais graveleux noirs, riches en scories et mâchefers, avec des températures maximales observées à 4 m de profondeur, respectivement de 50 et 70 °C.

Dans le bâtiment Transville, les sondages S12 et S13 ont traversé des scories noires avec des températures maximales respectives de 30 et 16 °C. La température tiède du sondage S12 confirmait la progression de l'échauffement sous l'aile ouest du bâtiment, en conformité avec le constat d'aggravation des désordres (fissurations des murs et dallages, déformation de la structure métallique porteuse et d'un pont roulant). Une action rapide

s'imposait donc pour la sauvegarde du reste de l'édifice.

Au sud-est de la zone de combustion la plus active, en façade du bâtiment, les sondages S5, S6, S8, S9, S10 et S11 ont également reconnu des matériaux graveleux noirs avec des passées riches en scories et laitiers sur des épaisseurs de 7 à 11 m. Les sondages S5 et S6 se sont révélés chauds (55 et 80 °C respectivement vers 3 à 4 m de profondeur), le sondage S10 tiède (25 °C) alors que les sondages S8, S9, S11 étaient froids (moins de 20 °C).

Ces premières mesures de température en sondages, complétées par les observations en période neigeuse de début 1997, ont permis de dresser la cartographie des zones chaudes et de suivre l'évolution de l'échauffement jusqu'à la réalisation des travaux, début juillet 1997.

Résultats des tests de combustion

Une vingtaine d'échantillons remaniés prélevés en sondages ont fait l'objet de tests de combustion pour examiner leur sensibilité à l'échauffement. Deux types de tests de combustion ont été effectués dans les laboratoires de l'Ineris : un test de combustion à l'étuve et une analyse thermique différentielle, dite test Kuhner.

Test de combustion à l'étuve isotherme

Le test de combustion à l'étuve isotherme permet d'évaluer la réaction à l'échauffement de 1 dm³ de matériaux concassés et homogénéisés, soumis ici à une température régulée à 250 °C. Si la température interne des matériaux testés dépasse 300 °C au bout de 24 heures, on considère que le produit est entré en combustion, pour le volume considéré, et on laisse la réaction se poursuivre plusieurs jours jusqu'à enregistrer le pic de température maximum Tmax (figure 5). L'échantillon est finalement pesé pour déterminer la perte de masse liée à l'évaporation de l'eau et à la combustion des produits combustibles (figure 6).

Les trois échantillons prélevés dans les schistes houillers noirs se sont révélés très peu réactifs puisque les températures maximales mesurées ont été de 261 °C, 254 °C et 317 °C pour des pertes de masse inférieures à 2,5 %. Ces tests ont montré que le remblai houiller, bien que très chaud, était en fin de combustion. La baisse des températures constatée dans ce remblai entre mars et juillet 1997 a confirmé ce diagnostic.

En revanche, les essais sur les produits sidérurgiques prélevés autour du bâtiment Transville, à l'intérieur de celui-ci et en direction des installations industrielles en activité, ont donné des résultats globalement très exothermiques. Les températures ont atteint 400 à 550 °C pour des pertes de masse de 20 à 30 %, d'où les sérieuses

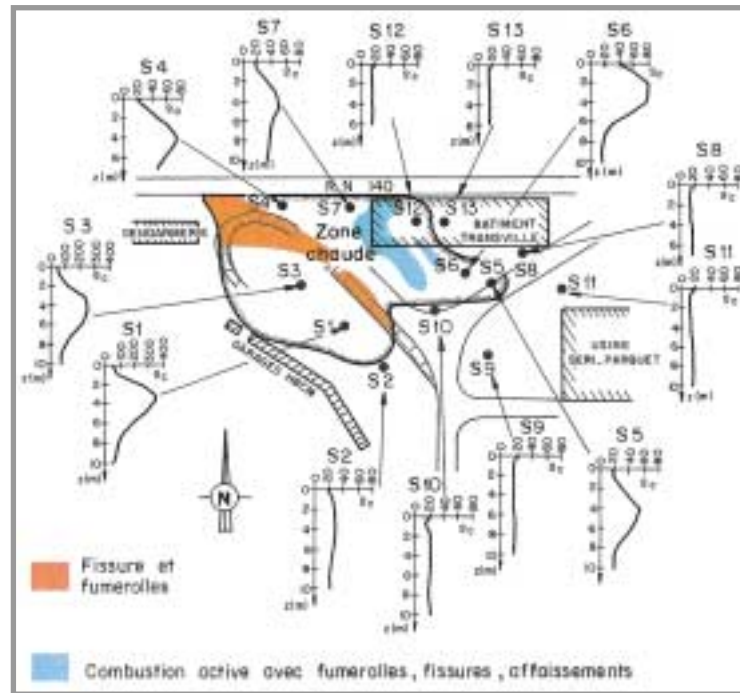


Figure 4
Cartographie des mesures de température dans les sondages de reconnaissance à fin mars 1997

Mapping of temperature measurements in reconnaissance boreholes at the end of March 1997

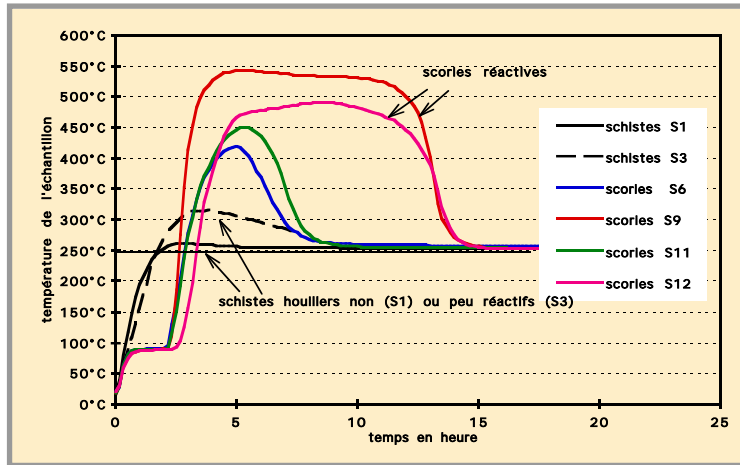


Figure 5
Test de combustion à l'étuve isotherme (régulée à 250 °C) sur les produits sidérurgiques (réactifs) et houillers (non réactifs)

Combustion testing in isothermal oven (set at 250 °C) on steel mill (reactive) and coal-field (non-reactive) products

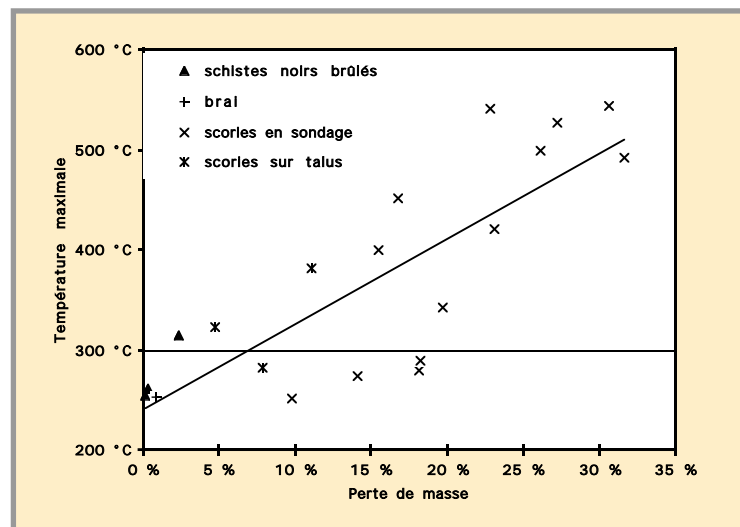


Figure 6
Tests de combustion à l'étuve isotherme (régulée à 250 °C) : relation entre perte de masse et température maximale atteinte

Combustion testing in isothermal oven (set at 250 °C): relation between loss of mass and maximum temperature reached

inquiétudes quant au risque de propagation de l'échauffement à tout le secteur. Ce diagnostic a été confirmé par la progression de l'échauffement vers la zone industrielle et l'élévation des températures dans les sondages de ce secteur, entre avril et juillet 1997.

voquer de sérieux risques d'explosion et de projection de matériaux incandescents.

La seule technique utilisable pour stopper la progression d'un tel échauffement demeure le défournement des produits chauds par terrassement en tranches descendantes et substitution par des matériaux inertes. Il a donc été décidé d'excaver et de défourner l'ensemble des scories chaudes du site, soit 15 000 m³ et de les stocker temporairement sur place pour permettre leur refroidissement en les étalant à l'air par couches minces et en les brumisant à l'eau sur une aire réservée.

Priorité a été donnée au traitement de la zone chaude face au bâtiment Transville, de manière à contenir la progression vers la zone industrielle, les scories chaudes sous l'aile ouest du bâtiment Transville devant être défournées dans une dernière phase, après démolition de cette partie du bâtiment (photo 2).

Le choix de sauvegarder les 2/3 du bâtiment non affectés par l'échauffement a nécessité de contenir la progression de la combustion sous cette partie du bâtiment par un barrage d'étanchéification réalisé par injection d'un coulis de ciment-bentonite chargé en fines calcaires (filler). Une paroi de soutènement, de type mini-berlinoise, a été mise en place en façade de la partie de bâtiment à préserver pour permettre l'excavation des scories au plus près.

Compte tenu du résultat favorable des analyses préliminaires sur lixiviats, il a été décidé d'évacuer les résidus sidérurgiques, une fois refroidis, vers un site de l'exploitation minière de Decazeville.

Le remblayage des excavations dans les résidus sidérurgiques a finalement été réalisé grâce à un emprunt de 10 000 m³ dans le remblai de schistes et grès houillers encore chauds, avec un appoint de 6 000 m³ de schistes rouges issus d'anciennes zones en combustion de la découverte de Decazeville (figure 8).

Les tests de combustion ont en effet démontré que les matériaux de l'emprunt étaient en fin de combustion et ne contenaient plus de matières combustibles.

Une fois excavés, refroidis par exposition à l'air et brumisation à l'eau, ils ont pu être réutilisés en remblai soigneusement compacté sans risque de reprise d'échauffement.

Déroulement des travaux

L'évolution de l'échauffement a nécessité, dès le mois de juillet 1997, la mise en œuvre d'actions prioritaires pour préserver la conduite de gaz, les installations industrielles et la partie du bâtiment Transville non encore affectée.

Les travaux ont été engagés après avoir clôturé l'ensemble du site. Un réseau de conduites de distribution d'eau industrielle, disponible sur une borne d'incendie proche, a permis de répartir les



Photo 3
Début des travaux de défournement. Dispositif d'arrosage (lutte contre les poussières, refroidissement des engins de terrassements et des matériaux défournés)

Start of removal of materials from furnace. Spray system (to control cooling dust from earthworking equipment and from materials removed from the furnace)



Photo 4
Bâtiment Transville : défournement des scories

Transville building: slag removal

différents points d'arrosage, nécessaires au refroidissement des matériaux et des engins, à l'abattage des poussières et à la protection incendie.

Premiers terrassements (photos 3 et 4)

Les premiers terrassements ont consisté à défourner les 5 000 m³ de scories chaudes en façade du bâtiment de manière à stopper l'avancée de l'échauffement vers la zone industrielle en constituant une première tranchée coupe-feu. La mise à jour d'un ancien mur de soutènement des voies ferroviaires, épaisseur de 1,5 m, a notamment permis de comprendre comment la progression de l'échauffement avait été contrôlée par ce massif.

Les produits ont été terrassés sur une épaisseur de 5 à 7 m jusqu'au substratum constitué d'alluvions argileuses et où affleure la nappe phréatique. Les talus dans ces matériaux grossiers et bouillants ont été terrassés par plots pour ne pas affecter les infrastructures routières. L'enlèvement des produits chauds a été effectué par passes horizontales de 2 m d'épaisseur à la pelle hydraulique sur chenilles, les zones de travail étant préalablement imbibées d'eau.

▶ Après chargement dans des camions, les produits chauds humidifiés étaient étalés au bouteur sur une aire réservée du site. Le refroidissement des matériaux sidérurgiques était obtenu dans un délai de 24 heures.

Rideau d'injections

Parallèlement aux premiers terrassements, un double rideau d'injections a été réalisé, à la limite de la partie du bâtiment Transville à sauvegarder. L'écran injecté avait deux objectifs : retarder autant que possible la progression de la combustion sous la partie de bâtiment à conserver avant le défournement des scories chaudes sous l'aile une fois détruite et consolider les sols de fondation afin d'éviter des tassements trop importants.

Un indice des vides de 20 % a été pris en compte pour dimensionner l'injection des produits sidérurgiques bouillants.

Les premiers essais d'injection ont révélé l'existence de zones très décomprimées dans le remblai de scories chaudes, engendrant des migrations importantes de coulis. La méthodologie d'injection finalement adoptée a consisté à épaissir progressivement le coulis, lorsqu'on n'obtenait pas de montée en pression au-delà d'un critère de volume fixé à 1,8 m³ par manchette. Dans ces zones décomprimées, le dosage en filler calcaire a ainsi été densifié de 500 kg à 750 kg/m³ de coulis pour

170 kg de ciment, 25 kg de bentonite et 735 l d'eau. Les pressions moyennes d'injection étaient de 3 à 4 bars.

Le volume de coulis injecté au total a été de 285 m³ dans 43 forages équipés de tubes métalliques à manchettes.

Paroi de soutènement mini-berlinoise

La paroi de soutènement de type mini-berlinoise a été édifée sur 50 m de longueur en façade du bâtiment pour permettre l'excavation au plus près des scories chaudes. Elle a été confectionnée de poteaux en barres HA Ø 32 mm scellés dans un forage de 115 mm, ancrés par des clous Ø 32 mm de 7 m de long repris par une lierre. Le frottement latéral du bulbe des clous était augmenté du fait de la traversée des remblais sidérurgiques préalablement injectés (figure 9).

Mise en sécurité de la conduite de gaz industriel (photo 5)

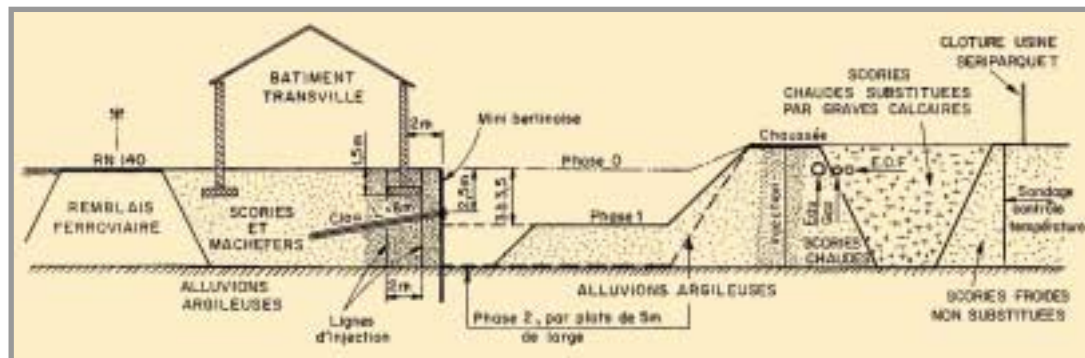
Un contrôle de température réalisé sous la chaussée de la voie de desserte de la zone industrielle, longeant la zone de scories chaudes défournée en priorité, a été effectué grâce à quatre sondages de 8 m de profondeur. Ceux-ci ont révélé des températures maximales de 45 à 55 °C indiquant une progression de la combustion vers la conduite de gaz et l'usine de fabrication de parquets. Un contrôle par fouille à la pelle hydraulique sous la plateforme au-delà de la chaussée, à proximité de la conduite de gaz, révélait également que les terrains commençaient à s'échauffer, avec des températures de 40 à 50 °C.

Compte tenu des contraintes liées à la destruction de la route et des réseaux existants, c'est l'option de l'injection de la chaussée à partir des quatre forages de contrôle, selon les méthodes éprouvées dans le bâtiment Transville, qui a été retenue. Soixante-cinq mètres cubes de coulis ont été ainsi injectés dans le corps de chaussée pour contenir l'échauffement et prévenir des affaissements. La zone chaude de la plateforme au droit de la conduite de gaz a, quant à elle, été terrassée en substituant les produits par de la grave calcaire, constituant ainsi une tranchée coupe-feu efficace entre la zone échauffée en cours de traitement et

Photo 5
Défournement des scories chaudes au droit des conduites de gaz et électriques. Substitution par de la grave calcaire
Removal of hot slag near gas and electricity lines. Substitution by limestone aggregate



Figure 9
Coupe de principe de traitement du site (terrassements, confortement par micro-berlinoise et injections)
Schematic section of site treatment (earthworks, strengthening by micro-Berlin type walls and grouting)



la zone industrielle à protéger. Trois sondages de contrôle de température, implantés dans les scories en lisière de la zone traitée, ont confirmé par la suite que ce secteur n'était plus exposé aux échauffements.

Terrassement du remblai houiller (photo 6)

L'emprunt réalisé dans les schistes et grès houillers chauds a consisté à écrêter de 5 m le remblai, par tranches successives de 1 m d'épaisseur, pour permettre le refroidissement des matériaux à excaver, jusqu'à la cote + 210 m NGF. La plateforme de l'emprunt était façonnée en cuvette pour faciliter l'imbibition par l'eau.

Les produits étaient stockés en tas sur une aire réservée pour les refroidir pendant plusieurs jours par exposition à l'air et pulvérisation d'eau. Ils ont ensuite été réutilisés, une fois suffisamment refroidis, pour combler les excavations réalisées dans les zones de scories où ils ont été mis en place par tranches de 0,50 m soigneusement compactées et arrosées.

Ce choix a finalement permis de refroidir les 5 m de remblais chauds restants de la base, en remuant et en exposant la tranche supérieure à l'air et en imbibant les terrains à l'eau.

Stockage des produits sidérurgiques

L'évacuation des produits sidérurgiques vers le site de la mine à ciel ouvert a été acceptée par la DRI-RE et les HBCM sous réserve d'analyses de contrôle en continu des matériaux. Une notice d'impact a été rédigée par l'Ineris conformément aux dispositions de la Police des mines et du règlement général des industries extractives.

Les produits refroidis ont été mis en dépôt dans un secteur de l'exploitation en cours de remblayage avec des stériles schisto-gréseux, dans une zone sans affleurement de charbon et hors nappe à long terme. Ils ont été déposés par tranches compactées de 1 m d'épaisseur en alternance avec les stériles, après vérification de l'absence de produits polluants tels que des huiles, graisses, ou autres déchets solides.

Les analyses sur lixiviats à 24 h, avec dosage des métaux lourds (chrome hexavalent compris), des hydrocarbures totaux et des hydrocarbures polycycliques ont confirmé l'absence de potentiel polluant de ces produits.

Mesures particulières de sécurité du personnel

Les terrassements et les injections ont été menés en veillant tout particulièrement à la sécurité du personnel de chantier. Plusieurs types de risques étaient à prendre en compte : éboulements de talus avec épandage dynamique de produits poussiéreux chauds, risques d'émanations de gaz toxiques ou explosibles, risques d'incendie des engins, brûlures de degrés divers.



Photo 6
Emprunt de schistes rouges et gris chauds.
Défournement au bouteur, par tranches
Hot red and grey schist borrow.
Removal by bulldozer and sections

La spécificité des travaux a nécessité la mise au point d'un Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS), en collaboration avec un coordonnateur en matière de Sécurité et Protection de la Santé. Sa tâche a été durant tout le chantier de veiller au respect des principes de prévention retenus. Participant à chacune des réunions de chantier, il était informé hebdomadairement des conditions de travail du personnel. Il avait le pouvoir d'imposer des mesures de sécurité spécifiques, voire d'arrêter le chantier en cas de non respect des dispositions du PPSPS.

Des représentants du Service départemental incendie secours et de la DDE assistaient aux réunions et aux visites de chantier, lors des phases les plus sensibles.

Pour les opérations d'injection effectuées à l'intérieur du bâtiment, il a été nécessaire de contrôler la nature et la concentration des gaz émis au droit des fissures du dallage et des forages (CH₄, CO, CO₂, H₂S, SO₂) et de ventiler les locaux. Certaines phases de terrassement particulièrement poussiéreuses ont nécessité le port permanent du masque antipoussières et la mise à disposition dans les engins d'un appareil respiratoire autonome de type Mini-Apeva ainsi que de bottes ignifugées.

D'une manière générale, la présence de personnel à pied était limitée au strict nécessaire. Un ouvrier était chargé de la pulvérisation d'eau devant l'aire de travail des engins lors des phases de terrassement des zones les plus chaudes.

Enfin, le matériel de chantier (pelles, camions, bouteur, compacteur) était quotidiennement contrôlé afin d'éviter tout risque d'incendie par fuite d'huile ou de gazole au niveau des flexibles.

Références bibliographiques

- **Bosc L.C.P.** 1797 - *Mémoires pour servir à l'histoire du Rouergue* - Réimpression de l'édition de Rodez - 1879.

"Pour le pays d'Oc" - 1979.

- **Y. Lacout** (1985) - *Histoire de la mine et du thermalisme à Cransac* - Imp. Grapho 12, Villefranche-de-Rouergue, 104 p.
- **Levêque** (1916) - *Historique des forges de Decazeville* - Bulletin Soc. Industrie Minérale, (5), IX, p. 5 - 236, 27 pl.
- **L. Mazars** (1989) - *Cransac (Aveyron), ville thermale. Ses eaux, ses étuves et leur histoire* - Imp. Carrère, Rodez, 63 p.
- **Morand** (1781) - *Sur les montagnes ou mines de charbon de terre embrasées spontanément* - Notice historique et comparative des mines de charbon embrasées spontanément sur toute la superficie du globe, suivie d'une description détaillée de celles du Rouergue - Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pp. 169 - 227.
- **Y. Paquette** (1997) - *La combustion des remblais houillers et crassiers sidérurgiques* - Mines et Carrières - Les Techniques, numéro "Digues et Terrils", novembre, p. 23-33.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Gadea, maire de Decazeville, M. Tarrie, responsable des Services techniques de la ville de Decazeville et M. Michel Fabre qui a assuré la coordination sécurité du chantier.

Ils remercient également tout particulièrement la direction des Houillères de Bassin du Centre et du Midi pour son aide logistique dans l'opération de traitement du site.

ENGLISH SUMMARY

**Control of steelworks and coal-field embankments under combustion
Treatment of industrial zone of Decazeville (Aveyron region)**

Y. Paquette, M. Audoin, M. Wojnarowicz,
Ch. Lac

An embankment platform made up of coal and steel industry tailings was under combustion for several years at the site of the industrial zone of Decazeville centre (Aveyron region). To deal with the rapid and alarming progression of this heating near a gas line, industrial and residential buildings, as well as a national road, specific techniques were used for the reconnaissance and analysis of materials, and appropriate treatment was used to treat the site under optimum safety conditions, while minimising the environmental disturbances of such a large worksite in an urban setting.

DEUTSCHES KURZREFERAT

**Eindämmung eines Brands in Erdaufschüttungen im Montanbereich.
Arbeiten im Industriegebiet von Decazeville (Departement Aveyron)**

Y. Paquette, M. Audoin, M. Wojnarowicz,
Ch. Lac

Ein ganzer Aufschüttungsbereich von Rückständen aus der Kohle- und Stahlindustrie brennt seit einigen Jahren im Industriegebiet von Decazeville (Departement Aveyron). Um die besorgniserregend schnelle Ausbreitung der sich hieraus ergebenden Erwärmung in unmittelbarer Nähe von Gasleitungen, Industrieanlagen, Wohngebäuden und einer Nationalstraße einzudämmen, wurden Erkundungen, Stoffanalysen und darauf aufbauende Bearbeitungen in entsprechender Spezialtechnik durchgeführt. Auf diese Weise wurde der Standort unter optimalen Sicherheitsbedingungen saniert, wobei gleichzeitig die von diesen umfangreichen Arbeiten in einem urbanen Umfeld verursachten Belästigungen und Beeinträchtigungen minimiert werden konnten.

RESUMEN ESPAÑOL

**Ejecución contractual de rellenos siderúrgicos y carboneros en combustión.
Tratamiento del polígono industrial de Decazeville (Aveyron)**

Y. Paquette, M. Audoin, M. Wojnarowicz,
Ch. Lac

Una plataforma de rellenos procedente de las industrias del carbón y del acero se encontraba en fase de combustión desde hace algunos años en el emplazamiento del polígono industrial del centro de Decazeville (Aveyron). Para hacer frente a la progresión rápida e inquietante de esta fuente de calor en las cercanías de una canalización de gas, de diversas construcciones industriales, de viviendas así como de una carretera nacional, la aplicación de técnicas específicas de reconocimiento, de análisis de materiales y de tratamiento de éstos, han permitido sanear el emplazamiento en condiciones de seguridad óptimas, al mismo tiempo que provocando las mínimas repercusiones medioambientales de estas obras importantes en medio urbano.

Fondations spéciales pour projet en "Top and Down"

La ZAC Forum Seine constitue actuellement un pôle majeur d'activités dans le domaine de la construction en région parisienne. Spie Fondations vient d'y achever sa deuxième opération, le parking et les fondations profondes de l'immeuble de bureaux : l'Open.

Cet article, en exposant brièvement les travaux de fondations qui y ont été réalisés, donne un aperçu de quelques procédés de travaux intégrés au sol et montre leur complémentarité.

Il illustre le type de solution et les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour la réalisation de parkings souterrains et de fondations profondes sur des opérations "top and down", même lorsqu'elles sont de dimension moyenne.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Situé dans la ZAC Forum Seine, à Issy-les-Moulineaux rue Camille Desmoulins, face à la station RER C, Issy Val-de-Seine, l'Open sera à terme un immeuble de neuf étages avec cinq niveaux de sous-sols. Avec cette opération, son promoteur, la Cogedim, offrira d'ici mars 1999, 9 200m² de bureaux neufs.

Sur un coût global estimé à 90 millions de francs, la part du marché des fondations s'élève à environ 10 millions. Dans le cadre de ce projet délicat, l'entreprise Spie Fondations a réalisé :

- ◆ une paroi moulée ;
- ◆ des poteaux préfondés provisoires et définitifs ;
- ◆ un fond injecté ;
- ◆ un préterrassement.

Les travaux de fondations, débutés en décembre 1997, viennent de s'achever. Ils auront duré moins de quatre mois entre le premier coup de benne et la dernière injection.

■ CONTEXTE GÉOLOGIQUE

L'Open s'inscrit dans un contexte géologique difficile lié à la présence de la craie dont l'aquifère est réputé redoutable pour les fouilles réalisées à grande profondeur.

La coupe de sols s'est révélée être la suivante :

- ◆ des remblais et limons entre 30,50 et 24 NGF ;
- ◆ des alluvions sablo-graveleuses entre 24 et 19,50 NGF ;
- ◆ de la craie altérée entre 19,50 et 14,50 NGF ;
- ◆ de la craie fragmentée entre 14,50 et 11,50 NGF ;

◆ de la craie compacte fissurée au-delà jusqu'à une profondeur importante non atteinte dans les sondages.

Compte tenu de la présence de la Seine à proximité, le niveau de la nappe phréatique peut atteindre 27,50 NGF en phase travaux et 28,20 NGF en phase définitive.

