

Travaux

n° 783

TRAVAUX SOUTERRAINS

- Collecteur de décharge du Pantin-La Briche. Le 3^e lot en cours à Aubervilliers
- A20. Section Cahors Nord/Souillac. Sécurité de la tranchée couverte de Terregaye
- RATP - Ligne Météor. Le prolongement de Saint-Lazare
- Le tunnel de Groene Hart

OUVRAGES D'ART

- A89 - Le viaduc des Barrails
- Ouvrages innovants de Bourg-Lès-Valence
- Mise en place de ponts de secours dans la Somme
- Second franchissement du Rhin au sud de Strasbourg. La grande travée au-dessus du fleuve est achevée
- Une nouvelle passerelle pour Tours
- Le pont de Long-Bien au Vietnam



Travaux souterrains
Ouvrages d'art

Travaux

numéro 783

février 2002

Travaux souterrains - Ouvrages d'art



Notre couverture

Collecteur de décharge
du Pantin-La Briche.
Tunnel revêtu

© G. Desvignes / Précision Photographique

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 0144133144

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 024118 11 41
Fax : (33) 024118 11 51
Francoise.Godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Olivier Schaffer
9, rue Magellan - 75008 Paris
Tél. : (33) 0140738005
revuetravaux@wanadoo.fr

France : 155 € TTC
Etranger : 190 €
Prix du numéro : 19 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 0144648420

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 0144748636

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.

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

février 2002

Travaux souterrains - Ouvrages d'art

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

13

PRÉFACE

Robert Longelin

17

TRAVAUX SOUTERRAINS

◆ Collecteur de décharge du Pantin - La Briche. Le 3^e lot en cours à Aubervilliers (Seine-Saint-Denis) - *Pantin-La Briche main sewer. The third work section in progress at Aubervilliers (Seine-Saint-Denis region)*
J.-L. Trottin, A. Duteil, Direction de l'eau et de l'assainissement

18

◆ Autoroute A20. Section Cahors-Nord/Souillac. Sécurité de la tranchée couverte de Terregaye - *A20 motorway. Cahors-Nord/Souillac Section. Safety of the Terregaye cut-and-cover tunnel*
M. Legrand, G. Le Bever

24

◆ RATP - La ligne Météor. Le prolongement de Saint-Lazare - *RATP (Paris transport system) - The Météor line. The Saint-Lazare extension*
A. Duteil, R. Termeau

28

◆ Le tunnel de Groene Hart (Pays-Bas) - *Groene Hart Tunnel in Netherlands*
J. Harnois

35

OUVRAGES D'ART

◆ A89 - Le viaduc des Barrails. L'ouvrage le plus long entre Bordeaux et Clermont-Ferrand - *A89 - The "Barrails" viaduct. The longest civil engineering structure between Bordeaux and Clermont-Ferrand*
G. Riondy

40

◆ Ouvrages innovants de Bourg-Lès-Valence - *Innovative civil engineering structures of Bourg-Lès-Valence*
Divers auteurs

42



Routes

Travaux urbains

Sols

et fondations

Terrassements

Environnement

Eau

Réhabilitation

d'ouvrages

International

Ponts

février 2002

Travaux souterrains - Ouvrages d'art



◆ Inondations de mars - avril 2001. Mise en place de ponts de secours dans le département de la Somme - *Flooding of March-April 2001. Setting up of emergency bridges in the Somme region*

J. Michel

48



◆ Second franchissement du Rhin au sud de Strasbourg. La grande travée au-dessus du fleuve est achevée - *Second crossing over the Rhine south of Strasbourg. The large span above the river is completed*

G. Treffot

50



◆ Une nouvelle passerelle pour Tours - *A new foot bridge for Tours*

J.-M. Tanis, A. Spielmann, F. Belblidia, Ch. Outteryck

65

◆ Le pont de Long-Bien au Vietnam - *Long-Bien Bridge in Vietnam*

Ph. Léger

70



MATÉRIELS

◆ Matériels et matériaux utilisés en travaux souterrains et ouvrages d'art - *Equipments and products used in underground and construction works*

74

répertoire des fournisseurs

82

Vous avez ouvert le dernier numéro de la revue *Travaux*, lu le sommaire et peut-être accordé quelque attention à la préface... Cette année, après d'autres, la revue consacre une partie de ses exposés aux chantiers souterrains. On souhaiterait pour notre spécialité, un plus grand nombre d'auteurs et d'articles pour un plus grand nombre de chantiers... Peut-on alors penser que la spécialité est en crise ? Ce début de siècle, également début de millénaire incite à l'examen du passé pour faire, si possible, le point quant à la valeur professionnelle de notre spécialité et essayer de répondre à la question posée dans le présent et pour l'avenir.

Quand on voyage dans notre passé, on est amené à faire une halte au milieu du XIX^e siècle vers les années 1850-1860. A cette époque nos anciens, portés par une ambition juvénile et une opinion publique favorable ajoutée à un optimiste quelque peu délirant, projetèrent le premier grand chantier transalpin celui du tunnel du Mont-Cenis comportant plus de 12 km de longueur. Les concepteurs du projet ne disposaient pas d'énergie transportable aux fronts de taille, ils n'avaient que des moyens rudimentaires de ventilation pour l'ouvrage, devaient utiliser des explosifs peu fiables sécuritairement, n'avaient aucun retour d'expérience et ignoraient presque tout des terrains traversés. Heureusement vers 1857 l'ingénieur genevois Collodon démontra les possibilités de l'air comprimé et un peu plus tard vers 1867 Alfred Nobel mis au point la dynamite. Les douze kilomètres furent creusés entre 1857 et 1870. Les délais prévus au démarrage du chantier étaient de quelque 35 années...

Ce premier grand chantier fut aussitôt suivi par celui du Saint-Gothard avec 14,92 km percés entre 1873 et 1880. Entre la fin du siècle et 1914, les machines productrices et utilisatrices d'air comprimé se modernisèrent mais les modes opératoires pour le creusement des tunnels restèrent basés sur l'utilisation de l'air comprimé et de la dynamite. Furent creusés pendant cette période de nombreux ouvrages souterrains, ferroviaires, routiers, d'assainissement, de métros ajoutés aux travaux de l'industrie minière elle-même devenue très performante...

La Première Guerre mondiale stoppa l'élan de cette période de plus de 50 années. Notre pays pouvait espérer des jours meilleurs après les années de reconstruction vers 1930-1940 mais à nouveau, encore convalescent, il dut subir le deuxième conflit mondial du siècle avec toutes ses conséquences.

Il en résulta qu'avant 1960 dans les rares travaux de quelque envergure, les seules machines considérées comme l'aboutissement du progrès de cette époque, était le marteau-piqueur, amélioré il est vrai d'année en année. Entre 1914 et 1960 les modes opératoires normaux, reconnus, reposaient tous et encore sur le "duo" air comprimé - dynamite.

Je me souviens que la toute première petite machine à "attaque ponctuelle" fut expérimentée en Ile-de-France vers 1966, c'était un "Renard" Wesphalia utilisé pour le creusement de petites galeries d'assainissement.

Et vinrent avant 1970, les grands travaux parisiens, ceux de la RATP avec la ligne A du RER, les grandes sections des tunnels à deux voies et les très grandes stations souterraines d'Etoile, de Nation, d'Auber. Et pour la première fois, la décision de faire passer les tunnels d'inter-station dans les tréfonds des immeubles de la capitale.

Des modes opératoires nouveaux devaient être recherchés afin de réduire

les délais d'exécution et faire face aux nouveaux défis : les tassements, les venues d'eau, les nuisances, la sécurité, les coûts...

On peut dire que les paris engagés à partir de 1970 furent tous gagnés ou presque.

L'air comprimé fut rapidement remplacé par des machines productrices de fluides hydrauliques à haute ou très haute pression ; les machines à "attaque ponctuelle" grossirent en poids, en taille et en efficacité et bientôt les tunneliers nouvellement arrivés devinrent fiables et purent être utilisés dans des roches dures et abrasives. Et tout s'accéléra, les cadences journalières d'avancement des tunnels atteignirent chez nous des records comme partout dans le monde. Cette première génération de tunneliers fut complétée par celle des boucliers d'abord à boue, puis à pression de terre... Nous en sommes maintenant avec le bouclier du tunnel de Groene Hart de la liaison TGV Rotterdam-Amsterdam à une section creusée d'un diamètre de 14,87 m, paraît-il la plus élevée au monde.

Les tunneliers et les boucliers utilisés pour le creusement des tunnels ne furent pas les seules innovations constatées. Dans tous les autres domaines de la construction des ouvrages souterrains : traitement des sols, soutènement, pré-soutènement, revêtement, étanchéité, ventilation, pilotage topographique, études et calculs, des avancées parfois spectaculaires ont chacune pour une part contribué à la naissance d'une nouvelle étape importante dans l'histoire de notre spécialité.

Alors, celle-ci a-t-elle fait face aux défis de ces 30 dernières années ? Il semble bien qu'une réponse affirmative ne puisse pas être taxée de suffisance ou d'auto-satisfaction. On constate que le chiffre d'affaires moyen annuel de la dernière décennie du XX^e siècle est satisfaisant même si celles de la fin du siècle et celle du début du nouveau ont des résultats faibles. Cette décennie 1990-2000 a été celle de très grands chantiers nationaux, le tunnel sous la Manche, les projets Eole et Météor, le TGV Méditerranée, les grands travaux d'assainissement, les grands tunnels routiers (A14, Toulon...) et bien d'autres encore.

Même si c'est regrettable, l'activité de notre spécialité ne peut trouver un équi-

libre constant entre les besoins nationaux divers et les possibilités d'action de nos entreprises qui d'ailleurs, par la réduction des délais de réalisation, apportent leur contribution à l'accélération de la modernisation du patrimoine national. Nous devons nous adapter, et nous le faisons, à des périodes de "surchauffe" suivies de ralentissement, mais nous devons aussi œuvrer pour que ces périodes soient les plus brèves possibles.

On peut aussi rappeler qu'avec un chiffre d'affaires de 4,3 milliards de francs hors métropole, le record à l'export en 1999, dernière statistique annuelle connue, a été très largement battu. Il faut croire que les donneurs d'ordre étrangers ont de nos entreprises une très bonne opinion.

Le devenir de notre spécialité, c'est-à-dire les prévisions d'activités pour 2001-2010, est à la fois chargé d'espoir et d'interrogations. C'est d'ailleurs là le propre d'un devenir... Il semble bien que des ouvrages majeurs prévus aient atteint leur point de non retour telle la liaison Lyon-Turin ; d'autres nous sont et nous seront proposés. Le rendez-vous AFTES d'octobre 2002 à Toulouse devrait apporter un peu plus de visibilité et contribuer, entre autres, à alimenter notre information.

Pour l'heure, avec la revue *Travaux*, je me permets de vous souhaiter à tous et à vos entreprises une année 2002 heureuse et prospère.



ROBERT LONGELIN

**Président du Syndicat
Professionnel
des Entrepreneurs
de Travaux
Souterrains de France
Vice-Président
de l'AFTES**

Collecteur de décharge

Le 3^e lot en cours à Aubervilliers

Le 3^e lot du collecteur de décharge du Pantin - La Briche est en cours de réalisation. Dans un environnement urbain délicat, le groupement d'entreprises attributaire, piloté par Eiffage TP, a choisi de mettre en place des équipements spécifiques répondant aux contraintes imposées par le site. En particulier, Eiffage TP a acheté un tunnelier neuf possédant les fonctions les plus récentes en matière de contrôle et de sécurité capable d'évoluer à des cadences de l'ordre de 360 m par mois.

Le SIAAP (Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne) a attribué au mois d'avril 2000 la réalisation de la troisième tranche du collecteur de décharge du Pantin - La Briche au groupement d'entreprises Eiffage TP, Sade, Bec et Sefi. Le projet de décharge du Pantin - La Briche constitue l'un des aménagements prioritaires prévus par le schéma directeur d'assainissement de la région

parisienne. C'est un collecteur d'eaux pluviales de 4,5 km de long qui aura pour fonction principale de soulager le réseau existant et ainsi de réduire les risques d'inondation à Pantin, Aubervilliers, La Courneuve et Saint-Denis. Alimenté par deux prises d'eaux sur le collecteur existant dit Pantin - La Briche, il assurera le transport des effluents collectés vers le bassin de La Plaine, situé au pied du Stade de France, à Saint-Denis.

Le projet de décharge du Pantin - La Briche a été divisé en quatre tranches de travaux (figure 1). La maîtrise d'œuvre pour la conception et la construction de l'ensemble du projet a été confié à la D.E.A. (Direction de l'eau et de l'assainissement) du conseil général de la Seine-Saint-Denis. Les travaux de construction du collecteur ont débuté en septembre 1999. Ils dureront un peu plus de 4 ans, toutes tranches confondues.



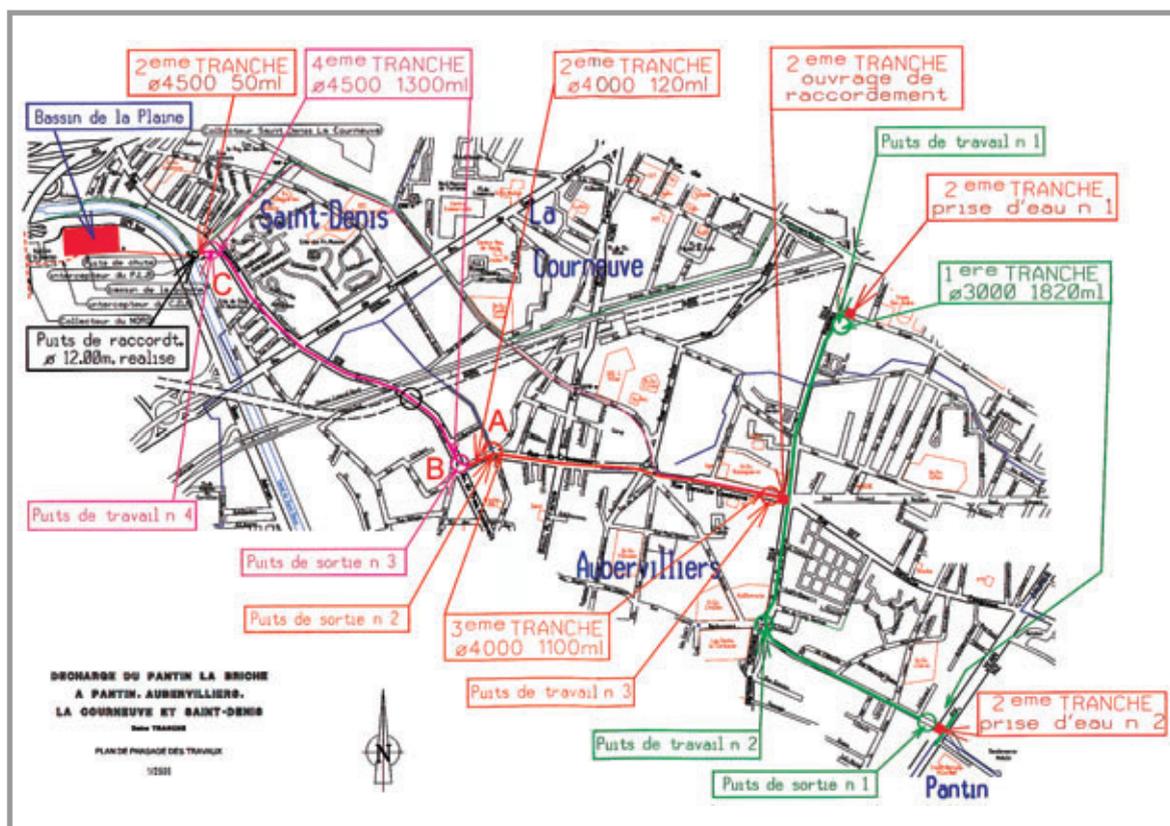
Photo 1
Portique de manutention en phase d'installation
Handling gantry during the installation phase

■ DESCRIPTION DU 3^e LOT

Le troisième lot comprend la réalisation des ouvrages suivants :

- ◆ un puits de travail situé au carrefour Casanova - Pont Blanc (commune d'Aubervilliers) ;

Figure 1
Plan d'ensemble du projet collecteur de décharge du Pantin-La Briche
Overall drawing of the Pantin-La Briche main sewer project



du Pantin - La Briche (Seine-Saint-Denis)

Jean-Luc Trottin
DIRECTEUR D'EXPLOITATION
Eiffage TP

André Duteil
DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT
TRAVAUX SOUTERRAINS
Eiffage TP

**Direction de l'eau
et de l'assainissement**
Conseil Général Seine-Saint-Denis

- ◆ un collecteur de 4,00 m de diamètre intérieur se développant sur environ 1 km sous la chaussée des rues Daniel Casanova puis Crève-cœur à Aubervilliers ;

- ◆ un puits de sortie au carrefour Crève-cœur - Heurtault (limite des communes Aubervilliers - Saint-Denis).

Le délai d'exécution de ces travaux a été fixé à 24 mois.

Les terrains traversés

La géologie du site faisait apparaître les couches suivantes :

- ◆ remblais ;
- ◆ alluvions modernes ;
- ◆ marno-calcaire de Saint-Ouen ;
- ◆ sables de Beauchamp.

Le tracé du tunnel se situe en partie basse du Saint-Ouen, avec des incursions (surtout à la fin du tracé) dans le Beauchamp supérieur. Il évolue à des profondeurs variant de - 16,00 m à - 13,00 m avec une pente de - 0,1 % (attaque descendante).

La nappe du Saint-Ouen avait un niveau libre situé environ à - 5,00 m du TN. Il en a résulté une charge en radier variant de 8 à 10 m (0,8 à 1 bar environ).

Des sondages complémentaires ont permis d'affiner les interfaces des horizons étanches et de délimiter la couche plus indurée du calcaire de Saint-Ouen (calcaire de Ducy).

Les installations principales

(photo 1)

Dès l'ordre de service reçu, la position du puits de travail et les installations principales ont fait l'objet d'une étude approfondie afin de s'inscrire le mieux possible dans le milieu urbain dense du site : circulation très importante au carrefour Casanova - Pont Blanc, présence de bâtiments scolaires à la périphérie immédiate du puits de départ, immeubles (R + 9) à proximité.

Cette analyse des contraintes a porté le groupement à retenir pour options principales :

- ◆ entrée-sortie des véhicules lourds la plus éloignée possible du carrefour ;
- ◆ circulation des véhicules lourds sur le chantier en sens unique ;
- ◆ reconstitution de la circulation piéton le long de la clôture avec protection lourde type GBA en protection des véhicules ;
- ◆ installation d'un portique 30 t ne survolant que

des surfaces au sol comprises dans l'emprise du chantier à la place d'une grue, moins coûteuse et plus pratique mais n'offrant pas cet avantage ;

- ◆ caissonnage du groupe de ventilation en tête de puits afin d'atténuer les nuisances sonores.

En contrepartie, ces dispositions ont obligé la direction du chantier à organiser le fonctionnement de celui-ci de manière très précise :

- ◆ planning draconien d'arrivée des camions de livraison : voussoirs, mortier de bourrage, évacuation de matériaux... soit en pointe, un camion toutes les 15 minutes ;

- ◆ gestion par une personne attitrée de la sortie des véhicules ;

- ◆ nettoyage de la chaussée dès que nécessaire.

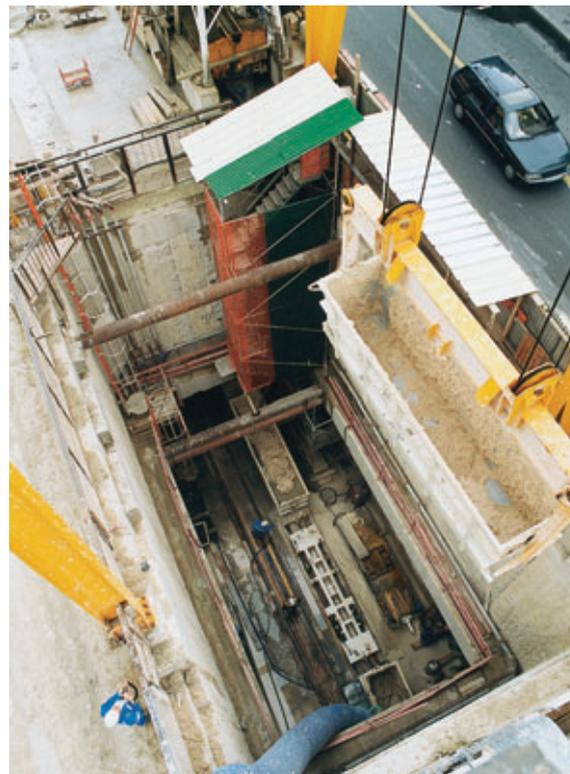


Photo 2
Puits de travail
en phase de creusement

*Work shaft
during the digging stage*

Le puits de travail (photo 2)

Le puits de travail est de forme rectangulaire, 14,00 m x 7,50 m pour 15,00 m de profondeur.

Il a été réalisé en parois moulées de 0,82 m d'épaisseur avec une profondeur de 22,00 m et ancrée dans la couche la plus étanche des Sables de Beauchamp.

La forme rectangulaire a imposé la mise en place de butons provisoires transversaux lors de l'excavation.

Un radier armé a ensuite été coulé en fond de fouille

Figure 2
Section type
de la galerie
*Typical
cross section
of the gallery*

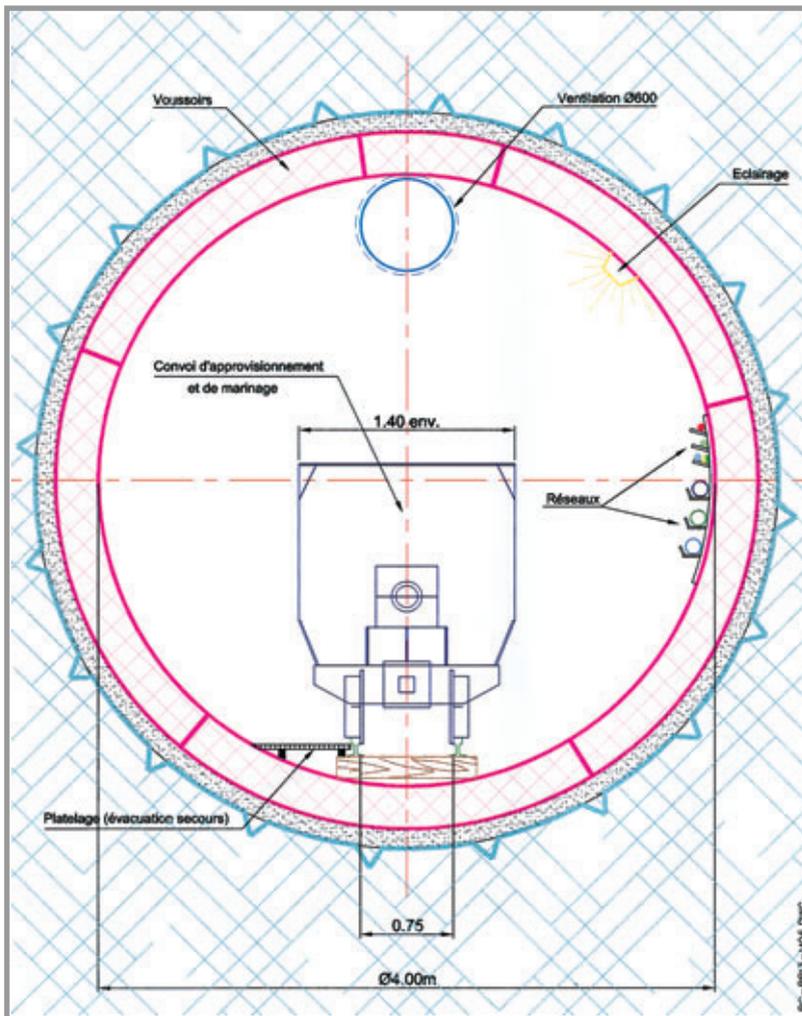


Photo 3
Mise en place des liaisons
entre anneaux
*Placing links
between rings*



afin d'avoir une "boite" étanche. Son exécution s'est déroulée de manière satisfaisante en parallèle avec les installations générales au cours du dernier trimestre 2000.

Les installations en fond de puits principal

Les installations en fond de puits ont été conçues de manière à permettre au tunnelier de démarrer et de creuser dans les meilleures conditions possibles.

Deux galeries ont été excavées avant la descente du tunnelier.

En direction du puits de sortie, une galerie d'amorce de 30 m² de section circulaire et de 15 m de longueur a été excavée à l'aide d'une machine à attaque ponctuelle AM 50. L'excavation a été réalisée par section divisée : 1/2 supérieure et 1/2 inférieure. Le soutènement retenu par le bureau d'études d'exécution était constitué de cintres TH 34/58 tous les 1,30 m avec un blindage jointif en bois. Celui-ci a ensuite été renforcé en cours d'exécution, à la demande de la maîtrise d'œuvre par une coque en béton projeté pour tenir compte des efforts induits par le passage du tunnelier du lot n°1 à proximité.

Cette galerie a permis de loger le bouclier ainsi que son massif d'appui au démarrage afin de conserver la totalité de l'emprise du puits pour les deux premières remorques du train suiveur.