■ SOLUTION TECHNIQUE RETENUE

Courant 1995, Spie Fondations réalisait pour le compte du promoteur Coprim un projet similaire à l'Open sur le site mitoyen : l'Amiral. Les choix techniques et les moyens mis en œuvre sur cette opération ont été reconduits sur l'Open.

La paroi moulée périphérique, raccordée de part et d'autre sur la paroi de l'Amiral, traverse les remblais, les alluvions sablo-graveleuses, la craie altérée, et la craie fragmentée, pour venir s'ancrer dans de la craie compacte à 24 m de profondeur. Cette paroi constitue une enceinte relativement étanche (au sens du D.T.U. 14.1) pour le futur parking.

Face à des délais très tendus, l'immeuble devant être livré en 15 mois, la solution "top and down" a été retenue. Des poteaux préfondés permettront la réalisation des cinq futurs niveaux de sous-sols en taupe ainsi que l'élévation simultanée des premiers étages du bâtiment.

Pour ce faire, vingt-trois poteaux préfondés préfabriqués et six poteaux préfondés métalliques ont été mis en place.

De façon à limiter le débit d'exhaure de la fouille à environ 40 m³/h, il a été réalisé un fond injecté de 3,00 m d'épaisseur, établi à 25,00 m de pro-

Gilbert Plumerei

DIRECTEUR DES MARCHÉS
Cogedim



Bernard Walbron

CHEF DE SERVICE
Spie Fondations



Frédéric Renaud

INGÉNIEUR D'AFFAIRES
Spie Fondations



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

SCI Issy - 25, rue Camille Desmoulins, représentée par Cogedim Développement

Maitre d'œuvre d'exécution

S.G.T.E.

Entreprise

Spie Fondations

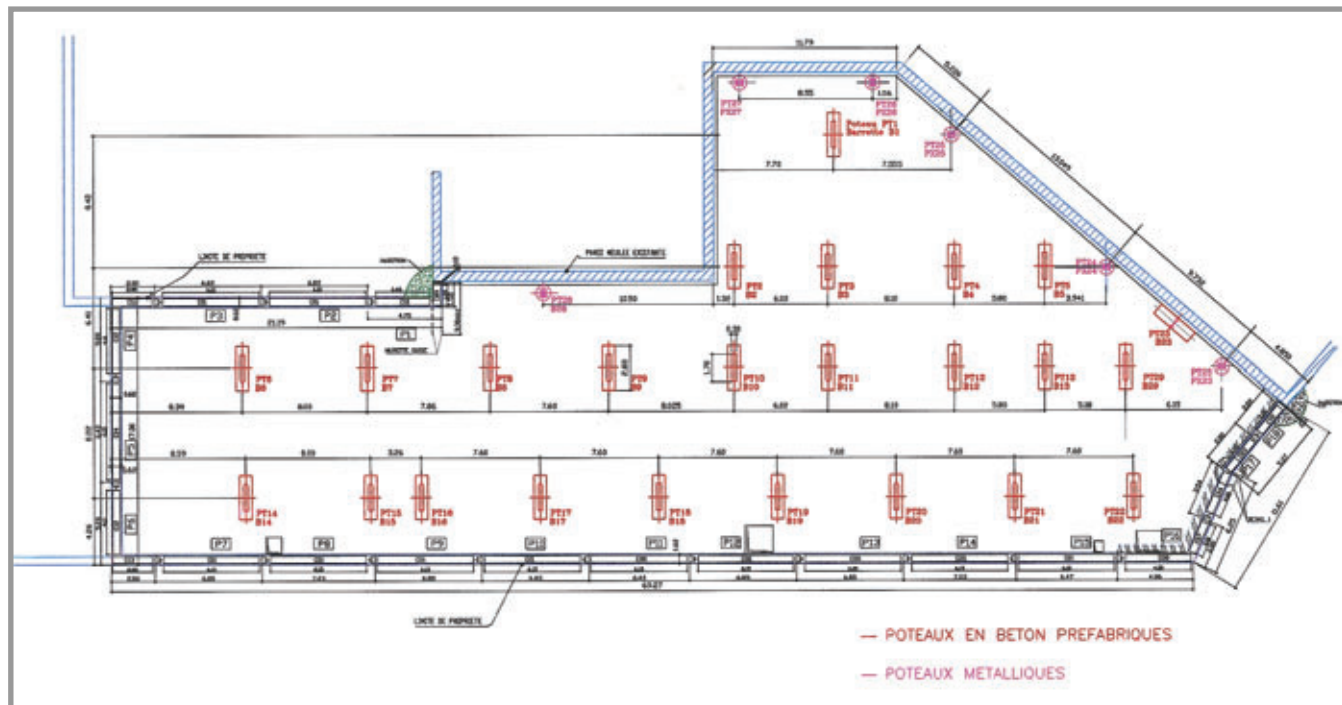


Figure 1
 Vue en plan
 des fondations :
 paroi, poteaux
 préfondés béton,
 poteaux métalliques
 Plan view of
 foundations:
 pre-founded concrete
 columns, steel
 columns



Photo 1
 Manutention
 d'un poteau
 préfabriqué
 Handling
 a precast
 column



fondeur, la paroi moulée étant approfondie pour l'encager, l'ensemble formant une boîte à perméabilité réduite.

■ DESCRIPTION DES TRAVAUX

Un préterrassement a été effectué à 29,20 NGF, niveau de la plate-forme de travail.

La paroi moulée (figures 1 et 2)

D'un linéaire de 11,9 m, la paroi réalisée vient se raccorder sur un tronçon de 75 m de la paroi existante de l'opération mitoyenne : l'Amiral. La jonction est assurée par une injection de collage.

Les panneaux ont une longueur moyenne de 7,00 m, une épaisseur de 0,62 m et une profondeur de 22,70 m. La paroi a été découpée en panneaux primaires, secondaires et successifs selon le tracé de la fouille et en tenant compte des problèmes de coordination avec les autres travaux.

Les panneaux ont été équipés de joints *water stop* (procédé Spie Fondations : joint plat avec *water stop*).

Bien que le fond de fouille soit situé à 14 m de profondeur, au niveau de la sous-face du radier du 5^e sous-sol, la paroi a été approfondie jusqu'à 22,60 m afin d'encager le fond injecté.

Les 2 830 m² de forage ont été réalisés à la benne à câbles à raison de 120 m²/jour en moyenne, ce qui représente une performance non négligeable, compte tenu de l'exiguïté de l'emprise du chantier.

La centrale à boue mise en place était équipée comme suit :

- ◆ cinq silos à boue de 40 m³ ;
- ◆ un silo pour la bentonite en vrac ;
- ◆ une unité de fabrication automatisée de la boue bentonitique ;
- ◆ un désableur Caviem type Super Blayais (deux cyclones) : 100 m³/h.

Poteaux préfondés

Afin de rendre possible la réalisation des cinq sous-sols en taube, vingt-neuf poteaux préfondés ont été mis en place.

Ces poteaux permettent simultanément la reprise des charges apportées par l'élévation des étages supérieurs et la reprise des planchers des différents niveaux de sous-sols au fur et à mesure de leur réalisation. Vingt-trois de ces poteaux, destinés à être définitifs sont du type préfabriqué en béton armé.

Ils ont été mis en place comme suit :

- ◆ forage d'une barrette de dimension 2,80 m x 0,82 m à la benne à câbles. La profondeur est définie en fonction de la descente de charge ou des éventuels efforts de tractions dus aux sous-pressions sur le radier en phase provisoire. L'assise des barrettes est en moyenne à 24 m de profondeur ;
- ◆ manutention du poteau préfabriqué béton (section 1,70 m x 0,30 m et de longueur moyenne 15 m, soit une vingtaine de tonnes) (photo 1) ;
- ◆ fixation de la cage d'armature de la barrette en pied de poteau ;

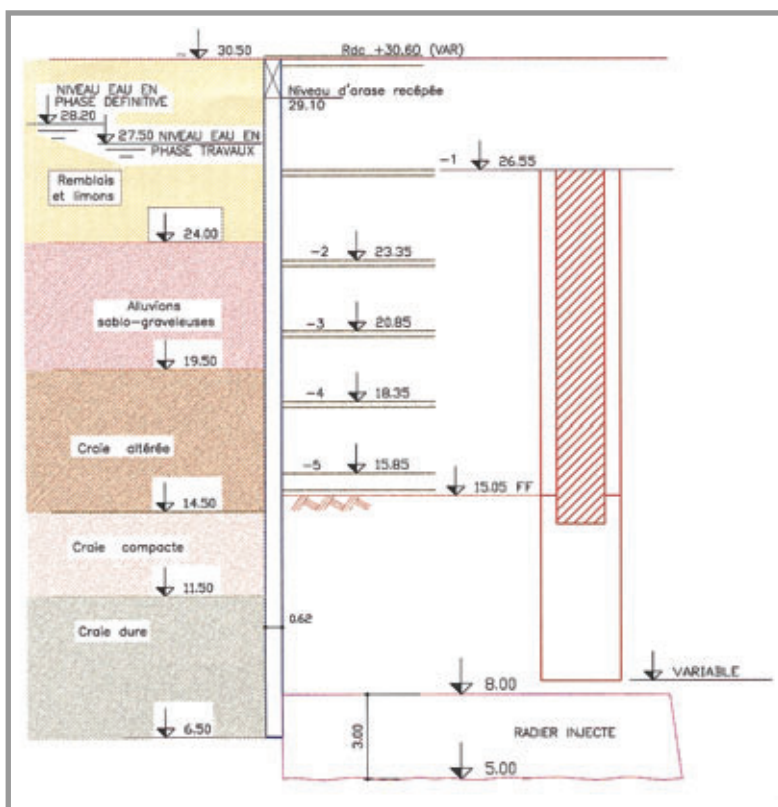


Figure 2
Coupe type
paroi et poteaux
préfondés
préfabriqués
en béton armé

Typical cross
section of wall and
precast pre-founded
reinforced concrete
columns

Photo 2
Dispositif
de réglage
des poteaux
préfabriqués
Precast column
adjustment
device



- ◆ mise en place et positionnement du poteau à l'aide d'un dispositif de réglage doté de vis centimétriques permettant le déplacement longitudinal et transversal de la tête du poteau (photo 2) ;
- ◆ bétonnage à l'aide d'une colonne jusqu'au niveau du futur fond de fouille ;
- ◆ remplissage autour du poteau jusqu'en tête de forage avec de la grave afin d'empêcher les déplacements.

Les six autres poteaux, disposés le long de la paroi de l'Amiral sont de type provisoire. Ils visent à reprendre les charges des niveaux supérieurs et des sous-sols en construction, ceci jusqu'à la mise en place du voile définitif qui viendra prendre le relais au droit de la paroi existante.

Aussi pour ces poteaux provisoires, a-t-on choisi une solution avec profilés métalliques (de type HEB 360 ou HEB 500 suivant les charges) ancrés dans des pieux de diamètre 1 000 mm. Le forage des pieux a été réalisé à l'aide d'une machine Soil-Mec de type RTAS.

Fond injecté (figure 2)

Compte tenu de la présence d'eau et d'un substratum très perméable, il a été prévu de réaliser un fond injecté. Pour des raisons de stabilité, celui-ci a été calé entre les cotes 5,00 et 8,00 NGF. D'une épaisseur de 3 m, il couvre une surface approximative de 1 500 m². L'injection est réalisée avec un coulis de bentonite ciment de composition suivante :

- ◆ bentonite CV 15 : 35 kg/m³ de coulis ;
- ◆ ciment CLK : 300 kg/m³ de coulis ;

- ◆ eau : 895 l/m³ environ.

La méthodologie d'injection retenue a été la suivante :

- ◆ injection primaire : formation du toit du fond injecté sur un mètre d'épaisseur ;
- ◆ injection secondaire : après prise du coulis du toit, injection du fond sur les deux mètres inférieurs.

Ce fond injecté, couplé avec la paroi, doit permettre de ramener le débit d'exhaure à 40 m³/heure environ durant les travaux de terrassements, ceci jusqu'à la réalisation du radier définitif.

Les moyens matériels mis en œuvre ont été les suivants :

- ◆ forage : deux DCH Domine ;
- ◆ injection : une centrale de fabrication automatique de coulis et six presses PH 2 x 5.

Travaux divers

A ces travaux il faut également ajouter des opérations annexes du type :

- ◆ confection, démolition et évacuation des murettes guides ;
- ◆ réalisation des piézomètres, puits de pompage, puits de réinjection ;
- ◆ essais de pompage ;
- ◆ rabotage et nettoyage de la paroi.

UN PLANNING TENDU

L'Open, commencé en décembre 1997, doit être livré début mars 1999. Dans ce contexte le délai de

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Paroi moulée

2 830 m²

Barrettes et poteaux préfondés

29 unités (643 ml de forages)

Fond injecté

4 531 m³ de terrain traité

réalisation des fondations fut un élément déterminant, pour Cogedim, dans le choix de la solution technique. La durée effective des travaux a été d'environ quatre mois. Pour tenir ces délais, tous les moyens nécessaires ont été mis en œuvre et les opérations en temps masqué ont été multipliées. Au maximum de l'activité ou aura pu voir travailler simultanément dans un espace réduit de 1 500 m² : une grue de forage, une grue de service manutentionnant des poteaux préfabriqués mesurant 15 m et pesant 20 t, une RTAS pour le forage des pieux provisoires, deux foreuses de type DCH pour l'exécution des forages d'injection et six presses de type PH 2 x 5 pour l'injection proprement dite.

En pointe d'activité les deux ateliers de forage d'injection ont travaillé en deux postes, soit 16 heures par jour et les six presses d'injection ont fonctionné en continu, soit 24 heures sur 24.

C'est grâce à un sens aigu de l'organisation et à son expérience que l'encadrement de Spie Fondations est parvenu à gérer cette activité en évitant toute interférence parasite entre ateliers.

CONCLUSION

La Cogedim, forte de son expérience des chantiers difficiles en site urbain, a su mettre à profit les atouts de Spie Fondations : maîtrise technologique, bonne connaissance du site et grande expertise dans ce type de projet, pour respecter ses objectifs de délais sans pénaliser le budget global de l'opération.

Cet exemple illustre l'adaptabilité et la réactivité dont doivent faire preuve les entreprises de fondations pour répondre de manière spécifique aux exigences des maîtres d'ouvrages pour des chantiers aussi délicats.

ENGLISH SUMMARY

Special foundations for "top-down" project

G. Plumerel, B. Walbron, Fr. Renaud

The Forum Seine ZAC currently constitutes the major activity zone in the construction area for the Paris region. Spie Fondations recently completed its second operation there, namely the car-park and the deep foundations for the office building known as the Open.

This article, describing briefly the foundation work completed there, provides an overview of the work techniques used in the terrain and shows their complementarity.

It illustrates the type of solution and the resources that may be used to build underground car-parks and deep foundations on "top-down" operations, even when they are medium-sized.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Spezialfundamente für ein "Top and Down"-Projekt

G. Plumerel, B. Walbron, Fr. Renaud

Der Gewerbepark ZAC Forum Seine stellt zur Zeit ein wichtiges Zentrum der Bautätigkeit in Paris und Umgebung dar. Die Firma Spie Fondation hat dort kürzlich ihren zweiten Auftrag abgewickelt, und zwar die Tiefgarage und die Gründung des Bürogebäude-Open.

Der vorliegende Artikel gibt mit seiner kurzen Beschreibung der dort ausgeführten Fundamentarbeiten einen Überblick über einige der bodenintegrierten Verfahren und zeigt, wie sie sich gegenseitig ergänzen können.

Er geht auf die Lösung und die Mittel ein, die beim Bau von Tiefgaragen und besonders tiefen Gründungen im Rahmen von "Top and Down"-Maßnahmen zum Einsatz kommen können, selbst wenn diese keinen sehr großen Umfang haben.

RESUMEN ESPAÑOL

Cimentaciones especiales para el proyecto en "Top and Down"

G. Plumerel, B. Walbron y Fr. Renaud

La ZAC Forum Seine constituye actualmente un polo destacado de actividades en el aspecto de la construcción en la región parisiense. Spie Fondations acaba de dar fin a su segunda operación, el aparcamiento y las cimentaciones profundas del inmueble para oficinas : el Open.

Al exponer compendiadamente los trabajos de cimentaciones que se han llevado a cabo, este artículo permite hacerse una idea de algunos de los procedimientos de obra correspondientes a los terrenos y pone de manifiesto su complementaridad.

Se ilustra el tipo de solución y los medios que se pueden poner en aplicación para la ejecución de los aparcamientos subterráneos y de cimentaciones profundas para operaciones "top and down", incluso cuando son de dimensiones medias.

Confortement des fondations d'un immeuble à Paris

Rigidification par voiles et longrines en béton armé associée à une reprise en sous-œuvre par micropieux

L'immeuble du 21/25 rue Raynouard, implanté sur le flanc de la colline de Passy à Paris XVI^e arrondissement, a subi d'importants désordres à la suite d'un mouvement de terrains. Simecsol SA et le BET Simon ont élaboré un dispositif de confortement consistant en une rigidification en béton armé de la structure par voiles et longrines, associée à une reprise en sous-œuvre des fondations par micropieux vérinés et munis en partie supérieure d'un dispositif antifriction. L'article présente les aspects conception et réalisation de cet important chantier de confortement qui doit s'achever en avril 1998. Mots clés : mouvement de terrains, confortement, reprise en sous-œuvre, micropieux, vérinage, dispositif antifriction, rigidification, béton armé, post-contrainte.

L'immeuble du 21/25 rue Raynouard à Paris XVI^e arrondissement est situé sur le flanc S.-E. de la colline de Passy dominant la Seine. Il a été réalisé dans les années 1930 sur l'emplacement d'un ancien hôtel particulier du XVIII^e siècle, qui comportait des terrasses descendant vers la Seine.

D'orientation E.-O. (parallèle aux courbes de niveaux), la façade amont surmonte de ses huit étages la rue Raynouard (cote 55 NGF). La façade aval (photo 1) domine la rue Proust située 15 m plus bas (cote 39,5 NGF). Latéralement, le pignon ouest domine l'escalier de l'avenue du parc de Passy ; le pignon opposé est mitoyen à l'immeuble du n° 19 rue Raynouard.

La partie amont de l'immeuble comporte un niveau en sous-sol à usage de caves et parkings (1^{er} sous-sol ; cote 51,2 NGF - surface 1 360 m²). La partie aval comprend un parking accessible depuis la rue Proust (4^e sous-sol ; cote 40,6 NGF - surface 1 260 m²) surmonté par trois niveaux à usage de caves et d'habitation (figure 1). La longueur de l'immeuble, parallèlement à la rue Raynouard, est de 75 m ; sa largeur est de 35 m environ.

A l'exception des façades, la structure de l'immeuble est constituée de portiques (poteaux et poutres en béton armé) répartis sur quinze files d'orientation N.-S. (sens de la pente) et huit files d'orientation E.-O. (A à J). Entre les parties amont et aval de l'immeuble, un voile médian en béton armé d'axe E.-O. (file F) d'une dizaine de mètres de hauteur sépare le 1^{er} du 4^e sous-sol.

Du point de vue géologique, la colline de Passy est constituée, de haut en bas, par le calcaire grossier du Lutétien (partiellement exploité au droit et en amont de la rue Raynouard) formant un ressaut

d'une dizaine de mètres qui domine la vallée de la Seine. Les bancs calcaires reposent sur les niveaux argilo-sableux du Sparnacien constitué par les fausses glaises, les sables d'Auteuil et l'argile plastique.

Le fluage des niveaux argileux, associé à la résurgence des nappes s'écoulant dans les niveaux sableux, est à l'origine d'une instabilité ancienne affectant la falaise calcaire (présence de surfaces lustrées dans les argiles et fracturation du calcaire susjacent). Le pied de la colline est de ce fait recouvert par un chaos de gros blocs qui provient de l'éboulement des bancs calcaires. Sous l'argile plastique, on rencontre en profondeur les marnes et le calcaire de Meudon, puis la craie.

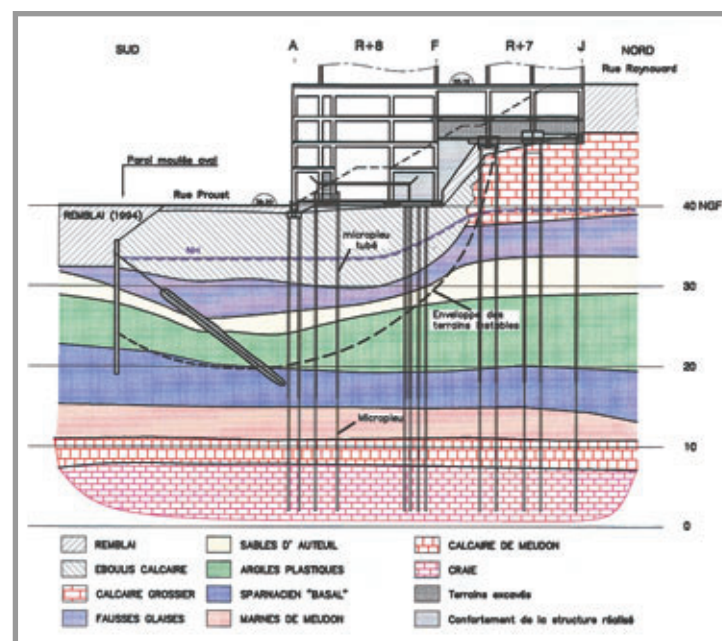


Photo 1
Vue de la façade sud de l'immeuble
View of south facade of building

Figure 1
Profil en travers au droit de l'immeuble
Cross section at level of building

Bruno Mazaré
INGÉNIEUR
CHEF DE PROJET
Simecsol SA

Hugues Simon
INGÉNIEUR ECP
BET Simon

Paul Vandangeon
DIRECTEUR
DE DÉPARTEMENT
Simecsol SA



des parkings respectifs. En raison de l'exiguïté des parkings existants et d'une hauteur sous-plafond réduite (de l'ordre de 3,7 m) et encombrée par les canalisations du chauffage collectif, seules des machines de faible encombrement peuvent être retenues pour procéder à ces travaux de reprise des fondations en sous-œuvre.

Ces différents éléments conduisent à proposer une reprise des charges par des micropieux scellés dans les terrains stables du marno-calcaire de Meudon et de la craie (figure 1) étant entendu au préalable que l'évolution des mouvements de terrains, lors de la reprise des travaux à l'aval, sera parfaitement maîtrisée.

Au total, sont prévus environ 450 micropieux de 39 à 45 m de longueur, dimensionnés pour reprendre une charge de service de 550 kN. Seuls quelques appuis situés au droit du 1^{er} sous-sol côté est ne sont pas repris en raison de la présence de calcaire sain et stable à faible profondeur.

Vérinage

Devant la grande longueur de ces micropieux, et au vu des raccourcissements élastiques importants prévisibles lors de leur mise en charge (plusieurs centimètres), il convient de vérifier ces micropieux avant de relier les poteaux entre eux par les longrines décrites précédemment. Il convient également de solliciter le moins possible lors de ce vérinage, la vingtaine de mètres de terrains de stabilité précaire, de manière à garantir un tassement minimum des appuis une fois vérinés.

Un dispositif antifriction original est donc spécialement conçu (figure 5). En complément à l'armature centrale en acier de diamètre 70/89 mm scellée gravitairement (micropieu type II) sur toute la hauteur des terrains stables, le dispositif suivant est retenu sur la hauteur des terrains susjacentes :

- ◆ mise en place à l'avancement d'un tubage perdu de 200 mm de diamètre scellé au terrain et ancré en pied de 1,5 m dans les terrains stables ;
- ◆ télescopage d'un tube PVC graissé sur l'armature centrale, sur la hauteur de ce tubage perdu ;
- ◆ scellement au coulis de ciment de l'espace annulaire entre le tubage extérieur perdu et le tube PVC.

Ce dispositif présente l'avantage de permettre à l'armature centrale de ne pas solliciter, lors du vérinage (aux frottements résiduels près), les terrains de stabilité précaire, de garantir une exécution correcte du forage (les terrains argileux ayant tendance à se resserrer lors de la foration) et de renforcer la résistance au cisaillement et à la flexion de ces micropieux en cas d'une faible évolution du mouvement horizontal.

En vue du vérinage, deux vérins plats de 2,5 cm de course unitaire et reposant sur une platine en acier sont prévus ; le deuxième vérin vient en secours en

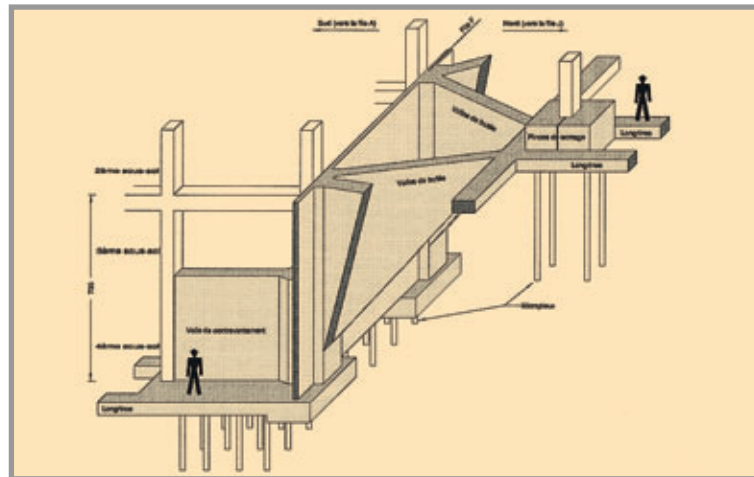


Figure 4
Contreforts en Y
entre les 2^e et 4^e
sous-sols
*Y-buttresses
between
second and fourth
basements*

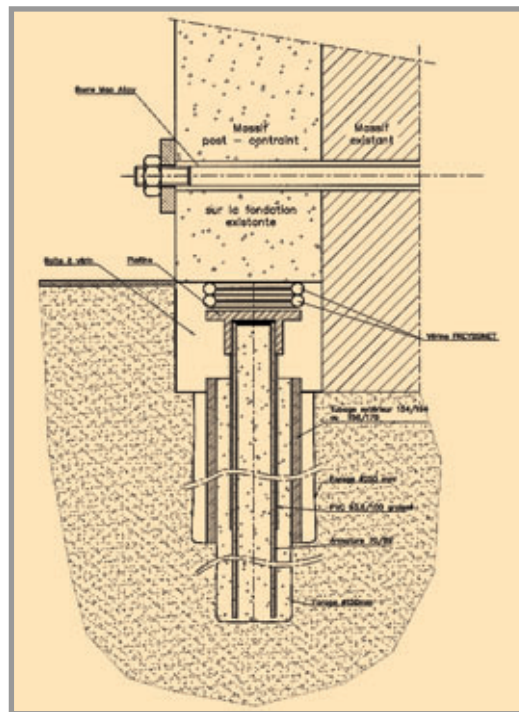


Figure 5
Coupe
sur micropieu
*Section
on micropile*

cas d'enfoncement anormal du micropieu, constaté pendant ou après vérinage. De manière à limiter au maximum les tassements à venir, sans pour autant risquer de soulever l'immeuble, la charge de vérinage est limitée à 70 % de la descente de charges apportée par les appuis.