A l'opposé, une galerie de recul de 25 m² de section circulaire et de 37,00 m de longueur a été excavée (même méthode d'exécution que pour l'amorce) pour y loger :

- ◆ les remorques 3, 4 et 5 du train suiveur en phase de démarrage ;
- ◆ les trains de service en phase de creusement au tunnelier.

Ensuite, les aménagements complémentaires ont été réalisés :

- ◆ chemin de ripage du bouclier ;
- ◆ ventilation ;
- ◆ alimentation électrique ;
- ◆ accès (ascenseur, escalier) ;
- ◆ fosse à déblais (en surface).

Le tunnel (photos 3, 4 et 5)

Le tunnel creusé au tunnelier est constitué d'un revêtement d'anneaux universels de 1,70 m de longueur et de 0,30 m d'épaisseur. Chaque anneau est constitué de deux clefs et de quatre contre-clefs de forme trapézoïdale. Les liaisons mécaniques entre voussoir d'un même anneau sont assurées par des joncs de matière plastique utilisés comme languette venant se loger dans des rainures réservées dans les côtés longitudinaux de chaque voussoir. Les liaisons entre deux anneaux consécutifs sont réalisées par des broches cylindriques

en matière inerte dure ("sof-clip" de chez Sofrasar) mis en place manuellement avant la prise du voussoir par l'érecteur. Ces dispositions permettent d'offrir les avantages suivants :

◆ pour l'entreprise :

- suppression des opérations de boulonnage dans des positions souvent acrobatiques,
- une seule personne pose les voussoirs aux commandes de l'érecteur (liaison radio, préhension du voussoir par dépression),
- moins de risques d'accident (coincement de doigts, chute de hauteur),
- la vitesse de pose d'un anneau complet accrue (moins de 15 minutes en moyenne et des records de 8 minutes!);

◆ pour le maître d'ouvrage :

- suppression des désaffleurements entre anneaux,
- le revêtement final offre une surface plus favorable aux écoulements.

Le puits de sortie (photo 6)

Le puits de sortie est de forme circulaire, de diamètre 8,00 m pour 12,00 m de profondeur.

Il a été réalisé en méthode traditionnelle (soutènement TH 34/58 et blindage bois) à l'abri d'un traitement de terrain périphérique ancré dans la couche la plus étanche des Sables de Beauchamp. Démarré en septembre 2001, son exécution est actuellement arrêtée après qu'une forte arrivée d'eau lors du terrassement de la dernière travée se soit produite. Devant les grandes difficultés à pomper le débit arrivant, il a été décidé de laisser le niveau d'eau s'équilibrer dans la fouille. La fin du terrassement, la mise en place des aciers

de structure ainsi que les bétonnages (radier et première levée des voiles) se sont donc déroulés "à niveau plein", en utilisant les services de plongeurs professionnels. Le béton utilisé spécialement pour ces coulages a été adjuvanté afin qu'il puisse être mis en place sous l'eau sans délavage (CHF - CEM III 42.5 F 400 KG 0/20 avec hydrofuge type colloïde de Béton de France).

Les travaux d'injection complémentaire en cours permettront au tunnelier de déboucher dans le puits au cours du premier trimestre 2002.

■ UN TUNNELIER "TOUTES OPTIONS"

Des équipements adaptés aux risques évalués

Le tunnelier a été conçu par la société allemande Herrenknecht à partir d'un cahier des charges établi par Eiffage TP. Celui-ci imposait un certain nombre d'équipements spécifiques jugés indispensables par l'analyse des conditions d'exécution du tunnel. En effet, le site environnant laissait apparaître :

- ◆ une faible couverture de terrains (environ deux diamètres);
- ◆ un tracé suivant une voie de circulation à trafic important et bordée d'immeubles plus ou moins vétustes;
- ◆ des couches de terrain pouvant receler des zones décomprimées, voire des vides;
- ◆ une nappe hydrostatique assez élevée (8 - 10 m en radier);
- ◆ une couche de calcaire répertoriée comme rela-



Photo 4
Pose d'un anneau
Installation of a ring



Photo 5
Tunnel revêtu
Lined tunnel



Photo 6
Puits de sortie
en cours de coffrage
Exit shaft
undergoing shuttering

Photo 7
Poste de pilotage
du tunnelier

*Machine operator's position
on tunnel boring machine (TBM)*



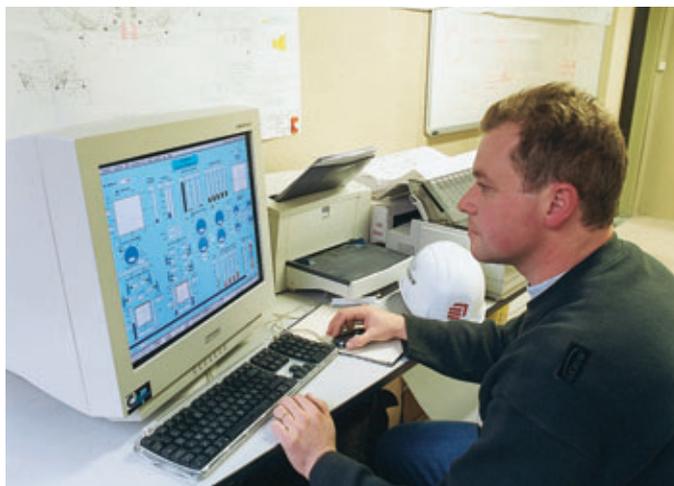
Photo 8
Tunnelier en usine
TBM in factory



© Petra Enghauser Photostudio

Photo 9
Poste de supervision du tunnelier
sur système CAP

*TBM supervision station
on CAP system*



tivement dure et située en partie basse de l'excavation dans la partie aval du tracé (calcaire de Ducy). En conséquence, il a été décidé d'intégrer les équipements supplémentaires suivants :

- ◆ tunnelier à confinement de terre, capable de travailler sous une pression de 4 bars et équipé d'une roue de coupe terrain dur ;
- ◆ injection de mortier de bourrage en continu dès la sortie de l'anneau ;
- ◆ sondeuse de reconnaissance à l'avancement ;
- ◆ système de guidage CAP ;
- ◆ superviseur de fonctionnement CAP ;
- ◆ sas hyperbare embarqué ;
- ◆ générateur de mousse ;
- ◆ régulateur d'air comprimé dans la chambre d'abatage.

Tous ces organes sont reliés à un poste de pilotage (photo 7).

Un creusement optimisé

Baptisé le 23 avril 2001, le tunnelier "Magali" a fait ses premiers pas début juin, après 5 semaines de montage (photo 8).

Cette phase de montage, dont l'ensemble des procédures avait fait l'objet d'une étude conjointe des équipes d'Eiffage TP et d'Herrenknecht s'est déroulé conformément aux objectifs fixés. En effet, afin que le personnel de chantier se familiarise le plus tôt possible avec le tunnelier, le contrat de fourniture prévoyait que les techniciens du chantier (responsable mécanique et électrique, électricien et mécanicien de poste) assistent durant environ deux mois à la fin du montage à blanc du tunnelier en usine ainsi qu'aux essais pratiqués après celui-ci.

En revanche, l'exiguïté de la zone de démarrage et la faible longueur de la galerie de recul (37,00 m au lieu des 50,00 m nécessaires) ont rendu la phase de démarrage délicate et finalement, lente. Ce n'est qu'après les congés d'été, lorsque le tunnelier et la gare ont été entièrement montés, les trains en ordre de marche que les cadences ont pu être améliorées : en octobre, le tunnelier réalisait 358 m de creusement revêtu (travail à deux postes de creusement, un poste de nuit d'entretien).

Une supervision informatique CAP efficace (photo 9)

Eiffage TP a demandé à la société CAP de concevoir et de monter un superviseur de fonctionnement de tunnelier.

Cet ordinateur, installé dans les bureaux de la direction du chantier, reçoit, analyse, affiche et stocke une cinquantaine de valeurs mesurées directement sur le tunnelier. A la différence d'autres superviseurs du commerce, le CAP a l'avantage d'afficher un véritable tableau de contrôle qui permet au responsable de la production d'être informé en temps

réel en lisant non pas uniquement des valeurs brutes mais au contraire des paramètres conjugués lui fournissant des indications directement interprétables en terme d'organisation du chantier : par exemple, la relation entre le taux de travail (valeur exprimée en MegaJoule/m³) et l'usure des outils permet d'une part d'améliorer les consignes de conduite données aux pilotes et d'autre part d'anticiper les arrêts de production pour intervenir dans la chambre d'abattage. Ainsi, il n'a été besoin que d'une seule intervention dans la chambre et les taux d'usure des outils ont été particulièrement bas; aucune molette ni aucun *ripper* n'ont été changés au cours du creusement.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre de l'ouvrage

S.I.A.A.P. (Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne)

Maitre d'œuvre

D.E.A. (Direction de l'eau et de l'assainissement) du conseil général de la Seine-Saint-Denis

Entreprise

Groupement d'entreprises :

- Eiffage TP
- Sade
- Bec
- Sefi

ABSTRACT

Pantin-La Briche main sewer. The third work section in progress at Aubervilliers (Seine-Saint-Denis)

J.-L. Trottin, A. Duteil, Direction de l'eau et de l'assainissement

The third work section of the Pantin-La Briche main sewer is undergoing construction. In a sensitive urban environment, the consortium awarded the contract, led by Eiffage TP, chose to set up special equipment meeting the constraints entailed by the site. In particular, Eiffage TP bought a new tunnel boring machine (TBM) having the most recent control and safety features and capable of boring at a rate of approximately 360 metres per month.

RESUMEN ESPAÑOL

Colector de descarga de "Le Pantin-La Briche". El tercer lote de obras en curso, en Aubervilliers (Seine-Saint-Denis)

J.-L. Trottin, A. Duteil, Direction de l'eau et de l'assainissement

El tercer lote del colector de descarga de Le Pantin - La Briche se encuentra en curso de ejecución. Al situarse en un entorno urbano realmente sensible, el Grupo de empresas concesionario, encabezado por Eiffage TP, ha optado por implantar equipos específicos capaces de responder a los imperativos derivados del emplazamiento. Fundamentalmente, Eiffage TP ha adquirido una tunelera nueva que dispone de las funciones más recientes en el aspecto del control y de la seguridad, cuya capacidad de avance puede elevarse a unos 360 m por mes.

UN PRODUIT DE LA GAMME RMC SPECIFIQUES

RMC Hydro, une solution économique pour bétonnage en eau



Aux vues des difficultés de réalisation du chantier du Collecteur de Pantin (3ème phase), **Béton de France** a développé en partenariat avec l'entreprise Eiffage un béton de type RMC Hydro. Ce chantier a fait appel à un béton RMC hydro non perméable. Coulé dans des conditions de travail difficiles, la mise en œuvre du béton RMC Hydro a nécessité l'utilisation d'un camion pompe.

Caractéristiques techniques

- ◆ Béton non délavable
- ◆ Deux familles de produits :
 - RMC Hydro de type non perméable à composition continue
 - RMC Hydro de type perméable à composition discontinue
- ◆ Trois modes de coulage
 - Hors d'eau
 - Travail simple
 - Travail difficile (profondeur et eau en mouvement)

Selon le type choisi, nos services techniques adaptent la formulation afin de répondre de façon optimale aux besoins du chantier.



BÉTON DE FRANCE
www.betondefrance.fr



Autoroute A20. Section Sécurité de la tranchée

A la suite de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc, une circulaire interministérielle relative à la sécurité des tunnels du réseau routier national, a été signée le 25 août 2000.

A cette date, les travaux de réalisation de la tranchée couverte de Terregaye de l'autoroute A20, qui devenait concernée par cette circulaire, étaient déjà engagés.

Autoroutes du Sud de la France et son maître d'œuvre Scetauroute ont donc eu, avant la mise en service et dans des délais très courts, à mettre en œuvre les procédures et à réaliser les travaux nécessaires après validation par le préfet et le Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers institué au niveau national.

Autoroutes du Sud de la France a toujours considéré la sécurité des usagers comme sa priorité dans le cadre de l'exploitation des sections qui lui sont concédées par l'Etat.

Sur l'autoroute A20 entre Brive et Montauban, comme sur d'autres sections d'autoroutes, Autoroutes du Sud de la France avait déjà complété les équipements de sécurité des ouvrages souterrains, en concertation avec les services de secours locaux, au-delà du strict respect de certaines dispositions de la récente instruction technique annexée à la circulaire 2000-63. A titre d'exemple les tunnels et tranchées couvertes étaient d'ores et déjà tous équipés d'un réseau d'eau de lutte contre l'incendie alors que ce dernier n'est désormais obligatoire qu'à partir d'une longueur de tunnel de 500 m.

Néanmoins, l'actualisation du projet d'instruction technique de décembre 1996, décidée par l'Etat à la suite de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc, a considérablement modifié la conception des dispositifs de sécurité des ouvrages souterrains et, est survenue, au cœur du chantier de la tranchée couverte de Terregaye (figure 1) sur la section Cahors-Nord/Souillac de l'autoroute A20. L'urgence concomitante de la mise en service de cette section à l'été 2001 a généré des mesures complexes faisant l'objet, en outre, du dossier de sécurité désormais institué par l'Etat.

la circulaire n° 2000-63 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national qui a été signée le 25 août 2000. Cette circulaire annule et remplace la circulaire 81.109 du 29 décembre 1981 et est applicable dès sa date de signature.

L'annexe n°1 à la circulaire définit les procédures préalables à la mise en service des tunnels du réseau routier national et les modalités de suivi de leur exploitation. Pour l'essentiel elle décrit la constitution du dossier de sécurité à chacune des phases de la vie de l'ouvrage (établissement du projet, ouverture à la circulation publique, exploitation), ainsi que les procédures de validation par le préfet du département concerné, qui s'appuie sur l'avis d'un Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (C.E.S.T.R) institué au niveau national.

L'annexe n° 2 est constituée par l'instruction technique relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels routiers qui portent à la fois sur la conception des ouvrages et leurs équipements ainsi que sur les règles d'exploitation et de suivi de la sécurité.

■ LES MODALITÉS PARTICULIÈRES D'APPLICATION

Bien évidemment les textes réglementaires visés ci-dessus prévoient les différents cas d'avancement de la vie des ouvrages à savoir :

Ouvrages au stade des études

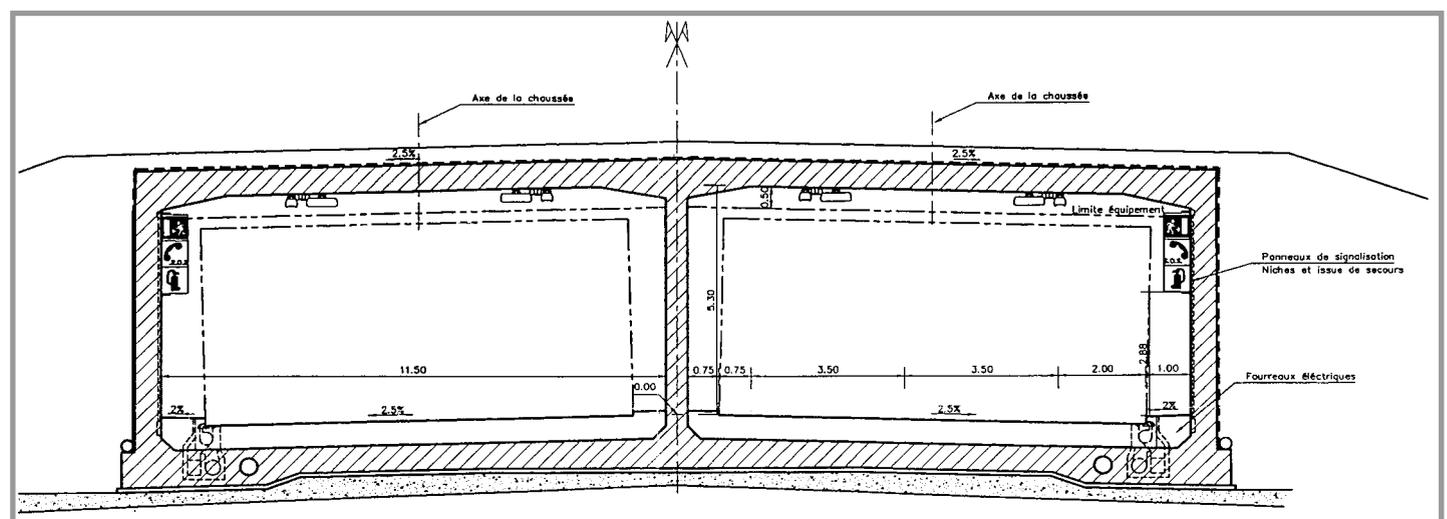
Tout ouvrage au stade des études dont l'avant-projet ouvrage d'art n'a pas encore été approuvé à la

■ LES TEXTES RÉGLEMENTAIRES

Le ministère de l'Intérieur et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ont établi

Figure 1
Profil en travers type de la tranchée couverte de Terregaye

Typical cross section of the Terregaye cut-and-cover tunnel



Cahors Nord/Souillac couverte de Terregaye

Michel Legrand



EXPERT SÉCURITÉ
EXPLOITATION
Scetauroute

Gildas Le Bever



ADJOINT AU DIRECTEUR
DE PROJET
Scetauroute

date de signature de la circulaire, est soumis à l'intégralité du nouveau dispositif.

Ouvrages non mis en service

Ce sont les tunnels dont l'avant-projet ouvrage d'art a déjà été approuvé, mais qui n'ont pas encore été ouverts à la circulation publique à la date de signature de la circulaire.

Le maître d'ouvrage adresse un dossier de sécurité au préfet au plus tard dans un délai de six mois à compter de la signature de la circulaire en indiquant la date prévisionnelle de mise en service de l'ouvrage. Selon le stade d'avancement des études et des travaux, le maître d'ouvrage doit :

- ◆ soit procéder en deux temps, en présentant d'abord un dossier de sécurité pour un examen préalable à l'approbation de l'avant-projet ouvrage d'art et ultérieurement un second dossier de sécurité pour la mise en service ;

- ◆ soit présenter seulement le dossier de sécurité dont la composition est celle prévue pour la mise en service.

Le préfet recueille l'avis du Comité d'évaluation sur les dossiers qui lui sont soumis. Il prend alors la décision d'autoriser ou non, ou avec des conditions restrictives, l'ouverture de l'ouvrage à la circulation publique et la notifie au maître d'ouvrage.

Ouvrages en exploitation

Le maître d'ouvrage est soumis aux obligations découlant des dispositions prévues au paragraphe précédent. Le préfet saisit le Comité d'évaluation pour avis. Après réception de cet avis, le préfet prend la décision de maintenir l'ouverture de l'ouvrage à la circulation publique, ou de l'assortir de conditions restrictives, ou ordonne la fermeture de l'ouvrage.

La tranchée couverte de Terregaye, dont la longueur est de 400 m par sens de circulation, se trouvait donc dans le cas des "ouvrages non mis en service".

L'étude préliminaire ouvrage d'art de la tranchée de Terregaye a été approuvée le 5 mars 1999. Son avant-projet ouvrage d'art avait été adressé à l'administration de tutelle après que le dossier de sécurité ait été soumis à la Commission de sécurité de la préfecture du Lot le 2 mars 1999. Les principaux équipements prévus étaient conformes aux dispositions de la circulaire n° 81.109 et de l'instruction technique, version provisoire, de décembre 1996 à savoir :

- ◆ niche de sécurité avec PAU et extincteurs ;
- ◆ niche incendie avec raccordement pompiers ;
- ◆ issue de secours avec alarme pour ouverture de porte ;
- ◆ réseau incendie à 2 bars ;
- ◆ deux caméras vidéo surveillance par tube ;
- ◆ éclairage de base secouru sur la voie lente et éclairage de renfort sur toute la longueur ;
- ◆ têtes décalées de 25 m pour parer au recyclage des fumées.

Par ailleurs le tunnel de Pech Brunet – situé sur la section Montauban/Cahors-Sud de l'autoroute A20, d'une longueur de 220 m environ, dont la mise en service a eu lieu en juillet 1998 –, ainsi que la tranchée couverte de Sol de Roques faisant partie de la section Cahors-Nord/Souillac, d'une longueur de 200 m environ, ne sont pas concernés par la circulaire 2000-63, leur longueur respective étant inférieure à 300 m.



Tranchée couverte de Terregaye.
Tête nord

*Terregaye
cut-and-cover tunnel.
Northern head*

■ LA PROCÉDURE D'URGENCE

La tranchée de Terregaye, dont les marchés de génie civil (signé en août 1999) et équipements (signé en octobre 2000) étaient en cours lors de la mise en œuvre effective de la circulaire 2000-63, a donc fait l'objet d'une procédure "d'urgence" telle que définie dans l'annexe 1 de cette dernière. Cette procédure prévoit que, pour ces ouvrages et au plus tard 6 mois après la signature de la circulaire c'est-à-dire avant le 25 février 2001, "le maître d'ouvrage doit adresser un dossier de sécurité au préfet en indiquant la date prévisionnelle de mise en service de l'ouvrage", en l'occurrence pour Terregaye début juillet 2001. C'est donc dans un



décali très court qu'Autoroutes du Sud de la France a dû saisir le Préfet du Lot sur un nouveau dossier. Ce dernier a été dressé dans des conditions d'extrême difficulté et d'urgence par Scetauroute et plus particulièrement son département Tunnel et travaux souterrains dont la compétence est nationalement reconnue. Selon la règle, Autoroutes du Sud de la France a choisi M. Darpas (Setec TPI) pour expertiser le dossier après l'avoir présenté aux élus locaux et aux services du département du Lot le 9 mars 2001.

Après instruction par ses propres experts le Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers a auditionné le maître d'ouvrage Autoroutes du Sud de la France, assisté de son maître d'œuvre Scetauroute et des services locaux, sur le dossier de sécurité le 27 mars 2001 et lui a fait part oralement de ses observations. Son avis officiel a été communiqué au préfet du Lot le 2 avril 2001, soit 3 mois avant l'ouverture!

APPLICATION DES NOUVELLES DISPOSITIONS

La section Cahors-Nord/Souillac de l'autoroute A20 présente un intérêt économique prépondérant pour la région Midi-Pyrénées mais aussi pour le territoire national où elle constitue un des deux maillons manquant sur l'axe Paris/Toulouse/Espagne.

Il ne pouvait donc être question de retarder sa mise en service et, en particulier de perpétuer durant une saison estivale supplémentaire les engorgements de trafic générés dans la traversée de Souillac. Il a donc fallu, par des mesures exceptionnelles d'études et de travaux supplémentaires, mettre en œuvre les nouvelles dispositions.

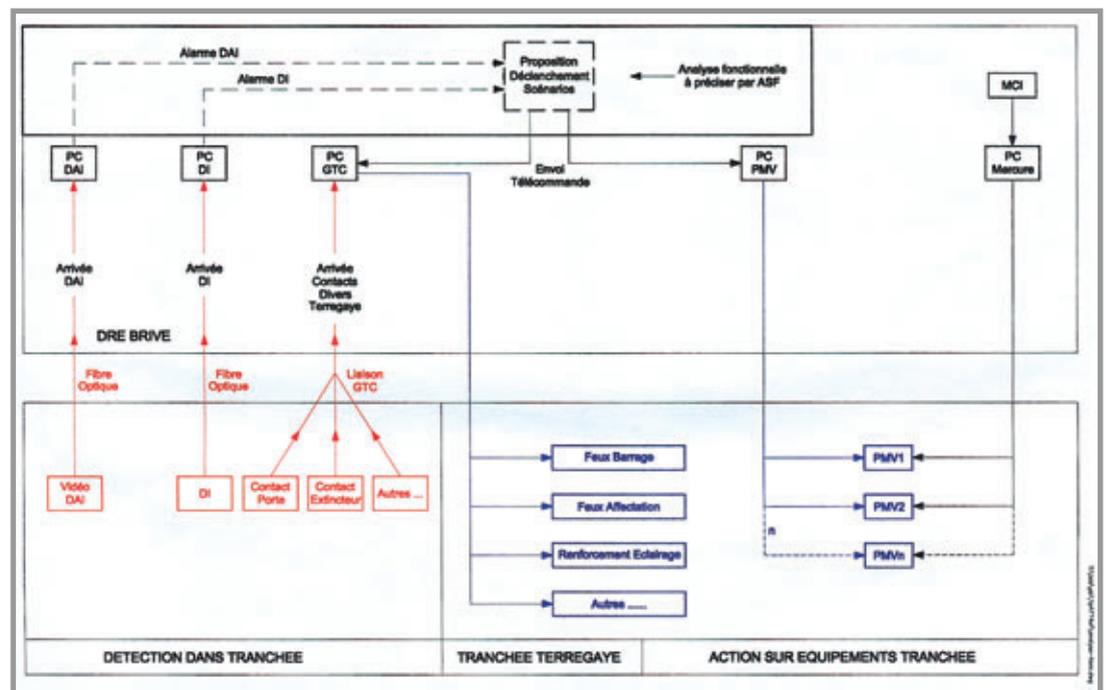
Il faut d'abord indiquer qu'Autoroutes du Sud de la France, toujours soucieuse de la sécurité de ses usagers, avait dès les premiers jours d'octobre 2000 décidé la mise en place de mesures conservatoires à savoir :

- ◆ mise en place de plots de balisage en voie rapide;
- ◆ alimentation des prises de courant dans les niches de sécurité;
- ◆ accès handicapés aux issues de secours;
- ◆ réservation pour la mise en œuvre d'une signalisation de fermeture de la tranchée couverte et d'une détection automatique d'incident;
- ◆ étude d'une détection incendie.