Pour transmettre les efforts amenés par les poteaux et les voiles sur les micropieux et pour s'adapter à la géométrie des fondations existantes sans les déstabiliser, plusieurs techniques sont retenues :

- ◆ barrettes en béton armé passant sous les façades et reposant de part et d'autre sur un micropieu, après réalisation de contrevoiles scellés à l'existant moisant les façades ;
- ◆ serrage de poutres en béton armé contre les fondations existantes isolées, ou serrage de pinces en béton armé contre le poteau lui-même, à l'aide de barres en acier post-contraintes ;
- ◆ poutres voiles scellées à la résine à l'existant,



Photo 2
Foreuse Soil Mec 350
en espace exigu
*Soil Mec 350 drilling
rig
in confined space*

Photo 3
Travaux de génie civil
au 4^e sous-sol.
Ouvrage de transfert
de charges, longrines,
micropieux
avant recépage
*Civil engineering work
on fourth basement.
Load transfer
structure, footings,
micropiles before
strike-off*



■ TRAVAUX DE CONFORTEMENT

Les travaux de confortement proposés ayant reçu l'aval des experts, ils sont confiés en novembre 1996 au groupement d'entreprises Solétanche - Bachy - Freyssinet qui sous-traite les travaux de génie civil à l'entreprise Boutonnat - Charlot (actuellement Nord France Boutonnat).

prenant appui sur des poutres en béton armé, elles-mêmes reposant sur deux micropieux. Enfin, au droit du parking du 1^{er} sous-sol, un terrassement complémentaire de 3 m de hauteur environ est projeté pour permettre :

- ◆ de réaliser les pinces de serrage décrites précédemment, sans empiéter sur l'espace dévolu aux places de parking existantes ;
- ◆ d'alléger le poids des terrains moteurs vis-à-vis de l'instabilité aval ;
- ◆ de réduire la différence de niveau entre le 1^{er} et le 4^e sous-sol et ainsi faciliter le liaisonnement de la structure amont avec la structure aval ;
- ◆ de permettre le coulage des longrines sur le calcaire en place, de manière à mobiliser un frottement stabilisateur maximal.

Phasage unitaire

La chronologie prévue au droit de chaque appui pour ces travaux d'une durée prévisionnelle de 16 mois est la suivante :

- ◆ réalisation des micropieux d'un même appui ;
- ◆ recépage des micropieux et mise en place des vérins ;
- ◆ réalisation du massif transfert de charge en béton armé et liaisonnement à la fondation existante ;
- ◆ vérinage des micropieux concernés et mesure des raccourcissements ;
- ◆ liaisonnement des appuis entre eux par les longrines de raidissement et voiles de contreventement.

La maîtrise d'œuvre d'exécution est assurée par Simecsol SA et le BET Simon (génie civil), assistés par M. Le Pipec économiste et maître d'œuvre des travaux de second œuvre, Simecsol étant mandataire du groupement de maîtrise d'œuvre.

Le projet est accepté par le groupement d'entreprises qui ne propose que quelques adaptations mineures.

Le montant TTC des travaux s'élève à 50 millions de francs environ, se décomposant en 35 millions pour la réalisation des micropieux, 12 millions pour le génie civil et 3 millions pour les travaux de second œuvre.

Phasage

Le phasage des travaux consiste à réaliser deux chantiers situés, l'un au 1^{er} sous-sol côté rue Raynouard, l'autre au 4^e sous-sol côté rue Proust.

Afin de limiter au maximum les tassements d'appuis lors de la foration, les micropieux sont réalisés en pianotant d'un appui à l'autre, et en progressant d'est en ouest, c'est-à-dire en commençant par la zone la moins affectée par les mouvements de terrains de 1993 ; les tubages perdus extérieurs assurent de cette manière le cloutage progressif des terrains de stabilité précaire.

Micropieux d'essai

Les travaux de micropieux commencent après réalisation de trois essais de micropieux en janvier 1997 et se terminent en août 1997.

Ces essais doivent valider la longueur de scellement des micropieux, et vérifier le bon fonctionnement du dispositif antifriction projeté.

Deux micropieux sont testés en compression au 4^e sous-sol et un troisième au 1^{er} sous-sol ; les massifs de réaction sont assurés par deux à quatre tirants scellés dans les éboulis ou dans le calcaire. Pour contrôler le comportement du scellement de ces micropieux, et du dispositif antifriction sur la hauteur des terrains potentiellement instables, l'armature centrale 70/89 mm est équipée d'un chapelet de dix extensomètres inductifs type Gex de Geocim, scellé au coulis de ciment.

Des comparateurs au 1/100^e mm enregistrent le déplacement de la tête du micropieu dans les trois directions.

L'exploitation des résultats permet de vérifier que, ni la charge de rupture, ni la charge de fluage, ne sont atteintes à 950 kN. Les courbes d'effort et de déformation montrent que :

- ◆ les micropieux d'essai ne travaillent que peu ou pas sur leurs derniers mètres, l'effort étant repris sur une dizaine de mètres dans le calcaire de Meudon et la craie ;
- ◆ l'effort de frottement se développant sur la hauteur du dispositif antifriction est très faible, voire nul.

Micropieux

Quatre ateliers de forage (foreuses Soilmec SM305 - photo 2), travaillant sur deux postes journaliers, sont mobilisés au plus fort de la production. Les machines sont équipées d'enregistrement continu des paramètres de forage (types Lutz et Enpasol).

La verticalité des forages est contrôlée à la demande de la maîtrise d'œuvre sur environ 10 % des micropieux à l'aide d'un matériel de type Dévialim ; ces contrôles permettent de vérifier que la déviation tolérée n'est pas atteinte ou dépassée, la déviation moyenne étant de l'ordre de 1 %.

En variante au procédé de tubage à l'avancement, prévu initialement, l'entreprise propose, pour la mise en place du tubage extérieur, la technique du forage au coulis. La méthodologie de mise en place des micropieux est alors la suivante :

- ◆ réalisation d'un forage au coulis bentonite ciment en 250 mm de diamètre sur toute la hauteur du tubage perdu (250 kg de ciment pour 40 kg de bentonite par m³) ;

- ◆ mise en place d'un tubage métallique vissé de diamètre 153,7/193,7 mm dans la zone ouest et 157,8/177,8 mm ailleurs ;

- ◆ attente de 24 h environ pour prise du coulis bentonite ciment ;

- ◆ reprise du forage sous boue bentonitique en diamètre 150 mm au travers de ce tubage perdu et perforation sur toute la hauteur de la zone de scellement ;

- ◆ descente de l'armature tubulaire (70/89 mm nuance V80) équipée en tête de son dispositif antifricition ;

- ◆ substitution de la boue par un coulis de ciment CLK 45 dosé à 1200 kg/m³ ;

Les différents coulis sont fabriqués en centrale sur un terrain limitrophe. Du silicate, associé à une augmentation du dosage en ciment, limite les pertes de coulis dans les terrains de forte perméabilité, chaque fois qu'il est employé.

Des piézomètres mis en place au début du chantier permettent de vérifier que ces pertes de coulis n'ont pas d'incidence sur l'écoulement des nappes.

Terrassement - Génie civil

Les travaux de terrassement au droit du 1^{er} sous-sol commencent après réalisation d'un système de contreventement (UPN 240 moisés) des poteaux existants, et après butonnage du voile enterré portant la façade de la rue Raynouard.

Les terres sont évacuées de façon gravitaire par deux trémies débouchant au 4^e sous-sol. Le terrassement le plus délicat consiste à dégager le front de la falaise de calcaire tout en assurant la stabilité des poteaux fondés en amont. Pour cela, un terrassement par passes associé à une pro-

jection de béton sur un treillis métallique épinglé au rocher, est réalisé après vérinage des appuis situés en amont.

Le transfert de charges de la structure aux micropieux respecte sensiblement le dispositif prévu (photo 3). La post-contrainte est assurée par des barres Mac Alloy de diamètre 36 ou 40 mm, post-contraintes à 500 et 700 kN chacune par vérin hydraulique. Devant la faible épaisseur de certaines fondations, les micropieux sont localement réalisés non pas au pourtour des fondations, comme prévu initialement, mais au droit du voile de contreventement reposant sur un radier fortement armé. Le voile est liaisonné par des scellements à la résine aux deux files de poteaux voisines.

Enfin, une fois les transferts de charges réalisés par vérinage, les différents appuis sont liaisonnés par les poutres en béton armé prévues. Chaque poutre est dimensionnée pour reprendre un effort de traction de 2000 kN.

En fin de travaux, des dalles portées aux 1^{er}, 2^e et 4^e sous-sol viennent rigidifier l'ensemble.

Vérinage

Le micropieu recépé, coiffé d'une platine en acier de 250 x 250 x 35 mm, supporte deux vérins plats type Freyssinet de 220 mm de diamètre sur lesquels s'appuie l'élément en béton armé transfert de charge.

La charge de vérinage est finalement arrêtée à 70 % (G + 0,3 Q), où G représente les charges permanentes et Q les surcharges. En amont de la fissure d'arrachement cette valeur est modulée de 60 à 20 % en fonction de l'éloignement des appuis concernés par rapport à cette fissure, en sorte de limiter au maximum les tassements différentiels à venir, et d'assurer un frottement maximal de la partie amont de l'immeuble sur le calcaire en place. Les micropieux de chaque appui (2 à 12 unités) sont vérinés simultanément, à l'aide d'une même pompe injectant de la résine polymérisable devenant indéformable après quelques heures de séchage. Sous 350 kN, le raccourcissement élastique théorique des micropieux aval est de 1,6 à 1,8 cm. Les déplacements des micropieux et des massifs d'appui sont suivis à l'aide de comparateurs mesurant le 1/10^e mm. L'examen des courbes de chargement permet ainsi de contrôler le comportement de chaque micropieu. Le deuxième vérin est parfois utilisé pour contrôler le comportement de certains micropieux.

■ SURVEILLANCE DU SITE

La surveillance du site est assurée dans le cadre de l'expertise par :

- ◆ le contrôle topographique de la paroi moulée aval et des avoisinants ;

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Syndicat des copropriétaires du 21/25, rue Raynouard

Maître d'ouvrage délégué

Société Pierre de Comal

Maîtrise d'œuvre de conception et d'exécution :

- BET Simecsol SA (mandataire)
- BET Simon
- Cabinet Le Pipec (économiste)

Contrôle technique

Bureau Véritas

Groupement d'entreprises

Solétanche - Bachy, Freyssinet

Sous-traitants

- Nord France - Boutonnat (génie civil)
- Institut Géographique National (surveillance altimétrique)



- ◆ des mesures périodiques au droit de 13 inclinomètres et d'une dizaine de piézomètres ;
- ◆ le contrôle de plusieurs dizaines de jauges type G1 LPJS positionnées sur l'ensemble des fissures existantes, tant au droit de l'immeuble concerné qu'au droit des immeubles voisins.

Pendant les travaux de foration des micropieux, le cahier des charges impose en outre aux intervenants de garantir un tassement maximum des appuis de 7 mm en absolu et 4 mm en différentiel ; ces valeurs sont faibles par rapport aux tassements de plusieurs centimètres subis par l'immeuble lors du sinistre. Le contrôle altimétrique de tous les appuis pendant ces travaux est donc nécessaire.

Le groupement d'entreprises confie à l'Institut Géographique National (IGN) la surveillance continue, par deux niveaux tournants, de 78 mires solidaires des appuis des 1^{er} et 4^e sous-sols ; celles-ci détectent tout tassement différentiel. Ces mesures sont contrôlées tous les 2 mois en moyenne par des mesures traditionnelles de nivellement absolu, prenant pour repère des bases fixes lointaines. En fin de chantier de micropieux, les objectifs sont tenus puisque les tassements d'appuis n'excèdent pas 4,9 mm en absolu et 1,4 mm en différentiel (précision de ± 0,6 mm). Les étalements provisionnés préventivement sur le chantier n'ont donc pas été utilisés.

A ce jour, les travaux de génie civil (longrines, voiles de butée) en zone ouest sont en cours de finition. Les travaux de gros œuvre doivent s'achever en avril prochain.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Micropieux

- Nombre de micropieux : 442
- Longueurs forées : 18 000 ml environ

Vérinage

Nombre de vérins plats : 884

Terrassement

Volume des terrassements : 6 000 m³ environ

Génie civil

- Volume de béton coulé : 2 000 m³ environ
- Poids d'acier mis en œuvre : 200 t environ

ENGLISH SUMMARY

Strengthening of foundations of a Paris building

Stiffening by bearing walls and footings in reinforced concrete associated with underpinning using micropiles

B. Mazaré, H. Simon, P. Vandangeon

The building at 21/25 rue Raynouard, located on a hillside from Passy to the XVI arrondissement of Paris, experiences significant deterioration as a result of land displacement. Simecsol SA and BET Simon worked out a strengthening system consisting in stiffening the structure with reinforced concrete using bearing walls and footings associated with the underpinning of the foundations by means of jacked micropiles designed with an antifriction device on top. The article describes the design and execution aspects for this large strengthening project scheduled for completion in April 1998. Key words: land displacement, strengthening, underpinning, micropiles, jacking, antifriction device, stiffening, reinforced concrete, post-tensioning.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Fundamentsverstärkung in einem Pariser Wohngebäude
Versteifung durch Schalen und Träger aus Stahlbeton in Verbindung mit einer Nachbesserung der Gründung durch Mikropfähle

B. Mazaré, H. Simon, P. Vandangeon

Das Wohngebäude 21/25 rue Raynouard an der Flanke des Passy-Hügels im 16. Pariser Bezirk wurde durch Erdbewegungen beträchtlich in Mitleidenschaft gezogen. Die Firmen Simecsol SA und BET Simon haben eine Verstärkungsstrategie ausgearbeitet, die aus einer Strukturversteifung durch Stahlbeton in Form von Schalen und Trägern in Verbindung mit einer Nachbesserung der Gründung durch Mikropfähle mit Zylindern und einer Reibungsverhinderung im oberen Bereich besteht. Der vorliegende Artikel stellt die Konzeptions- und Ausführungsaspekte dieser umfangreichen Verstärkungsarbei-

ten vor, deren Fertigstellung für April 1998 geplant ist. Schlüsselwörter: Erdbewegung, Verstärkung, Gründungsnachbesserung, Mikropfähle, Zylindertechnik, Reibungsverhinderung, Versteifung, Stahlbeton, Nachbelastung.

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación de las cimentaciones de un inmueble de París
Rigidificación por pantallas y riostras de hormigón armado en combinación con un recalce por micropilotes

B. Mazaré, H. Simon y P. Vandangeon

El inmueble ubicado en el nº 21/25, rue Raynouard, implantado en la ladera de la colina de Passy, en el distrito 16 de París, se ha visto sometido a importantes deterioros a raíz de un desplazamiento de terrenos. Simecsol SA y la oficina de estudios técnicos BET Simón, han elaborado un dispositivo de consolidación que consiste en una rigidificación de la estructura mediante hormigón armado, por muros cáscara y largueros, conjuntamente con un recalce de los cimientos por micropilotes hidráulicos y provistos, en su parte superior de un dispositivo antifricción. En este artículo se presentan los aspectos del diseño y de la ejecución de estas importantes obras de consolidación, que se terminarán en abril de 1998. Palabras clave : desplazamiento de terrenos, consolidación, recalce de cimientos, micropilotes, sistema hidráulico, dispositivo antifricción, rigidificación, hormigón armado, postesado.

Gain d'espace en souterrain

Construction d'un complexe sportif souterrain au lycée La Rochefoucauld (Paris VII^e)

En site urbain, l'agrandissement de structures existantes est restreint en surface par les limites de propriété et de mitoyenneté, en hauteur par les règlements municipaux ; reste la possibilité de construire en sous-sol, sous les constructions existantes, mais cela entraîne généralement des travaux difficiles et coûteux qui ne se justifient que si le prix du mètre carré gagné est élevé et permet ainsi d'assurer au propriétaire un retour d'investissement convenable.

Dans un article publié dans Travaux (n° 701, septembre 1994), J. Lavis et S. Bagheri avaient décrit les travaux du Centre Culturel et d'Expositions de Monaco, entièrement enterré dans une zone de remblais en bordure de mer. Il est évident que dans le contexte monégasque, le coût élevé de cette structure souterraine se justifiait totalement à la fois par le prix du terrain et parce qu'il fallait de toute manière préserver la vue imprenable des riverains.

A Paris, l'exemple du Lycée La Rochefoucauld décrit dans cet article ne doit son existence qu'aux progrès réalisés par les outillages de paroi moulée ; en effet, la méthode traditionnelle en sous-œuvre n'aurait pas permis de réaliser les travaux dans les courts délais impartis et, d'autre part, la solution paroi moulée n'aurait pas été possible avec des outillages classiques.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

A.E.P La Rochefoucauld

Maître d'œuvre (architecte)

Eric Dubois

Bureau d'études

Becebat

Bureau de contrôle

Afitest

Réalisation des travaux

Solétanche Bachy

Durée des travaux

1995-1997



Photo 1
Vue de la grande salle avec les parois moulées apparentes

View of large hall with apparent diaphragm walls

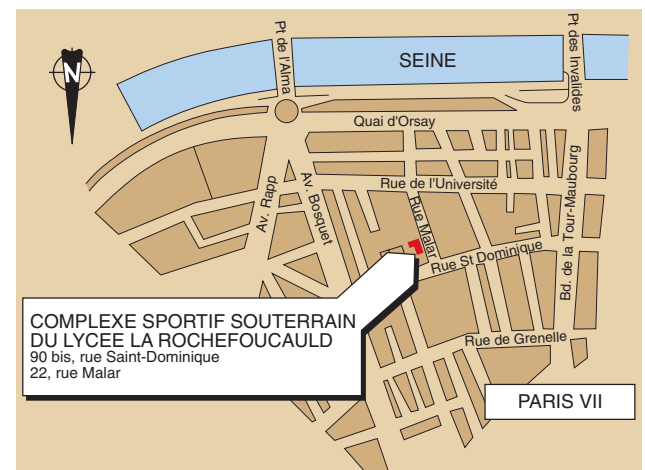


Figure 1
Situation du chantier
Location of site

■ PROJET D'UN COMPLEXE SPORTIF SOUTERRAIN

Le lycée La Rochefoucauld est situé au cœur du VII^e arrondissement de Paris (figure 1).

Depuis son origine il y a deux siècles, l'école n'a cessé de s'agrandir en construisant de nouveaux bâtiments. Par ailleurs, son association sportive est très active et se classe parmi les meilleures en France.

Compte tenu de l'insuffisance du gymnase existant et du manque de place en surface, c'est sous la

cour principale qu'il fut décidé, en 1995, de construire un complexe sportif souterrain comprenant une grande salle multisport, une salle de gymnastique, des gradins et des vestiaires (photo 1).

■ PROJET D'EXÉCUTION

L'exécution de l'ensemble de cet ouvrage souterrain fut confiée à l'entreprise Solétanche Bachy en qualité d'entreprise générale. Afin de ne pas perturber le bon déroulement de la scolarité des



Photo 2
Outillage KS 3000
en bordure de mitoyen
*KS 3000 tool against
adjacent structure*



Photo 3
La géométrie du site a imposé
pour la perforation de la paroi,
implantée à proximité
immédiate des mitoyens,
l'utilisation de l'outillage KS
3000 et de son automatisme
associé Sakso (système
d'excavation assisté
par ordinateur)

*Site geometry made
it necessary, for the drilling of
the wall, located immediately
near other structures, to use
the KS 3000 tool and
its associated Sakso system
(computer-assisted
excavation system)*



élèves, il s'avéra nécessaire de scinder les travaux en deux phases.

La phase 1

Elle se déroula pendant les vacances scolaires de l'été 1995, et comprend la réalisation des fondations (figures 2, 3 et 4) :

- ◆ exécution d'une paroi moulée périmétrale assurant le soutènement et l'étanchéité de l'ouvrage. Cette paroi, d'une épaisseur de 620 mm, descend à 17 m de profondeur afin de recouper entièrement la couche étanche des fausses glaises ; dans ces conditions, le débit résiduel maximum garanti fut fixé à 4 m³/h, calculé pour la crue maximale de la Seine ;
- ◆ recépage de la paroi et exécution d'une poutre de chaînage ;
- ◆ réalisation de la dalle de couverture avec remise en état de la cour de récréation.

La phase 2

De juillet 96 à la fin du premier trimestre 1997, elle correspond à la réalisation du génie civil et des travaux de second œuvre :

- ◆ terrassement en taupe jusqu'au fond de fouille avec pose de butons ;
- ◆ installation du dispositif de pompage ;
- ◆ exécution d'un radier drainant pour la grande salle multisport et d'un radier général pour la salle de gymnastique ;
- ◆ exécution du reste du génie civil et du second œuvre.

LES CONTRAINTES DU CHANTIER

La construction de ce complexe sportif souterrain "clés en mains" a dû intégrer un certain nombre de contraintes liées à la situation particulière du chantier dans l'enceinte d'un corps de bâtiments existants (eux-mêmes situés dans un quartier résidentiel) et à ce que les travaux ne devaient pas

gêner l'activité normale du lycée :

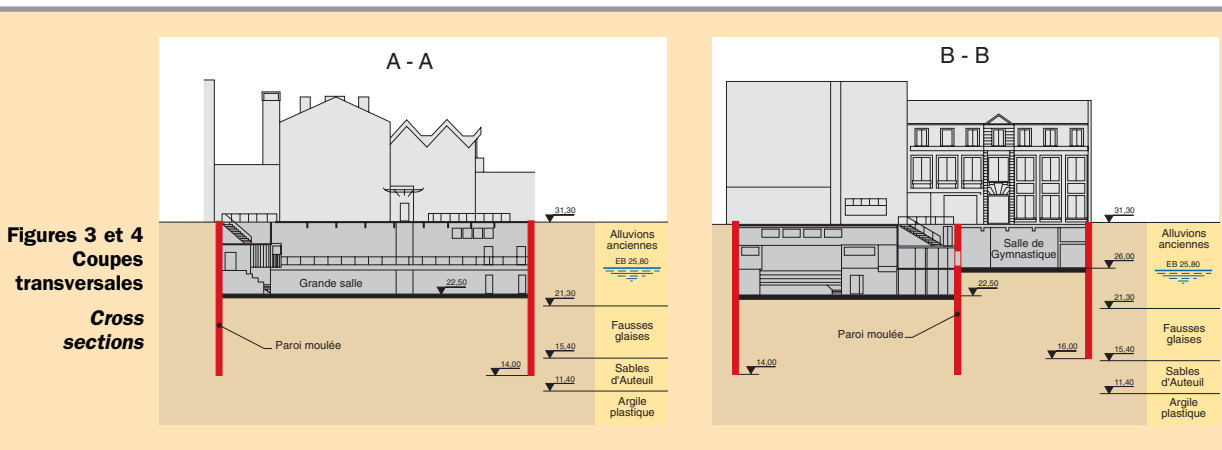
- ◆ protection des élèves (barrières amovibles pour canaliser le flux des élèves pendant les travaux) ;
- ◆ protection des façades existantes, étaieement des caves et du parking mitoyens ;
- ◆ modification des accès avec notamment la réalisation d'une poutre-voile en béton armé entre deux bâtiments existants pour permettre le déchargement du matériel ;
- ◆ purge des obstacles enterrés sur le périmètre de la paroi moulée (en particulier démolition de la muraille-guide d'une paroi moulée réalisée 20 ans plus tôt pour un parking souterrain mitoyen) ;
- ◆ horaires de travail (7 h - 22 h) à deux postes de 8 heures correspondant aux normes antibruit en vigueur à Paris ;
- ◆ nettoyages réguliers des abords et lavage systématique des camions.

L'OUTILLAGE DE PAROI KS 3000

L'originalité de l'outillage KS 3000 réside dans le fait qu'en cours de perforation, il est constitué d'une benne hydraulique suspendue librement à un câble et que, hors de la tranchée, la benne est guidée par un kelly orientable.

Il est ainsi possible de diriger très précisément les mouvements de la benne entre la tranchée et le camion de déblais et, ainsi, de ne pas risquer d'endommager les mitoyens, même s'ils sont situés à quelques centimètres de la paroi (photo 2). L'outillage KS 3000, entièrement hydraulique, est compact, silencieux, performant et d'installation très rapide sur chantier.

Les KS 3000 sont équipés d'un système automatique de pilotage et d'édition de rapports de travail (Sakso) (figure 5) ; le contrôle de qualité est ainsi facilité par l'édition automatique en temps réel de rapports complets sur toutes les données d'exécution de la paroi (verticalité, vitesse, profondeur, nature des couches de terrain traversées, arrêts, etc.), ce qui permet – entre autres – de capitaliser les informations enregistrées dans une base de données (photo 3).



Figures 3 et 4
Coupes
transversales
*Cross
sections*

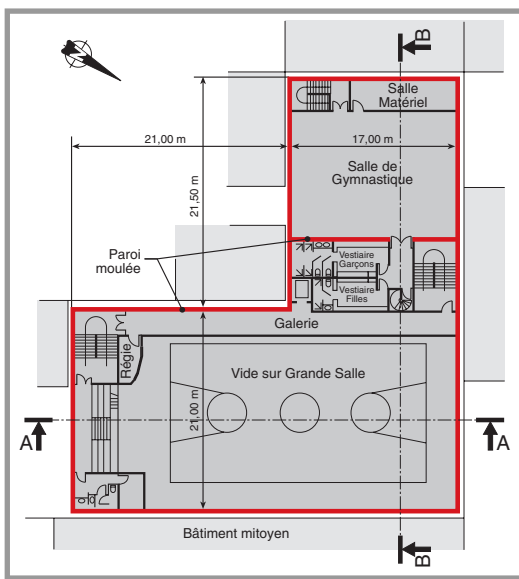


Figure 2
Vue en plan
générale
General
plan view

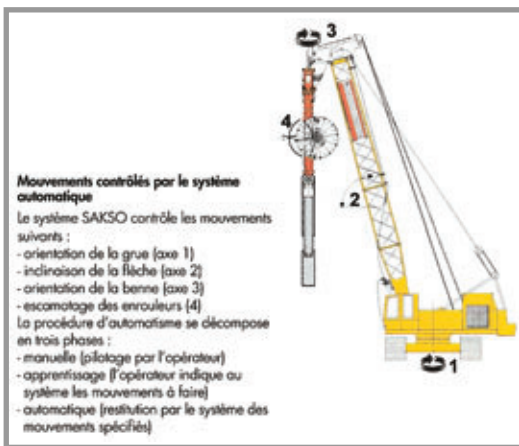


Figure 5
Schéma
des mouvements
de la KS 3000
Diagram
of KS 3000
movements

Le système de pilotage automatique permet de restituer automatiquement les données préalablement enregistrées d'un cycle complet de perforation par l'opérateur ; cet automatisme facilite grandement la conduite de la machine mais surtout il garantit une fiabilité totale quant aux mouvements de la benne et la sécurité vis-à-vis des dommages aux mitoyens.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Paroi moulée

2 500 m²

Génie civil

- Béton : 600 m³
- Aciers : 67 000 kg
- Coffrage : 4 300 m²

Étanchéité

1 340 m²

Terrassement

- Déblais : 8 200 m³
- Remblais : 120 m³

Second œuvre

Revêtement pierre, menuiserie extérieures/intérieures, serrurerie, faux plafonds, cloisons doublages, revêtement de sols, peinture, ascenseur, chauffage ventilation, plomberie, sanitaire, électricité, espaces verts.