Néanmoins le dossier de sécurité soumis à l'avis de l'expert et présenté au comité d'évaluation le 27 mars 2001 après avoir été présenté également en préfecture le 9 mars 2001, préconisait les dispositions suivantes :

- ◆ aménagement des accès aux issues de secours pour les personnes à mobilité réduite;
- ◆ mise en place de plots de balisage sur les piédroits en voie rapide;
- ◆ mise en place de panneaux de guidage vers les issues de secours selon le nouveau code de la route;
- ◆ mise en place de prises électriques dans les niches de sécurité et aux têtes de l'ouvrage;
- ◆ mise en place de panneaux de consignes aux usagers dans les niches de sécurité;
- ◆ déplacement des armoires électriques "niches de sécurité" derrière les sas des issues de secours;
- ◆ changement des pompes de surpression pour obtenir une pression de 6 bars;
- ◆ mise en place de panneaux à messages variables de part et d'autre de l'ouvrage pour arrêt de la circulation en amont des accès de service en cas d'ac-

Figure 2
Synoptique
des équipements dynamiques
tranchée de Terregaye
*Block diagram of dynamic
signing for the Terregaye
cut-and-cover tunnel*



cident, rendu extrêmement complexe compte tenu de la situation géographique de l'ouvrage (pente à 5 % sur deux kilomètres côté nord et ouvrage sur la Dordogne de 1 100 m en courbe côté sud);

- ◆ mise en place de la détection automatique d'incident avec caméras supplémentaires dans l'ouvrage;

- ◆ alimentation des panneaux à messages variables par onduleurs distincts des onduleurs alimentant l'éclairage, la gestion technique centralisée et la vidéo de la tranchée couverte;

- ◆ redondance de la gestion technique centralisée. De plus, dans le contexte sécuritaire régnant dans le domaine des ouvrages souterrains, outre les équipements préconisés dans le dossier de sécurité et validés par le Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers, Autoroutes du Sud de la France a prévu une détection incendie. La signalisation d'interruption de la circulation a été asservie à une alarme émise par la détection incendie (sans acquittement de l'alarme sous 3 minutes, la fermeture de la circulation se met en place automatiquement).

Enfin pour faciliter le repérage des incidents tels que "décrochage d'extincteurs", "ouverture des portes des issues de secours ou niches de sécurité", les images retransmises par les caméras de la détection automatique d'incident sont automatiquement affichées sur les écrans du poste central.

L'ensemble de ce dispositif de sécurité ne serait pas complet s'il n'était précisé que l'ensemble des commandes doit être sécurisé. C'est ainsi que les ordres sont bien évidemment donnés depuis le PC de la direction régionale d'exploitation d'Autoroutes du Sud de la France à Brive, mais peuvent également être délivrés dans le local affecté à la tranchée couverte ou éventuellement par un patrouilleur agissant sur sa télécommande.

Le dispositif général est résumé sur la figure 2. Les équipes d'entreprises, le maître d'œuvre Scetauroute associé à Isis ainsi que le maître d'ouvrage Autoroutes du Sud de la France ont travaillé sans discontinuer pour autoriser l'ouverture de la section le 12 juillet 2001. Les travaux d'équipements de la tranchée couverte de Terregaye et leurs tests de fonctionnements se sont achevés le 12 juillet 2001 à 11 heures!

ABSTRACT

A20 motorway. Cahors Nord/Souillac Section. Safety of the Terregaye cut-and-cover tunnel

M. Legrand, G. Le Bever

Following the fire in Mont-Blanc tunnel, an interministerial circular relating to safety in the tunnels of the national road network was signed on 25 August 2000.

At that date, construction work on the cut-and-cover tunnel of Terregaye on the A20 motorway, to which this circular applied, was already under way. Motorway operator Autoroutes du Sud de la France and its project manager Scetauroute had therefore, before commissioning and within very tight deadlines, to apply the procedures and perform the work required following validation by the Prefect and the Committee for evaluation of the safety of road tunnels set up at the national level.

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista A20. Sección Cahors-Norte/Souillac. Seguridad de la trinchera cubierta de Terregaye

M. Legrand y G. Le Bever

A raíz del incendio del túnel del Mont Blanc, fue firmada una circular interministerial, fechada el 25 de agosto de 2000, relativa a la seguridad de los túneles de la red viaria nacional.

En dicha fecha, ya se habían emprendido las obras de ejecución de la trinchera cubierta de Terregaye, en la autopista A20, así como correspondía a los requerimientos de dicha circular.

Autoroutes du Sud de la France y su consultor técnico Scetauroute, han estado llamados, antes de la puesta en servicio y según plazos muy limitados, a implementar los procedimientos y ejecutar las obras necesarias, tras aprobación por el prefecto y el Comité de evaluación de la seguridad de los túneles viarios, tal como correspondía a las medidas tomadas a nivel nacional.

RATP - Ligne Météor

Le prolongement de

La mise en service du tronçon central a eu lieu en octobre 1998. Dès mars 1998, la RATP a lancé les travaux de prolongation jusqu'à Saint Lazare en confiant au groupement d'entreprises la réalisation en souterrain de la galerie d'avant-station, de la station Saint-Lazare et du complexe d'échange entériné avec les lignes "existantes" (3 - 9 - 12 et 19), le RER E (EOLE) et la gare SNCF. Les travaux de génie civil et de corps d'états doivent durer 60 mois pour un montant de 45,670 millions d'euros. Leur insertion dans un tissu urbain particulièrement dense les rend particulièrement complexes et a nécessité la mobilisation de matériel, de personnel et d'encadrement hautement spécialisé en travaux souterrains traditionnels en milieu urbain.

■ LA LIGNE METEOR M02

La mise en service de la première phase du projet Météor a eu lieu en octobre 1998. Cette nouvelle ligne reliant la bibliothèque François Mitterrand au quartier de la Madeleine est intégralement automatique. Le nouveau matériel roulant sur pneus affecté à cette ligne ne possède pas de cabine de conduite. La ligne 14 offre aux usagers plus de confort, plus de rapidité, plus de régularité, plus de sécurité. Le concept permet l'intercirculation entre les voitures. Aux heures de pointe, l'intervalle entre deux trains est de 120 secondes. Le temps de parcours est de 12 minutes entre Saint-Lazare et la bibliothèque François Mitterrand.

Le prolongement à Saint-Lazare

Les travaux de cette nouvelle phase ont démarré en mai 1998. Cette phase permettra une nouvelle desserte du quartier des grands magasins et des affaires par la nouvelle station Saint-Lazare qui mettra en correspondance la ligne 14 avec les lignes 3, 9, 12 et 13 du métropolitain ainsi que le RER E. (figure 1).

Le tunnel d'avant-station

Long de 130 m environ avec une ouverture de 7,30 m, ce tunnel assure la liaison avec la station Madeleine. La réalisation s'est déroulée à partir du puits d'Anjou. Sur le boulevard Haussmann, aux abords du square Louis XVI, un couloir de correspondance réservé aux piétons situé au-dessus du tunnel permet la liaison entre les lignes 9 et 14.

La station et le complexe

Les espaces souterrains existants sous la Cour de Rome ont été remaniés pour intégrer cette nouvelle station.

La charte architecturale mise au point pour le projet Météor a pour but de simplifier la circulation, d'améliorer la lisibilité des parcours et des correspondances sur les quais, de faciliter le repérage et l'orientation des voyageurs et de faire parvenir la lumière naturelle le plus profondément possible. La nouvelle station s'organise en plateaux d'échange et de service répartis en trois niveaux (figure 2). La création de belvédères à la périphérie de ces plateaux assure les correspondances vers les lignes de métro et le réseau SNCF. Les aménagements reposent sur le choix de matériaux nobles et clairs. Les arches et les façades du belvédère sont revêtues de béton poli, les parements du puits de lumière sont en pierre naturelle, les sols en granit. Les plafonds voûtés sont des éléments rapportés qui permettent l'intégration des luminaires. Les poteaux sont habillés d'acier inoxydable microbillé. L'ensemble des équipements de sonorisation et la signalétique, la vidéo-surveillance sont connectés aux parties hautes de ces poteaux (photo 1).

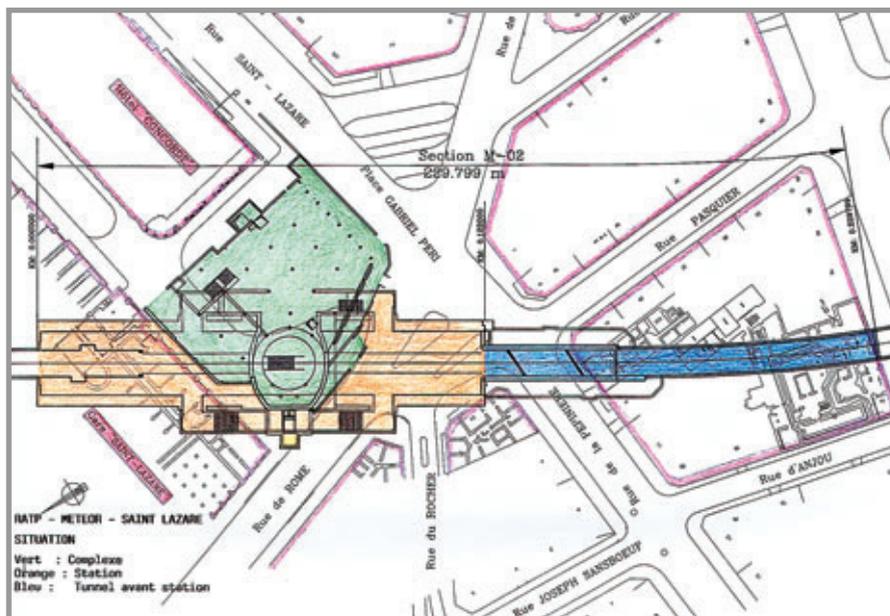


Photo 1
Zone d'échange
second œuvre réalisé

Exchange area,
finishing works
completed

© Alex Béraud

Figure 1
Plan
de situation
Location
drawing



■ LES TRAVAUX

L'insertion des travaux dans le site de lignes en exploitation a été le souci de tous les jours. Préserver la circulation des voyageurs et des voitures et

Saint-Lazare

André Duteil



DIRECTEUR
DU DÉPARTEMENT
TRAVAUX SOUTERRAINS
IDF
Eiffage TP

Roger Termeau



DIRECTEUR DE TRAVAUX
Eiffage TP

respecter l'accès aux commerces a demandé une attention toute particulière.

Le complexe d'échanges et la station Saint-Lazare

Les deux ouvrages sont construits sous la Cour de Rome sur le parvis de la gare Saint-Lazare (photo 2).

Le complexe d'échanges

Le complexe exécuté à ciel ouvert à l'abri de soutènements en parois berlinoises a été édifié en plusieurs phases. Chaque phase correspondant à une emprise et à une circulation de voyageurs :

◆ **emprise A** : création d'une salle de billets provisoires au niveau -1, une correspondance au niveau -2, d'un poste électrique au niveau -3 ;

◆ **emprise B** : création de l'accès vers la gare SNCF Saint-Lazare ;

◆ **emprise C** : pendant ces travaux les voyageurs empruntent les niveaux nouvellement créés et aménagés. Démolition de la salle de billets, création du puits de lumière et des plateaux d'échanges sur trois niveaux vers la ligne 3 et la ligne 13. Le puits de lumière d'un diamètre de 20 m permettra la liaison entre la surface, les différents plateaux du complexe et la station. La lumière naturelle pénétrera ainsi jusqu'à la station située 20 m plus bas. L'escalier circulaire coulé en place dessert la mezzanine au niveau -2. La dalle mezzanine est constituée de caissons en béton blanc préfabriqués.

Ce puits de circulation verticale recevra Cour de Rome une bulle en verre ;

◆ **emprise D** : ces travaux menés par petites zones pour laisser le libre passage des voyageurs ont nécessité la mobilisation d'équipes 24 heures sur 24. La démolition des couloirs existants après désolidarisation par sciage s'est effectuée en grande partie en travaux de nuit. A l'ouverture des lignes, la circulation voyageur se faisant dans des passages protégés aménagés dans la zone à démolir. La démolition des couloirs de liaison existants et la création d'un belvédère périphérique ont permis l'accès aux différentes correspondances avec les lignes 3 et 13, la ligne 12 et Eole.

L'ensemble des phases représente 1 500 m² de planchers par niveau.

Pendant la réalisation du génie civil des différentes emprises, les corps d'états secondaires interviennent pour les prestations de carrelage, revêtement granit, béton poli, acier inox et électricité.

Ces travaux sont le résultat d'un phasage complexe

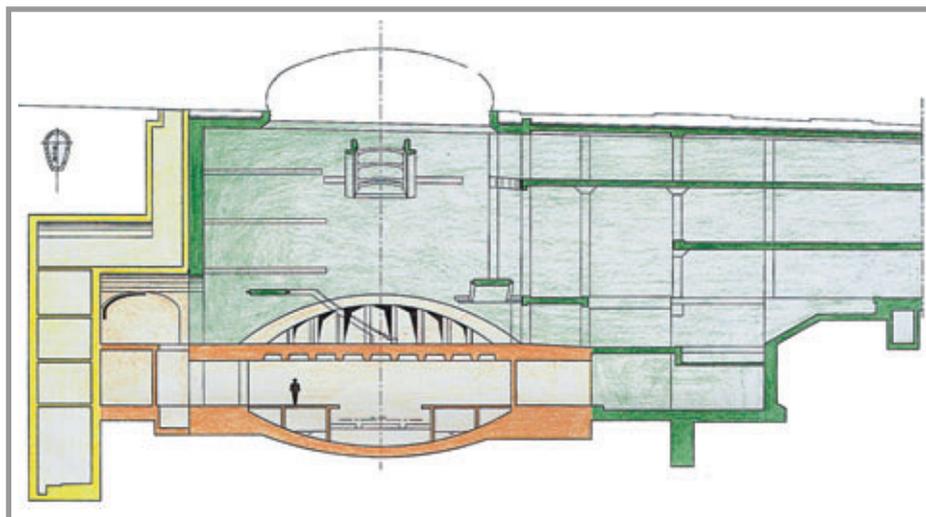


Figure 2
Coupe transversale de la station et du complexe d'échange
Cross section of the station and changeover complex



Photo 2
Puits de lumière
Light well

© Alex Béraud

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

RATP

Maître d'œuvre

RATP - Département des Infrastructures et Aménagements

Architecte

ARTE - Jean-Marie Charpentier

Entreprise

Groupement Bouygues, Eiffage TP, Chantiers Modernes, Bec

Photo 3
Puits de lumière
Cour de Rome
en phase travaux
Light well
in "Cour de Rome"
courtyard
during the works



© Alex Béraud

INSTALLATIONS ET MATÉRIELS MIS EN ŒUVRE

En surface : Cour de Rome et Anjou

- 1 grue à tour Potain H3, 12 t à 15 m
- 1 grue à tour Richer, 12 t à 15 m
- 1 portique de 40 t
- 3 trémies à déblai de 150 m³
- 3 compresseurs électriques de 100 kW
- 1 groupe électrogène de 150 kW

En galerie

- 1 lynx Westphalia
- 1 Alpine AM 50
- 1 Alpine ATM 70
- 2 tombereaux de 6 m³ Normet
- 2 robots à béton
- 2 érecteurs de cintre
- 2 Bobcat
- 2 minipelles



de mise à disposition de zones de circulation des voyageurs.

Station

La station a été exécutée entièrement en souterrain à partir d'un puits de service creusé à l'abri d'un soutènement en paroi berlinoise (photo 3). Après le creusement d'une galerie de liaison traversant la station, l'exécution d'une galerie provisoire dans le sens longitudinal allant d'une extrémité à l'autre a permis la mise en place de puits de rabattement. Cette même galerie centrale a servi aux travaux d'injection de consolidation de la voûte centrale et des culées (figure 3).

Les galeries de culées ont été excavées à partir de quatre attaques depuis la galerie de liaison. Simultanément sont construits les culées en béton et les couloirs abritant les escaliers mécaniques et fixes.

Le creusement des galeries a été fait avec une machine d'attaque ponctuelle de type Lynx. L'ensemble du creusement des galeries a bénéficié du rabattement de nappe mis en place. Les débits relevés variant de 100 à 150 m³/h.

Les déblais sont évacués en galerie par des tombereaux Normet de 6 m³.

Après exécution au définitif des ouvrages latéraux, couloirs et escaliers, le creusement de la voûte centrale pouvait être entrepris. La méthode d'excavation traditionnelle a nécessité la mise en place d'une machine d'attaque ponctuelle de type ATM 70.

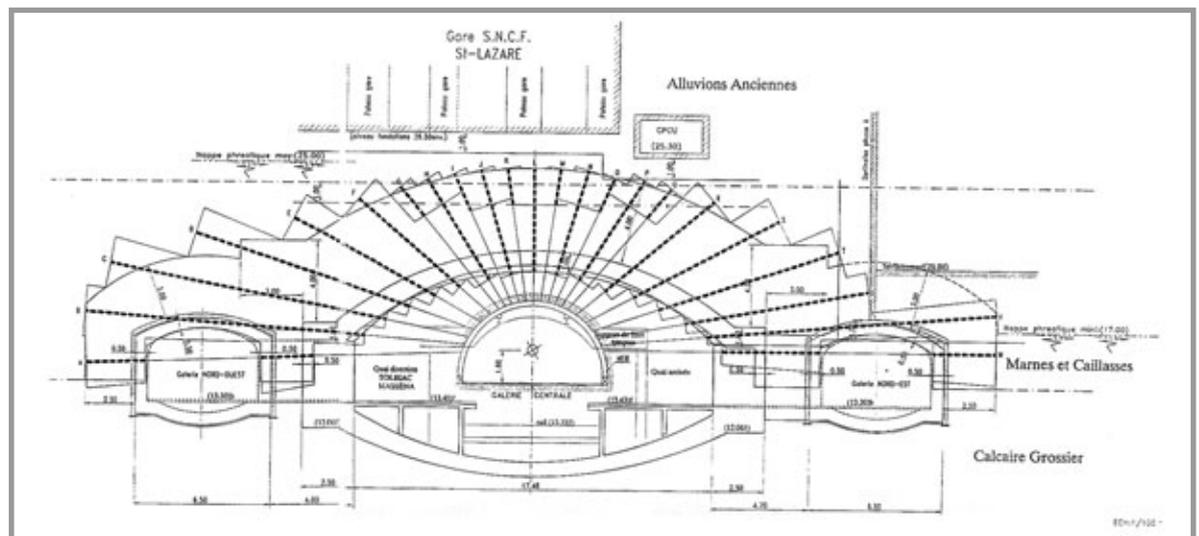
Le terrassement de la voûte pour une section d'environ 80 m² est réalisé par travée de 1,50 m avec pose d'un HEB 220 et mise en œuvre de béton projeté.

La zone sud a été exécutée en premier et a permis de roder la méthode qui consiste à exécuter une voûte bétonnée par semaine.

Afin de limiter les tassements des ouvrages existants en surface, le bétonnage de la voûte s'effectue par plots de 3 m de longueur et suit immédiatement le terrassement. Le décousu maximal (distance entre le dernier plot bétonné et le front de taille du terrassement) ne dépasse jamais 5 m.

La zone nord qui comprend dès le démarrage le passage sous la façade de la gare, a nécessité la mise en place de mesures supplémentaires. Après un renforcement en injections depuis la station, les travaux ont été menés à deux postes. Le suivi de l'évolution des tassements des poteaux de la façade a permis d'optimiser la période de mise en place de trois postes de creusement. Cette accélération dans l'exécution de l'ouvrage bétonné a limité les tassements de la structure de la

Figure 3
Traitement de terrain.
Coupe sur auréole
Land treatment.
Cross section
on aureole



gare. Afin d'améliorer le contact béton projeté et structure, des injections sont menées au fur et à mesure de l'exécution de l'ouvrage définitif. L'ensemble de l'ouvrage a été "enveloppé" dans une membrane PVC de 2 mm d'épaisseur. La mise en place de cette membrane à chaque phase de bétonnage en commençant par les culées a été très délicate (photo 4).

Le tunnel d'avant-station

D'une longueur de 130 m environ, il est exécuté sur deux niveaux. Le niveau haut correspond au couloir de circulation. Situé au contact des fondations d'immeubles, un découpage du front de taille en trois galeries a permis de franchir les passages les plus délicats. Afin de limiter les tassements, une campagne d'injections exécutée à l'avancement a pour but de consolider la zone d'alluvions anciennes.

Le travail s'est déroulé en alternant injection et creusement par plot de 18 ml (figure 4).

Le creusement traditionnel est réalisé avec une machine d'attaque ponctuelle. La présence de sable et de fondations a nécessité la mise en place de tôles de blindage enfilées à l'avancement. L'ouvrage est ensuite bétonné par plot de 6 m immédiatement après creusement (figure 5).

La géologie

L'ensemble du projet est situé dans la nappe phréatique. Les terrains rencontrés depuis la surface sont des alluvions, marnes et caillasses et calcaire.

Le radier de la station ainsi que le tunnel d'avant station sont dans le calcaire. Les eaux de rabattement de la nappe sont rejetées directement en Seine par l'intermédiaire d'une conduite installée dans les égouts. Les eaux d'exhaure sont traitées dans une centrale MS puis rejetées par la même conduite en Seine.



Photo 4
Station
Saint-Lazare
à fin juin 2001
*Saint-Lazare
station at end
June 2001*

© Alex Béraud

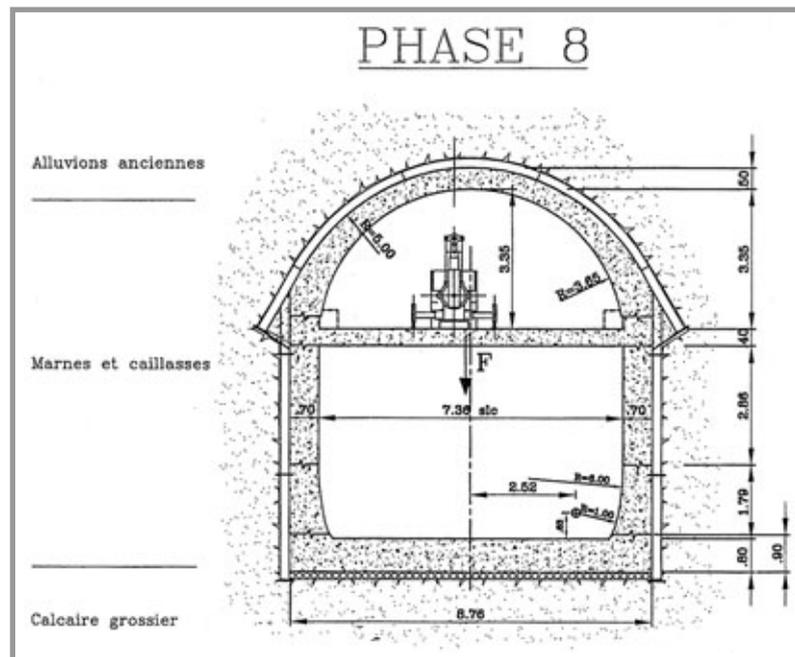


Figure 5
Tunnel
d'avant-station.
Phase de bétonnage
*Pre-station tunnel.
Concreting stage*

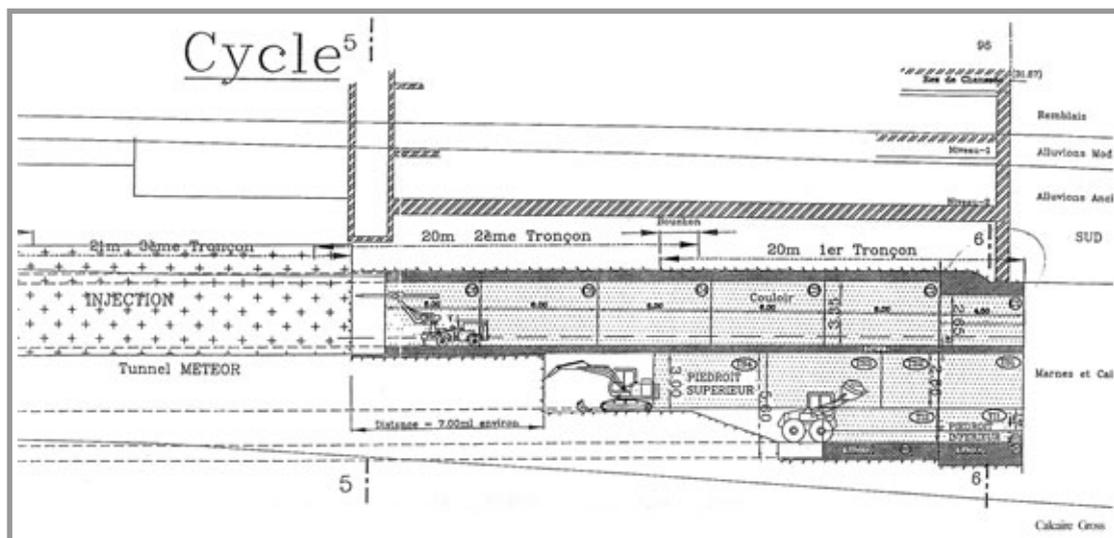


Figure 4
Tunnel d'avant-station.
Phase de bétonnage
*Pre-station tunnel.
Concreting stage*

Avancement du chantier

A la rédaction de cet article l'avancement est le suivant :

- ◆ la station : le génie civil est terminé, les aménagements débutent, la pose de voies est en cours ;
- ◆ le tunnel d'avant-station : l'ouvrage est livré à la pose de la voie ;
- ◆ le complexe : l'emprise D est en cours de travaux, la démolition est avancée à 80 % et le génie civil à 40 %.