ENGLISH SUMMARY

Space gain underground Construction of an underground sport facility at the Lycée La Rochefoucauld (Paris VII)

M. Guillaud

Technical progress achieved during the past 5 years in diaphragm wall techniques had to do especially with tool performance (output, guiding accuracy and verticality) and more size reduction (compact drilling machines and sludge recycling stations). Thanks to the KS 3000 tool, specially designed for walls in urban areas in the immediate vicinity of other structures, it was possible to build a buried sport complex under the main courtyard of Lycée La Rochefoucauld; this tool, with movements (shifting, rotation, "ramming") controlled by a programmed automatic system, moreover received the FNTP's 1995 Innovation Award.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Platz sparen im Untergrund Bau einer unterirdischen Sportanlage im Pariser Gymnasium La Rochefoucauld (7. Arrondissement)

M. Guillaud

Die im Zuge der vergangenen fünf Jahre auf dem Gebiet der Schlitzwände erzielten Fortschritte beruhen vor allem auf der verbesserten Leistungsfähigkeit der Maschinen (Wirkungsgrad, Führungsgenauigkeit und Einhaltung der Lotrechten) und auf ihrem geringeren Platzbedarf (kompakte Bohrmaschinen und Schlammaufbereitungsanlagen). Dank der speziell für die Errichtung von Wänden in einem urbanen Umfeld in unmittelbarer Nähe von Gebäuden entworfenen Maschine KS 3000 konnte unter dem Schulhof des Pariser Gymnasiums La Rochefoucauld eine unterirdische Sportanlage gebaut werden. Sämtliche Bewegungen dieser Ausrüstung (Verfahren, Drehen, Stemmen) werden über eine programmierten Automatik gesteuert. Sie ist 1995 mit dem Innovationspreis des FNTP (Fédération Nationale des Travaux Publics - Nationaler Tiefbauverband) ausgezeichnet worden.

RESUMEN ESPAÑOL

Ganancia de espacio en subterráneo Construcción de un complejo deportivo subterráneo en el liceo La Rochefoucauld (París - séptimo distrito)

M. Guillaud

Los progresos técnicos conseguidos durante el transcurso de los cinco últimos años en cuanto a la ejecución de pantallas continuas, corresponden, sobre todo, a las características de los equipos (rendimientos, precisión de guiado y verticalidad) y asimismo, la reducción de su volumen (máquinas de perforación y estaciones de reciclado de lodos de tipo compacto). Así, debido al empleo del equipo KS 3000, especialmente diseñado para las paredes en medio urbano en las cercanías inmediatas de las medianerías, ha sido posible construir un complejo deportivo subterráneo, bajo el patio principal del liceo La Rochefoucauld. Esta máquina, cuyos movimientos (desplazamientos, rotación, orientación del mástil) están totalmente controlados por un sistema de automatismo programado, se ha hecho merecedora del Premio de la Innovación 1995 otorgado por la Federación nacional de Obras públicas de Francia (FNTP).

Histoires d'eaux en

Deux exemples de soutènement

L'article relate la réalisation de deux ouvrages utilisés à des fins de stockage d'eau. L'un au Havre comme bassin tampon en cas d'orage, l'autre, au Val de Reuil (près de Rouen) comme bassin d'essais pour la Marine Nationale. Dans les deux cas l'enceinte périmétrique, exécutée en paroi moulée est autostable, l'une est circulaire (diamètre 56 m), l'autre est plane avec contreforts et fonctionne en mur poids. Outre les travaux de paroi moulée, sont également décrits les travaux d'accompagnement qui ont été nécessaires pour faire face aux difficultés spécifiques rencontrées.

Histoires d'eaux pour Intrafor dans l'ouest de la France avec deux opérations de bassins de retenue d'eau exécutées au 2^e semestre 1997 et au 1^{er} semestre 1998. La première est terminée, elle est située au Havre et porte le nom de l'Anse des Régates. La seconde est en voie d'achèvement au Val de Reuil (près de Rouen) et est couramment nommée le B600. Dans les deux cas une paroi moulée autostable assure le soutènement. Cette autostabilité est assurée soit par la géométrie circulaire de l'ouvrage, soit par l'utilisation de la paroi moulée en "té" comme un mur poids.

mise à l'eau des voiliers. L'ouvrage à construire s'inscrit ainsi à l'intérieur d'une forme trapézoïdale (figure 1 et photo 1) de 120 m de longueur du nord au sud, et d'une largeur de 70 à 90 m ; trois des quatre côtés du trapèze sont constitués par des murs de quai existants, le quatrième côté étant figuré par la mer elle-même. Les murs de quai (cote + 10,10) sont constitués par des ouvrages massifs en maçonnerie de moellons, avec des parements de pierres appareillées ; ils sont fondés vers la cote 0,00 sur un soubassement de gros béton qui s'appuie lui-même sur deux rideaux de pieux en bois. A l'ouest et à l'intérieur de l'anse on trouve la cale de mise à l'eau d'une largeur de 10 m dont la dalle repose sur un remblai pierreuse, elle-même supportée par un réseau de pieux en bois dont la fiche se trouve, pour les plus profonds, à la cote - 2,50. C'est à l'intérieur de cette forme que s'inscrit le bassin de stockage, un cylindre de 56 m de diamètre et de 23 m de hauteur.

Les terrains traversés par la paroi périmétrique après remblaiement de l'anse sont ainsi successivement :

- ◆ le remblai hydraulique sableux sur 10 m ;
- ◆ des silts alluvionnaires sur 4 m ;
- ◆ des sables grossiers, graviers et galets roulés de silex sur 10 m (sables et graves alluvionnaires) ;
- ◆ l'horizon de l'argile du Kimmeridgien composé par des argiles marneuses légèrement sableuses jusqu'à la cote - 37 NGF (épaisseur 23 m) surmontant des alternances de marnes et calcaire.



Photo 1
Anse des Régates :
vue aérienne

Anse des Régates:
aerial view

■ LE BASSIN D'ORAGE DE L'ANSE DES RÉGATES AU HAVRE

Présentation générale du projet

Sur la commune du Havre, en cas de brusques apports d'eau, notamment lorsque surviennent de violents orages, les déversoirs de Sainte-Adresse et de l'Anse des Régates rejettent l'eau non épurée directement en mer. Pour éviter ces affluents polluants, la Ville du Havre a décidé de créer un ouvrage intermédiaire entre les deux déversoirs et la mer elle-même. Cet ouvrage tampon d'une capacité de 50 000 m³ autorisera ainsi le stockage de l'eau pour permettre son "nettoyage".

Le site, la géologie

Le site retenu pour la création du bassin est l'Anse des Régates du port de plaisance, partie abritée et protégée, permettant, avant les travaux la

Principe de dimensionnement - Phasage des travaux

Le principe retenu pour le soutènement du bassin est une paroi circulaire de 0,82 m d'épaisseur autostable, doublée au fur et à mesure de la descente du terrassement par un contre-voile en béton armé d'épaisseur variable de 0,40 m en tête à 0,80 m en fond de bassin. Les panneaux de la paroi sont ferrailés sur toute leur hauteur pour pouvoir néanmoins travailler en paroi plane.

Les phases de travaux se succèdent ainsi :

- ◆ dragages de l'anse pour éliminer la vase ;
- ◆ fermeture du port de plaisance (le quatrième côté du trapèze) par un cavalier de remblai crayeux de 15 m de large à sa base, "armé" en son centre par un rideau de palplanches et ancré par une série de pieux métalliques battus ;
- ◆ démolition de la cale de mise à l'eau et purge des fondations de celle-ci, une partie de l'emprise de la paroi empruntant son tracé ;

Photo 2
Anse des Régates :
terrassement en cours
sur le deuxième rondel

Anse des Régates:
earthworks in progress
on second roundel





Terre normande

en parois moulées autostables

- ◆ remblaiement sableux puis vibro-compactage de celui-ci ;
- ◆ réalisation au fur et à mesure de l'avancement des travaux ci-dessus nommés, d'une campagne de reconnaissance complémentaire (carottage, scissomètre, essais de laboratoire, pénétromètre) et d'un suivi de l'évolution des variations de la nappe en fonction des mouvements de la marée (réseau de piézomètres) ;
- ◆ au vu des éléments collectés dans cette campagne hydro-géotechnique, complément d'étanchéité du site par rapport à la mer (au moyen d'injections) ; injection de consolidation au droit des ouvertures futures (entrée et sortie de collecteurs) ;
- ◆ consolidation des sols précédemment à l'exécution du forage de la paroi dans la zone du point de tangence de celle-ci avec le rideau de palanches du cavalier. Cette consolidation est exécutée par substitution des sols sur une profondeur

- de 15 m, au moyen d'une benne de 1,20 m d'épaisseur, par de la grave ciment ;
- ◆ réalisation de la paroi d'une profondeur de 42 m, sous boue bentonitique ;
- ◆ contrôle du débit de fuite par un essai de pompage (débit résiduel 1 m³/h) ;
- ◆ réalisation de la poutre de couronnement puis terrassement et coulage d'un anneau béton, par bande (hauteur) de 2,80 m (photo 2) ;
- ◆ depuis le fond de fouille, exécution des appuis béton armé remontant jusqu'au TN ;
- ◆ réalisation de la dalle de couverture du cylindre.

Principales difficultés et moyens mis en œuvre pour les travaux spéciaux

Les principales difficultés

On imagine bien aisément que la proximité immédiate de la mer conjuguée à la nécessité de réali-

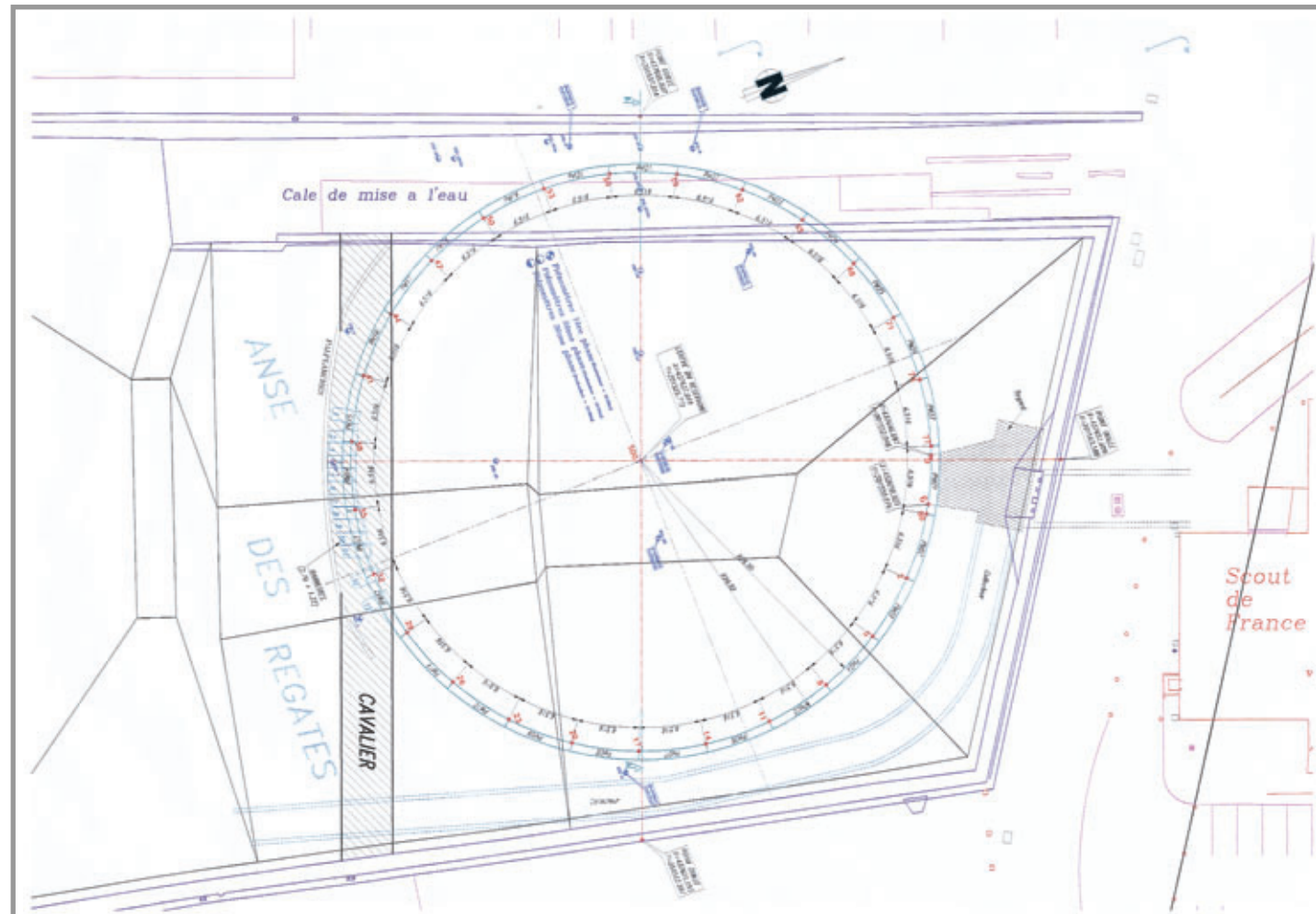


Figure 1
Anse des Régates :
vue en plan
Anse des Régates :
plan view



Photo 3
Anse des Régates :
l'ensemble
des installations.
Mise en place
d'une palplanche

Anse des Régates:
overview of installations.
Placing a sheetpile

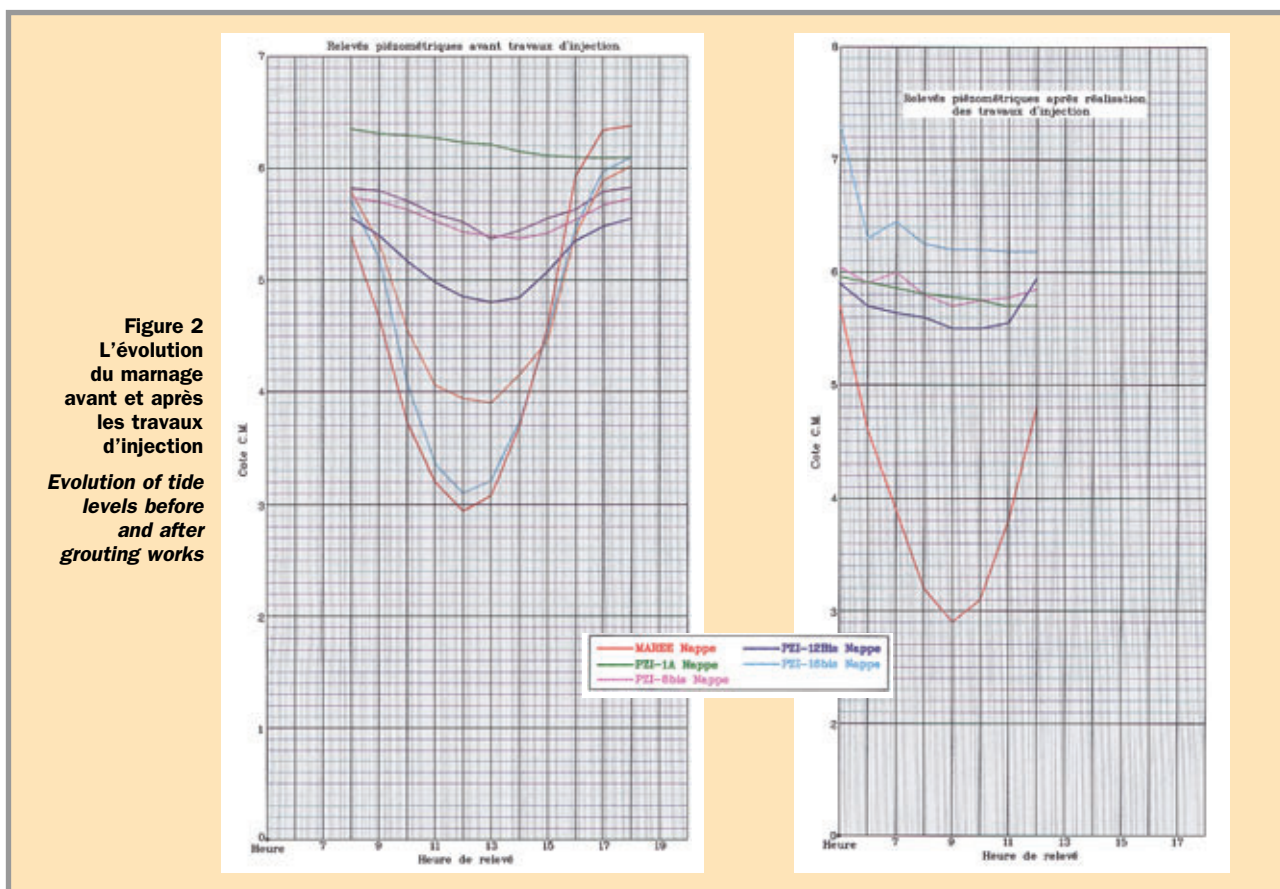


Photo 4
Anse des Régates :
l'ouvrage à la fin
du terrassement

Anse des Régates:
structure
after earthworks

ser les travaux sur une zone remblayée ait été une des difficultés majeures qu'Intrafor ait rencontrée. Il fallait, en effet, à tout prix pouvoir atténuer au maximum les effets de la marée dont le marnage était d'environ 6 à 7 m, et ce pour assurer le maintien de la boue pendant l'exécution de la paroi (excavation, ferrailage, bétonnage). Ce problème d'étanchéité vis-à-vis de la mer a été résolu, dans un premier temps, par une phase d'analyse et de compréhension du problème au moyen de la pose et du suivi d'une vingtaine de piézomètres ainsi que de l'analyse des enregistrements de paramètres de forage. Il a ainsi été mis en évidence plusieurs zones de circulations préférentielles notamment dans le secteur de démolition de l'ancienne cale. Dans ces zones, l'isolation hydraulique de la zone d'excavation de la paroi a été assurée par la mise en œuvre d'injections de mortier et de coulis de ciment avec usage d'accélérateur de prise rapide à très rapide. La figure 2 montre l'évolution de la piézométrie avant et après ces travaux.

La réalisation de la paroi et de sa tenue en phase d'excavation a dû par ailleurs tenir compte de la présence éventuelle de matériaux non purgés et de poches de vase non éliminés au dragage. Là encore une phase de reconnaissance a permis de détecter les difficultés, de les analyser et d'y remédier. Ainsi, entre autres, dans la zone du cavalier à proximité du rideau de palplanches, il a été procédé à la substitution pure et simple des sols sur une pro-



fondeur de 15 m et sur une longueur d'une vingtaine de mètres, et leur remplacement par de la grave ciment. On notera de plus que le choix des boues de forage, coulis et béton de paroi a bien évidemment été fait en fonction de la nature de l'eau de mer.

L'ouvrage étant autostable, la continuité des panneaux et leur verticalité sont des éléments déterminants du bon fonctionnement du soutènement. Outre l'usage des planches de bétonnage brevetées par Intrafor apportant une garantie majeure vis-à-vis de ce problème, la verticalité (tolérance 0,5 %) a été suivie avec une grande précision tout au long de l'excavation de chacun des panneaux. Enfin l'étanchéité de l'ouvrage lui-même a également fait l'objet de travaux spécifiques (double joint waterstop, traité, entre chaque panneau).

Moyens mis en œuvre

Une trentaine de personnes travaillant en deux postes ont participé à l'exécution de ces travaux. Placé sous l'autorité de Christian Le Monze, chargé d'affaires, Christophe Allemoz, responsable du chantier, était assisté de deux collaborateurs pour le seul suivi des procédures et de la qualité.

Deux grues de forage Liebherr (843 et 851), deux grues de manutention de 50 t et 100 t, deux unités de dessablage et un stockage de 500 m³ de boue ont été utilisés pour la réalisation de la paroi moulée (photo 3).

Une foreuse Bonne Esperance 2T et une centrale d'injection automatisée six points ont permis de participer à la campagne complémentaire de reconnaissance et d'exécuter l'ensemble des travaux d'injection.

Un phasage particulièrement étudié a permis d'achever la paroi dans un délai global (analyse et traitement des difficultés ci-dessus énumérées inclus) de moins de trois mois (photo 4).

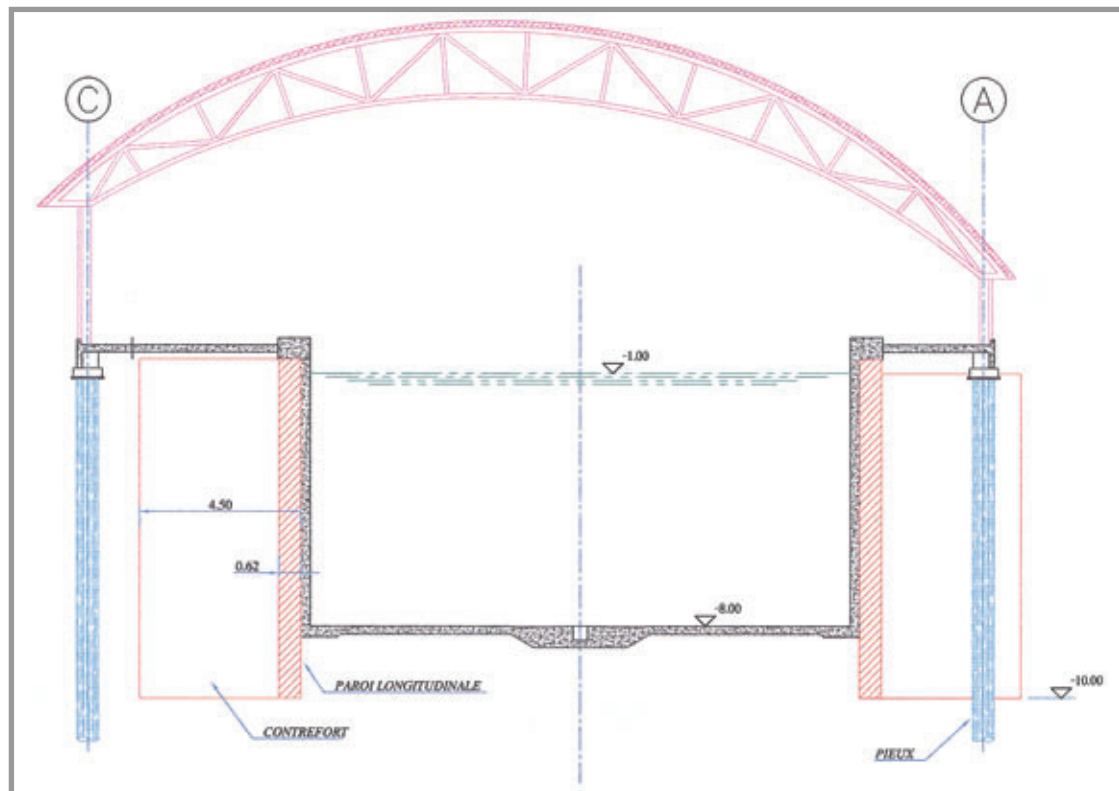
LE BASSIN DE TRACTION À HAUTE PRODUCTIVITÉ : LE B600

Présentation générale du projet

Le bassin de traction à haute productivité (B600) est une installation d'essais destinée à étudier expérimentalement les performances hydrodynamiques de navires de surface ou de sous-marins dans des conditions de navigation définies. L'expérimentation fait appel à des modèles à échelle réduite ou maquettes, la houle étant représentée à l'intérieur du bassin à la même échelle.

Le site, la géologie

La longueur du bassin est de l'ordre de 545 m, sa largeur de 15 m, sa profondeur de 8 m et se



trouve à l'intérieur du hall d'essais long de 625 m et large de 25 m.

Les formations géologiques rencontrées sur le projet sont successivement :

- ◆ des limons argileux ou sableux sur une épaisseur de 5 à 7 m ;
 - ◆ des graves sablo-limoneuses à argileuses sur une épaisseur de 3 à 5 m ;
 - ◆ un substratum crayeux avec bancs de silex.
- Cette craie dure, très fracturée, a été le siège de phénomènes karstiques liés aux circulations d'eau. De ce fait, diverses anomalies ont été rencontrées :
- ◆ cavités dans la craie affectant également les terrains de couverture ;
 - ◆ zones de fontis ;
 - ◆ poches de craie très altérée.

Le projet est hors d'eau à l'exception de circulations éventuelles d'eau de surface.

Principes de dimensionnement - Phasage des travaux

Les piédroits de la section courante du bassin sont constitués de deux parois moulées de 62 cm d'épaisseur et de 10 à 14,50 m de profondeur. Ces parois, ancrées dans les graves ou la craie, sont raidies par des contreforts de même épaisseur et ancrés au même niveau que la paroi longitudinale. La longueur des contreforts est de 3,90 m et leur entr'axe de 4,30 m (figure 3).

Ainsi les volumes de terre situés entre les contreforts sont liaisonnés par frottement aux parois moulées ; l'ensemble constituant alors un massif poids linéaire autostable résistant aux poussées latérales des terres.

Les parois moulées ferrillées toute hauteur (100 kg/m³) présentent donc une section en "té" de

Figure 3
Val de Reuil :
coupe type
du bassin

Val de Reuil :
Typical
cross section
of basin



Photo 5
Val de Reuil :
cage de ferrailage
d'un "té"

Val de Reuil:
reinforcement cage
for a "tee"



Photo 6
Val de Reuil :
le forage
à la benne

Val de Reuil:
drilling work
with bucket

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

LE HAVRE

Maitre d'ouvrage

Ville du Havre

Maitre d'œuvre

Port autonome du Havre

Entreprise générale

Quille

Entreprise travaux spéciaux

Intrafor

VAL DE REUIL

Maitre d'ouvrage

Marine Nationale S.T.T.I.M.

Maitre d'œuvre

Sofresid, Sechaud & Bossuyt

Entreprise générale

Quille

Entreprise travaux spéciaux

Intrafor



dimensions 4,30 x 3,88 m (photo 5). Pour l'ensemble des bâtiments (hall d'essais et bâtiment central), les fondations sont assurées par des pieux descendus en dessous du niveau des pieds de paroi moulée, évitant de ce fait des sollicitations parasites sur celles-ci.

Les pieux sont soit flottants (par mesure de sécurité, vis-à-vis de la possibilité de présence de vides non détectés), soit travaillant en pointe et au frottement latéral et descendus dans la craie dure. Les travaux se déroulent suivant le phasage ci-dessous :

- ◆ compte tenu de la nature karstique du site, investigation pénétrométrique complémentaire ;

- ◆ adaptation de la fiche des "tés" et définition des secteurs nécessitant des travaux au vu de l'analyse de la campagne pénétrométrique ;

- ◆ exécution de la paroi moulée et des pieux de fondations ;

- ◆ terrassement avec un suivi détaillé des natures de terrains excavés ainsi que des déplacements de la paroi moulée, afin de déceler des zones éventuelles qui devront faire l'objet de travaux de consolidation complémentaire.

Après terrassement, exécution d'un radier en béton armé d'épaisseur variable de 0,2 à 0,6 m à la cote - 8 m. Ce radier relie les deux bajoyers distants de 15 m.