LE MARCHÉ

Montant du marché

Montant total = 300 millions de francs (45,662 M€)

Il comprend les modes de rémunération suivants :

- **Au forfait** : 180 millions (27,397 M€)
 - Traitement de terrain : 15 millions (2,283 M€)
 - Génie civil station : 85 millions (12,957 M€)
 - Génie civil couloir : 20 millions (3,044 M€)
 - Aménagement corps d'état : 60 millions (9,132 M€)
- **Au bordereau** : 120 millions (18,265 M€)
 - Traitement de terrain : 15 millions (2,283 M€)
 - Génie civil complexe : 105 millions (15,981 M€)

Délais

- Durée globale des travaux : 68 mois
- Génie civil : mai 1998 - mai 2002
- Corps d'état secondaires : mars 2001 - fin 2003
- Mise en service : décembre 2003

ABSTRACT

RATP (Paris transport system) - The Météor line. The Saint-Lazare extension

A. Duteil, R. Termeau

The central section was commissioned in October 1998. As of March 1998, the RATP initiated extension work up to Saint Lazare railway station, entrusting to the consortium underground construction work on the pre-station gallery, the Saint-Lazare station and the complex for changeover with the "existing" lines (3, 9, 12 and 19), rapid transit line RER E (EOLE) and the SNCF (main railway line) station. The civil engineering and all trades works are expected to take 60 months, at a cost of 45.670 million euros. The site's location in a very dense urban fabric meant that the works were very complex and required the use of equipment, personnel and supervisory staff highly specialised in traditional underground work in an urban environment.

RESUMEN ESPAÑOL

RATP - La línea Meteor. Prolongación de Saint Lazare

A. Duteil y R. Termeau

La entrada en servicio del tramo central tuvo lugar en octubre de 1998. A partir de marzo de 1998, la RATP (Empresa de transportes colectivos de París y sus alrededores), da comienzo a las obras de prolongación hasta la estación Saint Lazare y encarga al grupo de empresas constructoras la ejecución de la galería subterránea de la antestación, de la estación Saint Lazare y del complejo de intercambio con las líneas "existentes" (3 - 9 - 12 y 19), la RER E (EOLE) y la propia estación ferroviaria de los Ferrocarriles Franceses (SNCF). Las obras de ingeniería civil y las obras de terminación tendrán una duración de 60 meses y su importe se elevará a 45,670 millones de euros. Su inserción en un entramado urbano particularmente denso hace que esta operación resulte particularmente complicada y ha precisado el empleo de equipos, personal y de jefes y contra-maestros sumamente especializados en las obras subterráneas tradicionales en medio urbano.

Le tunnel de Groene Hart au Pays Bas

Bouygues réalise en conception-construction le tunnel de Groene Hart au Pays Bas pour la nouvelle ligne grande vitesse qui reliera, en 2006, Bruxelles à Amsterdam. Ce tunnel situé à 20 km au nord de Den Haag est creusé avec un tunnelier à pression de boue TBM de 14,87 m de diamètre (record du monde à cette date).

Le projet est divisé en quatre grands ouvrages : la rampe d'accès nord, la rampe sud, trois puits circulaires (issues de secours, maintenance et ventilation) et le tunnel proprement dit, long de 7160 m.

Le marché a été signé en décembre 1999 pour un montant total de 940 000 000 NLG.

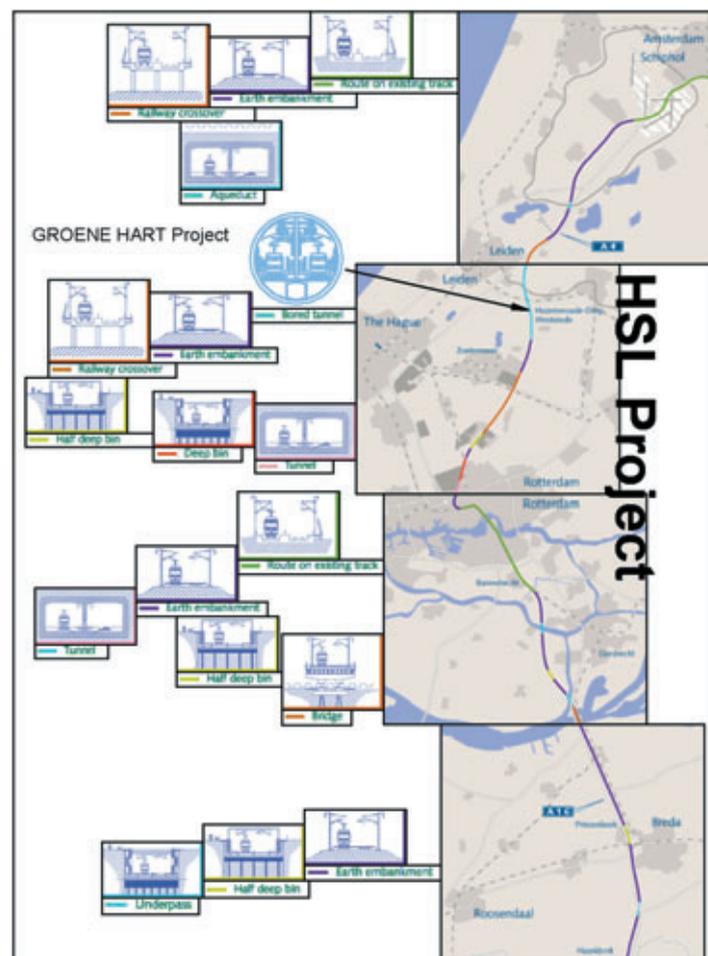
■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Aujourd'hui, le train Thalys relie Paris à Amsterdam en 4h15. Demain ce sera 3 heures grâce à la ligne nouvelle en cours de construction entre Bruxelles, Anvers, Rotterdam et Schipol. Cette ligne de train à grande vitesse appelée HSL est réalisée par le ministère des Transports et des Voies d'eau avec une structure particulière HogeSnelheidsLijn.

La figure 1 donne le tracé général et les importants ouvrages qui jalonnent cette ligne depuis la frontière belge jusqu'à Amsterdam.

Sur ce tracé, un ouvrage particulier – Groene Hart Tunnel – situé près de Leiden à 20 km au nord de La Haye. Cet ouvrage est destiné à protéger une zone verte "Le Cœur Vert" au milieu du quadrilatère très urbanisé formé par La Haye/Rotterdam/Utrecht/Amsterdam – ainsi qu'une réserve ornithologique.

Ce tunnel est réalisé par le consortium Bouygues Travaux Publics - Koop Holding associant une entreprise française à une entreprise hollandaise. Après un appel d'offres au début 1999, le contrat a été signé le 17 décembre 1999 pour un montant de 940 000 000 NLG. Le tunnel doit être terminé pour fin 2004 avec un total achèvement en 2005. Ce contrat en conception-construction a été obtenu sur la base d'une variante présentée par le



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Palplanches : 43 300 m²
- Parois moulées : 84 900 m³
- Pieux préfabriqués : 33 650 m
- Béton immergé : 141 300 m³
- Béton armé : 113 900 m³
- Armatures : 42 000 t
- Béton voussoirs : 211 900 m³
- Déblais totaux : 1 950 000 m³

Figure 1
Tracé général
de la ligne HSL
*General layout
of the HSL line*

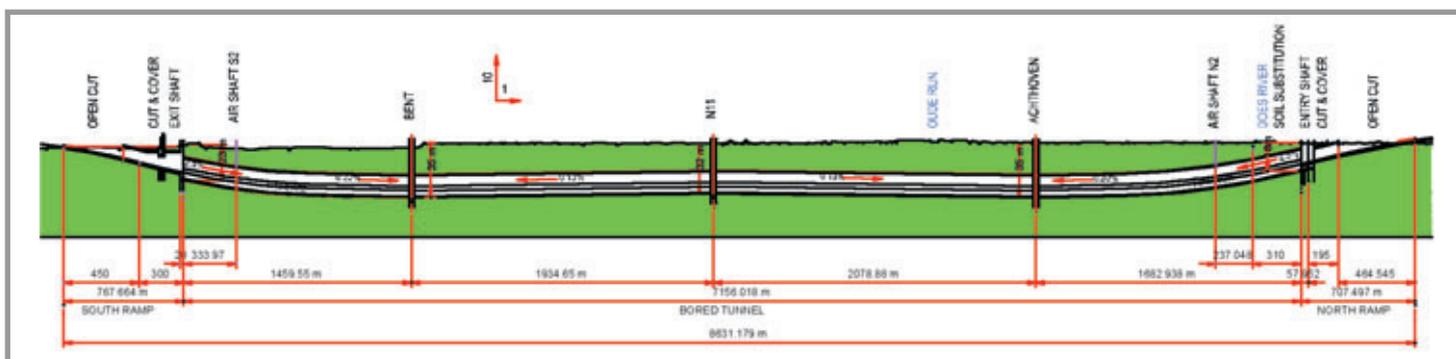


Figure 2
Profil en long
du projet
*Longitudinal
section
of the project*

Figures 3 et 4
Coupes
transversales
des rampes
d'accès
Cross sections
of access
ramps

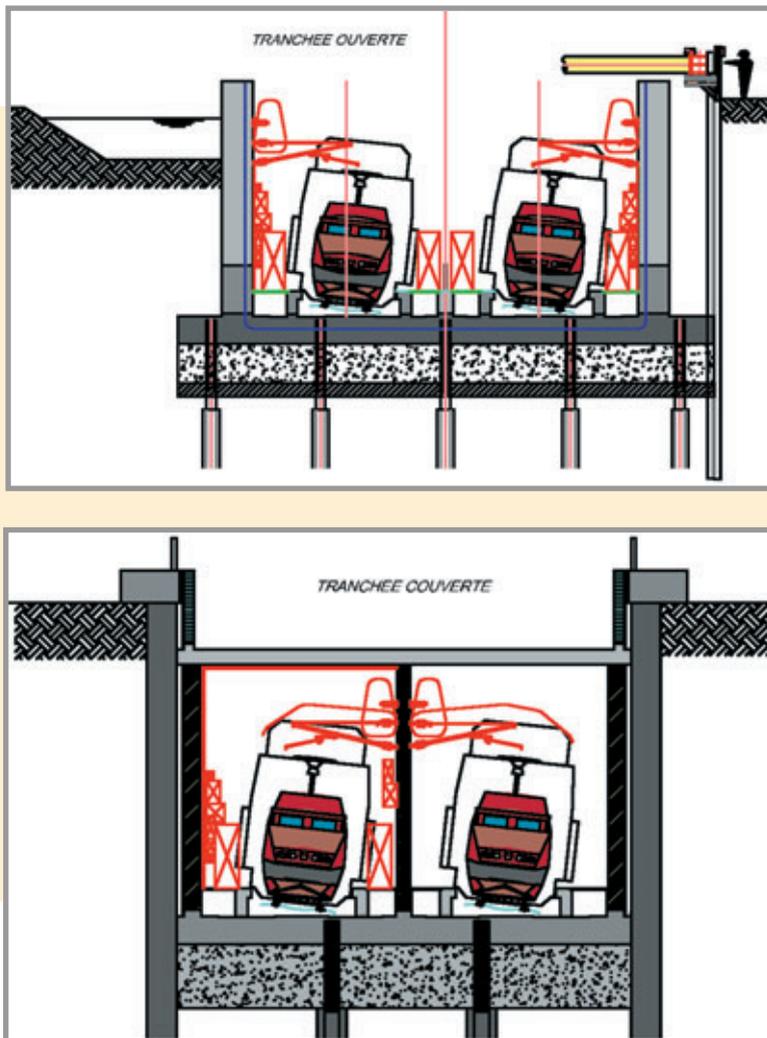
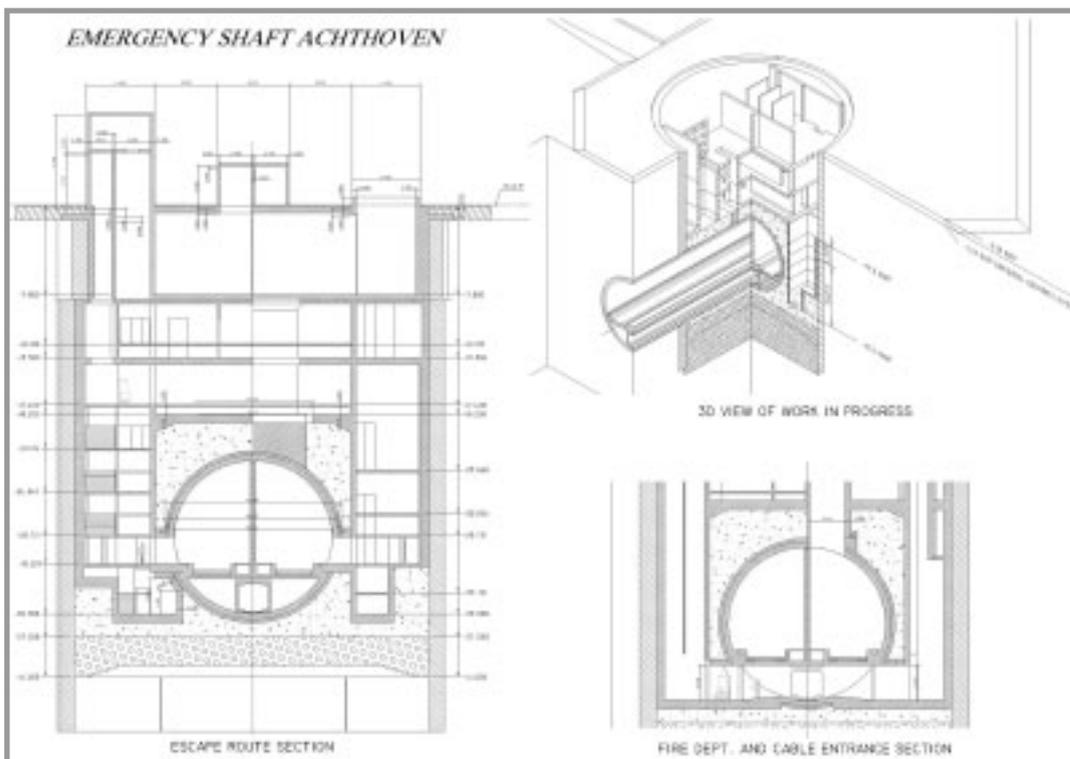


Figure 5
Puits de secours
Emergency shaft



consortium qui propose un tunnel de grand diamètre en lieu et place de deux tubes.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET

Un profil en long du projet est donné sur la figure 2.

On peut distinguer quatre types d'ouvrages principaux :

- ◆ la rampe d'accès nord d'une longueur de 707 m qui permet de passer du niveau du terrain naturel à celui du tunnel à environ 25 de profondeur sous le terrain naturel. Elle comporte une partie à ciel ouvert, une partie couverte, un bâtiment technique enterré et le puits d'accès où est monté le tunnelier;
 - ◆ la rampe sud qui est symétrique de la rampe nord comprenant également le puits de sortie et un bâtiment technique. Sa longueur est de 768 m. Les coupes transversales de ces rampes sont reportées sur les figures 3 et 4;
 - ◆ trois puits circulaires de 31 m de diamètre et de 39 m de profondeur. Ils sont destinés aux issues de secours pour le tunnel – évacuation des passagers et accès des secours. En outre ils abritent des locaux techniques – alimentation électrique, signalisation, ventilation... Ils servent aussi à évacuer les surpressions d'air dues à la vitesse des trains (phénomène d'oreilles bouchées) (figure 5);
 - ◆ le tunnel proprement dit a une longueur de 7 160 m. Son diamètre intérieur est de 13,20 m; les deux sens de circulation des trains sont séparés par un mur en béton. Ceci permet, grâce à des portes situées tous les 144 m d'évacuer les personnes d'un côté à l'autre et de rejoindre en sécurité les puits de secours. Sous les rails une galerie permet le passage des câbles et tuyauteries. Le revêtement du tunnel est fait d'une coque en béton de 0,60 m d'épaisseur constituée d'anneaux successifs de longueur 2 m posés par le tunnelier et chacun de dix éléments préfabriqués, les voussoirs (figure 6).
- Sur les 300 premiers mètres du tunnel le sol – argiles et tourbes – a été substitué sur une épaisseur de 12 m et remplacé par un sable-ciment.

CONTRAINTES TECHNIQUES

Géologie

Le projet est situé dans une zone de polder terrains conquis sur la mer. Le terrain naturel sur la partie nord du projet est - 1,40 m sous le niveau de la mer et de - 4,70 m au sud.

De façon quasi générale on distingue une couche supérieure d'environ 12 m d'épaisseur constituée d'argile et de tourbe puis une couche d'environ

25 m de sable plus ou moins silteux qui est le siège d'une nappe d'eau salée. Le tunnel est creusé dans cette couche.

Géométrie

Outre les contraintes spécifiques de courbes de rayons, de gabarit, l'accent est mis sur la rigidité de la voie tant verticalement qu'horizontalement (pas de tassement). La voie elle-même est une voie béton.

Etudes

Il s'agit d'un contrat en conception-construction. Aussi les études ont été faites en deux étapes : un avant-projet détaillé intégrant les méthodes générales, la stabilité et le dimensionnement des ouvrages avec une analyse de risques – les études d'exécution comprenant tous les calculs et vérification ainsi que les méthodes particulières de l'ouvrage concerné. Le client HSL n'approuve pas les études mais vérifie simplement que les critères du contrat ont été pris en compte. Il appartient au consortium de vérifier ces études et d'en tenir la preuve. Les études d'exécution sont faites par des bureaux d'ingénierie hollandais pour les rampes et puits et par Bouygues TP pour le tunnel et ses structures internes. Elles sont vérifiées par le bureau d'études Bouygues avec l'appui d'un ingénieur extérieur : Veritas.

Les points particuliers d'études

Il s'agit de l'étanchéité, du travail sous le niveau de la nappe phréatique dans des terrains très compressibles, de la maîtrise des remontées d'eau saumâtre vers les niveaux superficiels et de la stabilité des ouvrages vis-à-vis des poussées hydrostatiques. Enfin, l'ouvrage est calculé et dessiné pour une durée de vie de 100 ans. Tous les éléments de l'ouvrage doivent être justifiés pour cette durée contractuelle. Ainsi la durabilité des bétons a été vérifiée par le programme DURACRETE.

PUITS D'ACCÈS ET RAMPES

Le puits d'accès où est assemblé le tunnelier est composé de trois parties d'une longueur totale de 80 m (figure 7).

Il est constitué d'une enceinte en paroi moulée d'une profondeur de 37 m, d'un béton immergé ancré à l'aide de pieux préfabriqués eux-mêmes ancrés dans des barrettes atteignant la profondeur de 52 m. L'ensemble est doublé en phase définitive d'une structure en béton armé étanche (contrevoiles, radier définitif).

La partie sud, la plus profonde, abrite en construction la jupe de tunnelier et les premiers anneaux provisoires ; en phase définitive, elle est coiffée

d'un puits d'équilibrage des pressions. La partie nord est destinée à recevoir en service le bâtiment technique nord.

Le bouchon a une longueur de 12,50 m et une profondeur de 25 m. Il a été réalisé comme des parois moulées par panneaux successifs. A la place du béton un sable ciment spécialement étudié a été mis en œuvre. Sa résistance à 12 mois est égale à 10 MPa.

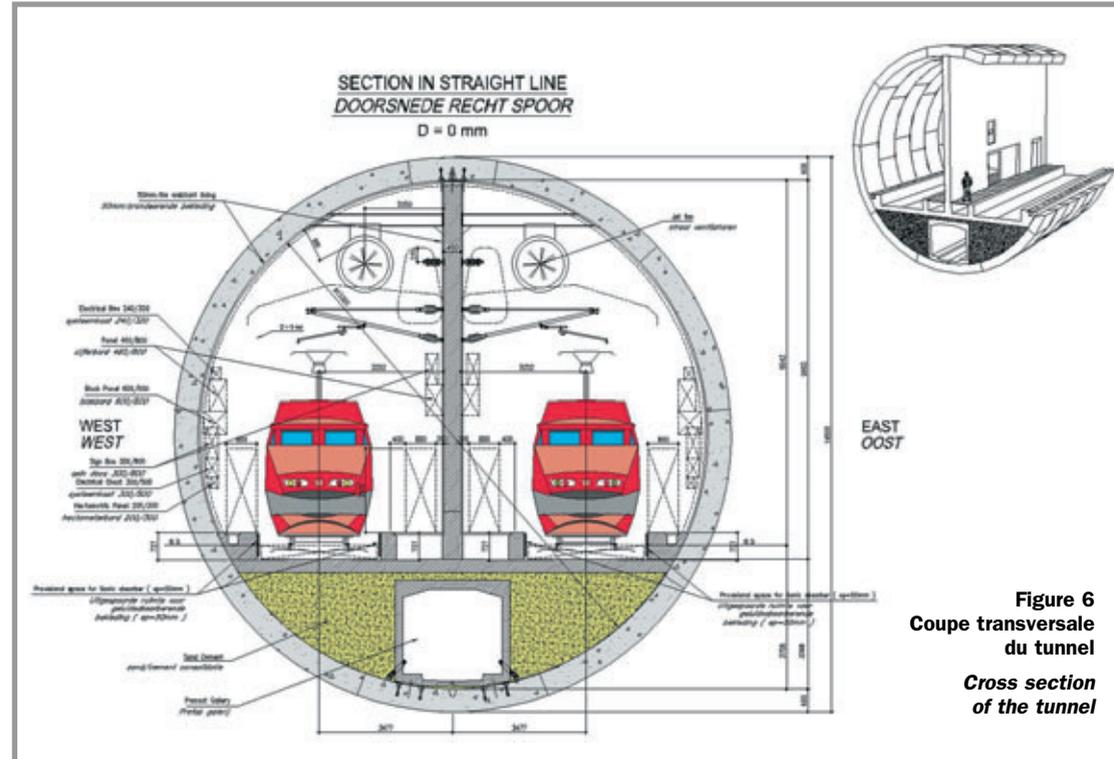


Figure 6
Coupe transversale du tunnel
Cross section of the tunnel

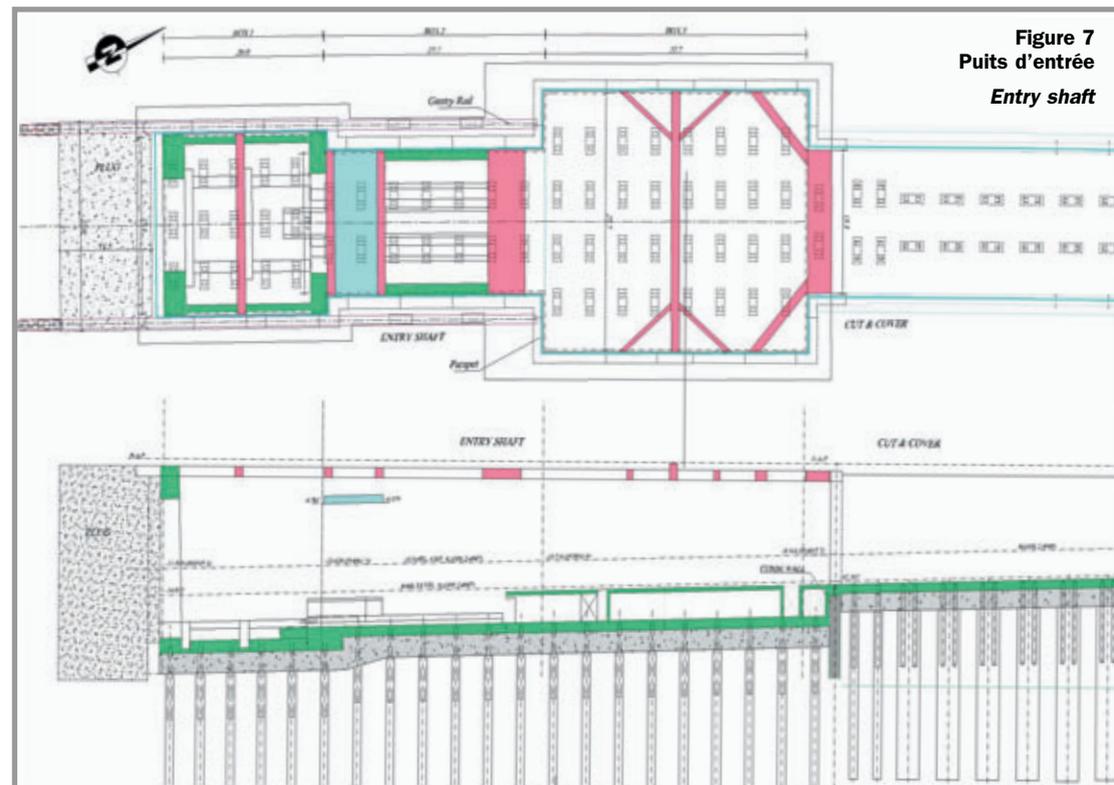


Figure 7
Puits d'entrée
Entry shaft



Photo 2
Vue du TBM - Arrière remorque 1
View of TBM rear trailer 1



Photo 3
Train sur pneus
Tyre-mounted train

La tranchée couverte

D'une longueur de 120 m au nord, elle est réalisée de la même façon que les ouvrages d'entrée. Des parois moulées assurent la stabilité de l'excavation et son étanchéité latérale. Un béton immergé ancré par des pieux préfabriqués scellés dans des barettes travaillant au frottement assure l'étanchéité verticale. La dalle supérieure est percée de trous de diamètre 120 mm à raison de un par mètre carré, ceci afin d'éviter le *sonic boom* à la sortie des ouvrages enterrés.

La tranchée couverte est construite à l'abri de rideaux en palplanches métalliques qui sont retirés en fin de réalisation. Le béton immergé est ancré au moyen des pieux précontraints préfabriqués – longueur 20,50 m à 13,50 en fonction des efforts à reprendre section 450 x 450 mm. Un tube métallique de diamètre 650 mm est battu avec un sabot jusqu'au niveau requis; le pieu béton est introduit dans ce tube qui est rempli de mortier. Le tube métallique est ensuite retiré et le mortier scelle le pieu béton au terrain – c'est la technique du *VibroCombi piles*. Sur cette rampe 300 pieux sont ainsi réalisés. Les excavations sont faites avec des pelles hydrauliques équipées de bennes preneuses; elles sont guidées par un système de type GPS permettant d'éviter les pieux.

trouve sur un terrain de 7,5 ha et le couvert représente 7 100 m². Les armatures sont préfabriquées et assemblées dans l'usine grâce à deux cadreuses façonneuses traitant 15 t de *coils* par jour chacune. Le montage est fait sur gabarits par soudage. Pour la fabrication des voussoirs le principe d'un carrousel avec quarante moules est appliqué intégrant un temps d'étuvage de 7,5 heures par voussoir. Le cycle est de 14 minutes par voussoir. La mise au stock se fait par quatre portiques qui assurent également le chargement des voussoirs sur des barges en vue de leur acheminement jusqu'au site. La galerie technique située en partie inférieure du tunnel est également préfabriquée dans cette usine par tronçons de 2 m.

Un treuil fixé à la poutre de transfert du tunnelier assure la pose des éléments de galerie – pose sur mortier. L'ensemble est remblayé avec le sable de creusement associé à du ciment. Ce remblai sert d'assise à une dalle en béton armé d'épaisseur 0,35 m qui supporte un mur central de 11 m de hauteur et des bordures anti-déraillement. Cette dalle et le mur sont réalisés par tronçon de 12 m à environ 600 m en arrière du tunnelier. Pour ce faire sur une longueur d'environ 600 m la circulation se fait de façon alternée.

LE TUNNELIER

Pour réaliser ce tunnel un tunnelier à pression de boue a été retenu. Celui-ci a été construit par NFM Technologies, filiale de Framatome dans ses ateliers du Creusot. Sur la coupe longitudinale (figure 8) sont représentées les différentes parties.

La tête de coupe qui excave le terrain est entraînée par 14 moteurs électriques associés à 14 pignons entraînant une roue dentée de 7 m de diamètre (cette pièce a été faite à partir d'un bloc d'acier de 45 t forgé puis usiné. Vingt tonnes d'acier ont été ainsi enlevées).

L'érecteur qui pose les voussoirs de 14 t suivi par la remorque qui porte tous les fluides – huile hy-

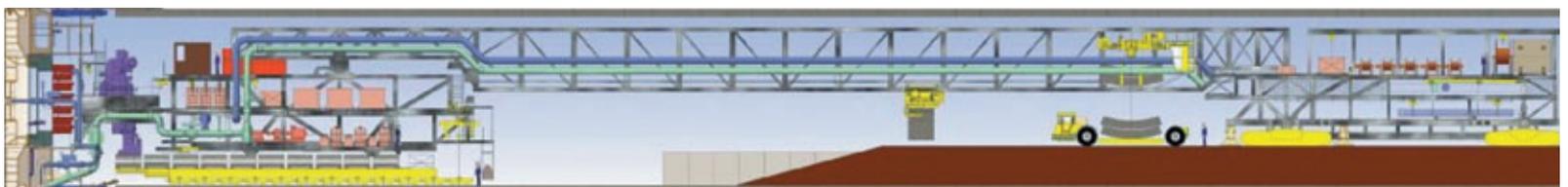
REVÊTEMENT DU TUNNEL ET STRUCTURES INTERNES

Le revêtement du tunnel est constitué par un anneau d'une épaisseur de 60 cm comprenant dix voussoirs. Un anneau a une longueur de 2,00 m. Le pincement est de ± 2 cm. Un voussoir normal pèse environ 14 t. Les joints entre anneaux sont plats. L'étanchéité est assurée par un joint Phoenix doublé par un joint hydrogonflant.

Ces voussoirs sont fabriqués dans une usine spécialement installée pour le tunnel Groene Hart en Belgique, à Amay près de Liège. Cette usine se

Photo 1
Vue du puits d'entrée avant réalisation du radier
View of entry shaft before construction of the deck

Figure 8
Coupe longitudinale du tunnelier
Longitudinal section of the tunnel boring machine (TBM)



draulique, eau, air comprimé, électricité. Une poutre de 60 m assure le passage des divers matériaux de l'arrière vers l'avant. Elle s'appuie sur la remorque arrière où se trouvent les tuyauteries et le système d'allongement. Le tunnelier comporte également deux sas pour des interventions dans la tête sous air comprimé. Enfin pour le contrôle et le guidage, 2 000 capteurs sont installés et enregistrés en permanence et 600 sont recalculés en temps réel. Après avoir été entièrement monté en usine et vérifié, il a été démonté et transporté jusqu'au site en passant par Chalons-sur-Saône où il a été chargé sur des barges pour Moerdijk en passant par Gibraltar. A Moerdijk il a été mis sur des pontons qui par les canaux l'ont amené à 3,5 km du chantier (Wijde Aa) puis transporté jusqu'au chantier avec des remorques particulières ayant 24 essieux (108 roues). Il faut savoir que la pièce la plus lourde est de 270 t avec des dimensions respectables de 7 m à 8,5 m. Cette opération a fait la Une des journaux.

Quelques chiffres sur ce tunnelier :

- ◆ diamètre d'excavation : 14,87 m le plus gros tunnelier a pression de boue du monde ;
- ◆ longueur du bouclier 12,40 m ;
- ◆ longueur totale 120 m ;
- ◆ poids du bouclier 1 800 t ;
- ◆ poids total 3 520 t ;
- ◆ puissance électrique totale 9 540 kW ;
- ◆ puissance à la tête 3 500 kW ;
- ◆ effort de poussée 18 430 t ;
- ◆ couple sur la tête 136 000 kN/m ;
- ◆ vitesse de rotation de la tête 0 à 4 tours par minute ;
- ◆ débit de marinage : 2 500 m³ par heure.

A ce tunnelier est associée une station de traitement qui permet de séparer le sable du mélange bentonite + eau fabriquée par MS. Grâce à un crible et à deux étages de cyclones et des filtres presse. La station assure également la préparation de la bentonite.

L'alimentation du tunnelier en voussoirs, graisse, mortier de bourrage, élément de galerie et remblai en sable ciment est assurée par des trains sur pneus de trois remorques et de poids total 110 tonnes. Ils ont été mis au point avec Bouygues par la société Advens qui les a fabriqués.

■ CONCLUSION

A ce jour le TBM est monté et a commencé le creusement. Les travaux de la rampe nord progressent ainsi que le puits d'Achthoven, prochaine étape du tunnelier (photos 1, 2, 3 et 4).

Ce chantier emploie 110 personnes d'encadrement, 300 ouvriers venant des divers pays de la Communauté européenne ainsi que de pays éloignés comme la Nouvelle-Zélande, l'Australie, marquant le caractère très international de cette opération.

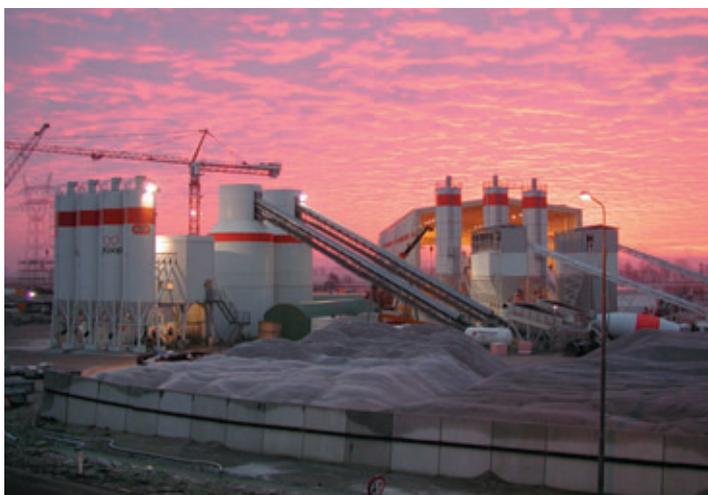


Photo 4
Vue générale
des installations
*General
installation view*

ABSTRACT

Groene Hart Tunnel in Netherlands

J. Harnois

Bouygues is building in the Netherlands, under a design and build contract, a tunnel for the new high-speed train which will link Brussels to Amsterdam in 2006. The tunnel, located 20 km north of Den Haag, is being bored with a slurry shield TBM of diameter 14,87 m, which is the world record to date. The project is divided into four main work sections :

- the northern ramp 741 m long, comprising the entry shaft and an underground plant building, a cut and cover 12 m long and an open ramp ;
 - the southern ramp exactly symmetrical to the northern one with the exit shaft ;
 - three intermediate shafts 31 m in diameter and 39 m deep for emergency exit, maintenance access and ventilation ;
 - the tunnel, 7,162 m long and of internal diameter 13,20 m. The tube is divided by a central wall. The lining is 60 cm thick and the ring is 2,00 m wide. The segments are prefabricated in a factory in Belgium near Liege and transported by barge to the site.
- The contract awarded to the Bouygues/Koop consortium was signed on 17/12/1999, for a total amount of 940,000,000 NLG. Completion is scheduled for 2005.

de aquí a 2005. Este túnel, ubicado a 20 km del norte de Den Haag, se excava por medio de una tunelera "Slurry shield" (de pantalla a prueba de explosiones) de un diámetro de 14,87 m, que corresponde a un récord mundial hasta la fecha. El proyecto se subdivide en cuatro lotes principales :

- la rampa norte, de 741 m de longitud, con un pozo de entrada y un edificio técnico subterráneo, una trinchera cubierta de 12 m de longitud, así como una rampa abierta ;
- la rampa sur, perfectamente simétrica respecto a la rampa norte, con el pozo de salida ;
- tres pozos intermedios de 31 m de diámetro y 39 m de profundidad, para salida de emergencia, el acceso para el mantenimiento, y asimismo, para la ventilación ;
- el túnel propiamente dicho, de 7,162 m de longitud y de 13,20 m de diámetro interior. El tubo está dividido por un muro central. El revestimiento presenta un espesor de 60 cm, y los aros tienen una anchura de 2,00 m. Las dovelas se prefabrican en una planta ubicada cerca de Lieja, en Bélgica, y su transporte hasta el túnel se efectúa por gabarras. El contrato, atribuido al Grupo de empresas Bouygues/Koop fue formalizado el 17-12-1999 y su importe total se eleva a 940.000.000 NLG. La terminación de estas obras se ha proyectado para el año 2005.

RESUMEN ESPAÑOL

El túnel de Groene Hart en Holanda

J. Harnois

Según un contrato de estudios y de construcción, Bouygues construye en Holanda un nuevo túnel para el tren de alta velocidad (TGV) que pondrá en comunicación Bruselas y Amsterdam

A89 – Le viaduc des Barrails

L'ouvrage le plus long entre

Situé à l'extrémité ouest de l'auto-
route A89 dans une boucle de la Dor-
dogne à proximité de Libourne, le
viaduc des Barrails est l'ouvrage le
plus important par sa longueur (près
de 1 500 m) de l'autoroute Bordeaux-
Clermont Ferrand.



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Longueur du viaduc : 1 457 m, en
courbe (rayon de 8 000 m)
34 travées de 27,85 à 49,85 m de
longueur

Voussoirs : 1 038 unités

- Poids : de 43 à 50 t
- Hauteur : 2,65 m
- Epaisseur âmes : 0,35 m
- Longueur : de 1,60 à 3,11 m

Piles : 2 x 33

- Diamètre : de 2 à 2,80 m
- Hauteur : de 2,60 à 13,70 m

Fondations : 4 pieux de 1,10 m de
diamètre par pile (264 au total) et 3
pieux de 1,20 m de diamètre par
culée (12 au total)

- Longueur : de 10 à 16 m

Durée du chantier : 27 mois

Coût : 220 millions de francs TTC

Le viaduc des Barrails¹, long de 1 457 m, est
situé sur la commune d'Arveyres, en Giron-
de. Il assure la transparence hydraulique
dans le lit majeur de la Dordogne ainsi que le fran-
chissement par l'A89 de la voie ferrée Paris-Bor-
deaux (elle-même en viaduc : le "viaduc des 100
arches") et de la RN2089.

Conformément aux calculs des modèles lors des
études hydrauliques, l'ouverture du débouché hy-
draulique dégagé sous l'ouvrage est de 1 430 m.
Son point le plus haut est de 16,45 m au-dessus
du terrain naturel (peu après le franchissement de
la voie SNCF).

Les gabarits respectés sont de 5,80 m sur 21 m
de large au-dessus de la voie ferrée Bordeaux-Paris
et de 4,85 m au-dessus de la RN2089.

De type caisson en béton précontraint, le viaduc a
été réalisé à partir de voussoirs préfabriqués sur
place. Il est composé de deux tabliers, d'une lar-
geur utile de 11 m, et portant chacun deux voies
de circulation.

Il est découpé en 34 travées, dont les longueurs
varient entre 27,85 et 49,85 m.

Les appuis des tabliers sont des fûts cylindriques
échancrés, surmontés d'un trapèze. Les fûts sont
habillés de coupes préfabriquées, respectant les
contraintes géométriques nécessaires au fonc-
tionnement hydraulique.

Des corniches-caniveaux équipent les tabliers en
rive, pour recueillir les eaux de ruissellement et les
matières dangereuses pouvant se déverser sur les
tabliers pour les évacuer aux extrémités de l'ou-

vrage dans le réseau d'assainissement de la sec-
tion courante.

Les dispositifs de retenue anti-sortie de véhi-
cules sont du type BN4 à l'extérieur et glissières
côté terre-plein central.

LE PARTI ARCHITECTURAL

Le viaduc des Barrails constitue l'élément prédo-
minant du site dans lequel il s'inscrit. Il est perçu
par les riverains de l'ouvrage, par les usagers de
la RN2089 et ceux de la SNCF.

Le parti architectural s'est attaché :

◆ d'une part, à réduire au maximum le nombre de
piles de façon à dégager au mieux les espaces du
terrain naturel ;

◆ d'autre part, à marquer de façon particulière le
franchissement de la RN2089 et des voies SNCF
par un changement du rythme d'implantation des
piles et un traitement spécifique des sols.

MÉTHODES DE RÉALISATION

L'ouvrage a été réalisé de manière industrialisée
en utilisant au maximum la préfabrication :

◆ les pieux ont été forés à l'intérieur de tubes de
travail, à la tarière ;

◆ les semelles ont été coulées en place ;

◆ les fûts des piles sont constitués de coques ar-
chitectoniques préfabriquées servant de coffrage
au remplissage en béton armé ;

◆ le tablier est préfabriqué : les voussoirs construits
dans une usine provisoire entre la RN2089 et la
voie SNCF ont été transportés sur une piste par far-
dier en passant sous le viaduc des 100 arches
et en remontant sur le tablier au niveau de la cu-
lée côté Bordeaux, puis roulant sur la partie de l'ou-
vrage déjà posée. Les voussoirs étaient ensuite
suspendus à un haubanage provisoire ;

◆ les câbles de la précontrainte, principalement
extérieure au béton, courent sur deux travées et
ont été mis en œuvre au fur et à mesure de la ré-
alisation des travées, avant démontage du hauba-
nage provisoire.

Lors de la réalisation du tablier, les deux obstacles
principaux ont été franchis dans des conditions par-
ticulières de sécurité :

◆ en concertation avec la SNCF, la pose des vous-
soirs au-dessus de la voie ferrée s'est faite durant
les rares et courtes plages "hors trains" disponibles
compte tenu du fort trafic de cet axe ;

¹ - Les travaux de construction de cet important ouvrage ont
été décrits par MM. Jean-Jacques Bianchi et Didier Primault
dans leur article du n° 768 d'octobre 2000 (Autoroute A89).

Barrails

Bordeaux et Clermont-Fd

◆ la RN2089 a été, elle, franchie de nuit, sous coupure et déviation de la circulation par les services de l'Équipement de la Gironde.

■ LE VIADUC DES BARRAILS, D'ABORD UN OUVRAGE HYDRAULIQUE

Autour de Libourne, l'A89 traverse la zone inondable à la confluence de l'Isle et de la Dordogne. Construite en remblai, parfois jusqu'à 7 m de hauteur, pour être "hors d'eau", l'A89 se devait d'être "transparente", c'est-à-dire ne pas perturber le fonctionnement hydraulique tant en termes de niveau des inondations que de vitesse des écoulements lors des crues des rivières.



Il s'agissait donc de "trouer" le remblai grâce à des ouvrages hydrauliques dits de décharge dont les dimensions et le positionnement ont été déterminés par des études très poussées. Celles-ci s'appuyaient sur deux modélisations, l'une physique avec un modèle de 3 000 m² reproduisant l'ensemble de la boucle de la Dordogne, l'autre mathématique couvrant 15 km dans la plaine de la Dordogne et 10 km dans celle de l'Isle, soit 30 000 points de calcul.

Résultat : un total de 3,4 km d'ouverture dans le remblai lié aux contraintes hydrauliques (2,3 km dans la vallée de la Dordogne et 1,1 km dans celle de l'Isle) grâce à 14 ouvrages hydrauliques dont le viaduc des Barrails à Arveyres et quatre franchissements de rivière (la Dordogne puis l'Isle à trois reprises).



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France

Maitre d'œuvre

Scetauroute

Concepteur

Jean Muller International (JMI)

Architecte

Berdj Mikaelian

Groupement d'entreprises

Campenon Bernard SGE, mandataire;

Campenon Bernard Ouest, Quillery

Ouvrages innovants de

Dans le cadre de la Charte innovation Ouvrages d'art, destinée à promouvoir l'utilisation de nouvelles techniques ou nouveaux matériaux, deux ponts innovants ont été construits sur la déviation de Bourg-Lès-Valence. Ils constituent la première utilisation de béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP) dans le domaine des ponts routiers.

Les tabliers sont constitués de poutres préfabriquées en BSI (matériau développé par le groupe Eiffage) dépourvues d'armatures passives avec prise en compte de la résistance à la traction du matériau fibré.

Ce chantier a également servi de cadre expérimental au groupe de travail BFUP qui, par la réalisation d'un grand nombre d'essais a pu mettre au point les futures "Recommandations provisoires".

■ CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'OPÉRATION (photo 1)

Les ouvrages innovants sont deux passages supérieurs dénommés OA4 et OA6 franchissant la déviation 2 x 2 voies de Bourg-Lès-Valence dans le département de la Drôme (maître d'ouvrage DDE de la Drôme).

Il s'agit de deux ponts en béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP) comportant chacun deux travées isostatiques de 22 m de portée dans le cas de l'OA4 et de 20,50 m pour l'OA6.

La réalisation de ce type d'ouvrage routier est une première mondiale, sachant que dans le domaine des ouvrages d'art les BFUP n'ont été utilisés à ce jour que pour construire une passerelle piéton au Canada (Sherbrooke), et pour réaliser des poutres d'aéroréfrigérants dans les centrales EDF de Cattenom et Civaux (cf. *Travaux* n° 752 – Avril 1999). Les ouvrages ont été réalisés par l'entreprise Quillery, aujourd'hui intégrée dans Eiffage TP, suite à un appel d'offres sur performances lancé par la DDE 26 dans le cadre de la Charte innovation Ouvrages d'art signée entre la Direction des Routes et la FNTF.

tout en garantissant la conservation de la propriété des inventions.

Concrètement, le surcoût lié à l'innovation est remboursé à la DDE de la Drôme par la Direction des Routes afin qu'elle ne soit pas pénalisée par cette expérience pilote.

La charte ayant été signée en mai 1997, en octobre de la même année, un dossier fut alors déposé, proposant la construction de tabliers légers routiers en BSI, soit pour la suppression de passages à niveau, soit pour le franchissement d'autoroutes sous circulation. Une fois ce dossier retenu (mai 1998), il devenait indispensable, s'agissant d'un matériau totalement nouveau, de créer un groupe de travail chargé d'établir les bases de nouvelles règles de caractérisation et de calcul. Une convention fut donc signée entre l'AFGC et le Setra pour coordonner le fonctionnement du groupe "BFUP" dont les résultats sont attendus début 2002, sous la forme de "Recommandations provisoires".

■ L'APPEL D'OFFRES SUR PERFORMANCES

En 1999, le Setra, qui recherchait, pour concrétiser cette Charte, une opération pilote, mit en place avec la DDE de la Drôme un appel d'offres sur performances pour la construction de deux PS innovants.

Cette procédure garantit l'optimisation de la solution technique par la mise en concurrence des entreprises.

Dans le cas des PS de Bourg-Lès-Valence, le critère principal était la valeur technique du procédé, et comprenait, outre les aspects habituels (respect des règles de bonne conception technique, degré d'industrialisation du procédé, garanties de qualité liées à la production en série, durabilité), les deux dimensions supplémentaires ci-dessous :

- ◆ le caractère innovant du procédé, apprécié en fonction de l'intérêt technique de l'innovation ;
 - ◆ l'aptitude du procédé à couvrir, au-delà des ouvrages de la déviation de Bourg-Lès-Valence, l'ensemble des situations courantes (longueur de brèches à franchir, largeur des voies portées, biais).
- Concernant les solutions innovantes proposées, certaines comportaient des solutions mixtes acier/béton avec préfabrication et éventuellement mise en précontrainte de la dalle avant connexion.

Trois solutions comportaient des éléments de poutres préfabriquées en BHP ou BFUP connectés trans-

Photo 1
Vue générale
de l'ouvrage OA6

General view
of the OA6 structure



■ LA CHARTE INNOVATION OUVRAGES D'ART

Cette charte pose les principes de consultations larges relatives à des objectifs généraux, et prévoit un suivi rigoureux des innovations dans le temps, permettant leur validation par l'intermédiaire du réseau technique du ministère. Elle propose un partage des risques financiers liés à l'innovation,

Bourg-Lès-Valence

Jacques Resplendino
CETE de Lyon

Jean-Marie Roy
DDE 26

Jérôme Petitjean
Setra

Philippe Blondeau
Eiffage TP

Ziad Hajar
Eiffage TP

Alain Simon
Eiffage TP

Thierry Thibaux
Eiffage TP

versalement et longitudinalement. Parmi les solutions présentées, le projet d'Eiffage TP avec un fonctionnement transversal du tablier sans armature, ni précontrainte, fut retenu.

■ DESCRIPTION DU PROJET

Appuis

Les appuis de l'ouvrage (pile et culées) sont de conception classique en béton armé de classe B30. Toutes les fondations sont superficielles. Chaque ligne d'appuis accueille dix bossages sur lesquelles la surface d'appui est ajustée par des cales biaisées sous les talons des poutres. Ces bossages incluent des zones de vérinage du tablier situées sous les entretoises reliant les poutres pour le remplacement des appareils d'appuis.

Tabliers en BSI

La structure s'appuie sur une conception de type PRAD avec une dalle de continuité sur l'appui intermédiaire.

Les tabliers des deux ouvrages sont transversalement identiques et constitués d'un assemblage de cinq poutres préfabriquées en BSI en forme de II (figures 1 et 2). Les poutres sont entretoisées uniquement au droit des appuis (pile et culées). Les dimensions des poutres :

- ◆ longueur : 22,75 m et 20,75 m ;
- ◆ hauteur : 0,90 m ;
- ◆ largeur : 2,40 m ;
- ◆ épaisseur de l'âme : 11 cm ;
- ◆ poids : 37 t.

Elles ne comportent **aucune armature passive de béton armé** à l'exception des zones de clavage transversale et longitudinale entre les éléments, ainsi qu'au droit des zones d'accrochage des équipements (joints de chaussée, et dispositifs de retenue).

Chaque tablier supporte une chaussée de 9 m de largeur utile, bordée par deux trottoirs de largeurs respectives un et deux mètres (figure 1).

Pour chaque ouvrage, la continuité de la dalle de roulement est assurée au droit de la pile centrale par une dalle coulée en place. De même, les poutres en II sont clavées transversalement par du BSI fabriqué et coulé en place **sans recours à une précontrainte transversale**.