Après l'exécution de ce radier, les parois moulées sont doublées par un contre-voile d'épaisseur 0,25 m assurant le rattrapage des tolérances d'implantation (3 cm), de la verticalité (1 %) et des déformations de la paroi sous l'action de la poussée des terres. Le voile participe à la stabilité verticale définitive des piédroits et permet un parement de qualité optimum vis-à-vis des problèmes hydrauliques à l'intérieur du bassin.

Principales difficultés et moyens mis en œuvre pour les travaux spéciaux

La particularité du chantier réside dans la réussite d'excaver la paroi et les pieux dans un terrain karstique fortement perturbé provoquant pertes de boue et instabilité des terrains.

L'excavation de la paroi (photo 6) est ainsi précédée dans les zones reconnues "sensibles" par des injections de coulis de ciment mises en œuvre au moyen de forages équipés de tubes lanternés descendus de 1 à 3 m sous le pied de la paroi. Ainsi les difficultés majeures résident, d'une part dans l'organisation du chantier et les phasages des travaux associés à la rencontre de ces zones de terrain décomprimé, et, d'autre part, aux difficultés "classiques" de réalisation de paroi en "té".

Les pieux sont exécutés suivant la technique du pieu foré tubé avec une complexité maximum liée à la rencontre occasionnelle de bancs de silex surmontant des zones nécessitant impérativement une protection par tubage.

Plus de soixante personnes placées sous l'autorité de Jean-Christophe Gillard assisté de Antonio Cosma participent à l'exécution des travaux.

Deux grues de forage type LS 180, trois grues de manutention de 50 à 80 t, une centrale à boue d'une capacité de 300 m³ associées à deux unités de dessablage sont mises en œuvre pour la paroi moulée. La foreuse de pieux est de type BG 14. Un vibrofonceur est également utilisé pour la mise en place de viroles. Les travaux d'injection mobilisent deux foreuses Bonne Esperance FBE2T et une centrale de fabrication et de mise en œuvre de coulis pour deux presses.

La paroi moulée (et les travaux d'injection en temps masqué) devrait être achevée après 4 mois d'efforts à deux postes (hors travaux de consolidation éventuels à définir pendant les phases de terrassement). Le délai de réalisation des pieux est de deux mois et demi.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

LE HAVRE

Paroi moulée

7 400 m²

Béton

5 700 m³

Aciers

370 t

Epaisseur paroi

0,82 m

Forages pour injection

3 000 ml

Volume de coulis

400 m³

VAL DE REUIL

Paroi moulée

24 200 m²

Béton

13 500 m³

Aciers

1 500 t

Epaisseur paroi

0,62 m

Pieux

188 u Ø 800

Forages pour injection

3 450 ml

Volume de coulis

1 000 m³

ENGLISH SUMMARY

All about water in Normandy Two examples of support using self-stable diaphragm walls

Ch. Besson

The article describes the completion of two structures used for water storage. One is located in Le Havre and serves as a stormwater buffer basin, the other in Val de Reuil (near Rouen) as a test basin for the French Navy. In both cases, the perimeter's enclosure, consisting of a diaphragm wall, is self-stable; one is circular (56 m diameter) and the other is flat with buttresses and acts as a gravity wall. In addition to the diaphragm wall, the author also describes the other related works required in order to deal with the specific difficulties encountered.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Wassergeschichten aus der Normandie Zwei Beispiele für eigenstabile Entlastungsschlitzwände

Ch. Besson

Der vorliegende Artikel beschreibt die Errichtung zweier Wasserspeicheranlagen. Eine dient in Le Havre als Puffer bei hohem Niederschlag, die zweite in Val de Reuil (bei Rouen) als Versuchsbecken für die französische Marine. In beiden Fällen ist die umlaufende Einfassung, die als Schlitzwand ausgeführt ist, eigenstabil. Eine ist kreisförmig (56 m Durchmesser), die andere ist eben mit Strebepfeilern und als gewichtsmäßig wirkende Mauer ausgebildet. Neben den Schlitzwandarbeiten werden auch die Begleitmaßnahmen beschrieben, die zur Bewältigung der aufgetretenen spezifischen Schwierigkeiten getroffen worden sind.

RESUMEN ESPAÑOL

Historias de aguas en tierras normandas Dos ejemplos de muros de contención mediante pantallas continuas autoestables

Ch. Besson

En este artículo se expone la ejecución de dos estructuras utilizadas con destino al almacenamiento de agua. Una de ellas en Le Havre, como presa reguladora en caso de avenidas de tormenta y la otra, en Val de Reuil (cerca de Ruán) con destino a experiencias hidrodinámicas para la Armada francesa. En ambos casos, el recinto perimétrico es autoestable y se ha ejecutado mediante pantallas continuas y una de ellas es de planta circular (diámetro 56 m) y la otra de planta plana con contrafuertes y funciona como muro de gravedad. Además de las obras de ejecución de pantallas continuas, se describen también las obras complementarias, que ha sido preciso construir para hacer frente a las dificultades específicas con que se ha tropezado.

Le viaduc du Viaur

Un record de France sous

A la fin du XIX^e siècle, la Société de Construction des Batignolles réalisait sur le Viaur, le plus grand pont ferroviaire en arc métallique de France. Près d'un siècle plus tard et quelques méandres plus loin, c'est un retour aux sources pour l'entreprise Spie Batignolles et ses partenaires Sogéa et Dodin Sud.

Avec une travée de 190 m de long, le futur viaduc routier détiendra le record de France des ponts construits en encorbellement.

L'article décrit les principales contraintes rencontrées (topographiques, météorologiques...) et les méthodes particulières envisagées (exécution des piles de grande hauteur, stabilisation des fléaux par câbles verticaux) pour réaliser cet ouvrage exceptionnel.

Aux confins de l'Aveyron et du Tarn, l'opération routière du franchissement de la vallée du Viaur représente la première étape d'une démarche d'aménagement global de la RN 88 entre Lyon et Toulouse, confirmée par le Comité interministériel d'aménagement du territoire tenu à Mende en 1993. C'est donc à terme une grande liaison d'aménagement du territoire qui sera réalisée de Toulouse à l'autoroute A 75, assurant ainsi le désenclavement des départements traversés.

Localement, les longues descentes dangereuses dans le secteur de la vallée du Viaur, les attentes insupportables derrière les poids lourds, les accidents répétés ne seront plus qu'un mauvais souvenir pour les usagers de la RN 88. Ce site, par ailleurs pertinent, a actuellement le privilège d'accueillir deux ouvrages exceptionnels et détenteurs de records de France de portée, chacun dans sa catégorie.

Si l'ouvrage ferroviaire symbolise une technologie du métal dans la construction de la fin du XIX^e siècle, les études menées et la construction de l'ouvrage routier synthétisent recherches et

connaissances acquises à la fin du XX^e siècle dans le domaine du béton précontraint. C'est finalement une silhouette aux lignes pures, sobres et harmonieuses qui confèrera au viaduc routier du Viaur une élégance et une dimension appropriée au site (photos 1 et 2).

LES ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

Le site concerné est à proximité du célèbre viaduc ferroviaire du Viaur. Avec ses 220 m de portée, cet ouvrage reste encore à ce jour le plus grand arc articulé métallique de France. Il fut construit pour le compte de la Compagnie Ferroviaire du Midi par la Compagnie des Batignolles, sous une maîtrise d'œuvre du ministère des Transports.

Près d'un siècle après, le franchissement de la vallée du Viaur par la RN 88 était décidé.

Les études préliminaires diligentées par le Service des études techniques des Routes et Autoroutes et la DDE de l'Aveyron, en association avec des bureaux d'études privés, ont permis d'étudier une quinzaine de solutions d'ouvrages.

Au final, cinq solutions furent retenues pour les études d'avant-projet :

- ◆ pont en arc métallique à tablier intermédiaire : l'arc métallique était constitué de tubes métalliques de 1,5 m de diamètre, remplis ensuite de béton à hautes performances. La portée principale était de 365 m pour une flèche de 75 m et un ouvrage de 576 m de long ;
 - ◆ pont en arc béton à tablier supérieur : l'arc surbaissé avait une portée de 300 m, pour une flèche de 48 m, l'ouvrage faisant 612 m de long ;
 - ◆ pont à haubans : une solution haubanée parfaitement envisageable avec des mâts de 160 m de haut, une travée centrale de 230 m et une longueur d'ouvrage de 595 m ;
 - ◆ pont à piles en Y : la structure d'un tablier en caisson précontraint sur pile en Y permettait de réduire la travée centrale à 135 m, et d'avoir une hauteur constante ;
 - ◆ pont à voussoirs précontraints : structure classique à hauteur variable, aux lignes pures et élancées, néanmoins prolongée dans des dimensions inhabituelles, avec une travée centrale proche de 200 m, elle apparaissait la plus économique.
- A l'issue de la comparaison de ces études, les critères financiers, techniques et esthétiques ont abouti à retenir la solution du pont à voussoirs précontraints construits par encorbellement, qui regroupe cependant trois difficultés concomitantes :

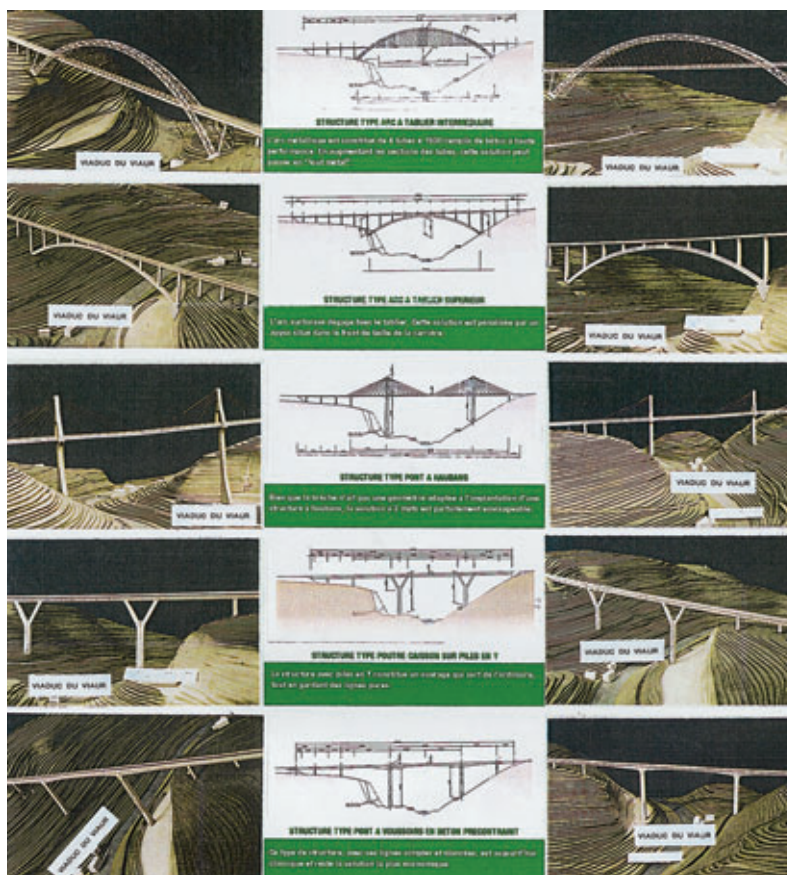


Figure 1
Esquisses et maquettes des solutions envisagées
Sketches and mock-ups of considered designs

dans l'Aveyron

vent turbulent

- ◆ une travée centrale de 190 m, exceptionnelle à ce jour et détenant le record de France actuel pour ce type de structure ;
- ◆ une hauteur importante de 130 m au-dessus du Viaur ;
- ◆ un ouvrage très sensible aux effets du vent en phase de construction, conséquence des deux particularités ci-dessus, dans un site exposé et caractérisé par un vent turbulent.

Signalons que l'ensemble des études préliminaires ont été menées sur la base d'un ouvrage à 2 voies, l'objectif initial de l'opération consistant à supprimer un verrou dangereux constitué par la descente de Tanus.

Il était prévu cependant un doublement de l'ouvrage à terme. Ces études ont été menées jusqu'à la dévolution des travaux, mais jamais notifiés car le statut de la RN 88 a parallèlement été modifié pour devenir une grande liaison d'aménagement du territoire à 2 x 2 voies.

Sur la base de la même structure, l'ensemble de la procédure a été reprise pour un ouvrage à 4 voies (figure 1).

■ LA PARTICULARITÉ DES ÉTUDES AU VENT

La prise en compte d'hypothèses de vent classiques semblait insuffisante, compte tenu des expériences accumulées lors de la construction de grands ouvrages récents.

Tout d'abord un rapprochement avec les recommandations de la Convention Européenne de la Construction Métallique (appelées règles C.E.C.M.) a abouti à calculer dans un premier temps l'ouvrage avec une pression au vent de 350 kg/m² en service, et avec 200 kg/m² en construction.

Dans un deuxième temps, lors de la nouvelle étude de l'ouvrage à 4 voies, la maîtrise d'œuvre a confié au Centre Scientifique des Techniques du Bâtiment (CSTB) l'exécution d'une maquette topographique du site et des essais en soufflerie de l'ouvrage.

La structure a fait l'objet d'une étude au vent à l'aide du programme "Rafale", avec un vent "cinquantennal" comme référence.

Par rapport aux études au vent initiales, l'exploitation de ces derniers calculs a abouti à une augmentation d'environ 60 % des sollicitations "dimensionnantes". Ceci nécessitait le recours à une stabilisation provisoire de l'ensemble pile/fléau. Parmi différents systèmes étudiés, il

sera retenu finalement le principe suivant :

- ◆ une stabilisation par câbles verticaux des grands fléaux ;
- ◆ un ancrage des grandes piles dans le substratum rocheux par l'intermédiaire de quatre puits excavés à l'explosif ;
- ◆ un ancrage des semelles des petites piles par des ancrages actifs en 12T15.

Ces dispositions lourdes et coûteuses, associées à un ferrailage très important des piles sont dues au cas particulier de ce genre d'ouvrage : très grand fléau encastré sur un appui de grande hauteur, le tout construit dans un site caractérisé par un vent turbulent.

Des simulations faites par le SETRA avec les mêmes hypothèses de vent rapportées à des fléaux de 100 m et des piles de 50 m indiquent que le recours aux dispositifs de stabilisation n'aurait pas été nécessaire.

Roland Caffort

ICPC
DDE de l'Aveyron

Gérard Vertut

DIRECTEUR OPÉRATIONNEL FRANCE
Spie Batignolles TP

Jérôme Wabinski

IPC
Maîtrise d'œuvre DDE

Didier Le Page

DIRECTEUR
Dodin Sud

Roland Gachiteguy

ITPE
Maîtrise d'œuvre DDE

Vincent Preyssas

DIRECTEUR DE TRAVAUX
Spie Batignolles TP

Gérard Viossanges

CSPTPE
Maîtrise d'œuvre DDE

Michel Roudanes

CONDUCTEUR DE TRAVAUX
Dodin Sud



Photo 1
Photo montage
du viaduc
en situation

*Photomontage
of the viaduct
in place*



Photo 2
Vue générale
de l'ouvrage
en construction

*General view
of structure
under construction*

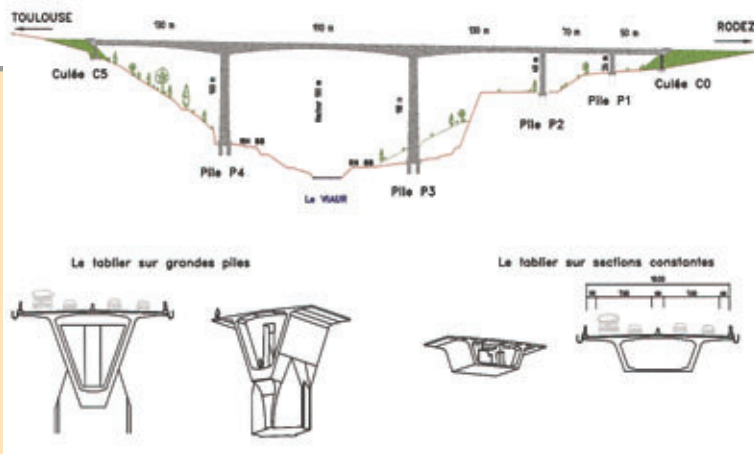


Figure 2
Coupe longitudinale
Longitudinal section

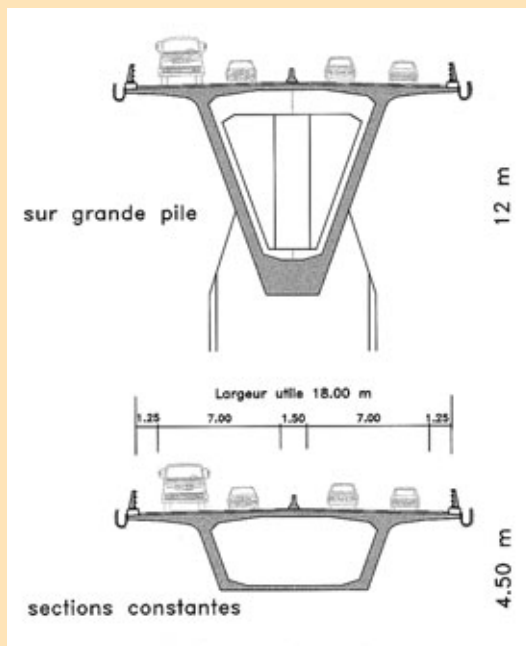


Figure 3
Coupe transversale
Cross section

■ LES CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE (figures 2 et 3)

L'équipe de conception, le SETRA et la DDE de l'Aveyron, ont associé : l'architecte Philippe Fraleu afin d'intégrer au mieux l'ouvrage retenu dans le site et mettre en valeur l'harmonie des lignes de structures, et un bureau d'études de Toulouse (Europe Études Gecti) auquel est revenue l'étude de certaines parties de l'ouvrage.

Les efforts très importants apportés par l'étude au vent en phase de construction, malgré les dispositifs de stabilisation, auraient nécessité d'augmenter considérablement l'épaisseur des piles pour obtenir des ratios classiques d'armatures passives. La volonté de ne pas pénaliser l'esthétique définitive de l'ouvrage et donc de conserver une forme des piles conservant des lignes pures, sobres

et harmonieuses, a nécessité d'avoir recours à des taux de ferrillages passifs très importants dans les piles.

Par ailleurs, les contraintes du site pour l'implantation des appuis, essentiellement topographiques, étaient dues à la présence d'une ancienne carrière très fracturée, de la RN 88 et de la rivière du Viaur. L'ensemble du sous-sol ne posait pas de problèmes particuliers de portance, car il est constitué de matériaux rocheux. Ces contraintes naturelles ont contribué à retenir un ouvrage à cinq travées (50 - 70 - 130 - 190 et 130 m), franchissant la rivière à près de 130 m de hauteur.

Les appuis d'extrémités sont constitués de deux culées hautes de 15 et 20 m. Deux piles hautes de 20 et 43 m supportent les travées d'accès nord, et deux grandes piles hautes de 103 et 87 m encadrent la brèche.

Quant au tablier d'une longueur totale de 573 m, d'une largeur totale de 19 m pour 18 m utile, le mode de construction basé initialement sur des voussoirs de 2,60 m à 2,70 m de long a abouti, après mise au point du marché, aux définitions suivantes :

- ◆ 2 fléaux de 70 m à hauteur constante de 4,50 m (22 paires de voussoirs de 2,76 m) ;
- ◆ 2 grands fléaux de 190 m à hauteur variable de 4,50 à 12 m (64 paires de voussoirs de 2,76 m) ;
- ◆ la construction des travées d'extrémité, coulées sur cintre, et les clavages.

Le projet a recours à une précontrainte de construction des fléaux en 19T15, au tracé simple, et ensuite à une précontrainte extérieure en 27T15. Le hourdis était précontraint transversalement par torons gainés graissés. Les épaisseurs des hourdis varient de 25 à 30 cm. Les âmes ont une épaisseur constante de 60 cm.

L'ouvrage est équipé de barrières normalisées BN4, de corniches caniveau en aluminium peint. Les étanchéités prévoient le recours possible à deux familles de chapes (épaisses et minces), le choix définitif étant fait après réalisation des grands fléaux. Le financement de l'ouvrage est réparti à parts égales dans le cadre d'un contrat entre le ministère de l'Équipement, et la région Midi-Pyrénées.

■ L'ORGANISATION DES TRAVAUX LES PHASAGES - LE PLANNING

(figure 4)

Le marché a été notifié en février 1995 pour un démarrage des travaux en juillet 1995, le cahier des charges imposant une période de préparation de 5 mois incluse dans le délai d'exécution de 34 mois, hors intempéries.

Le recours à deux paires d'équipages mobiles a conditionné l'organisation des travaux. Le surcoût d'un deuxième équipage mobile a été jugé par la maîtrise d'œuvre largement compensé par le fait

de sortir du chemin critique la construction des fléaux de 70 m des travées d'accès nord. L'organisation des travaux retenue est donc logiquement la suivante :

- ◆ réalisation en temps masqué des culées, des piles P1 et P2, des deux fléaux de 70 m et des travées sur cintre ;
- ◆ réalisation sur le chemin critique des grandes piles et des grands fléaux, véritables points délicats du chantier, représentant l'essentiel des enjeux techniques et financiers.

■ LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

Les culées

Fondées superficiellement, hautes de 21 m pour la culée C0 et de 19 m pour la culée C5, elles sont constituées d'une semelle en béton armé, de 4 poteaux trapézoïdaux d'une section moyenne de 1,50 m x 2,50 m et d'un chevêtre équipé de murs caches et de murs en retour. Conçues pour reprendre une charge maximale de 1 000 t, elles représentent 1 500 m³ de béton type B40. Les coffrages des différentes parties de la culée ont été réalisés par les moyens propres du chantier équipé d'une menuiserie. Le chevêtre a été réalisé sur des profilés HEB 800 ancrés dans les poteaux en béton armé, évitant ainsi le recours à un étaieement au sol.

Les piles P1 et P2

La pile P1 est fondée superficiellement. Sa semelle est ancrée dans le rocher par huit tirants actifs 12T15 de 17 m de profondeur, destinés à assurer la stabilité de l'ensemble pile-fléau sous les effets du vent en phase de construction. Cette pile, haute de 21 m comporte quatre levées de 3,12 m, surmontée d'une tête de pile évasée de 6 m.

La pile P2 est également fondée superficiellement et ancrée par dix tirants précontraints. Haute de 43 m, comportant onze levées de 3,12 m surmontées de la même tête de pile que ci-dessus, la pile P2 reprenait les mêmes outils coffrants que la pile P1. Ces derniers étaient constitués :

- ◆ d'un coffrage grim pant métallique, de panneaux coffrants métalliques pour l'extérieur, d'un coffrage intérieur bois et d'une passerelle de ragréage ;
- ◆ d'un coffrage spécifique en charpente bois avec des peaux coffrantes en contreplaqué CTBX peint, pour la réalisation des deux têtes de pile.

Les cycles de construction ont été en moyenne de deux jours par levée.

Représentant 1 200 m³ de béton de type B40, les fûts de ces piles ont un taux de ferrailage exceptionnel pouvant atteindre 220 kg/m³, dû à leur élancement et aux sollicitations du vent en phase

VIADUC DU VIAUR - PROGRAMME DES TRAVAUX				
Tâche	1995	1996	1997	1998
Préparation + Etudes Installation	■			
Culée C0, travée sur cintre Remblais		■		
Fondation et Pile P 1	■			
VSP 1 et fléau 1		■		
Fondation et Pile P 2			■	
VSP 2 et fléau 2			■	
Fondation et Pile P 3	■	■		
VSP 3 et Fléau 3		■	■	
Fondation et Pile P 4			■	
VSP 4 et fléau 4			■	■
Culée C 5, travée sur cintre . Remblais			■	■
Précontrainte extérieure Superstructures et équipements				■

provisoire. Après le clavetage des fléaux aux parties adjacentes, la précontrainte des tirants 12T15 a été supprimée.

Les piles P3 et P4

Les piles P3 et P4, hautes respectivement de 120 et 103 m, restaient les pièces maîtresses de l'ouvrage. Fondées au rocher, la portance du sol était largement suffisante pour reprendre les 25 000 t de charge. Cependant les dispositions de stabilisation en phase constructive définies ci-dessus ont nécessité l'excavation de quatre puits en béton armé par pile, profonds de 10 m pour un diamètre de 3 m. Ces puits sont à l'origine des puits de traction, empêchant avant clavetage le basculement de l'ensemble pile-fléau sous les sollicitations extrêmes du vent. Ces puits sont liés dans une semelle de 18 m x 13 m et de 4 m d'épaisseur bétonnée en deux phases. Pour la pile P3 un socle de 11 m de haut réalisé en trois levées permet d'atteindre l'embase de la pile ; ce socle sera par la suite remblayé dans le cadre de travaux de remise en état paysager du site de la carrière où se situe cette pile (photo 3).

A partir de ce niveau, la pile P3 comprend 22 levées de 4,02 m surmontées d'un voussoir sur pile de 12 m de haut. La forme voulue élégante de cette pile intègre une variation de deux courbes paraboliques, ce qui permet d'adapter l'inertie des sections aux sollicitations.

Les sections varient ainsi de 16,14 m x 10,36 m à la base à 9,50 m x 7,40 m sous le voussoir sur pile. La pile P4 reprend exactement la forme de la pile P3, mais en ne comportant que 20 levées. Des planchers intermédiaires, au nombre de trois, permettent d'améliorer la résistance à la torsion de la pile. La conception d'un coffrage grim pant spécifique, comportait :

- ◆ une plate-forme extérieure métallique de struc-

Figure 4
Programme
des travaux
Work schedule



Photo 3
Ferrailage
d'un puits
Shaft
reinforcement

Photo 4
La pile 3
en cours
de construction
Pier 3
under construction



construction des grandes piles était constituée de 8 personnes pour les tâches de coffrages et bétonnages, et de 6 à 8 personnes pour les opérations de ferrailage. La pile P3 comporte 3 700 m³ de béton pour 859 t d'armatures passives, la pile P4 2 800 m³ de béton pour 665 t d'armatures. Ce ratio exceptionnel d'armatures passives peut atteindre 235 kg/m³ dans les fûts de pile, pour les raisons évoquées ci-dessus, de résistance aux effets du vent turbulent.

Les fléaux 1 et 2 de 70 m

Leur conception classique utilisait un équipage mobile existant reconfiguré pour s'adapter à la forme du tablier. Un voussoir sur pile de 4,50 m de haut pour 7,60 m de long et 11 paires de voussoirs de 2,76 m de long à inertie constante, permettaient de réaliser chaque fléau. Chaque voussoir contenait en moyenne 40 m³ de béton. Leur construction, avec une équipe de sept personnes, était menée selon un cycle moyen de 4 jours pour une paire de voussoirs.

Les grands fléaux 3 et 4 de 190 m

Les voussoirs sur pile des grands fléaux

(photo 6 et figure 5)

Ancrés en tête des grandes piles, hauts de 12 m, leur forme particulière souligne la notion d'encastrement de l'ensemble pile-fléau. Le groupement d'entreprises a réfléchi sur les méthodes d'exécution basées sur trois phases de bétonnage, selon l'organisation suivante :

- ◆ mise en place en deux phases, sur la tête de pile, d'une plate-forme de 15 m x 14 m, posée sur quatre consoles, elles-mêmes fixées par quatre boulons de diamètre 64 mm à la tête de pile reprenant chacun une charge maximale de 70 t. Entre chaque bétonnage, les charges étaient transférées directement au béton de la phase précédente par une gestion adaptée des points d'appui ;
- ◆ pose des panneaux coffrants inférieurs et supérieurs, réglage et arrimage des panneaux entre eux ;
- ◆ ferrailage et bétonnage des différentes phases ;
- ◆ brèlage aux hourdis supérieurs des panneaux coffrants supérieurs ;
- ◆ décentrement des panneaux coffrants inférieurs, ripage et descente au sol, les panneaux coffrants supérieurs restant suspendus sous le hourdis ;
- ◆ reprise à la grue équipée d'un palonnier des panneaux supérieurs, "débrèlage" et descente au sol ;
- ◆ descente au sol de la plate-forme par demi-section à l'aide de treuils électriques.

L'étude du découpage des panneaux supérieurs et inférieurs s'est faite en intégrant les charges limites de la grue, le calepinage des joints de panneaux et l'utilisation des coffrages supérieurs sur d'autres parties d'ouvrages telles que les voussoirs



ture tridimensionnelle, permettant aux poutres porteuses de se rapprocher au fur et à mesure que les sections de pile diminuaient et pouvant être hissée à chaque levée en une seule opération ;

- ◆ une plate-forme à rochets intérieure, également adaptable à la variation des sections ;
- ◆ un coffrage extérieur utilisant des panneaux métalliques démontables pour s'adapter à la variation des sections, un coffrage intérieur utilisant le même principe, le tout s'adaptant au pendage qui variait à chaque face et à chaque levée ;
- ◆ une passerelle de ragréage (photos 4 et 5).

La réalisation de ces deux appuis a posé des problèmes de mise au point des outils coffrants et de bétonnage lors de l'exécution des premières levées de la pile P3. Les premières levées de la pile nécessitaient la mise en œuvre de 115 m³ de béton sur un grand périmètre. La rhéologie du béton de 2 heures permettait de revenir sur les couches de béton précédentes dans de bonnes conditions. Cependant le recours à des cages préfabriquées par deux levées a perturbé la possibilité de bétonnage par bennes à manchettes, devenu impossible notamment pour des raisons de sécurité. L'utilisation de bennes de 3 m³ à vidange latérale a donc été retenue. En outre l'inclinaison des voiles due à la forme parabolique de la pile, associée à de forts taux de ferrailage ont abouti à l'obligation d'adapter les formules de béton et les procédures de vibration pour éviter les nids de cailloux.

Le cycle moyen d'exécution d'une levée a été de 4 jours, sans compter les temps nécessaires aux relevages des grues et à la réalisation des planchers intermédiaires. L'équipe affectée à la



Photo 5
Le coffrage grimpant
des grandes piles
Travelling formwork
for large piers

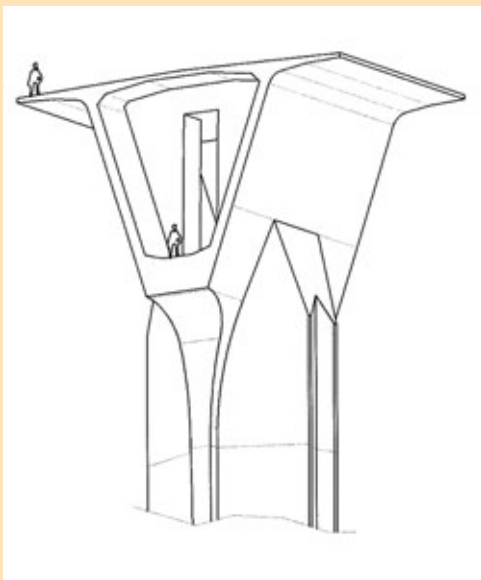


Figure 5
Le voussoir
sur pile 3
*The segment
on pier 3*

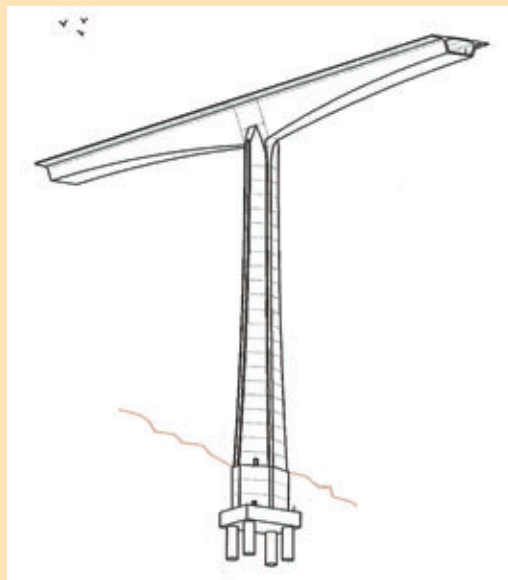


Figure 6
La pile 3
et le fléau 3
*Pier 3
and cantilever
arm 3*

sur piles 1 et 2 et les parties bétonnées sur cintre. D'une durée de 3 mois, la construction d'un grand voussoir sur pile représentait 700 m³ de béton et 127 t d'armatures. L'ensemble des accès des outils coffrants ont été intégrés dès la conception et n'ont pas posé de problèmes particuliers de sécurité, ils restaient impressionnants par leur ampleur, la hauteur des accès et le côté aérien des travaux réalisés à près de 120 m du sol.

Les grands fléaux (figure 6)

Avec trente-deux paires de voussoirs à construire, pour une durée de chantier de 8 mois par fléau, le chantier était exceptionnel. Tout d'abord les équipes mobiles ont été conçues spécialement pour ces grands voussoirs, capables de reprendre 235 t en porte-à-faux (45 t de charpente et 190 t de béton pour les plus grands voussoirs). Lors des opérations d'avancement, la charpente reposait sur une structure en "C", constituée d'une poutre transversale sur le tablier, prolongée de deux oreilles latérales en forme de "C" sur lesquelles prenaient appui les poutres porteuses longitudinales situées sous l'encorbellement. L'ensemble était avancé depuis l'extrados du tablier par des vérins agissant sur la poutre transversale glissant sur des patins en tôle (photo 7).

Les difficultés de réalisation des grands fléaux étaient a priori concentrées sur deux points essentiels : la hauteur des premiers voussoirs et la gestion des déformations de l'ensemble pile-fléau. L'entreprise a choisi de bétonner les voussoirs en une seule phase. La hauteur des âmes et la présence des 40 gaines de précontrainte dans les goussets compliquaient considérablement les conditions d'acheminement du béton dans les âmes. La conception de vibreurs canes, l'acheminement du béton par le devant des âmes, le recours à une légère vibration de peau, ont fait l'objet



Photo 6
Coffrage
du voussoir
sur la pile 3
*Formwork
for segment
on pier 3*

de modes opératoires particuliers afin de limiter les ségrégations du béton. A raison d'une cadence de 10 m³/h, les grands voussoirs nécessitaient 7 heures de bétonnage. Ainsi les premières paires de voussoirs ont été bétonnées sur deux jours. Ce décalage a été maintenu jusqu'à ce que les volumes à bétonner autorisent un bétonnage dans une journée de travail.

Les cycles moyens ont été de 5 jours par paire de voussoirs. Les cadences sont en partie liées aux temps de transferts en hauteur à la grue. Dans le but de limiter ces temps de transfert, l'entreprise a décidé de mettre en place des grues de forte capacité (20 t au crochet, flèche de 60 m). Elles ont permis :

- ◆ de par leur puissance l'acheminement des bétons par bennes de 3 m³ ;
- ◆ de par leur vitesse de levage la limitation des temps de montée et de descente.



Photo 7
L'équipage mobile
des grands fléaux
*Travelling formwork
for large cantilever
arms*



Au-delà de la portée des grues à tour, les dispositions complémentaires prises ont été les suivantes :

- ◆ mise en place d'une grue mobile de 20 t permettant de manutentionner l'ensemble des coffrages et des ferrillages sur le tablier, compte tenu en particulier de la longueur des grands fléaux ;
- ◆ installation sur le tablier d'une trémie tampon de 8 m³ alimentant une pompe à béton (50 m³/h, 100 bars, 75 kW) et un réseau de tubes permettant d'acheminer les bétons dans les coffrages.

Après la réalisation des seize premiers voussoirs, les haubans, constitués de câbles 19T15 étaient mis en œuvre. Tendus à près de 30 % de leur capacité, soit un effort vertical de 550 t par ligne de haubans appliqué à 40 m de part et d'autre du voussoir sur pile, ces haubans devaient contenir les grandes déformations du fléau sous les tempêtes extrêmes. Ils ont très largement contribué, en cours de construction, à la bonne conduite des opérations de réglage et de nivellement des fléaux, en limitant les déformations instantanées.

Sans les haubans, le cumul des déformations aurait engendré des mouvements en extrémité de fléau de 15 à 20 cm. Avec les haubans, ces mouvements ont été limités à la dizaine de centimètres (photo 8).

La gestion des nivellements de construction

La bonne gestion des déformations de la structure pendant les phases de construction était essentielle compte tenu des fortes amplitudes prévisibles liées à la hauteur de la pile et à la longueur du fléau associé.

Les déformations essentielles de l'ensemble pile fléau ont été dues à quatre phénomènes, qui se cumulent algébriquement :

- ◆ le tassement de la pile : le chargement progressif des 11 000 t du fléau allait provoquer un tassement de la pile estimé à 2,5 cm. Ce tassement a été introduit progressivement ;
- ◆ le gradient thermique de la pile : compte tenu de l'orientation de l'ouvrage, l'ensoleillement intéressait exclusivement les faces sud des piles, déformant ainsi leur tête de pile d'environ 2 cm ;
- ◆ le gradient thermique du tablier : pour un écart de température de 6 °C entre le hourdis supérieur et le hourdis inférieur les calculs prévoyaient des variations de niveau au droit des voussoirs n° 32 de - 75 mm sans les haubans, réduits à - 33 mm grâce à la présence des haubans ;
- ◆ les charges dissymétriques : l'utilisation d'une grue mobile de 20 t se déplaçant sur le fléau provoquait des mouvements de flexion de la pile et du fléau pouvant atteindre 20 mm. Un essai de chargement a été effectué, validant parfaitement les prévisions de déformations calculées indépendamment par l'entreprise et la maîtrise d'œuvre. En fonction de la position des charges sur le tablier et de leur intensité, il était ainsi possible de

connaître les déformations théoriques associées. Après chaque voussoir bétonné et mis en tension, des opérations de nivellement étaient effectuées pour connaître la position du fléau par rapport à cette courbe théorique, en déduire les corrections et les réglages à apporter aux voussoirs suivants.

Les difficultés tiennent au fait que ces opérations de nivellement mesurent l'état instantané du fléau, influencé algébriquement par les quatre paramètres évoqués ci-dessus, qui varient sans cesse. Il faut alors introduire dans les nivellements effectués des compensations pour corriger ces valeurs instantanées, et estimer l'état réel du fléau au repos qui est la seule référence possible pour la construction.

L'entreprise a basé sa méthode sur une mesure de distance entre un point fixe et le point de référence du voussoir sur pile. Cette distance variait en fonction des mouvements de la tête de pile. Les déformations de la tête de pile étaient répercutées sur le fléau par la règle des paraboles. Les déformations du fléau liées au gradient thermique et aux chargements dissymétriques étaient gérées à partir des abaques de calculs théoriques.

La maîtrise d'œuvre a fait installer un fil à plomb, constitué d'un câble monoton de 104 m accroché au niveau du voussoir sur pile, plombé par une masse de béton munie d'une pige réglable. Une mire positionnée sous cette pige permettait de constater les mouvements de la tête de pile et d'en déduire les compensations à apporter aux nivellements issues des déformations propres de la pile. Les compensations liées aux déformations propres du fléau étaient en outre introduites à partir de courbes chargement-déformation et de courbes de gradient thermique.

Dans ces deux méthodes, l'essentiel réside dans le calage de la distance de référence (méthode entreprise) et le réglage de la mire du pendule (méthode maîtrise d'œuvre) qui devait être effectué hors gradient thermique et sans chargement dissymétrique du fléau.

La travée d'extrémité sud

La partie du tablier comprise entre l'extrémité sud du fléau 4 et la culée C5 est composée :

- ◆ d'une travée sur cintre de 19 m de long ;
- ◆ de six voussoirs construits en encorbellement à partir de cette travée sur cintre.

Le cintre était une charpente conçue par l'entreprise, basée sur l'utilisation de poteaux en tubes métalliques de 914/22, capables de reprendre 1 500 t chacun, et de profilés HEA 1000. Le déséquilibre du porte-à-faux des six voussoirs était compensé par le poids du tablier reposant sur le cintre, un brêlage sur la culée assurant une sécurité supplémentaire. Ce cintre est enlevé après le clavage de cette partie d'ouvrage au fléau 4 et la réalisation de la précontrainte de continuité.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Bétons

21 000 m³

Aciers passifs

3 900 t

Coffrages

45 000 m²

Précontrainte

650 t

Effectifs moyens sur site

61 personnes

Les bétons et les armatures

Les bétons

Le principe d'un béton type B40 a été retenu par la maîtrise d'œuvre à l'époque, compte tenu de critères régionaux basés sur les analyses suivantes :

- ◆ région et site isolés et loin de centrales existantes ;
- ◆ possibilité, vérifiée par une étude demandée par la maîtrise d'œuvre, d'obtenir des résistances de 40 MPa à 28 jours, de 20 MPa à 16 heures avec une rhéologie imposée à 2 heures en période chaude (temps maximal de transfert du béton à la grue en extrémité de fléau) ;
- ◆ le recours à des formules B 60 n'a pas été retenu, du fait qu'une réduction des sections ne favorisait pas le comportement de la structure sous les effets du vent, restée plus délicate à bétonner et qu'à l'époque les trois critères ci-dessus étaient difficiles à obtenir de façon fiable et durable en configuration de chantier ;
- ◆ connaissance du comportement des matériaux locaux de type calcaires, et de leurs possibilités vis-à-vis des parements.

Des études de convenances ont abouti, après quelques ajustements, à une formule composée :

- ◆ de ciment CPJ CEM2 / A 42,5 de Lafarge provenant de Lexos (dénommé ex-CPJ 55 R), reconnu pour sa clarté ;
- ◆ d'adjuvants de Chryso utilisant un super fluidifiant T.H.P. et un retardateur Ceritard ;
- ◆ d'un squelette essentiellement composé de granulats calcaires 14/20, 8/14, 0/3 en provenance des carrières de l'entreprise Simat de Rodez, avec un ajout de sable de rivière 0/4 pour certaines formules ;
- ◆ un rapport E/C de 0 35 à 0 38.

Les bétons ont été produits par une centrale de type Mob 60, avec un équipement de niveau 3, installée à proximité du site.

Le marché ne prévoyait pas le recours à une centrale de secours compte tenu :

- ◆ de l'éloignement des autres centrales, dont la mise en route inopinée est par expérience rarement efficace dans des délais très courts (absences de toupies libres, matériaux, silos libres...) ;
- ◆ du coût d'un tel dispositif et parce qu'il est impossible de doubler l'ensemble des maillons de la chaîne de production notamment les grues ;
- ◆ du site, qui par la facilité et la proximité des postes de bétonnage, n'imposait pas géographiquement cette deuxième centrale.

Des interruptions de bétonnages ont cependant été envisagées, mais gérées par :

- ◆ l'exigence de matériels de rechange disponibles sur site avec le personnel compétent ;
- ◆ le recours à des procédures particulières d'arrêts éventuels de bétonnages dans les piles, les hourdis et les âmes ;

- ◆ la gestion de la fabrication des toupies et le stockage dans la trémie tampon.

Les pannes et les incidents ont été rares et imputables à 80 % aux grues, à 15 % à des pannes d'énergie extérieure et à 5 % à la centrale à béton. Seuls deux arrêts de bétonnage ont été constatés, imputables pour l'un à une panne générale d'alimentation en énergie de la région et pour l'autre à une panne de la grue à tour. Ces incidents, compte tenu des procédures mises en œuvre, n'ont aucunement détérioré la qualité structurelle ni celle des parements.

Les armatures passives

Les 3 900 t d'armatures passives ont été mises en œuvre par une entreprise sous-traitante, les aciers étant façonnés en Italie, l'acheminement sur site se faisait par transport routier. L'éloignement des opérateurs n'a posé aucun problème, quant à la qualité ou à la régularité des approvisionnements.



Photo 8
Fléau haubané
Cable-stayed
cantilever arm

La précontrainte

La précontrainte intérieure de type 19T15, procédé LH de Spie Batignolles TP, a été mise en œuvre par l'entreprise générale, ces opérations étant intimement liées à l'avancement du cycle des voussoirs. Le tracé du câblage reste classique, c'est-à-dire maintenu pour l'essentiel dans la zone des goussets des hourdis supérieurs. Les coefficients de rendement des câbles, mesurés sur site, ont indiqué des valeurs d'environ 20 % supérieures aux valeurs théoriques.

La précontrainte extérieure, constituée d'unités 27T15 procédé PAC de chez Cipeac, a été sous-traitée, les gaines PEHD ayant été posées par l'entreprise générale. Leur tracé restait classique pour ce genre d'ouvrage. Les gaines PEHD sont de la gamme PE 80, n'utilisant pas de produits régénérés. L'ensemble des torons était de classe 1 860 MPa super.

► Les formulations de coulis utilisées sur une partie de l'ouvrage ont été abandonnées, car ne répondant plus aux critères exigés pour une injection de précontrainte. Il était constaté une instabilité des coulis, non décelée par les études de convection et les essais au tube. C'est finalement une formulation à base de ciment d'Origny, dénommé Stresscem Standard, qui a été utilisée en substitution des coulis initiaux.

■ LES PAREMENTS (photo 9)



Photo 9
Finesse
et élégance
de l'ouvrage
réalisé

*The fine,
elegant
structure
completed*

L'approche esthétique de l'ouvrage, basée sur l'élégance des piles et l'orientation nord - sud de l'ouvrage, permettait d'utiliser l'éclairage naturel du soleil pour créer des jeux d'ombres et de lumières sur les parements de ces grandes piles. Le cahier des charges fixait un certain nombre de contraintes au niveau des peaux coffrantes, des précautions de chantier, des calepinages, des bétons. Le groupement d'entreprises a repris à son compte cette préoccupation, au travers des procédures d'exécution. Les parties d'ouvrages délicates, telles que les voussoirs sur pile restant longtemps coffrés, ont fait l'objet d'un ponçage ultérieur des parements. La qualité finale est à la hauteur des espérances.

■ LA SÉCURITÉ - LES INTEMPÉRIES

Compte tenu de la nature des travaux, une attention particulière a été apportée aux différentes étapes du chantier. Tout d'abord au niveau du cahier des charges, un certain nombre de dispositions ont été précisées, comme par exemple l'usage d'ascenseurs de chantier pour accéder aux grands fléaux, mais également à chaque levée des grandes piles. Les principes de protection des équipements mobiles devant franchir par deux fois la RN 88 étaient également précisés.

Ainsi après une période d'observation de quelques mois, et d'analyse des risques en site réel, l'entreprise et la maîtrise d'œuvre ont établi un seuil d'arrêt des travaux correspondant à un vent tur-

bulent mesuré au-delà de 55 km/h. En fait, sur trente jours d'intempéries effectives constatées, le seuil de vent fixé par le chantier a engendré 90 % de ces intempéries.

L'organisation du chantier était suivi par un collège interentreprises de santé et sécurité et de coordination des travaux, au travers duquel l'organisation technique et sécuritaire des travaux était expliquée.

Des exercices de secours et d'évacuation de chantier ont été effectués pour tester les capacités opérationnelles des intervenants au travail en grande hauteur, et à l'utilisation des nacelles du chantier.

En conclusion, l'ouvrage sera achevé pour l'été 1998, et s'intégrera ensuite dans le réseau routier ouvrant une ère nouvelle pour les régions desservies du sud du Massif Central.

Localement la beauté du site, la covisibilité de l'ouvrage routier et de l'ouvrage ferroviaire, témoins des technologies de la fin du XIX^e et du XX^e siècle, pourront être utilisées pour mettre à la disposition des usagers de la RN 88 un belvédère de qualité aux confins des départements de l'Aveyron et du Tarn.

Quant aux habitants de la région, ils auront pu faire connaissance avec leur nouveau viaduc au travers d'un point d'informations, et de visites techniques guidées qui ont accueilli près de 5 000 personnes.

Tout ceci contribue efficacement à l'insertion de l'ouvrage dans le nouveau paysage local.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

État : ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement

Maitre d'œuvre

DDE de l'Aveyron

Projet de base

- SETRA
- Architecte : Philippe Fraleu

Groupement d'entreprises

- Spie Batignolles TP (mandataire)
- Dodin Sud - Sogéa

LES ENTREPRISES

Études d'exécution

- Spie Batignolles TP
- SERF

Contrôles

- SETRA
- Europe Études Gecti
- Laboratoire de l'Équipement de Toulouse et de Rodez

LES SOUS-TRAITANTS

Terrassements

Lamic

Tirants

S.A.T.S.

Armatures passives

- Presider France
- Toulouse Armatures

Précontrainte intérieure

Spie Batignolles TP

Précontrainte extérieure

CIPEC

LES FOURNISSEURS

Bétons

Simat

Coffrages

- Ercan
- Viniger
- Sirot

Équipages mobiles

Ersem

Câbles de précontrainte

Trefileurope

ENGLISH SUMMARY

**The Viaur viaduct in the Aveyron region
A record achievement
under turbulent wind**

R. Caffort, G. Vertut, J. Wabinski, D. Le Page, R. Gachiteguy, V. Preyssas, G. Viossanges, M. Roudanes

At the end of XIX century, the Société de Construction des Batignolles built France's largest metal-arc railway bridge over the Viaur. Almost a century later and a few windings further down, Spie Batignolles and its partners Sogéa and Dodin Sud are back on the scene. With a span of 190 m, the future highway viaduct will hold France's record for cantilever bridges. The article describes the main constraints encountered (topography, weather, etc.) and the particular methods considered (high piers, cantilever arms stabilised by vertical cables) to complete this exceptional structure.

DEUTSCHES KURZREFERAT

**Die Viaur-Hochbrücke im
Departement Aveyron
Französischer Rekord bei
stürmischem Wind**

R. Caffort, G. Vertut, J. Wabinski, D. Le Page, R. Gachiteguy, V. Preyssas, G. Viossanges, M. Roudanes

Ende des 19. Jahrhunderts errichtete die Société de Construction des Batignolles über den Fluß Viaur die größte Eisenbahn-Stahlbogenbrücke Frankreichs. Knapp hundert Jahre später und einige Windungen flußabwärts kehrt Spie Batignolles mit ihren Partnern Sogéa und Dodin Sud sozusagen an die Ursprünge zurück. Mit ihrem 190 m langen Feld wird die neue Straßenbrücke den französischen Rekord für den Freivorbau halten. Der vorliegende Artikel behandelt die wesentlichen Schwierigkeiten (topographischer und meteorologischer Art u.a.), die zu bewältigen waren, und die Spezialmethoden (sehr hohe Pfeiler, Stabilisierung der Gegengewichte durch senkrechte Seile), die bei der Realisierung dieses außergewöhnlichen Bauwerkes zum Einsatz kamen.

RESUMEN ESPAÑOL

**El viaducto del Viaur, en el departamento del Aveyron
Un récord de Francia bajo
un viento turbulento**

R. Caffort, G. Vertut, J. Wabinski, D. Le Page, R. Gachiteguy, V. Preyssas, G. Viossanges y M. Roudanes

Hacia finales del siglo XIX, la Société de Construction des Batignolles construyó sobre el río Viaur el mayor puente ferroviario en arco metálico de Francia. Cerca de un siglo después y algunos meandros más lejos, se asiste a un retorno a sus orígenes para la empresa constructora Spie Batignolles y sus asociados Sogea y Dodin Sud. Con un tramo de 190 m de luz, el futuro viaducto viario habrá de ser el récord de Francia para los puentes construidos en voladizo. Se describen en este artículo los principales imperativos a que se ha tenido que hacer frente (topográficos, meteorológicos, etc.) y los métodos peculiares contemplados para la ejecución de esta estructura de características excepcionales (como, por ejemplo, ejecución de pilas de gran altura, estabilización de los brazos volados por cables verticales).

Langon : ligne SNCF

Remplacement du tablier sur la Garonne

Un viaduc, long de 210 m, permet à la ligne ferroviaire Bordeaux - Sète de franchir la Garonne à Langon. Cet ouvrage métallique date de 1859 et il arrive à limite d'âge. En 1995, la SNCF décide de le remplacer par un ouvrage mixte composé de deux tabliers indépendants.

Pour réaliser ce projet très délicat qui devait allier insertion dans le site, maintien des circulations ferroviaires, performances techniques et sécurité, l'entreprise Demathieu & Bard s'est appuyée sur des compétences humaines et a mis en œuvre des techniques éprouvées ou novatrices pour répondre aux impératifs des études réalisées par la SNCF. Les importants travaux en rivière, les élévations provisoires, le remaniement des appuis, les deux lançages de charpentes métalliques, les ripages assistés par caméras, les basculements de circulation... sont quelques-unes des étapes de cette opération. Perturber au minimum le trafic ferroviaire est l'un des premiers enjeux du chantier ; phasage adéquat et méthodes appropriées sont les clés de sa réussite.

Photo 1
Environnement
avant le début
des travaux
*Surroundings
before start
of works*



■ DESCRIPTION DU PROJET

Historique - Description du viaduc existant

La ligne ferroviaire à double voie Bordeaux - Sète franchit la Garonne à Langon (Gironde) au kilomètre : 42,153. Le viaduc d'une longueur de 210 m comporte trois travées de 66,50 m - 77 m et 66,50 m et repose sur deux culées et deux piles en maçonnerie situées dans le lit de la Garonne (photo 1).

Le tablier métallique en fer puddlé construit en 1859 est du type poutres latérales à âme pleine de 5,70 m de conception très peu répandue à l'époque où l'utilisation de treillis était privilégiée pour de telles hauteurs de poutres. Les âmes sont constituées de bandes verticales de faible largeur (0,86 m) solidarisées entre elles sur des raidisseurs par l'intermédiaire de rivets. La voie se situe à mi-hauteur des poutres et repose sur des longerons de portée 1,70 m, eux-mêmes reposant sur des pièces de pont en treillis de 3 m de hauteur.

Evolution : état de l'ouvrage

Le tablier métallique, vieux de 140 ans, a subi au cours de son histoire de nombreuses réparations et renforcements afin de supporter les augmentations de charges et de vitesse et afin de retarder les phénomènes de fatigue apparaissant sous forme de fissures et de déconsolidation d'attaches. Ces principales réparations ont été les suivantes :

- ◆ 1907 : renforcement pièce de pont et longerons ;
- ◆ 1944 : remplacement des appareils d'appuis ;

- ◆ 1953 : renforcement des longerons et pose de contreventements ;

- ◆ 1982 : réparations importantes sur de nombreuses attaches et rivets déconsolidés.

Malgré la dernière campagne de réparation (1982), de nombreux désordres sont rapidement réapparus confirmant que l'ouvrage abordait un cycle de vie durant lequel il fallait s'attendre à une aggravation exponentielle des désordres. Par ailleurs, la conception des âmes, bandes verticales de faible largeur réunies par des couvre-joints (cornières ou plats) – de faible épaisseur : 8 mm en moyenne – les rend très sensibles aux phénomènes d'instabilité élastique d'une part et leur confère d'autre part, une résistance au cisaillement très limitée compte tenu des glissements qui peuvent se produire au niveau des couvre-joints.