Toutes les poutres sont précontraintes par prétension par des torons T15 Super, de classe de res-

sistance 1860, à Très basse relaxation (TBR). Vingt six torons sont mis en œuvre dans chaque II pour l'OA6, trente pour l'OA4.

L'épaisseur équivalente du tablier est de 0,25 m à comparer à 0,75 m pour un pont-dalle précontraint classique et 0,37 m pour les tabliers en B80 de Bourges (tableau I).

Il apparaît que l'utilisation d'un BFUP divise environ par trois le poids propre des structures en béton précontraint classique.

Cet allégement, apprécié ici pour les manutentions, pourrait à l'avenir se révéler déterminant sur des projets de grande portée.

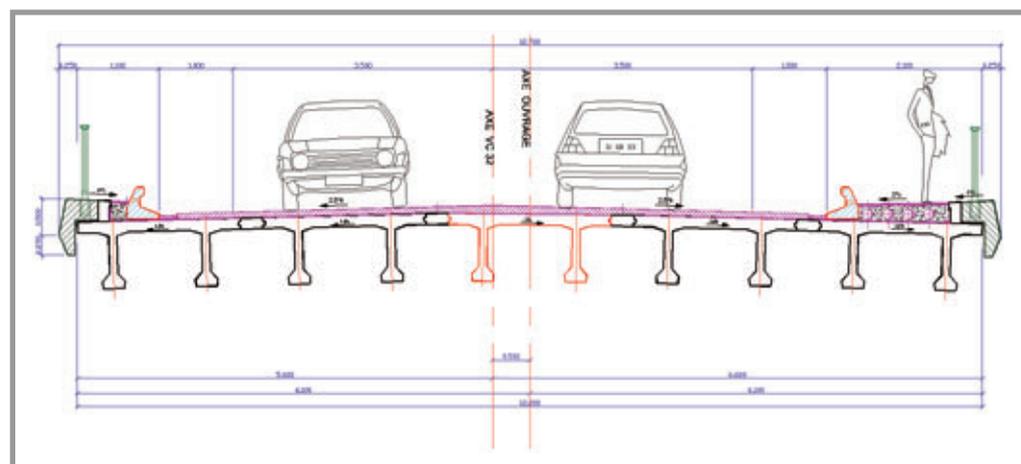


Figure 1
Coupe transversale des ouvrages
Cross section of the structures

Figure 2
Coupe transversale d'une poutre type de l'OA4
Cross section of typical beam on the OA4 structure

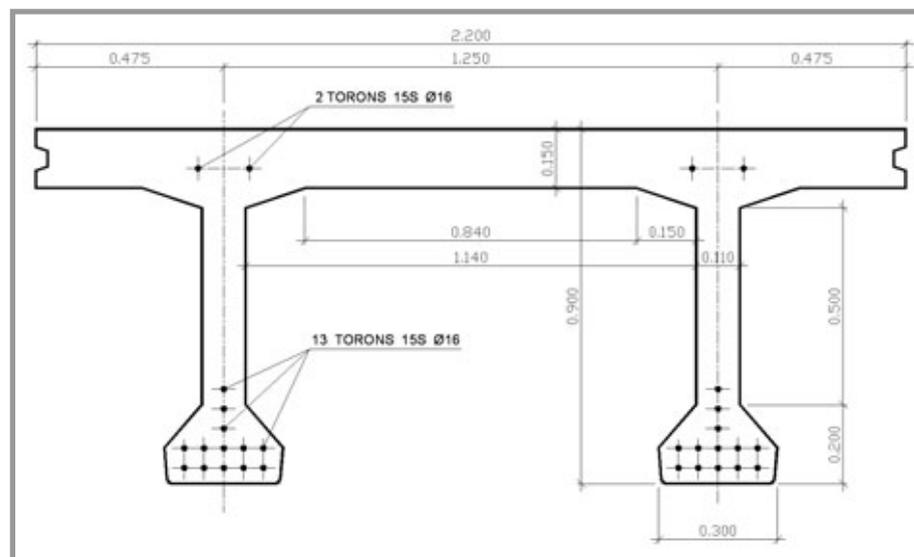


Tableau I
Caractéristiques techniques de 3 PS suivant type de béton
Technical characteristics of 3 PS according to type of concrete

	PSDP (B 35)	PS Bourges (B 80)	Bourg-Lès-Valence (2001)
Hauteur tablier	1	0,54 à 1 m	0,90 m
Épaisseur équivalente	0,75 m	0,37 m	0,25 m
Volume béton	390 m ³	188 m ³	117 m ³
Ferrailage passif	39 t	30 t	4 t
Précontrainte	17,4 t	9 t	6 t
Poids tablier	975 t	470 t	328 t

Résistance caractéristique à la compression à 28 j	175 MPa
Résistance caractéristique à la traction	8 MPa
Module d'Young	64 GPa
Masse volumique	2,8 T/m ³
Taux de fibrage	0 à 3 %
Autoplaçant	
Résistance à la compression 40 h à 20°	120 MPa

Ciment	1 114 kg
Fumée de silice	169 kg
Granulats (0 à 6 mm)	1 072 kg
Fibres	234 kg
Super plastifiant	40 kg
Eau	209 l

Tableau III
Formulation du BSI
BSI formulation

Tableau II
Caractéristiques techniques du BSI
BSI technical characteristics

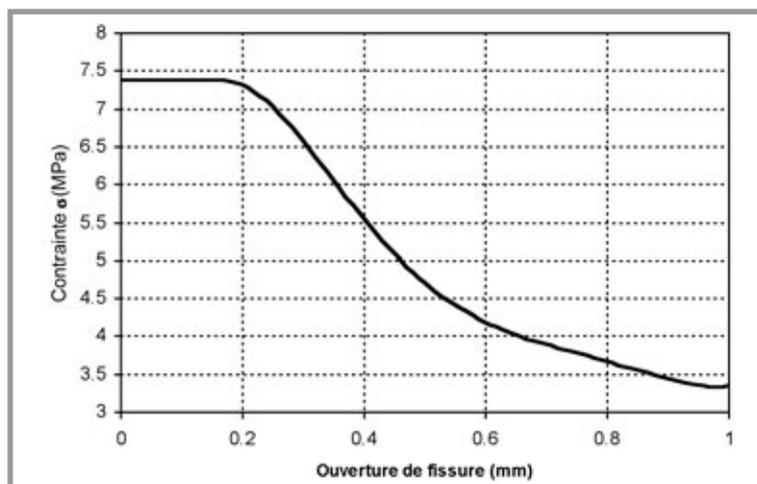


Figure 3
Loi de comportement post-fissuration $\sigma = f(w)$ du BSI 3 %
Post-cracking behaviour pattern $\sigma = f(w)$ of BSI 3 %

Photo 2
Élément témoin de 5 ml
Typical element 5 metres long



LE MATÉRIAU BSI (tableaux II et III)

Caractéristiques techniques du BSI et formulation du BSI

La résistance caractéristique à la compression f_{c28} issue de résultats d'essais sur éprouvettes cylindriques 11 x 22 cm est égale à 175 MPa, valeur ramenée à 150 MPa pour les études d'exécution. La résistance caractéristique à la traction f_{t28} de la matrice, issue d'essais de traction directe sur éprouvette non entaillée, vaut 8 MPa. Si aucune armature de béton armé n'est mise en œuvre en section courante, le matériau comporte par contre un taux élevé de fibres métalliques (3 % en volume, soit 234 kg/m³), déterminé de façon à garantir sa non-fragilité et la reprise des efforts locaux.

Ces fibres sont constituées de fils en acier à très haute résistance (limite d'élasticité d'environ 1200 MPa), de 20 mm de longueur, et 0,3 mm de diamètre.

La caractérisation du comportement post-fissuration du BSI est obtenue à partir d'essais de traction directe réalisés selon les recommandations de l'AFREM.

Ces essais permettent de déduire une loi de comportement contrainte de traction-ouverture de fissure.

La loi de comportement retenue pour le BSI à 3 % de fibres est donnée ci-après (figure 3).

PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT

Flexion longitudinale

Aux Etats limites de service (ELS), les justifications sous sollicitations normales sont analogues aux spécifications de la classe II du BPEL 91.

Pour les justifications aux Etats limites ultimes (ELU), le moment de résistance ultime des sections est calculé de manière classique en négligeant la résistance en traction du matériau.

Flexion transversale

Les vérifications sont sensiblement différentes en flexion transversale, sachant que le comportement se fait ici en l'absence de toute armature passive ou active en dehors des fibres métalliques.

Les tractions dans le béton sont limitées à f_{t28} sous les combinaisons ELS rare, $0,8 f_{t28}$ sous les combinaisons fréquentes.

Aux Etats limites ultimes, le moment résistant est calculé conformément aux recommandations de l'AFREM, en prenant en compte la loi de comportement du matériau fissuré.



Photo 3
Transport jusqu'au site
Transport to site



Photo 4
Opération de levage
Lifting operation

Zones d'introduction de la précontrainte

Afin de limiter les effets d'éclatement et de diffusion générale aux abouts des poutres, et éviter toute fissuration dans les zones d'introduction de la précontrainte, une partie des torons a été gainée en extrémité.

Trois longueurs de gainage ont été retenues : 2,2 m, 3,5 m et 5,5 m afin d'étagier au mieux la répartition des efforts.

■ VALIDATION EXPÉRIMENTALE

Une campagne d'essais a été réalisée avant la construction des ouvrages.

L'objectif était de valider les hypothèses de l'innovation et de vérifier le comportement du matériau.

Ce programme expérimental fut constitué comme suit :

- ◆ réalisation d'un élément témoin, sous la forme d'un tronçon de poutre de 5 m de longueur, permettant de vérifier l'absence de problème de diffusion de précontrainte (photo 2) ;
- ◆ essai de flexion statique sur un élément de dalle à l'échelle 1 validant les hypothèses de calcul concernant le fonctionnement transversal ;
- ◆ essai de flexion en fatigue sur un élément identique au précédent, témoignant de la non dégradation des performances en flexion après l'application de charges cycliques ;
- ◆ essai de flexion statique sur un élément représentatif du fonctionnement des clavages, permettant de valider les hypothèses de calcul.

Cette campagne a été prolongée, dans le cadre du groupe BFUP, par des essais de flexion sur une grande série de prismes prélevés dans l'élément témoin.

Ces essais ont servi de support pour les propositions du groupe de travail.

■ FABRICATION DES POUTRES

Les poutres ont été réalisées aux Pays-Bas par la société Hurks Beton dans son usine d'Eindhoven. Ce préfabricant avait auparavant réalisé la production des poutres et poutrelles pour la rénovation des aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Cattenom. Les vingt poutres en II ont été bétonnées en 2 mois (cycle de 2 jours par poutre).

Le BSI étant totalement autoplaçant, même avec un taux de fibrage de 3 %, le bétonnage est une opération simple, silencieuse (avantage très apprécié du personnel en usine), la seule condition de succès étant la maîtrise du comportement à l'état frais. Toutefois, la durée importante (15 à 20 minutes) du malaxage impose une procédure rigoureuse de mise en œuvre et limite actuellement le rendement des installations.

La prise est contrôlée sous atmosphère saturée à 20°, donc sans étuvage. Le décoffrage est effectué à 40 heures avec un critère de résistance d'au moins 120 MPa pour la détension des torons. Cette opération "à maturité constante" limite les écarts de flèche entre les poutres à une valeur très faible, inférieure à 5 mm.

■ TRANSPORT ET POSE DES POUTRES

L'acheminement des poutres a été effectué par voie ferroviaire depuis la Hollande jusqu'à la zone de déchargement près de Valence, transférées sur camion au moyen d'une grue automotrice de 120 t. Le transport vers le chantier était ensuite effectué par convoi exceptionnel (temps de transport d'environ 20 minutes) (photo 3).

La pose des poutres en II sur leur emplacement définitif fût réalisée depuis l'arrière des culées à l'aide d'une grue automotrice de 300 tonnes (photo 4).

Les opérateurs assuraient ensuite le réglage et



Photo 6
Fin de la pose des poutres sur un ouvrage
Completion of beam laying on a structure



Photo 5
Opération de calage d'une poutre
Beam fitting operation



Photo 7
Ouvrage avant bétonnage des clavages
Structure before concreting of keying devices



le calage des poutres sur les appuis (photos 5 et 6). Temps de pose du tablier :

- ◆ OA4 (10 poutres) : 2,5 jours;
- ◆ OA6 (10 poutres) : 0,5 jour.

Clavages des poutres (photo 7)

Après fixation du coffrage en sous-face pour les clavages longitudinaux entre poutres, intervenait l'étape de confection du BSI en centrale BPE pour coulage sur chantier.

La fabrication d'un BFUP en centrale BPE avait été réalisée pour la première fois fin 1998, avec le bétonnage sur le site de la centrale de Civaux d'une structure porteuse en BSI.

Le succès de l'opération avait ouvert la voie à l'as-

semblage sur chantier de pièces préfabriquées en béton fibré à ultra-hautes performances. Ici, le volume de BSI à réaliser en centrale pour les clavages était de 10 m³ par ouvrage. La centrale à béton retenue à la suite d'essais était une centrale classique, couverte, équipée d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 1 m³.

La préparation des gâchées de BSI (volume de 700 l) se déroulait de la façon suivante :

- ◆ vérification de la propreté et de l'absence d'eau dans le malaxeur et le camion-toupie;
 - ◆ prépesage de la quantité nécessaire de "premix" (ensemble prémélangé en usine des composants entrant dans la composition du BSI);
 - ◆ prédosage des fibres métalliques et du superplastifiant;
 - ◆ prépesage automatique de l'eau avec correction manuelle si nécessaire (tolérance ± 1 litre).
- Les étapes d'un cycle de malaxage pour la confection d'une gâchée de BSI étaient les suivantes :
- ◆ malaxage du "premix" sec;
 - ◆ introduction de l'eau pour le mouillage du mélange;
 - ◆ introduction du superplastifiant;
 - ◆ contrôle visuel et attente d'une valeur stable donnée par le wattmètre pour juger de l'action de l'adjuvant;
 - ◆ introduction des fibres métalliques à l'aide d'un tapis d'alimentation.

Durée totale : 15 à 20 minutes.

Chaque gâchée était caractérisée avant de donner l'accord pour livraison sur le chantier (étalement au cône DIN, air occlus, relevé de température).

Le transport du béton de la centrale vers le chantier était effectué par camion-toupie avec rotation

à petite vitesse. La durée de transport était de l'ordre de 15 minutes.

■ CONCLUSION

Les ouvrages innovants de Bourg-Lès-Valence, premiers ouvrages routiers construits en béton fibré à ultra hautes performances, constituent une référence permettant l'utilisation plus large de ce nouveau matériau.

La publication prochaine des "Recommandations provisoires de calcul" donne aux futurs maîtres d'ouvrage une référence pour définir leur cahier des charges. Il reste à saisir, sur de futurs projets, l'opportunité de proposer des formes plus audacieuses permises par ces nouveaux matériaux.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Direction départementale de l'Équipement de la Drôme (26)

Maitre d'œuvre

DDE 26 – Service des Routes

Contrôle des études tablier

Setra

Contrôle des études appuis

CETE de Lyon

Suivi des essais en laboratoire

Setra – LCPC

Bureau d'études d'exécution

Eiffage TP

Entreprise

Eiffage TP - Agence de Lyon

Préfabrication

Hurks Beton (Eindhoven)

ABSTRACT

Innovative civil engineering structures of Bourg-Lès-Valence

Various authors

Within the framework of the "Charte innovation Ouvrages d'art", designed to promote the use of new techniques and new materials in road structures, two innovative bridges have been built on the Bourg-Lès-Valence deviation. They represent the first use of ultra-high-performance fibrous concrete (BFUP) on road bridges.

The decks are made of prefabricated BSI beams (material developed by the Eiffage group) devoid of passive reinforcements, taking into account the tensile strength of the fibrous material. This work site also served as an experimental framework for the BFUP working group which, by performing a large number of tests, was able to finalise the future "Provisional Recommendations".

RESUMEN ESPAÑOL

Estructuras innovadoras de Bourg-Lès-Valence

Autores diversos

En el marco de la Carta de innovación de las grandes estructuras, destinada a la promoción de la utilización de nuevas técnicas o nuevos materiales, se han construido dos nuevos puentes en la variante de Bourg-Lès-Valence. Estos puentes constituyen la primera utilización del hormigón de fibras, de ultraelevadas prestaciones, en el ámbito de los puentes viarios.

Los tableros están formados por vigas prefabricadas de BSI (material desarrollado por el Grupo Eiffage) desprovistas de armaduras pasivas, pero teniendo perfectamente en cuenta la resistencia a la tracción del hormigón de fibras.

Estas obras han servido también de modelo experimental para el grupo de trabajo BFUP que, debido a la ejecución preliminar de un gran número de pruebas, ha podido desarrollar las futuras "Recomendaciones provisionales".

Inondations de mars - avril 2001

Mise en place de ponts dans le département de

Le département de la Somme a, durant le printemps 2001, connu une longue période d'inondations. L'impact de cette montée des eaux sur les ouvrages a été multiple : effondrement, submersion de chaussée et enfin démolition de franchissement. La stratégie a été de rétablir les franchissements à l'aide de ponts de secours pour minimiser l'impact des inondations sur le trafic.

Mise en place d'un pont de secours dans la commune de Sailly-Laurette
Setting up of an emergency bridge in Sailly-Laurette commune



■ SAILLY-LAURETTE

Rappel de l'histoire

L'ouvrage en cause permet à la RD42 de franchir des étangs situés entre la Somme et le canal de la Somme. La RD42 relie Lamotte Warfusée à Albert; elle supporte 1800 véhicules/jour. Cet ouvrage est constitué d'une voûte en maçonnerie sur laquelle ont été posées des poutres transversales en béton armé qui supportent la chaussée et les trottoirs en encorbellement. La longueur de cet ouvrage est de 9,00 m pour une largeur de 7,8 m après élargissement et 3,10 m d'ouverture. La dernière inspection de l'ouvrage (27 mai 1997) faisait état de quelques fissures et ravinements de berge, désordres qui étaient peu préoccupants. Dans la nuit du 27 au 28 mars 2001, suite à une montée importante du niveau des eaux (passage de 1,00 à 2,50 m), des affaissements sont apparus sur la rive sud. La demi-voûte sud s'est alors écroulée, ce qui a conduit à la ruine de l'ouvrage.

Mesures prises

Il a fallu de toute urgence achever la démolition de l'ouvrage et conforter les berges pour un coût de

l'ordre de 250000 F environ. Dans un second temps, face au trafic routier, aux enjeux touristiques sur le secteur (vallée de la Somme) et du fait que le village était coupé en deux, la direction départementale de l'Équipement de la Somme a proposé au Conseil général la mise en place d'un pont provisoire à une voie de circulation alternée (prix de 250000 F environ).

Enfin, des études ont été lancées pour reconstruire cet ouvrage.

Description du VMD (viaduc métallique démontable) mis en place

Après études de sol (réalisation d'un essai pressiométrique par rive) des fondations superficielles ont été mises en place en tête des remblais de la brèche d'environ 15 m.

Le VMD présente une portée de 18,00 m entre appuis dont un fixe et un glissant. Il livre le passage à tous les véhicules admis par le code de la Route sur une voie de circulation de 3,00 m bordée de garde-corps. Une passerelle piétons en amont attenante au VMD permet la circulation des piétons de part et d'autre de la commune.

Le VMD devrait être démonté au 1^{er} trimestre 2002 après réalisation de l'ouvrage définitif (poutrelles enrobées sur fondation en palplanches) dont l'ouverture est portée à 5,00 m.

■ PONT-RÉMY

La RD901 franchit un canal d'assèchement des étangs situés en amont par un ouvrage béton armé de 10 m d'ouverture.

Le 5 avril 2001, la RD901 est coupée suite au débordement du canal d'assèchement. L'ouvrage d'art de franchissement est noyé sous plus de 30 cm d'eau et le canal se déverse de part et d'autre de l'ouvrage, créant des poches d'eau de plus de 50 cm de profondeur de part et d'autre.

La commune de Pont-Rémy est coupée en deux et la déviation mise en place impose aux usagers un détour de 40 km.

Le 17 avril, la décision est prise de mettre en place un viaduc type Compact à partir d'éléments Bailey de 82 m de portée, équipé d'une passerelle piétons, permettant la circulation des véhicules de poids total en charge de moins de 3,5 t.

Les éléments du viaduc ont été transportés sur place entre les 19 et 23 avril 2001. Le montage s'est

de secours la Somme



Mise en place d'un pont de secours dans la commune de Pont-Rémy par les agents du Centre national des ponts de secours et les équipes de la DDE de la Somme

Setting up of an emergency bridge in Pont-Rémy commune by staff from the national centre for emergency bridges and staff of the departmental equipment agency (DDE) in the Somme

Mise en place d'un pont de secours dans la commune de Sailly-Laurette

Setting up of an emergency bridge in Sailly-Laurette commune



effectué par équipes postées, les agents du CNPS étant renforcés par les agents des subdivisions d'Abbeville, Moyenneville, Friville, Rue, Picquigny et Oisemont travaillant de 7 heures à 14 heures et de 14 heures à 21 heures.

L'ouvrage, après inauguration par le préfet de la Somme, a été mis en service le 26 avril 2001 à 17h00. Puis, la décrue arrivée, le démontage s'est effectué entre le 9 et le 12 juillet et la RD 901 a été réouverte à la circulation de tous les véhicules le 13 juillet après qu'ait été vérifié l'état de l'ouvrage de franchissement.

Crédit photos :
G. Morard/DDE de la Somme

■ OUVRAGES D'ART À ABBEVILLE

Franchissement de la rivière "Le Doigt" par les RD 925 et 928

Suite aux inondations dans la ville d'Abbeville, le conseil général de la Somme a décidé de lancer des actions favorisant la décrue, notamment la démolition des deux ponts qui constituaient des freins au débit hydraulique.

Afin de limiter la gêne à la population durement touchée et de maintenir la circulation des véhicules sur deux voies, des VMD de 18 à 24 m de portée, ont été mis en place sur chaque coupure (RD 925 et 928), la structure est sensiblement équivalente au pont de secours de Sailly-Laurette. La démolition des ouvrages s'est effectuée fin mai 2001 et la reconstruction des ponts a été réalisée fin 2001. La mise en place de ces ponts s'est effectuée en une journée par ouvrage, à l'aide de grues variables de 100 à 300 t suivant les possibilités d'accès.

ABSTRACT

**Flooding of March-April 2001.
Setting up of emergency bridges
in the Somme region**

J. Michel

In the spring of 2001, there was a long period of flooding in the Somme region. The impact of these rising waters on bridge structures took several forms : structural collapse, submersion of the pavement and, finally, demolition of crossings. The strategy was to restore the crossings by means of emergency bridges to minimise the impact of the floods on traffic.

RESUMEN ESPAÑOL

**Inundaciones de marzo y abril de 2001.
Instalación de puentes de emergencia
en el departamento del Somme**

J. Michel

Durante la primavera de 2001, el departamento del Somme ha atravesado un largo periodo de inundaciones. El impacto de esta invasión de las aguas con respecto a las estructuras ha sido múltiple : hundimientos de puentes, pavimentos sumergidos y finalmente, derribo de puentes y estructuras de diversa índole. La estrategia aplicada ha consistido en restablecer las estructuras de franqueo por medio de puentes provisionales de emergencia para reducir al mínimo el impacto de las inundaciones con respecto al tráfico rodado.

Second franchissement du Rhin au sud de Strasbourg, entre les localités d'Eschau (France) et d'Altenheim (Allemagne) a connu un tournant décisif au cours de l'année 2001 avec la réalisation des tabliers et notamment le clavage de la grande travée centrale de 205 m de portée au-dessus du fleuve.

La construction du nouveau franchissement du Rhin au sud de Strasbourg, entre les localités d'Eschau (France) et d'Altenheim (Allemagne) a connu un tournant décisif au cours de l'année 2001 avec la réalisation des tabliers et notamment le clavage de la grande travée centrale de 205 m de portée au-dessus du fleuve.

Les lecteurs de *Travaux* ont déjà fait ample connaissance avec ce chantier à travers trois articles consacrés respectivement à la conception du franchissement (n° 760 - Janvier 2000), à la réalisation des appuis et fondations (n° 775 - Mai 2001) et à la réalisation du tablier du viaduc d'accès côté France (n° 780 - Octobre 2001). L'article qui suit présente la construction du tablier du pont principal sur le Rhin construit par encorbellements successifs.



Alain Demare
CHEF DU SERVICE
DES GRANDS TRAVAUX
DDE du Bas-Rhin

■ TABLIER DU PONT PRINCIPAL - CONCEPTION GÉNÉRALE

Caractéristiques géométriques principales

Le tablier, long de 460,50 m, comprend trois travées de 121, 205 et 131 m. D'une largeur de 14,75 m, il est constitué d'un caisson mono-cellulaire présentant une hauteur variable de 9,00 sur pile (1/23) à 4,50 m à la clé (1/45) en travée centrale et 3,20 m sur culées.

L'intrados varie suivant une courbe cubique en travées de rive et une courbe parabolique en travée centrale. Pour des raisons esthétiques, les pentes de l'intrados au droit des voussoirs sur pile sont égales de part et d'autre des appuis dans le fleuve (figure 1).