Des études complexes, prenant en compte des théories de comportement postcritiques des plaques, ont été menées afin de définir avec précision les conséquences de cette conception sur les conditions de circulation sur l'ouvrage : cela se traduit par une limitation de charges (interdiction de croisement sur le tablier) très contraignante d'un point de vue exploitation et par la définition d'une vitesse maximale admissible.

Compte tenu de l'état de l'ouvrage, du coût d'une réparation délicate (les analyses du métal avaient prouvé que le matériau de base pouvait se fissurer lors de l'opération de dérivage, rivetage ou boulonnage - le soudage étant exclu pour les mêmes raisons), et des contraintes d'exploitation existantes, une étude économique globale a montré que le remplacement du tablier, allié à un confortement des appuis et des fondations, était la solution optimale.

Conception de l'ouvrage

Compte tenu du gabarit fluvial et hydraulique à respecter et de l'épaisseur du tablier existant (3,20 m entre le rail et le sous-poutre), la SNCF qui a réalisé l'ensemble des études de conception au sein de la division des Grands Ouvrages Métalliques a retenu un ouvrage à poutres par dessous. Solution préférée à un ouvrage à poutres latérales, moins épais, mais plus consommateur d'acier (le béton ne participant pas à la flexion générale contrairement au cas d'un ouvrage mixte) et plus lourd ; des renforcements de fondation auraient alors été nécessaires.

Compte tenu de l'épaisseur disponible, le tablier mixte avec deux poutres à hauteur variable sous

Bordeaux - Sète métallique du viaduc

chaque voie était la seule réponse possible à un ouvrage à poutre sous dalle. Cette hauteur variable permettait, de plus, une meilleure intégration dans le site.

Les hauteurs de poutres varient de 2,55 m sur culée à 3,55 m sur piles, avec 2,85 m en clef de la travée centrale.

Compte tenu de l'épaisseur de la dalle (≈ 30 cm), l'ouvrage en travée est au $1/27^\circ$, ce qui lui donne une allure très fine pour un ouvrage ferroviaire. Habituellement, les épaisseurs du tablier pour un tel ouvrage se situe plutôt au $1/17^\circ$ de la portée (photo 2).

Contraintes de phasage

La difficulté d'une telle opération réside dans l'exécution des travaux qui doivent gêner le moins possible la circulation ferroviaire. D'où un phasage particulier et une durée importante des travaux.

Le phasage initial prévu en solution de base lors de l'appel d'offres prévoyait :

- ◆ la circulation sur tablier existant V1-V2 ;
- ◆ l'assemblage de la charpente métallique du tablier neuf V2 sur plate-forme côté Sète ;
- ◆ les travaux d'injections et la construction d'appuis provisoires (culées + piles) côté V2 ;
- ◆ le lancement de la charpente métallique du tablier neuf V2 ;
- ◆ la mise en place de deux tabliers auxiliaires (T.A.) de 17,00 m côté Bordeaux et Sète ;
- ◆ le coulage de la dalle du tablier neuf V2 + finitions et équipements ;
- ◆ le T.C.T. (Tronc Commun Temporaire) sur tablier V2 (durée : 12 mois) (les trains circulent à double sens sur la voie unique déviée sur le tablier neuf en situation provisoire) ;
- ◆ la démolition du tablier métallique existant ;
- ◆ l'aménagement des appuis existants : têtes de piles et sommiers des culées ;
- ◆ l'assemblage de la charpente métallique du tablier neuf V1 sur plate-forme côté Sète (dans l'axe de l'ouvrage existant) ;
- ◆ le lancement de la charpente métallique du tablier neuf V1 ;
- ◆ le coulage de la dalle du tablier neuf V1 + finitions et équipements ;
- ◆ le T.C.T. sur tablier V1 (durée : 2 mois) (les trains circulent à double sens sur la voie unique positionnée sur le tablier V1 en position définitive) ;
- ◆ le ripage du tablier V2 à sa position définitive ;
- ◆ le rétablissement V2 ;
- ◆ la démolition des palées provisoires.

La durée des T.C.T. prévus en solution de base était de 14 mois.

Le phasage des travaux retenu par la SNCF après discussion sur la base d'une variante proposée par l'entreprise Demathieu & Bard est le suivant :

- ◆ la circulation sur tablier existant V1-V2 ;
- ◆ l'assemblage de la charpente métallique du tablier neuf V1 sur plate-forme côté Sète ;
- ◆ les travaux d'injections et de confortements des appuis existants - construction d'appuis provisoires (culées + piles) pour V1 et V2 ;
- ◆ le lancement de la charpente métallique équipée des prédalles du tablier neuf V1 ;



- ◆ le préripage de la charpente V1 seule vers l'ouvrage existant ;
- ◆ le coulage de la dalle du tablier neuf V1 et finitions - équipements ferroviaires ;
- ◆ l'assemblage de la charpente métallique du tablier neuf V2 sur plate-forme côté Sète ;
- ◆ le lancement de la charpente métallique du tablier équipée des prédalles du tablier neuf V2 ;
- ◆ le coulage de la dalle du tablier neuf V2 et finitions - équipements ferroviaires ;
- ◆ la mise en place de quatre tabliers auxiliaires (T.A.) aux extrémités des ouvrages lancés (côté Bordeaux et Sète pour les voies V1 et V2) ;
- ◆ le ripage des tabliers V1 et V2 vers l'ouvrage existant ;
- ◆ la déviation et mise en place de la circulation ferroviaire sur tabliers V1 et V2 (vitesse limitée à 40 km/h) ;
- ◆ la démolition du tablier métallique existant ;
- ◆ l'aménagement des appuis existants : têtes de piles et sommiers des culées ;

Bernard Chausse



CONDUCTEUR
DE TRAVAUX
Demathieu & Bard

Jean-François Weber



CHEF DU SERVICE
MÉTHODES
Demathieu & Bard

Bernard Plu



INGÉNIEUR -
CHEF D'ÉTUDES
SNCF

Photo 2
Ouvrage neuf
en cours de réalisation,
ouvrage métallique
en circulation

*New structure during
construction ;
steel structure
under traffic*

Photo 3
Tabliers auxiliaires
en place
avec circulation déviée
Auxiliary decks
in place
with traffic diverted



Photo 4
Pontons
pour mise en place
des gabions
Pontoons
for the setup
of cribs



- ▶ ◆ le T.C.T. sur tablier V2 et ripage du tablier V1 à sa position définitive (72 h du 8 au 10 mai 98) ;
- ◆ le rétablissement V1 ;
- ◆ le T.C.T. sur tablier V1 et ripage du tablier V2 à sa position définitive (72 h du 21 au 23 mai 98) ;
- ◆ le rétablissement V2 ;
- ◆ la dépose des tabliers auxiliaires ;
- ◆ les démolitions des palées provisoires en béton armé.

Diminution des T.C.T. ramenés de 14 mois à deux périodes de 72 heures.

La méthodologie retenue amène des contraintes supplémentaires liées :

- ◆ à la nécessité de rapprocher l'ossature métallique le plus près possible de l'ouvrage existant afin d'avoir la possibilité de mettre en place le 2^e tablier ;
- ◆ à la technicité de la démolition de l'ouvrage ancien car l'espace est très faible entre l'ouvrage ancien et le nouveau tablier V1 en phase provisoire (moins de 50 cm).

Par contre, elle permet de réduire la durée des circulations ferroviaires sous T.C.T. (uniquement durant les phases de ripages définitifs) moyennant un fort ralentissement des circulations ferroviaires à

40 km/h lié au tracé de voie provisoire qu'il a fallu réétudier avec des courbes plus serrées pour permettre le passage de deux voies déviées (photo 3). Par ce choix, le phasage impose des contraintes techniques mais permet le maintien du trafic ferroviaire sur deux voies et supprime pour la SNCF la gestion délicate des flux sur voie unique et permet l'économie d'importants investissements ferroviaires.

Description des ouvrages neufs

L'ouvrage définitif comporte deux tabliers à structure mixte constitués chacun de deux poutres métalliques portant un hourdis béton connecté à l'ossature. Chaque tablier a une longueur totale de 209,84 m. Cette distance est franchie en trois travées de 66,22 m - 77,40 m - 66,22 m. La largeur d'un tablier est constante et égale à 5,47 m, hors corniches, ce qui porte la largeur totale du viaduc à 10,99 m compte tenu d'un intervalle longitudinal de 5 cm entre les deux tabliers. Chaque tablier comporte une voie et un passage de service. L'ouvrage rectiligne est appuyé sur quatre files d'appui, sans biais.

Les appuis d'extrémités sont désignés C0 pour la culée côté Bordeaux et C3 pour la culée côté Sète. Les appuis intermédiaires, nommés P1 et P2 sont situés en Garonne. Tous les appuis définitifs sont constitués des maçonneries existantes datant du siècle dernier et sont remaniés en tête pour supporter l'ouvrage neuf. Ils sont fondés superficiellement. Les appuis en rivière sont confortés par la mise en place d'enrochements et de gabions tandis que les fondations sont consolidées par injections (terrain confiné à l'intérieur de batardeaux en palplanches).

■ CONTRAINTES ET ATOUTS LIÉS AU SITE

En plus des contraintes liées aux techniques utilisées pour ce chantier, l'environnement immédiat de l'ouvrage génère ses propres exigences sur les travaux.

Le trafic fluvial important doit être maintenu en permanence et, en accord avec les services des Voies Navigables, un basculement de la position de la passe navigable est aménagé au droit de l'ouvrage en fonction des travaux. De plus, bien que situé à 140 km de la mer, l'influence des marées est très sensible à Langon. Ainsi les travaux d'injection et de confortement des piles ne sont possibles qu'à marée basse soit seulement quelques heures par jour.

A terre, l'ouvrage routier sur la RN 113 est situé à 20 m de l'ouvrage SNCF, en parallèle. Cette proximité sera utilisée comme un atout. En effet, une des trois voies routières est neutralisée au droit de

l'ouvrage et de la plate-forme d'assemblage. Elle sert de zone d'approvisionnement pour les appuis en rivière à l'aide d'une grue mobile et permet le bétonnage des hourdis en direct à l'aide d'une pompe à béton.

■ DESCRIPTION DES TRAVAUX PARTICULIERS

La construction d'un tablier mixte fait appel à des techniques qui sont parfaitement maîtrisées par l'entreprise. Cependant, la spécificité du projet et la méthodologie retenue ont amené l'entreprise à mettre en œuvre des procédures, des moyens matériels et des compétences humaines à la hauteur de l'objectif.

Construction des piles et culées provisoires

Afin de permettre le basculement des deux voies ferrées sur les tabliers neufs, il est nécessaire de construire des palées provisoires à terre et en rivière. Pour prolonger les piles existantes en rivière et compte tenu de la nature des fonds, la première phase de travaux consiste à battre une enceinte en palplanches pour réaliser la semelle de l'appui provisoire et éviter l'affouillement des appuis conservés. Après terrassement dans les bardeaux et la réalisation des semelles, une campagne d'injections est menée pour conforter le terrain sous les assises. Des gabions et des enrochements sont mis en œuvre autour des rideaux de palplanches (photo 4).

Pour l'exécution des culées, une berlinoise est réalisée pour le maintien des talus à l'arrière de chaque appui. Des pieux Ø 1 420 constituent la fondation des appuis provisoires à terre.

Nota : afin d'assurer une surveillance et un contrôle de la stabilité de l'ouvrage métallique pendant ces travaux, un suivi journalier est réalisé à l'aide de mires et de cibles laser installées sur chaque appui.

Une grue mobile est installée sur ponton flottant pour la réalisation des élévations en rivière. Elle sert également à la mise en place de l'ensemble des P.R.S. (poids : 13 t) et des dispositifs de ripage des ouvrages neufs (photo 5).

Réalisation de la charpente métallique et lançage du tablier V1

Par tronçons de 30 m livrés par route et déchargés à partir de la voie neutralisée, la charpente d'une longueur totale de 210 m est assemblée sur la plate-forme côté Sète entre la voie ferrée et la RN 113. Cette aire n'étant pas assez longue, le montage de la charpente nécessite des phases de lançage in-



Photo 5
Grue mobile sur ponton pour la réalisation des élévations provisoires

Mobile crane on pontoon for temporary elevations



Photo 6
Lançage de la charpente métallique

Launching of steel structure

termédiaires. Le lançage de la totalité de la charpente métallique V1 équipée des prédalles (poids total 1 000 t) précède une phase de dévérinage sur appuis d'une hauteur maxi de 3 m (photo 6).

L'opération de lançage de l'ossature métallique, bien que classique dans son principe, reste l'opération la plus délicate dans le cas du remplacement du tablier du viaduc de Langon pour les raisons suivantes qui entraînent une très grande sensibilité de l'ossature au déversement :

- ◆ les poutres sont à hauteur variable et il existe très peu de liaison entre elles ;
- ◆ le faible entr'axe des poutres (3 m) et la grande portée à franchir (77 m).

L'opération réalisée sans avant- bec a nécessité des études d'exécution précises (calculs au deuxième ordre) pour s'assurer de la stabilité de l'ouvrage (non déversement) en position de porte à faux maxi malgré sa faible rigidité et son petit empattement.

Un contreventement provisoire a été nécessaire et un suivi topographique lors des différentes phases de lançage a permis de s'assurer de la concordance des calculs avec la réalité des déformations obtenues.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton de fondation (renforcement piles) : 760 m³
- Béton pour appuis provisoires et définitifs : 1 500 m³
- Béton tablier : 750 m³
- Palplanches : 210 t
- Enrochements : 2 400 t
- Gabions : 830 t
- Injections : 475 m³
- Pieux Ø 1 420 : 100 ml
- Charpente métallique : 1 850 t
- Armatures : 400 t
- Montant de l'opération : 70 millions de francs
- Durée de l'opération : 30 mois
- Début des travaux : avril 1996



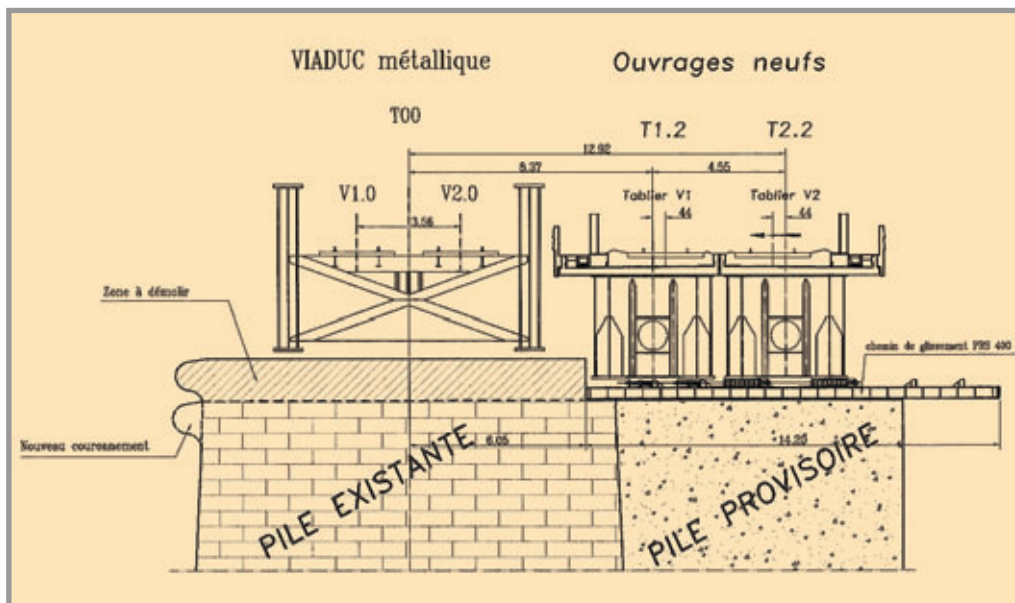
Photo 7
Réalisation du hourdis sur tablier V2
Completing the tile blocks on deck V2



Photo 8
Équipage mobile en position pour le bétonnage d'un plot
Travelling formwork in position for concreting

Figure 1
Position des ouvrages avant démolition du viaduc métallique et ripage des tabliers neufs

Position of works before demolition of metallic viaduct and shifting of new decks



Ripage de la charpente seule V1

Afin de libérer l'axe de lancement de la seconde charpente (V2), un ripage (5 m) de la charpente V1 (environ 1 000 t) est réalisé pour rejoindre la position de coulage du hourdis. Au cours du ripage, le suivi des mouvements sur chaque appui se fait par un simple contrôle visuel du déplacement d'un onglet par rapport à un repère gradué fixe.

Réalisation du hourdis V1 et superstructures

Le ferrailage du tablier est constitué de dix-huit plots d'armatures. Ces derniers sont lancés au-dessus de la charpente et des prédalles (précontraintes par fils adhérents) puis déposés entre les connecteurs. Un équipage mobile de 16,40 m est employé pour réaliser les treize plots béton. Le bétonnage de chacun des plots se fait à l'aide d'une pompe à béton depuis l'ouvrage routier (photos 7 et 8). Ensuite, la pose des corniches préfabriquées et la réalisation de l'étanchéité terminent l'exécution du génie civil avant la prise de possession du viaduc par la maîtrise d'ouvrage pour réaliser la phase de travaux de pose des équipements ferroviaires (ballast, voies et poteaux caténaires).

Construction du tablier V2

Le tablier V2 est construit en suivant la même méthodologie pour l'assemblage, le lançage et le bétonnage du tablier V1.

Préripage des tabliers V1 et V2

L'opération consiste à déplacer latéralement les nouvelles structures, d'un poids de 3 000 t chacune, depuis leur position de construction vers leur

position de circulation provisoire (V1 sur 1,10 m et V2 sur 1,50 m). L'opération qui n'est liée à aucune contrainte de circulation ferroviaire, permet de valider les moyens et l'organisation qui seront mis en œuvre lors des ripages définitifs prévus en mai 98. Dans ce contexte Demathieu & Bard fait largement appel à des techniques et savoir-faire développés au sein même de l'entreprise à savoir : au R.A.C. (ripage assisté par caméras) et à la centralisation hydraulique.

En quoi le R.A.C. est-il performant ?

Pour les opérations de ripage définitif, il était nécessaire de valider un système permettant de répondre efficacement aux exigences suivantes :

- ◆ contrainte n° 1 : écart maxi de 2 cm entre deux appuis (définis par le calcul) ;
 - ◆ contrainte n° 2 : délai limité à 72 h ;
 - ◆ contrainte n° 3 : dimensions de l'ouvrage et difficulté des déplacements entre chacun des appuis.
- Des ripages antérieurs avaient mis en évidence que la transmission, par talkie-walkie, des informations d'avancement était inappropriée du fait de la consultation simultanée des responsables au droit de chaque appui à la fin de chaque cycle de traction. Les responsables du chantier ont senti la nécessité de mettre en œuvre des moyens de communication permettant un contrôle rapide et sûr des déplacements des structures sur chaque appui (avec une précision de 1 mm dans le suivi de l'avancement).

Comment fonctionne le R.A.C. ?

Son fonctionnement réside dans l'assistance à la conduite du ripage par un circuit vidéo (caméras fixes et caméras mobiles). Celui-ci permet de contrôler les déplacements de la structure depuis un poste de commande où les images sont centralisées. Ainsi sur chacun des quatre appuis, une caméra fixée sur la charpente suit le mouvement de celle-ci en visualisant le déplacement d'un pointeau par rapport à un repère gradué fixe. Compte tenu des contraintes de délai lors des ripages définitifs (72 heures), il est important d'éviter les va-et-vient répétés des responsables d'opération sur chacun des appuis (longueur tablier = 210 m). De même, afin d'avoir une vision instantanée d'éventuels incidents sur les appuis, une caméra mobile est à disposition des opérateurs sur chaque appui. Cette dernière permet d'envoyer au poste de commande les images qui sont analysées immédiatement par les responsables. Ainsi le ripage peut être stopper immédiatement si un problème se présente. La centralisation des images reçues des quatre caméras fixes et quatre caméras mobiles se fait sur un même écran (moniteur vidéo) et un diviseur d'images permet d'avoir, simultanément :

- ◆ soit la visualisation de l'avancement sur les quatre appuis, en temps réel ;
- ◆ soit la retransmission des images envoyées par

la caméra mobile en cas de problème sur un des appuis (C0 - P1 - P2 - C3).

L'ensemble du dispositif de centralisation vidéo est placé à l'intérieur d'un bungalow installé sur le tablier.

Pourquoi la centralisation hydraulique et comment fonctionne-t-elle ?

La nécessité de centraliser les commandes de pompe (marche/arrêt) et de mouvements de vérins (sortie/reentrée) résulte de deux objectifs :

- ◆ limiter le nombre de mécaniciens - hydrauliciens manipulant les commandes ;
- ◆ simplifier les organes de commandes.

Pour la réalisation de ce double objectif, le chantier s'est doté de systèmes constitués d'électrovannes qui se comportent comme des inverseurs sortie/reentrée pour les vérins. A l'aide de rallonges électriques adaptées, les commandes de M/A des quatre pompes hydrauliques réparties sur le tablier et les commandes du sens de déplacement des vérins S/R sont toutes centralisées dans le poste de commande. Avec l'aide du moniteur vidéo, chacun des deux mécaniciens - hydrauliciens a en charge la gestion hydraulique des mouvements sur deux appuis.

Lors du démarrage de mouvement, la pression dans le système peut atteindre plusieurs centaines de bars. Aussi, il est indispensable de suivre l'évolution des pressions délivrées par les centrales afin de contrôler la conformité des pressions obtenues avec celles calculées et de prévenir de toute surpression indiquant une anomalie. Grâce à des capteurs électroniques de pression installés sur les pompes et après traitement du signal électrique, des afficheurs digitaux donnent, par lecture directe, les valeurs de pression à chaque pompe.

Mise sur appuis provisoires

Cette phase consiste à retirer les châssis de glissement qui ont servi pour les ripages et à disposer les appareils d'appui à pot (unidirectionnels, multidirectionnels ou fixes) entre les bossages métalliques et la sous-face de la charpente.

Pose des tabliers auxiliaires

La pose des quatre tabliers auxiliaires de 18 m en extrémité des tabliers neufs a nécessité l'emploi de grues mobiles de forte capacité. Ces quatre T.A. permettent de franchir la brèche entre les plates-formes et les murs garde-grève.

Déviations provisoire de la circulation ferroviaire sur les tabliers neufs

Après remblaiement des plates-formes côté Bordeaux et côté Sète et la réalisation des aménage-

ments ferroviaires (pose des voies de raccordement, déviation des caténaies, nouvelle signalisation...), le basculement des trains a été réalisé début décembre 97 sur les deux voies V1 et V2. La vitesse reste limitée à 40 km/h pour la durée des travaux à venir (figure 1).

Dépose du tablier métallique (décembre 97 à février 98)

Une fois l'ancien tablier métallique hors service, une autre phase délicate de l'opération consiste à le démolir (poids = 1 150 t, placé à 50 cm du tablier neuf V1 en circulation).

Une première étude de la phase de démolition prévoyait de découper la charpente métallique en colis élémentaires de 20 t puis de l'évacuer à l'aide d'une grue fluviale. Une analyse des caractéristiques mécaniques du fer de l'ouvrage confirma la très faible limite élastique du matériau et ne permit pas de retenir cette méthode, la charpente ancienne ne résistant pas à une démolition par plots laissant des porte-à-faux importants. Aussi il a été nécessaire de mettre au point avec le service Méthodes de l'entreprise le principe d'une démolition par découpage de la charpente en trois travées complètes. Ensuite un dévérinage au droit des appuis jusqu'au niveau de l'eau permet la dépose des tronçons sur pontons pour évacuation et découpage élémentaire à terre. Ce procédé maintient l'ouvrage en parfaite stabilité quelle que soit la phase de démolition et limite les interventions à proximité de l'ouvrage en service.

Aménagement des appuis maçonnés

Après dépose totale de l'ancienne charpente métallique, les têtes des appuis maçonnés seront remaniées et aménagées en béton armé afin de pouvoir recevoir la nouvelle charpente après ripage définitif. Les têtes des piles P1 et P2 seront en parties démolies pour être ensuite reconstruites et équipées de couronnements préfabriqués en béton armé. Les sommiers des culées seront complétés et adaptés pour permettre la mise sur appuis définitifs.

Ripages définitifs des tabliers et rétablissement de circulation

Avec la même méthodologie que celle qui a été suivie pour la réalisation des préripages, le tablier V1 sera ripé sur 11 ml environ vers sa position définitive (délai = 72 h) et avec mise en place d'un T.C.T. sur V2. A la fin de cette première opération, la circulation ferroviaire sera rétablie sur V1. Puis deux semaines plus tard le tablier V2 sera lui aussi ripé dans les mêmes conditions de consignation avant rétablissement de la circulation sur V2.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

SNCF - Région de Bordeaux

Maître d'œuvre et contrôle extérieur des Travaux

SNCF - Section Équipement de Bordeaux

Maître d'œuvre et contrôle extérieur des Études

- SNCF - Direction Équipement - VOM2 (Paris)
- SNCF - Groupe Ouvrages d'art - DV 23 OA (Bordeaux)

Entreprise mandataire

Demathieu & Bard - Région Sud-Ouest (Toulouse)

SOUS-TRAITANTS ET FOURNISSEURS

Bureau d'études Génie civil

B.E.T Marc Valence (Isère)

Bureau d'études Méthodes

Demathieu & Bard - Service Méthodes (Metz et Toulouse)

Ossature métallique

CIVAD (Saône-et-Loire)

Fondations

Spie-Citra (Morbihan)

Injections

Soltechnic (Gironde)

Armatures

BWB (Gironde)

Bétons

Béton Chantier Aquitaine (Lot-et-Garonne)

Dépose des tabliers auxiliaires et de la déviation provisoire

Après le rétablissement des circulations ferroviaires, la dépose des tabliers auxiliaires sera organisée en même temps que le démontage des voies et équipements des déviations provisoires sur les plates-formes.

Démolition des appuis provisoires

Après le rétablissement des circulations ferroviaires, les appuis provisoires seront démolis en rivière et à terre afin de remettre le site dans sa configuration initiale.

CONCLUSION

Les travaux de remplacement du tablier métallique du viaduc SNCF à Langon présentaient des contraintes techniques et économiques usuelles sur ce type de chantier, mais accentuées ici par la dimension de l'ouvrage.

Sur les bases des études de conception menées par la SNCF, la collaboration entre les services Études et Travaux de cette dernière et les équipes de l'entreprise Demathieu & Bard a permis d'apporter les réponses appropriées aux difficultés du chantier. Tant dans le phasage des opérations et la limitation des restrictions de circulation ferroviaire, la conduite du ripage des tabliers assistée par vidéo, que la démolition de l'ancien ouvrage, les moyens développés sur ce chantier sont totalement adaptés.

Intégrer l'ensemble des contraintes qui s'exercent sur les travaux et si possible en tirer partie, exploiter l'expérience acquise sur des chantiers similaires, développer et tester les outils innovants sont les clés de la réussite. Une telle opération montre à nouveau le succès du développement de nouvelles techniques, y compris pour des ouvrages de ce type et confirme la volonté commune : "Tous acteurs pour construire".

ENGLISH SUMMARY

Langon: SNCF Bordeaux-Sète line

Replacement of metallic deck of viaduct over the Garonne

B. Chausse, J.-Fr. Weber, B. Plu

A viaduct 210 m long enables the Bordeaux-Sète railway line to cross the Garonne river in Langon. This metallic structure dates back to 1859 and is reaching its age limit. In 1995, the SNCF (French Railways) decided to replace it by a composite structure consisting of two independent decks. To carry out this very delicate project which had to blend into the site, maintain railway traffic, and ensure technical performance and safety, the company Demathieu & Bard made use of human skills and implemented proven and innovative techniques to meet the requirements of studies conducted by the SNCF. The major works in the river, the temporary elevations, the adjustment of bearings, the two steel framework launches, the shifting of structures assisted by cameras, and the alternate changeover of traffic, are just a few of the aspects of this project. Minimum disturbance to railway traffic was one of the major requirements. Appropriate phasing and methods were the key to success.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Langon: Eisenbahnlinie Bordeaux - Sète

Erneuerung der Stahltafel der Brücke über die Garonne

B. Chausse, J.-Fr. Weber, B. Plu

Die Eisenbahnstrecke Bordeaux - Sète überquert die Garonne bei Langon auf einer 210 m langen Hochbrücke. Dieses Stahlbauwerk stammt aus dem Jahre 1859 und erreicht damit seine Altersgrenze. 1995 hat die französische Eisenbahngesellschaft SNCF beschlossen, sie durch ein aus zwei unabhängigen Brückentafeln bestehendes kombiniertes Bauwerk zu ersetzen.

Im Rahmen der Abwicklung dieses hochkomplexen Vorhabens, in dem Einpassung in das Umfeld, Aufrechterhaltung des Eisenbahnverkehrs, technische Leistungsfähigkeit und Sicherheit gleichermaßen berücksichtigt werden mußten, hat sich das Bauunternehmen Demathieu & Bard auf seine humanen Kom-

petenzen gestützt und sowohl alt-bewährte als auch innovative Techniken zum Einsatz gebracht, um die Vorgaben aus den von der SNCF durchgeführten Studien und Planungen umzusetzen. Die umfangreichen Arbeiten im Fluß, die provisorischen Aufständungen, die Umgestaltung der Auflager, die Vorschübe der beiden Stahlkonstruktionen, die kame-ragestütz-ten Verschiebungsarbeiten, die Verkehrsübergabe... sind einige der durchlaufenen Etappen. Den Eisenbahnverkehr so wenig wie möglich zu beeinträchtigen war einer der wichtigsten Aspekte der Bauarbeiten; ein entsprechender Phasenablauf und geeignete Methoden waren die Schlüssel zum Erfolg.

RESUMEN ESPAÑOL

Langon : línea ferroviaria Burdeos - Sète
Sustitución del tablero metálico del viaducto sobre el río Garona

B. Chausse, J.-Fr. Weber y B. Plu

Un viaducto, de una longitud de 210 m, permite la travesía del río Garona, en Langon a la línea ferroviaria Burdeos - Sète. Esta estructura metálica fue construida en 1859 y alcanza ahora su límite de edad. En 1995, los Ferrocarriles Franceses (SNCF) tomaron la decisión de sustituirle por una estructura mixta, formada por dos tableros independientes.

Para llevar a buen término este proyecto sumamente delicado, en que se debía combinar la inserción en el emplazamiento, el mantenimiento del tráfico ferroviario, los resultados técnicos y la seguridad, la empresa Demathieu & Bard, se ha fundado en sus competencias humanas y aplicadas técnicas que han dado pruebas de valía o que son innovadoras, para responder a los imperativos de los estudios llevados a cabo por la SNCF. Los importantes trabajos ejecutados en el río, las elevaciones provisionales, la modificación de los estribos, los dos lanzamientos de estructuras metálicas, los desplazamientos con ayuda de cámaras, las inversiones del tráfico, etc. han constituido algunas de las etapas de esta operación. Perturbar el tráfico ferroviario en la menor proporción posible ha sido uno de los primeros retos de estas obras : sucesión de las fases y métodos adecuados constituyen los argumentos decisivos de su éxito.



A 104 : Le viaduc de Pomponne

Levage assisté par ordinateur

Le changement des appareils d'appui des tabliers existants du viaduc sur la Marne à Pomponne de l'autoroute A 104 a nécessité de la part de l'entreprise d'innover constamment au niveau des méthodes et matériels de vérinage pour relever les défis techniques rencontrés. Il a fallu tout d'abord s'adapter à la conception d'origine de l'ouvrage qui n'avait pas été prévu pour permettre le remplacement des appareils d'appui. L'entreprise a ainsi mis au point des cinématiques particulières de vérinage pour ne pas endommager les ouvrages existants et des méthodes d'exécution originales pour satisfaire à ces exigences. L'entreprise fut conduite également à mettre en œuvre un matériel spécifique de vérinage permettant d'alimenter simultanément de nombreux vérins et d'assurer en temps réel un contrôle des déplacements des différents points de levage.

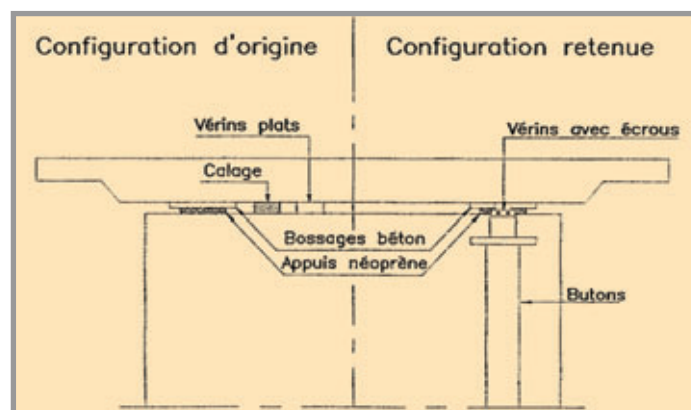
A l'occasion de l'élargissement à 2 x 3 voies du viaduc permettant à l'autoroute A 104 de franchir la Marne à Pomponne, GTM CONSTRUCTION département Précontrainte a procédé au remplacement des appareils d'appui des tabliers existants dont la plupart était endommagée et à la réfection des bossages béton. Les travaux de vérinage ont été exécutés sous circulation avec le matériel spécifique de vérinage de l'entreprise par la méthode de levage assistée par ordinateur. Les quantités d'appareils d'appui changés ont été de 245 appuis élastomères frettés horizontaux et de 60 appuis élastomères frettés verticaux. Les descentes de charge au droit des appuis horizontaux varient selon les configurations de 150 t à 330 t environ.

L'ouvrage existant est composé :

- ◆ d'un viaduc d'accès nord, constitué de deux tabliers à dalle pleine (est et ouest), de 5 travées (longueur totale de chaque tablier : 103,00 m) et de piles de section rectangulaire de 0,70 m x 3,15 m à 0,70 m x 4,10 m ;
- ◆ d'un viaduc principal constitué de deux tabliers à poutres préfabriquées (est et ouest) de 8 travées (longueur totale de chaque tablier : 310,00 m) ; chaque tablier comportant 5 à 7 poutres isostatiques et reposant sur des piles-chevêtres ;
- ◆ d'un viaduc d'accès sud, constitué de deux tabliers à dalle pleine (est et ouest), de 4 travées (longueur totale de chaque tablier : 90,00 m) et de piles de section rectangulaire de 0,70 m x 2,80 m.

■ LES ÉTUDES DE VÉRINAGE

Les études d'exécution de 3 mois ont montré que les sollicitations qui seraient occasionnées par des opérations de changement d'appui n'avaient pas été prises en compte dès la conception d'origine.



Viaducs d'accès

La géométrie des têtes de pile et l'espace libre, même très réduit entre celles-ci et la sous-face des tabliers, permettaient d'envisager un vérinage à l'aide de vérins hydrauliques plats et de cales associées implantées en tête de pile, solution qu'avait retenue l'entreprise dès l'appel d'offres. Lors de l'étude d'exécution, les plans de ferrailage des tabliers existants ont révélé qu'il n'était pas possible d'envisager un excentrement transversal des charges sans remettre en cause la résistance mécanique de l'ouvrage. Une méthodologie consistant à descendre les charges des appuis sur semelle à l'aide de butons spécifiques fut alors décidée (figure 1, photo 1).

Viaduc principal

Il était prévu le changement des appareils d'appuis de chaque chevêtre à l'aide de vérins plats et de cales situées au droit de chaque poutre. La méthode de vérinage assistée par ordinateur permettait de lever simultanément, sous circulation, l'ensemble des poutres isostatiques d'un chevêtre

Figure 1
 Coupe transversale
 des viaducs d'accès
 Cross section
 of access viaducts



Photo 1
 Vérins avec écrous
 de sécurité.
 Capteur de déplacement
 Jacks with safety nuts.
 Displacement transducer

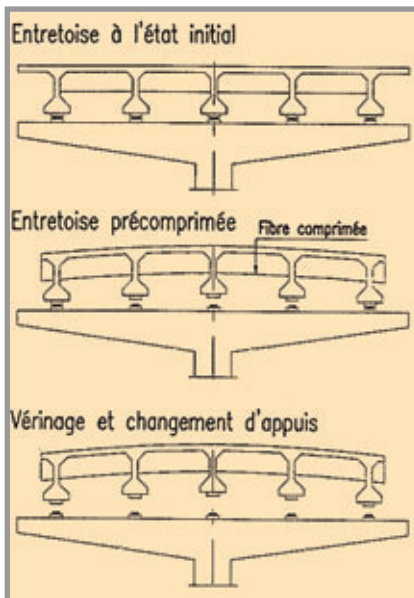


Figure 2
Coupe transversale
du viaduc principal

**Cross section
of main viaduct**

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme

Maitre d'œuvre

DDE de Seine-et-Marne

Bureau d'études

Dumez-GTM

Entreprise

GTM CONSTRUCTION département
Précontrainte



Photo 2
Vérinage par vérins plats
Jacking with flat jacks



tout en garantissant de ne pas dépasser la valeur limite de 3/10 de millimètre entre deux poutres adjacentes et sur l'ensemble de la ligne d'appui. Les plans de ferrailage ont montré que les entretoises ne possédaient pas les aciers nécessaires pour permettre les différentiels de déplacement entre poutres lors des opérations de vérinage, bien que la note de calcul d'origine ait prévu ce ferrailage. L'entreprise fut donc amenée à prévoir avant toute opération de changement d'appui un vérinage spécial imposant une contre-flèche des entretoises qui mette leurs fibres inférieures en précompression. Cette précompression permet ainsi d'éviter toute fissuration des entretoises lors du vérinage principal pour changement d'appui. La méthode retenue par le bureau d'études pour la précompression des entretoises consiste à lever en plusieurs passes et dans un ordre judicieusement choisi les poutres isostatiques. Cette mise en précompression des entretoises est une opération délicate qui nécessite une vigilance toute particulière de la part des opérationnels du chantier et qui pénalise lourdement le cycle de vérinage (figure 2 et photo 2).

LE CHANTIER

Le chantier de vérinage fut assujéti à de nombreuses contraintes existantes. Tout d'abord le viaduc franchit successivement la Marne, voie navigable à fort trafic de péniches, un premier faisceau de 8 voies ferrées permettant l'accès à la centrale électrique de Vaires-sur-Marne, un autre faisceau de 4 voies SNCF assurant la ligne Paris-Strasbourg, une voie de circulation de la RN 34. Par ailleurs les travaux de vérinage se déroulent en permanence sous circulation de la Francilienne avec un trafic moyen d'environ 80 000 véhicules/jour avec une dissymétrie des surcharges sur chaque tablier due au fait que certaines voies ont été condamnées à la circulation pour permettre les travaux d'élargissement. Les travaux de vérinage ont



Photo 3
Vérinage assisté par ordinateur. Pupitre et ordinateur
Computer-assisted jacking. Console and computer

débuté par les viaducs d'accès sud pour permettre une libération rapide de cette zone pour la préfabrication des poutres, ont continué par le viaduc principal situé également sur le chemin critique pour la pose des poutres et se sont terminés par les viaducs d'accès nord.

Planning vérinage

Les travaux de changements des appareils d'appui des tabliers existants ont duré 5 mois et demi avec une interruption d'activité due au rétablissement de la RN 34. La presque totalité des bossages du viaduc principal a dû être démolie et reconstruite. L'ensemble des opérations a consisté en 36 cycles complets (précompression) - vérinage - changement d'appui - dévérinage - (décompression). Chaque cycle durait de 3 à 5 jours.

Matériel de vérinage

Les vérinages ont été menés file par file, chaque file comportant de 4 à 13 appuis hydrauliques (2 lignes par chevêtre du fait de la conception isostatique de l'ouvrage). Ces travaux ont été exécutés à l'aide du pupitre de vérinage qui permet de suivre et de contrôler les déplacements de l'ouvrage au niveau de chaque vérin. Le pupitre comporte seize voies hydrauliques d'alimentation indépendantes. Chaque sortie est équipée d'un distributeur de coupure/ouverture et de deux régulateurs de débit, un pour la montée des vérins et l'autre pour les descentes. De plus chaque alimentation de vérin est équipée d'une vanne haute pression au niveau du pupitre et du vérin pour isoler le vérin ou le groupe de vérins en cas de nécessité.

La mesure des déplacements et des pressions est réunie sur le pupitre en face de chacune des seize sorties au moyen de manomètres de classe 1 et d'affichages mécaniques reliés aux capteurs de déplacement. Le pupitre est couplé à un ordinateur qui a pour fonction d'assurer une régulation



Photo 4
Vérins et système
de descente
de charge

Jacks and load
lowering system

hydraulique automatique des vérins en fonction des déplacements mesurés (photo 3).

La mesure des pressions permet à l'opérateur de vérifier la concordance des descentes de charge mesurées et prévues. Chaque groupe de vérin constituant un point de levage est alimenté par un distributeur hydraulique télécommandé en fonction des informations enregistrées par les capteurs de déplacements. L'ordinateur compare l'écart sur l'ensemble des points avec la tolérance saisie en donnée de base. Les points ayant atteint la limite de la tolérance supérieure restent fermés jusqu'à ce que l'action sur les autres les remettent en marche. Pour chaque phase, un enregistrement continu des paramètres pression-déplacement est effectué. Il assure le client de la qualité des opérations.

Accès aux appuis

Les accès en tête de pile des viaducs d'accès pour le remplacement des appuis néoprènes et la réparation des bossages ont été réalisés à l'aide d'échafaudages tubulaires enveloppant les piles et les butons et prenant appui sur les semelles préalablement dégagées. Chaque buton fut équipé en tête de deux vérins de 100 t de course 200 mm, avec écrou de sécurité (photo 4).

Les accès aux têtes de chevêtre du viaduc principal ont été réalisés à l'aide de nacelles filantes suspendues à la sous-face des tabliers. La mise en place de celles-ci a été particulièrement délicate pour les piles-chevêtres situées au milieu de la Marne et près des caténaires SNCF.

ENGLISH SUMMARY

A 104: The Pomponne viaduct Computer-assisted hoisting

Ph. Guggemos

The replacement of the bearings on the existing decks of the viaduct over the Marne in Pomponne on the A 104 motorway required the contractor to innovate constantly with regard to jacking methods and equipment to meet the technical challenges encountered. It was first of all necessary to adapt to the original design of the structure which did not provide for the replacement of bearings. The contractor thus developed a special jacking process to avoid damaging the existing structures, and original execution methods to meet these requirements. The contractor was also led to use specific jacking equipment allowing simultaneous supply of many jacks and real-time supervision of the displacements of different lifting points.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Autobahn A 104: die Talbrücke Pomponne Computergestützte Anhebung zwecks Auflagerwechsel

Ph. Guggemos

Im Rahmen des Austauschs der Tafelauflager der Hochbrücke der Autobahn A 104 bei Pomponne über die Marne mußte das Bauunternehmen bei Methodik und Material für die Hochwindung unablässig innovieren, um die technischen Herausforderungen zu bewältigen. Zunächst mußte eine Anpassung an die ursprüngliche Konzeption des Bauwerks erfolgen, da dieses nicht für ein Auswechseln der Auflager geplant war. Daher sind besondere Kinematiken für die Hochwindung entwickelt worden, damit die vorhandene Bausubstanz nicht beschädigt wird. Neuartige Ausführungsmethoden waren zur Erfüllung dieser Anforderungen notwendig. Desweiteren mußte das Unternehmen ein spezifisches Hochwindematerial einsetzen, mit dem zahlreiche Winden gleichzeitig versorgt werden können, und in Echtzeit die Verschiebung der verschiedenen Hochwindestellen kontrollieren.

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista A 104 : El viaducto de Pomponne Elevación de cargas asistida por ordenador

Ph. Guggemos

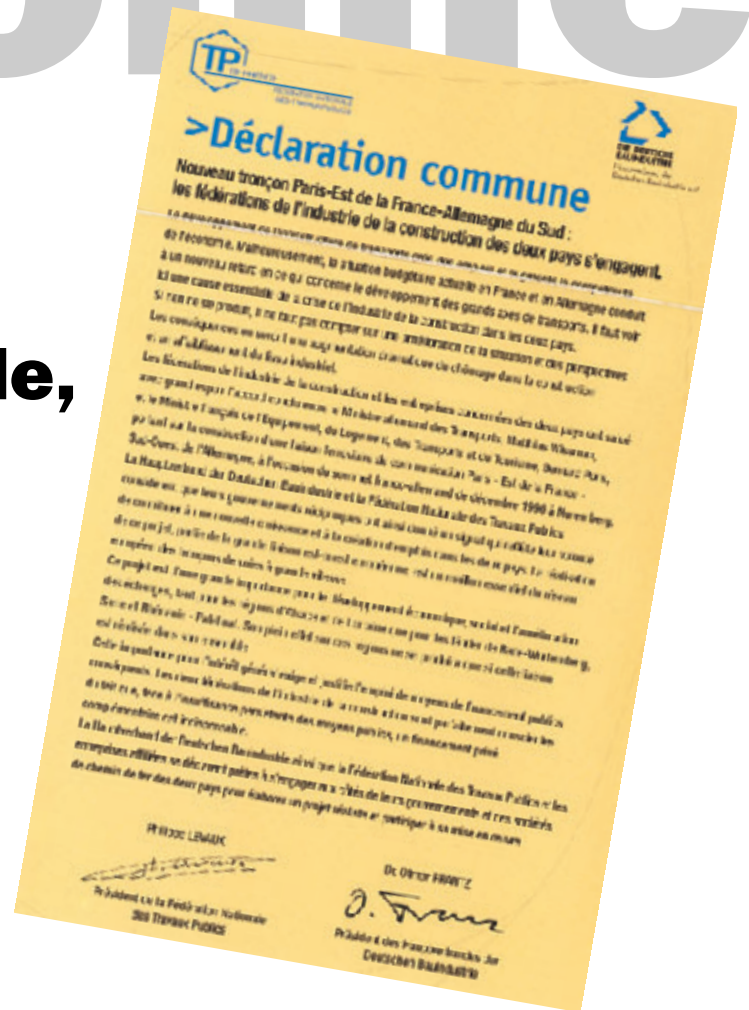
La renovación de los sistemas de apoyo de los tableros existentes en el viaducto del Marne, en Pomponne, de la autopista A 104 ha precisado, por parte de las empresas participantes, una innovación constante en cuanto a los métodos y equipos de elevación por medio de cilindros hidráulicos, para aceptar los retos técnicos con que se ha tropezado. En primer lugar, ha sido preciso adaptarse al concepto inicial de la estructura construida en la que no se había tenido en cuenta la sustitución de los aparatos de apoyo. La empresa ha tenido, pues, que desarrollar las cinemáticas particulares para el empleo de los cilindros hidráulicos elevadores para no causar desperfectos en las estructuras existentes, así como métodos de ejecución originales para cumplir con tales requerimientos. También se ha visto conducida la empresa constructora a implementar equipos específicos de elevación (mediante cilindros hidráulicos) que permiten alimentar simultáneamente numerosos cilindros y garantizar, en tiempo real, un control de los desplazamientos de los diversos puntos de elevación.

économie

T.G.V. EST européen La Fédération française des Travaux Publics et son homologue allemande, la Hauptverband der deutschen bauindustrie, s'engagent.

Le commentaire de la FNTP

Cette déclaration commune démontre clairement que la réalisation du T.G.V. Est européen est d'abord une préoccupation internationale, qui dépasse largement le contexte politique français. Pour en apprécier l'impact, il est important de se situer dans la perspective de la concrétisation de l'idée européenne.



Réseaux transeuropéens de transports : Une politique à relancer, pour l'emploi et la croissance

■ Une politique concrète pour l'Union européenne

L'AMBITION INITIALE

**investir
40 milliards d'écus
sur 94/99,
soit 44%
du financement
nécessaire
pour la réalisation
des 14 projets
prioritaires,
ce qui aurait généré
150 000 emplois
sur 5 ans.**

Le traité de Maastricht et le Livre Blanc de Jacques DELORS poursuivaient des objectifs concrets :

- favoriser la croissance,
- améliorer la compétitivité,
- créer des emplois,
- assurer la cohésion de l'Union par l'aménagement de ses infrastructures à l'échelle européenne.

14 projets prioritaires, dont le T.G.V.-Est, le T.G.V. Sud et le T.G.V. Lyon-Turin ont été identifiés lors du Sommet d'ESSEN, fin 1994.

Rappel : Approbation de 14 projets prioritaires de grands travaux (source : commission européenne):

- ◆ TGV Nord-Sud Berlin-Vérone
- ◆ TGV Paris-Bruxelles, Cologne, Amsterdam, Londres
- ◆ TGV Sud Madrid-Montpellier-Madrid-Dax

- ◆ TGV Est Paris-Strasbourg-Appenweier-Mannheim
- ◆ Chemin de fer : ligne de la Betuwe, Pays-Bas/Allemagne
- ◆ TGV Lyon-Turin-Milan-Venise-Trieste
- ◆ Autoroute Patras-Thessalonique (Grèce)
- ◆ Autoroute Lisbonne-Valladolid (Portugal-Espagne)
- ◆ Chemin de fer Cork-Larne (Pays-Bas/Grande-Bretagne)
- ◆ Aéroport de Malpensas-Milan (Italie)
- ◆ Liaison rail-route (Danemark-Suède)
- ◆ Triangle nordique (Finlande-Suède)
- ◆ Liaison routière Irlande/Grande-Bretagne/Bénélux
- ◆ Chemin de fer côte occidentale (Grande-Bretagne)

L'objectif était de réaliser 40 milliards d'écus d'investissement sur la période 94/99.

■ Des résultats décevants

Malgré les professions de foi réitérées des Chefs d'Etat et de Gouvernement des Quinze, peu de résultats concrets :

- une enquête effectuée dans les différents pays concernés, a révélé qu'à fin 1996 les 14 projets n'étaient réalisés qu'à hauteur de 8% et que leur financement n'était engagé que pour 39%.
- les 3 projets intéressant la France sont particulièrement en panne ; leur financement n'est engagé que pour 7%.

LE BILAN :

l'avancement des 14 projets prioritaires est catastrophique par rapport aux objectifs initiaux ; les projets français piétinent.

■ Les raisons des blocages

3 principaux facteurs expliquent cette situation :

- les Etats membres ne mènent pas la politique d'investissement qu'induisent leurs engagements européens,
- l'Union ne peut pas jouer son rôle de catalyseur
- ◆ les crédits de la ligne "réseaux" du budget européen sont insuffisants (1,8 milliard d'écus pour 94/99),
- ◆ les financements européens sont saupoudrés.

LES FACTEURS DE BLOCAGE :

- les Etats ne concrétisent pas leurs engagements européens,
- l'Union n'a pas les moyens de jouer son rôle de levier (emprunts refusés à Jacques SANTER).

■ Le point de vue de la FNTF

● Un financement public conséquent est indispensable compte tenu de la faible rentabilité financière des projets transeuropéens. Il se justifie au regard de leur forte rentabilité socio-économique.

● Il appartient aux Etats Membres de l'Union de respecter leurs engagements européens en prenant au plan national les décisions nécessaires au financement et au lancement des projets qu'ils ont eux-mêmes affichés comme prioritaires.

● Il leur appartient également d'accepter de doter l'Union des moyens nécessaires pour jouer son rôle de catalyseur, et entraîner dans son sillage capitaux publics et privés :

1. en augmentant la ligne budgétaire affectée aux réseaux transeuropéens,

2. en acceptant que l'ensemble des financements communautaires (budget européen, FEDER, fonds de cohésion) soient concentrés sur les maillons manquants et les sections transfrontalières. Ce serait une première étape vers la création d'un fonds européen pour les infrastructures, susceptible de souscrire des emprunts comme ce fut le cas pour le FSGT français dans les années 80.

● La réflexion de la Commission Européenne sur les moyens de favoriser les partenariats publics/privés pour le financement des projets transeuropéens doit également être menée à son terme, avec les professionnels, les industriels et les banques.

**La concrétisation
de la politique européenne
de réalisation
des réseaux transeuropéens de
transports dépend de la volonté
politique des Etats :
- au plan national,
- comme au plan européen.**

■ Avancement par pays

Pays	Budget 31/12/96 (MECUS)	Avancement %	Exécuté 21/12/96 (MECUS)	Reste à exécuter (MECUS)
Irlande	1 270	50,94	647	623
Danemark	1 882	30,80	580	1 302
Finlande	3 380	20,60	696	2 684
Belgique	4 061	19,80	804	3 257
Allemagne	15 530	18,72	2 907	12 623
Grèce	7 380	10,00	738	6 642
Suède	7 118	5,94	423	6 695
Grande-Bretagne	7 122	4,71	335	6 787
Italie	19 627	2,99	587	19 040
Pays-Bas	7 855	2,36	185	7 670
Autriche	3 020	2,10	63	2 957
Espagne	12 618	1,07	135	12 483
Portugal	406	1,00	4	402
France	13 708	0,75	103	13 605
Luxembourg	41	0,00	0	41
TOTAL	105 018	7,81%	8 207	96 811

■ Financement par projet

Pays	Budget 31/12/96 (MECUS)	Financé 31/12/96 (MECUS)	% financé	Reste à financer (MECUS)
Liaison ferroviaire irlandaise	260	260	100,00	0
Lien fixe sur l'Oresund	3 200	3 200	100,00	0
Ligne de la Betuwe	3 966	3 966	100,00	0
PBKAL	17 366	12 434	71,60	4 932
Autoroutes grecques	7 380	5 277	71,50	2 103
Aéroport de Malpensa	1 100	600	54,50	501
Corridor routier Irlande-UK	1 670	626	37,50	1 044
Autoroute Lisbonne - Valladolid	858	316	36,80	542
Triangle nordique	9 180	3 231	35,20	5 949
TGV/TC Nord-Sud	19 763	5 712	28,90	14 051
TGV/TC France-Italie	18 400	3 073	16,70	15 327
TGV Est	5 235	759	14,50	4 476
TGV Sud	14 390	1 151	8,00	13 239
TGV/TC West Coast Main Line	2 250	106	4,70	2 144
TOTAL	105 018	40 711	38,77%	64 308