L'épaisseur du hourdis inférieur varie de 1,40 à 0,25 m, celle du hourdis supérieur varie transversalement de 0,29 m en partie centrale jusqu'à 0,22 m en rives.

L'épaisseur des âmes, constante, est égale à 0,54 m (figure 2).

Le tablier est situé sur un alignement droit et l'extrados suit un rayon parabolique de 11 000 m en profil en long. Il est construit par encorbellements successifs, à partir de chaque pile dans le fleuve, à l'aide de deux paires d'équipages mobiles. L'ouvrage est calculé suivant les règles et règlements en vigueur en France en application du traité passé entre les deux pays¹.

Découpage en voussoirs

Le tablier comprend au total 103 voussoirs. Chaque fléau de 200,50 m est découpé en 45 voussoirs de longueurs variables, de la manière suivante :

- ◆ un voussoir sur pile (VSP) de 9,50 m ;
- ◆ de part et d'autre du VSP :
 - trois voussoirs courants de 3,50 m,
 - quatre voussoirs courants de 3,75 m,
 - trois voussoirs courants de 4,00 m,
 - quatre voussoirs courants de 4,50 m,
 - huit voussoirs courants de 5,00 m.

Chaque fléau est prolongé en travées de rive par des voussoirs courants au nombre de six rive droite et de quatre rive gauche. Ces voussoirs sont construits par surencorbellement au-delà de palées provisoires ; ils sont longs de 5,00 m sauf ceux contigus aux voussoirs de culée, longs de 3,95 m. Les voussoirs sur culée sont longs de 3,30 m.

Le voussoir de clavage central est long de 4,50 m. Ce découpage proposé par l'entrepreneur lors des études d'exécution, optimise celui envisagé par le Setra au stade du projet (ce dernier prévoyait 30 paires de voussoirs courants de longueur constante égale à 3,25 m pour chaque fléau).

La mobilisation de la capacité de charges maximale des équipages mobiles tout au long de la construction permet de réduire le nombre de voussoirs courants et donc la durée de réalisation des fléaux (les voussoirs sont de poids sensiblement constant, leur longueur est augmentée au fur et à mesure que leur hauteur décroît).

Précontrainte - Conception du câblage

Le câblage et les unités retenus sont les suivants :

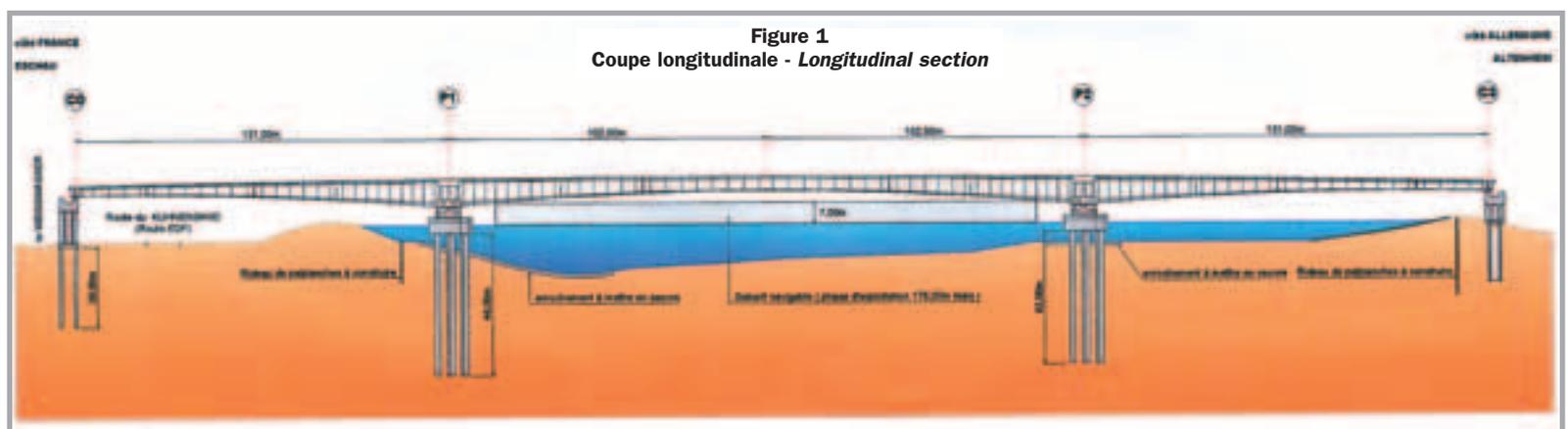
Précontrainte intérieure de fléau

Soit 31 paires de câbles 25T15 S pour chaque fléau. Ces câbles sont soigneusement "peignés" afin de réduire les déviations angulaires en évitant les contre-courbes (figure 3).

Deux gaines vides complémentaires sont en outre

1 - Les charges allemandes ont aussi été prises en compte, elles se sont avérées plus défavorables surtout à la clé. La faible hauteur sur piles choisie pour ne pas relever le profil en long crée un léger surcoût pour le tablier. Elle conduit à une augmentation du nombre des câbles de fléau qu'il est difficile de loger dans les goussets, à une augmentation de l'épaisseur du hourdis inférieur sur appui et à un léger épaissement des âmes.

Figure 1
Coupe longitudinale - Longitudinal section



Rhin au sud de Strasbourg du fleuve est achevée

Guy Treffot



RESPONSABLE
DE LA SUBDIVISION
PONT SUR LE RHIN
DDE du Bas-Rhin

prévues pour pallier d'éventuels aléas de construction. Cette configuration impose d'importants élargissements des goussets pour loger l'ensemble des câbles dans le hourdis supérieur (figure 4).

Dans la première moitié du fléau, une paire de câbles descend dans les âmes afin de reprendre l'effort tranchant dans les zones où l'intrados présente une forte pente longitudinale. Certains voussoirs, surtout les plus longs, comportent une seconde paire de câbles toujours ancrée dans le hourdis supérieur.

Précontrainte intérieure provisoire de surencorbellement

Soit :

- ◆ trois paires de câbles 25T15 S et une paire de 13T15 S en rive gauche conservée en phase définitive ;

- ◆ six paires de câbles 25T15 S, une paire de 19T15 S et deux paires de 13T15 S en rive droite (les câbles les plus longs, une paire de câbles 25T15 S et deux paires de 13T15 S sont conservées en phase définitive).

Ces câbles sont disposés dans le hourdis supérieur, leur tracé est sensiblement symétrique par rapport à l'axe des palées provisoires.

Précontrainte intérieure - Câbles éclisses

Ces câbles sont constitués d'unités 25T15 S, au nombre de deux paires en travée rive gauche, de six paires en travée centrale et de cinq paires en travée rive droite. Tendus d'un seul côté en rive ou des deux côtés pour les plus longs en travée centrale, ces câbles sont ancrés dans des bossages en saillies sur le gousset inférieur.

Précontrainte extérieure de continuité

Ces câbles sont constitués d'unités 31T15 S, au nombre de cinq paires dans chaque travée.

Ces câbles, au tracé trapézoïdal, règnent sur la longueur d'une travée entière, les plus longs mesurent 212 m.

Ils sont déviés aux environs des tiers et deux tiers de chaque travée par des diaphragmes en béton armé et des dispositifs anti-vibratoires intermédiaires sont prévus lorsque la distance libre entre déviateurs est supérieure à 40 m.

Crédits photos :

Guy Treffot/DDE du Bas-Rhin

Figure 2
Coupes transversales
Cross sections

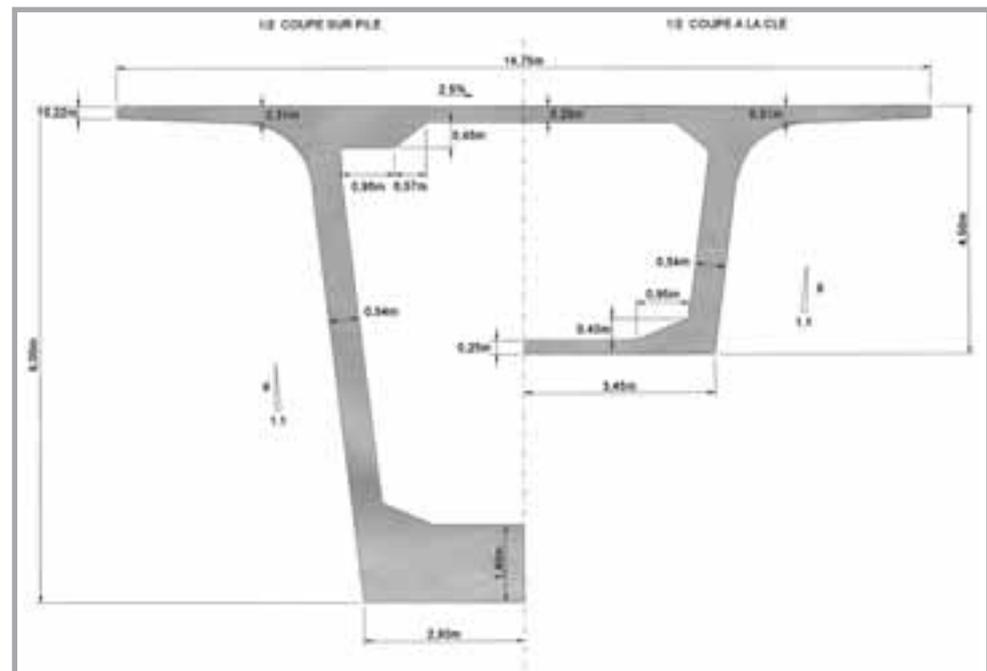
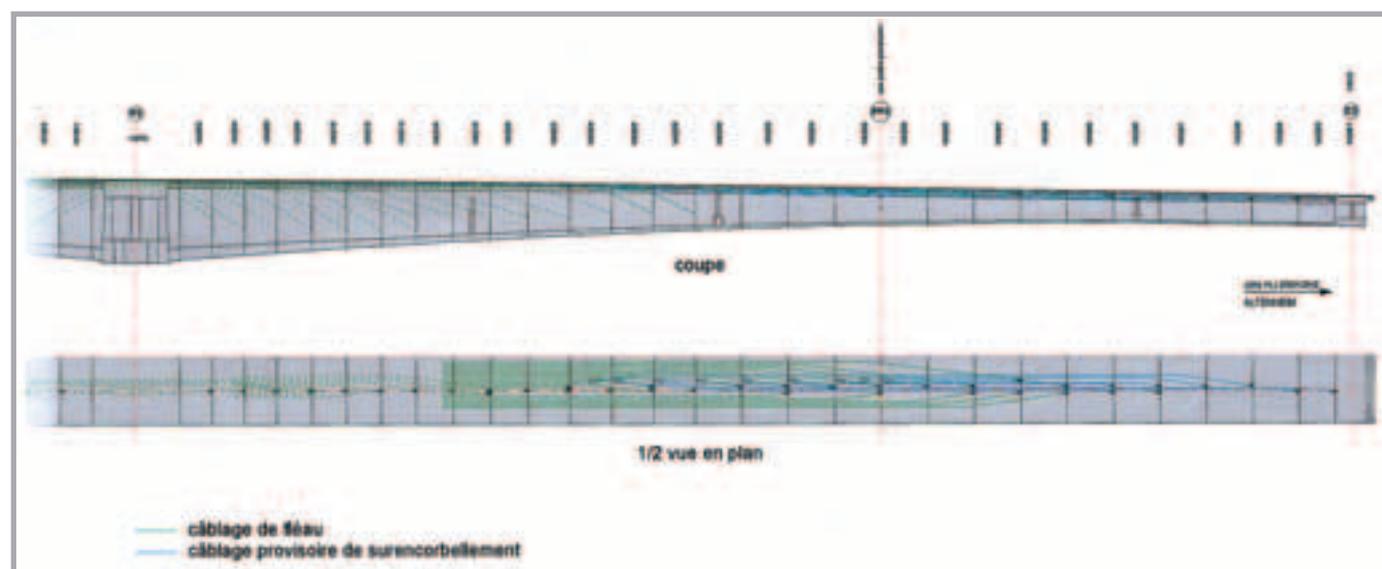


Figure 3
Schéma des câblages de fléau et de surencorbellement
Diagram of beam and cantilevering cables



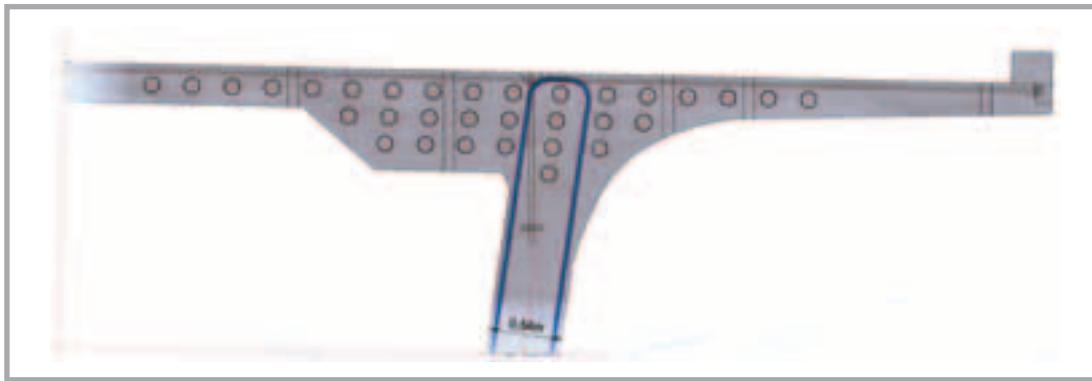


Figure 4
Câblage de fléau - Coupe transversale sur pile
Beam cabling - Cross section on pier

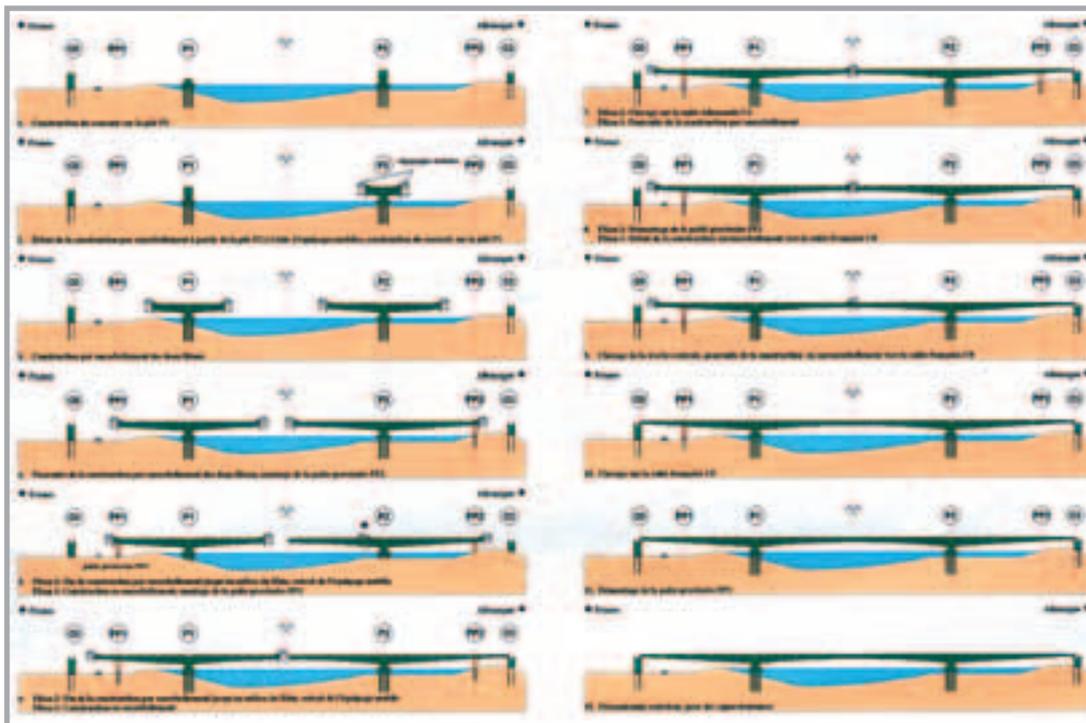


Figure 5
Cinématique générale de construction
General construction kinematics

Précontrainte extérieure additionnelle

Des dispositifs (ancrages, déviateurs) sont prévus pour mettre en place une précontrainte additionnelle extérieure constituée de deux paires de câbles 19T15 S dans chaque travée pour pallier, d'éventuelles pertes de précontrainte au cours de la durée de vie de l'ouvrage et des redistributions par fluage plus importantes que prévu. On notera que le moment à la clé dépendait fortement de la loi de fluage de retenue. Un essai de fluage a donc été réalisé au cours des études avec deux bétons :

- ◆ un béton confectionné avec des granulats concassés des Vosges, non réactifs, conduisant à un léger accroissement du fluage du fait d'un volume de pâte plus important ;
 - ◆ un béton confectionné avec des granulats de la plaine du Rhin.
- Pour se prémunir contre un fluage plus important que prévu, l'ouvrage a été calculé avec deux lois de fluage :
- ◆ la loi de fluage des bétons ordinaires (annexe 1 du BPEL) minorée de 50 % ;
 - ◆ la loi de fluage des BHP avec fumée de silice (annexe 14 du BPEL) majorée de 50 %.

1) Pour des questions d'encombrement des ossatures métalliques des équipages lorsqu'ils sont en configuration "dos à dos", le premier voussoir côté fleuve est bétonné et l'équipage correspondant avancé avant montage de l'équipage opposé.
2) Cette disposition est liée aux dissymétries du profil en long de l'intrados d'une part, aux dissymétries des élargissements des goussets supérieurs qui règnent sur des longueurs différentes en travée de rive et en travée centrale d'autre part.
3) Le déclouage du VSP et la suppression des clavages provisoires interviennent après exécution du premier voussoir de surencorbellement.

L'ensemble de la précontrainte longitudinale recourt au système C du procédé Freyssinet.

Précontrainte transversale

Elle est constituée de monotorons gainés - graissés T 15 (système BBV) espacés de 0,40 m.

PHASAGE GÉNÉRAL DE CONSTRUCTION

La réalisation du premier fléau (côté Allemagne) comprend les étapes suivantes :

- ◆ réalisation du voussoir sur pile et blocage sur appui par clouage ;
- ◆ montage et assemblage des équipages mobiles¹ ;
- ◆ construction symétrique des voussoirs courants, en bétonnant toujours les voussoirs côté travée centrale en premier lieu², et ce jusqu'au droit de la palée provisoire ;
- ◆ construction en temps masqué de la palée provisoire ;
- ◆ mise en appui du fléau sur la palée provisoire par vérinage ;
- ◆ poursuite de la construction symétrique du fléau jusqu'au dernier voussoir courant avant clavage central en bétonnant les voussoirs côté rive en premier lieu de sorte à toujours charger la palée³ ;
- ◆ démontage de l'équipage côté travée centrale ;
- ◆ construction en surencorbellement des voussoirs de la travée de rive jusqu'à la culée ;
- ◆ démontage de l'équipage côté travée de rive ;
- ◆ construction du voussoir de culée à l'aide d'un étalement ;
- ◆ mise en tension des câbles éclisses de la travée de rive ;
- ◆ démontage de la palée provisoire (figure 5).

Le principe de réalisation du second fléau (côté France) est similaire. Le clavage en travée centrale puis la mise en tension des câbles éclisses correspondants interviennent toutefois avant de poursuivre la construction des voussoirs en surencorbellement de la travée de rive.

Les câbles de surencorbellement sont détendus en dernier lieu, avant mise en tension des câbles extérieurs de continuité.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Organisation générale du chantier

Prise en compte des contraintes de navigation

Compte tenu de l'intérêt commercial de la voie d'eau et de l'important trafic qui en résulte, l'impact du chantier sur la navigation avait été examiné très en amont, au stade du projet, avec les services de navigation français et allemand et les dispositions particulières adoptées pour la construc-

tion du tablier avaient donné lieu à un protocole de la Commission centrale de la Navigation sur le Rhin (CCNR) dès 1991.

La réalisation du tablier à l'aide de deux paires d'équipages mis en œuvre simultanément et le nouveau découpage en voussoirs proposés par l'entrepreneur ont conduit à adapter les dispositions prévues au protocole initial en respectant les principes suivants :

- ◆ les bateaux n'évoluent en aucune circonstance à l'aplomb des équipages mobiles bien que ceux-ci dégagent un tirant d'air de plus de 7,00 m, supérieur à celui du gabarit définitif;

- ◆ deux chenaux d'une largeur minimale de 50 m, l'un réservé à la navigation "montante", l'autre à la navigation "avalante", sont en permanence assurés. Au gré de l'avancement de la construction des fléaux, ces chenaux sont, soit accolés, soit séparés de part et d'autre des équipages.

Au total, les chenaux de navigation sont déplacés à quatre reprises au cours du chantier. Ils sont délimités par des nacelles et des bouées munies de réflecteur-radar et font l'objet d'une signalisation conforme aux règlements en vigueur sur le Rhin. Enfin, des "avis à la batellerie" sont diffusés dans tous les pays traversés par le fleuve aux navigants pour les informer des restrictions au droit du chantier.

Transports - Approvisionnements des bétons

La centrale fabriquant les bétons est située à Eschau à environ 4 km du chantier. Afin d'éviter un détour de 30 km par le pont de l'Europe, les camions-toupies livrant les bétons côté Allemagne traversent le Rhin à l'aide d'un bac spécialement mis en service pour le chantier.

Côté Allemagne, les toupies accèdent directement à la pile dans le fleuve par un pont de service de 130 m de longueur.

A partir de chaque pile dans le fleuve, les bétons sont pompés jusqu'aux extrémités des fléaux en cours de construction, soit sur une distance maximale d'environ 130 m et une dénivelée de 15 m. Des conduits de répartition installés au droit de chaque voussoir et déplacés au fur et à mesure de l'avancement, facilitent la mise en œuvre du béton dans les coffrages.

Manutentions

Deux grues à tour Peiner de 70 m de flèche assurent les levages nécessaires à la construction de chaque fléau. Côté France, la grue est disposée sur la digue du Rhin; côté Allemagne, elle est directement ancrée sur la semelle de la pile dans le fleuve.

Pour les extrémités de fléaux situées hors de portée des grues à tour, les levages sont assurés à l'aide de grues automotrices de type Bobcat circulant directement sur le tablier en cours de construction. Enfin, des grues à montage rapide permettent l'exécution des voussoirs de culée.

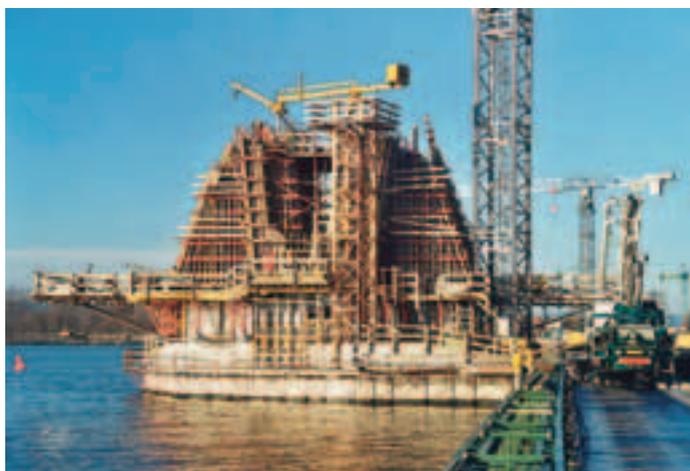


Photo 1
Voussoir sur pile -
Coffrage première phase

*Segment on pier -
Stage One shuttering*

Réalisation des fléaux

Réalisation des voussoirs sur pile (VSP)

La faible hauteur des fûts de pile – environ 5,00 m – et les larges débords qu'offrent les semelles (26,00 x 11,60 m en plan) permettent la mise en place en tête de fût d'une plate-forme de travail "confortable" soutenue par des tours d'étaisements de type Peri "Multiprope" et diverses consoles. D'une hauteur de 9,00 m pour une longueur de 9,50 m et une largeur de 13,00 m, les voussoirs sur pile (VSP) qui s'apparentent à de véritables "cathédrales", sont construits à l'aide de coffrages traditionnels (panneaux de contre-plaqué bakélinés et poutrelles en bois de type Peri GT 24) (photo 1). Chaque VSP, nécessitant plus de 600 m³ de béton, est construit en deux phases :

- ◆ on réalise d'abord le hourdis inférieur, les âmes, les entretoises et les "oreilles" latérales coiffant la ligne de 12 appareils d'appui en caoutchouc fretté et les butées sismiques. Plus de 440 m³ de béton sont coulés au cours de cette première phase;
- ◆ on coffre ensuite le hourdis supérieur et les raidisseurs associés représentant environ 200 m³ de béton.

La première phase cumule les difficultés compte tenu de la géométrie complexe des oreilles, du volume important de béton à couler (environ 440 m³), de l'existence de parties massives nécessitant des précautions vis-à-vis du dégagement de chaleur lors de la phase d'hydratation du ciment (le hourdis inférieur présente une épaisseur de 2,50 m, chaque oreille peut être assimilée à un parallélepède de 6 x 5 x 4 m!), de la grande hauteur de la levée (8 m), enfin du ferrailage très dense, notamment en partie inférieure où la diffusion des descentes de charges sur la ligne de douze appareils d'appui est reprise par une "mégapoutre" ne comprenant pas moins de cinq lits superposés de neuf HA40. La plate-forme de travail comporte des avancées latérales pour permettre la manutention et l'enfilage des aciers passifs de gros diamètre dans les coffrages dans de bonnes conditions de sécurité (photo 2a).

Le béton est mis en œuvre à la pompe à l'aide d'un mât de bétonnage disposé sur la semelle par l'intermédiaire d'une tour d'étaisement renforcée.

En raison de la grande hauteur des VSP, des tubes rigides de bétonnage sont préalablement installés dans les âmes, les entretoises verticales et les oreilles afin d'éviter la ségrégation du béton. Ces

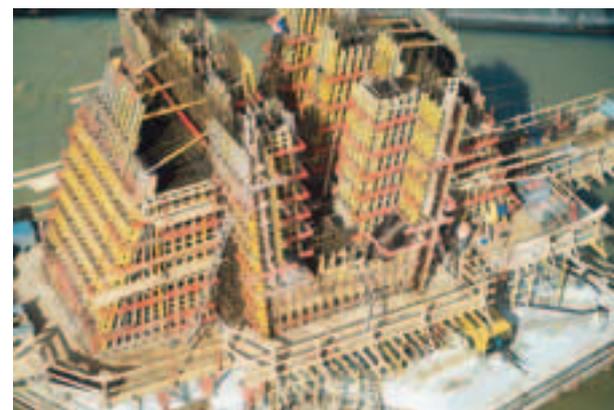


Photo 2a
Voussoir sur pile - Ferrailage

Segment on pier - Iron reinforcement

UN NOM DE BAPTÊME SYMBOLIQUE DE L'EUROPE POUR LE NOUVEAU FRANCHISSEMENT

C'est officiel, le nouveau franchissement du Rhin s'appellera désormais **Pierre Pflimlin**, ce choix a fait l'unanimité auprès des responsables politiques des deux rives du Rhin.

Pierre Pflimlin (1917 - 2000), président du Conseil, ministre de l'Agriculture, maire de Strasbourg, a également été l'une des grandes figures de la construction européenne.

Ainsi, 40 ans après "le pont de l'Europe" qui relie Kehl et Strasbourg, l'Europe est à nouveau à l'honneur pour désigner un nouveau lien entre les deux pays.

Photo 2b
Voussoir sur pile -
Bétonnage nocturne
de la première phase
Segment on pier -
Stage One night-time
concreting



Photo 3
Voussoir sur pile - Coffrage
de la seconde phase
Segment on pier - Stage
Two shuttering



Photo 4
Voussoir sur pile - Seconde phase - Réglage des tubes
déviateurs
Segment on pier - Stage Two - Adjustment of deviation
tubes



Photo 5
Voussoir sur pile -
Bétonnage
de la seconde phase
Segment on pier -
Stage Two concreting

Photo 6
Voussoir sur pile achevé -
A noter le nombre élevé
de gaines
de précontrainte
et de tubes déviateurs
Completed segment on pier -
Note the large number of prestressing
ducts and deviation tubes



tubes, raccordés à la pompe, sont remontés et raccourcis au fur et à mesure du bétonnage.

Afin de permettre un bétonnage correct des parties massives, des fenêtres et réservations spéciales ont été aménagées sur les coffrages intérieurs. Les compagnons accèdent à l'intérieur même du ferrailage des oreilles pour assurer la vibration du béton.

Celle-ci est assurée à l'aide de vibreurs externes fixés au coffrage d'une part et d'aiguilles vibrantes prolongées par des cannes lorsque les conditions d'accessibilité l'exigent d'autre part (photo 2b).

Au total, deux équipes de vingt compagnons chacune, se sont relayées pour assurer sans interruption le bétonnage durant plus de 20 heures.

La réalisation de la sous-face du VSP fait appel à des prédalles servant de coffrages perdus : deux prédalles centrales couvrent la file de douze appareils d'appui ; de part et d'autre, deux prédalles couvrent les fosses de visite et les niches de vérinage latérales.

La réalisation des prédalles centrales (soit une surface de 18 m²) a fait l'objet de précautions particulières en matière de planimétrie de sorte à assurer un parfait contact avec les appareils d'appui. Un coffrage rugueux en contre-plaqué non bakélinisé a été retenu afin d'obtenir un coefficient de frottement élevé entre béton et caoutchouc.

Afin de faciliter le transfert des descentes de charges du tablier sur les appareils d'appui définitifs, les prédalles latérales reposent sur des cales provisoires. Ces cales sont constituées d'un double lit entrecroisé de profilés HEM300 couvrant la totalité des niches de vérinage encadrant chaque file d'appui. Lorsque le tablier est achevé, le transfert de charges s'effectue par découpage au chalumeau des HEM.

La seconde phase (photo 3), réalisée après décoffrage complet de la première levée, a nécessité un soin particulier lors de la mise en place et du réglage géométrique des 14 paires de tubes déviateurs cintrés pour la précontrainte extérieure et des 32 paires de gaines pour la précontrainte intérieure (photos 4 et 5).

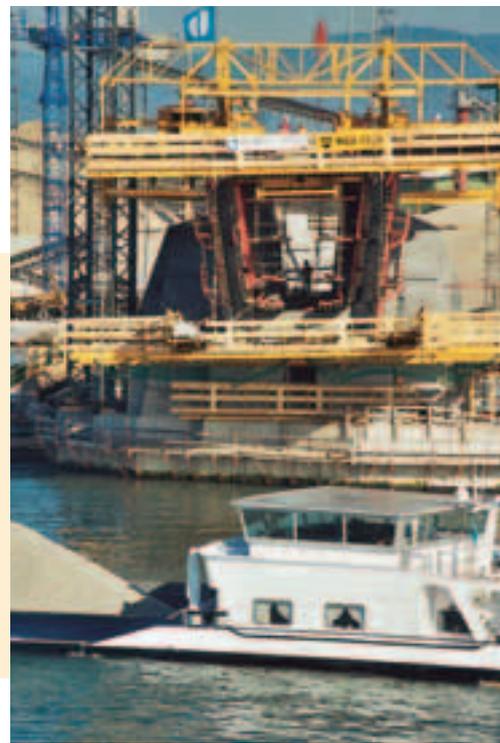
Chaque VSP est bloqué transversalement et longitudinalement à l'aide de cales annulant le jeu résiduel dans chaque direction par rapport aux butées sismiques ; puis est brêlé à son fût de pile à l'aide de deux paires de câbles 10T15 formant des boucles dans le fût.

La construction complète du premier VSP a requis 12 semaines de travail effectif, celle du second, 10 semaines (photo 6).

Réalisation des voussoirs courants

Les équipages mobiles

Les équipages utilisés outre-Rhin présentent quelques différences dans leur conception par rapport à ceux habituellement mis en œuvre en France :



Photos 7 et 8
Mise en place
du premier équipage
mobile
Setup of the first
mobile rig

◆ ces outils "rustiques" et robustes, sont facilement réutilisables moyennant quelques adaptations (ceci semble lié à une plus grande standardisation des sections transversales des caissons construits en Allemagne);

◆ le système de poutres maîtresses est du type "par dessus". L'encombrement des structures porteuses au-dessus des voussoirs à construire ne permet donc pas la pose de cages d'armatures préfabriquées en temps masqué;

◆ les coffrages métalliques sont bannis au profit de peaux de coffrages entièrement en bois;

◆ enfin, la vibration du béton des âmes est assurée à l'aide de vibreurs externes fixés aux coffrages. Ces caractéristiques confèrent une excellente adaptabilité des équipages à des configurations particulières telle que la longueur variable des voussoirs retenue ici.

Deux paires d'équipages conçus par la firme autrichienne Vito sont mises en œuvre sur le chantier (photos 7 et 8). La première précédemment utilisée par Bilfinger + Berger lors de la construction d'un pont sur le Danube, a été adaptée aux caractéristiques du caisson du Rhin. La seconde, identique à la première, a été fabriquée spécialement pour le chantier. Chaque équipage comprend deux fermes métalliques longitudinales situées au droit des âmes. Ces fermes reposent sur le tablier par l'intermédiaire de profilés métalliques facilitant les déplacements de l'équipage. Ces profilés sont avancés sur le dernier voussoir construit à chaque cycle (photos 9 et 10).

Les coffrages des différentes parties du caisson (hourdis inférieur, âmes, encorbellements du hourdis supérieur...) sont soutenus à l'aide de suspentes autorisant leurs réglages dans l'espace suivant la configuration géométrique de l'intrados. Le déplacement des plateaux coffrants s'effectue à l'aide de palans à chaînes et/ou de vérins.

Durant les phases de déplacement, ce sont les suspentes latérales qui supportent les coffrages extérieurs.

Les coffrages intérieurs de type "tiroir", constitués de panneaux modulables, sont facilement adaptables à la hauteur variable des âmes.

Chaque équipage présente un poids total à vide d'environ 90 tonnes.

Cycle de construction

Le cycle de construction habituel d'une paire de voussoirs s'étend sur une semaine de la manière suivante :

Voussoirs de travée centrale

Premier jour (lundi) :

◆ mise en tension des câbles de fléau et des motorons transversaux;

◆ décintrement du voussoir n-1 et avancement de l'équipage jusqu'au voussoirs n;

◆ réglage de l'équipage et de ses plateaux coffrants extérieurs à la configuration géométrique du voussoir;

◆ préparation, remise en état éventuelle des coffrages, début du ferrailage.

Second jour :

◆ contrôle géométrique et réglage avant le lever du soleil;

◆ ferrailage du hourdis inférieur et des âmes;

◆ coffrage intérieur des âmes.

Troisième jour :

◆ coffrage et ferrailage du hourdis supérieur;

◆ mise en œuvre des gaines de précontrainte longitudinale;

◆ mise en œuvre de la précontrainte transversale.

Quatrième jour :

◆ coffrage des masques d'about;

◆ bétonnage du voussoir en une seule opération.

Cinquième jour :

◆ enfilage des câbles longitudinaux;

◆ décoffrage de l'about.

Sixième et septième jours : durcissement et montée en résistance du béton (la résistance à atteindre pour permettre la mise en tension varie de 43 MPa pour les voussoirs comportant des ancrages dans



Photos 9 et 10
Vues aériennes
des équipages mobiles
Aerial views of mobile rigs



Photo 11
Les fléaux
avant clavage central
*The beams
before central keying*



Photo 12
Clavage central
en cours
*Central keying
in progress*



Photo 13
Construction des voussoirs
en surencorbellement au-delà
des palées provisoires
*Construction of segments
by cantilevering beyond
the temporary bents*



Photo 14
Palée provisoire
côté Allemagne
*Temporary bent,
German end*



les âmes à 23 MPa lorsque les ancrages sont situés dans les goussets).

Voussoirs de travée de rive

Les tâches de ferrailage et de coffrage sont légèrement décalées de sorte à assurer le bétonnage le cinquième jour.

Comme cela est fréquemment le cas sur les ponts construits par encorbellements avec voussoirs coulés en place, des délais beaucoup plus longs ont été nécessaires pour la réalisation des premiers voussoirs compte tenu des difficultés inhérentes à la grande hauteur des âmes, au grand nombre de gaines, à la nécessaire mise au point des ferrailages passifs, des méthodes et au "rodage" des équipes.

La réalisation simultanée des deux fléaux s'est avérée nécessaire pour respecter le délai d'exécution fixé par le contrat.

Aussi, afin d'optimiser les moyens humains et matériels engagés sur le chantier et notamment permettre des rotations rationnelles des différents corps de métiers (coffreurs, poseurs d'armatures, fournisseur de béton, équipes chargées de la précontrainte, géomètres...), des cycles de construction répartis sur quatre jours ont été adaptés de façon à permettre un décalage moyen de l'ensemble des tâches de chaque fléau d'environ deux jours aboutissant à des mises en tension de la précontrainte respectivement le samedi pour le fléau allemand et le lundi pour le fléau français.

Enfin, les voussoirs de surencorbellement ont été réalisés au rythme d'environ deux voussoirs par semaine.

En fin de construction des fléaux, les équipages mobiles situés au-dessus de la travée centrale sont reculés jusqu'aux piles avant d'être déposés, afin de limiter les gênes à la navigation. Les équipages des travées de rive sont descendus au droit des piles-culées. La réalisation de l'ensemble des voussoirs a requis 10 mois de travail effectif.

Voussoir de clavage central

Le voussoir de clé est réalisé à l'aide de l'équipage mobile du fléau français dont les passerelles "avant" ont été préalablement démontées (photos 11 et 12).

Les coffrages sont bridés à l'avant sur l'extrémité du fléau allemand.

Achèvement des travées de rive

L'achèvement du tablier dans les travées de rive ne fait pas appel à des cintres, compte tenu de l'interdiction de fonder des appuis provisoires sur la digue rive droite, de la grande hauteur du tablier au-dessus du terrain naturel en rive gauche.

Il est réalisé à l'aide des équipages mobiles par surencorbellement, au-delà des palées provisoires situées respectivement à 85,25 m des appuis dans le fleuve (rive droite) et 75,25 m (rive gauche), et

ce, jusqu'aux voussoirs sur culée réalisés en dernier lieu (photo 13).

Palées provisoires

Côté Allemagne, la palée est constituée de quatre tubes métalliques Ø 0,813 m remplis de sable et prolongés par des profilés IPB450 renforcés, entretoisés et contreventés en partie supérieure (photo 14). En tête, quatre vérins Eberspächer de 500 t munis d'écrous de sécurité et couplés entre eux permettent d'assurer la répartition des efforts entre les tubes et autorisent d'éventuels réglages du fléau en cours de construction (photo 15).

La palée est directement fondée dans le fleuve par l'intermédiaire des tubes métalliques foncés jusqu'à 12 m sous le niveau du lit et injectés en pointe.

Côté France, la palée constituée d'un voile en béton armé de 0,75 m d'épaisseur est fondée sur quatre pieux en béton faiblement armé, forés tubés, de 1,30 m de diamètre et de 10 m de profondeur (photo 16).

Stabilité des fléaux au vent

Les palées sont dimensionnées en tenant compte de l'effet du vent turbulent sur les fléaux fortement dissymétriques en fin de construction. Les calculs conduits par le Setra à l'aide du programme "PCP" ont montré que le vent turbulent entraîne un déplacement latéral des fléaux voisin de 0,40 m au droit de la palée côté Allemagne en l'absence de contreventement des tubes et dans l'hypothèse d'un déblocage du VSP sur la pile dans le fleuve. Ceci a nécessité de prévoir un haubannage supplémentaire de cette palée, capable de reprendre un effort transversal de 36 t (ce haubannage est réalisé à l'aide de 2 x 8 torons T15 retenus de part et d'autre par des ducs d'Albe) et de maintenir les cales provisoires de blocage latéral du fléau sur pile.

Les palées sont édifiées en temps masqué durant la construction des fléaux.

Elles sont munies, en tête, de dispositifs articulés et rabattables autorisant le libre passage des équipages mobiles à leur aplomb.

Câblage provisoire

Durant la réalisation des voussoirs de surencorbellement, la fibre supérieure du tablier se trouve tendue au voisinage des palées.

Chaque voussoir de surencorbellement est provisoirement précontraint à l'aide d'une ou deux paire(s) de câbles tendus d'un seul côté. Ces câbles, disposés en "chapeau" dans le hourdis supérieur sont ancrés dans les voussoirs courants du fléau en arrière des palées en respectant un décalage d'un voussoir pour chaque nouveau voussoir accroché.

Cette précontrainte est détendue (à l'exception des câbles les plus longs) après mise en tension des



Photo 15
Palée provisoire
côté Allemagne -
Détail des vérins
*Temporary bent,
German end -
Detail of jacks*



Photo 16
Palée provisoire
côté France
*Temporary bent,
French end*



Photo 17
Construction du voussoir
de culée côté Allemagne
*Construction of abutment
segment, German end*

câbles éclisses de la travée et suppression de la palée provisoire. Les ancrages actifs étant noyés par le béton des voussoirs, la détention est réalisée depuis les ancrages passifs accessibles par des niches situées au plafond.

Les gaines sont ensuite injectées par coulis de ciment.

Voussoirs sur culée

Les voussoirs sur culée (VSC) sont réalisés après achèvement complet des voussoirs courants des travées de rive à l'aide de coffrages traditionnels. Les VSC présentent un débord d'environ 1 m par rapport au nu des piles-culées. Aussi, un étaielement de ce débord, reposant sur les piles-culées et fixé à l'extrémité du tablier, est nécessaire (photo 17).

► ■ **BÉTON HAUTES PERFORMANCES**

Intérêt des bétons hautes performances

Construit avec un béton traditionnel B35 ou B40, la hauteur sur pile du tablier aurait été voisine de 12,00 m, hauteur jugée inacceptable du point de vue de l'insertion de l'ouvrage dans le site très plat de la vallée du Rhin.

En recourant à un béton hautes performances (BHP) B65, cette hauteur est réduite à 9 m. Cette réduction significative de l'élancement (1/23° au lieu de 1/19°) procure des avantages esthétiques – en offrant une plus grande "transparence et élégance" du franchissement – et fonctionnel en abaissant le profil en long de la chaussée.

Le BHP, plus compact et moins perméable aux agents agressifs, permet par ailleurs d'améliorer notablement la durabilité des structures, notamment vis-à-vis de la carbonatation et de la pénétration des agents agressifs.

Formule

La formule de béton doit satisfaire les critères suivants :

- ◆ $F_{c28} \geq 65$ MPa (résistance caractéristique à la compression à 28 jours);
- ◆ insensibilité vis-à-vis des phénomènes d'alcali-

réaction (niveau de prévention C suivant recommandations du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement);

- ◆ insensibilité vis-à-vis du gel suivant recommandations du Groupe de travail Rhône-Alpes (GRA);
- ◆ limitation de l'exothermie en vue de prévenir les risques ultérieurs d'attaques sulfatiques;
- ◆ pompabilité sur 150 m;
- ◆ durée pratique d'utilisation de 2 heures;
- ◆ obtention de résistances élevées au jeune âge en vue de respecter les cycles de construction des voussoirs.

La formule répondant à ces critères (s'inspirant de celle étudiée par le maître d'œuvre lors des études de faisabilité) mise au point par le fournisseur Fehr est reportée sur le tableau I.

En vue de satisfaire les critères de prévention vis-à-vis de l'alcali-réaction, la formule associe des granulats roulés du gisement rhénan, classés PRP, à des ciments à faible teneur en alcalins.

Convenances

Les épreuves de convenance comportaient – outre les essais de résistances mécaniques habituels – la réalisation d'un demi-voussoir témoin dans des conditions représentatives des difficultés du chantier en vue de s'assurer de l'obtention effective de la qualité souhaitée des parements.

Le dégagement de chaleur lors de la phase d'hydratation du ciment a également fait l'objet de tests particuliers sur des blocs-témoins d'un mètre cube équipés de sondes thermocouples reliées à des enregistreurs de températures.

Enfin, compte tenu de la grande hauteur des âmes (9 m), la résistance des coffrages sous la poussée du béton frais fluide et l'absence de résurgence au niveau des surfaces non coffrées du hourdis inférieur ont été vérifiées par l'entrepreneur sur des modèles en vraie grandeur.

Fabrication

Elle est assurée par la société de béton prêt à l'emploi Fehr disposant d'une centrale principale et d'une centrale de secours sur un site distant de 4 km du chantier. Ces centrales bénéficient d'un niveau d'équipement 3 au sens du fascicule 65A. Par ailleurs, une seconde centrale de secours, plus éloignée, est également mobilisée et prête à être opérationnelle en cas de défaillance des deux premières citées (photo 18).

Transports

La livraison est assurée par camions-toupies de capacité variable entre 6 et 12 m³.

Le recours à un bac permet de réduire très notablement la durée de transport des toupies livrant la partie allemande du chantier (photo 19).

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE POUR LE TABLIER DU PONT PRINCIPAL

- Béton B65 : 7750 m³ (1,15 m³/m²)
- Aciers passifs : 913 000 kg (118 kg/m³)
- Aciers actifs : 598 000 kg (77 kg/m³)
- Coffrages fins : 8300 m²
- Coffrages ordinaires : 8000 m²

Photo 18
La centrale à béton Fehr à Eschau
The Fehr concrete mixing plant in Eschau



Tableau I
La formule de béton
The concrete formula

Constituant	Quantité (kg/m ³)	Provenance
Sable 0/4	670	Ballastière Helmbacher - Eschau
Gravillon 4/8	280	
Gravier 8/16	900	
Ciment CPA - CEMI 52,5 CP2	410	Lafarge - Le Havre
Fumées de silice 595DP	30	Condensil
Superplastifiant glénium 27	6,8	MBT
Eau	150 (consistance TP)	
	155 (consistance fluide)	

Bétonnages par temps chauds

Afin de limiter les inévitables baisses de résistance, le retrait de dessiccation et la chaleur d'hydratation du ciment à des valeurs inférieures à 70° C, la température du béton frais livré sur chantier est limité à 25° C.

Plusieurs précautions sont prises en vue de respecter ces objectifs :

- ◆ organisation des bétonnages très tôt le matin, avant les forts ensoleillements ;
- ◆ protection des toupies et conduites de bétonnage par toile de jute et refroidissement par arrosage abondant ;
- ◆ protection des équipages et du hourdis supérieur par bâches limitant la réverbération ;
- ◆ cure soignée des surfaces non-coffrées (couverture par matelas isolants et arrosage).

Contrôles - Principaux enseignements

Les résistances mécaniques se sont toujours avérées largement supérieures aux résistances contractuelles, la moyenne se situant aux environs de 85 MPa avec des valeurs dépassant 100 MPa pour fc28.

Les montées en résistance au jeune âge n'ont pas posé de difficulté vis-à-vis des cycles de construction que s'est fixés l'entrepreneur (Rc ≥ 50 MPa généralement obtenue à 30 heures).

Les élévations de température lors de la phase d'hydratation, sont restées comprises dans des valeurs admissibles (≤ 70 °C), eu égard aux risques ultérieurs de développement d'attaques sulfatiques des bétons. Enfin, les problèmes de consistance ont été correctement maîtrisés tout au long du chantier.

Globalement, on retiendra un bilan très largement positif pour les BHP mis en œuvre en grande masse pour la première fois en Alsace en rappelant qu'aucun des intervenants (centrale BPE, entrepreneurs, laboratoires) ne disposait d'expérience au démarrage du chantier.

■ QUELQUES POINTS PARTICULIERS DE LA CONSTRUCTION

Parements architecturés des âmes

La grande hauteur du caisson – jusqu'à 9 m au droit des piles – laissait craindre des difficultés pour l'obtention de parements de bonne qualité si ceux-ci étaient réalisés à l'aide de coffrages métalliques lisses. Aussi, la maîtrise d'œuvre a prescrit l'emploi de coffrages architecturés sur toute la hauteur des âmes excepté des liserés supérieur et inférieur

correspondant sensiblement à l'épaisseur des hourdis respectifs.

A l'issue de plusieurs épreuves de convenance, le choix s'est porté sur un coffrage architectural réalisé à l'aide de planches de bois brutes de sciage de 12 cm de largeur, disposées verticalement. Le chanfreinage des planches crée un relief animant les parements et accrochant la lumière. Par ailleurs, la texture rugueuse du parement et le caractère poreux du bois atténuent les inévitables défauts d'aspect (marbrures, variations de teintes) liés à l'utilisation d'un béton hautes performances comportant des fumées de silice.

Le résultat final est à la hauteur des espérances (photo 20).



Photo 19
Transport des bétons par bac sur la rive allemande (à noter la protection thermique de la toupie en été par toile de jute)

Transport of concrete by ferry on the German edge of the river (note thermal protection of the revolving drum in summer by jute cloth)



Photo 20
Détail du parement architectural des âmes
Detail of architectural facing of webs

Bétonnage des voussoirs courants

Les voussoirs sont coulés en une seule opération. Compte tenu de la grande hauteur des âmes, des résurgences du béton frais étaient à craindre au niveau des surfaces non coffrées du hourdis inférieur. Par ailleurs, la forte pente longitudinale des premiers voussoirs était susceptible de poser des difficultés de tenue du béton frais. Aussi, le béton est mis en œuvre en recourant à deux consistances :

Photo 21
Vue générale
du chantier
fin mars 2001
General view of site
at end March 2001



Photo 22
Fléau côté France
mi-juillet 2001
Beam at French
end, mid-July 2001



Photo 23
Fléau
côté Allemagne
mi-juillet 2001
Beam at German
end, mid-July 2001



Photo 24
Fléau
côté Allemagne
début septembre
2001
Beam
at German end,
early September
2001



- ◆ béton plastique (correspondant à un étalement 43 cm) pour le hourdis et les goussets inférieurs ;
- ◆ béton fluide pour les âmes et le hourdis supérieur (étalement 55 cm).

Ces précautions n'ont pas permis de résoudre correctement le problème pour les voussoirs les plus hauts. Un coffrage "par dessus" s'est avéré nécessaire pour assurer le maintien du béton sur les surfaces non coffrées du hourdis inférieur.

Ferrailage du hourdis inférieur

Pour limiter l'ouverture des éventuelles fissures dues au fort retrait thermique lors de la prise du BHP, un ferrailage minimum transversal de 0,5 % a été mis en œuvre dans le hourdis inférieur. Malgré la forte augmentation de température, ce minimum s'est avéré largement suffisant. Il est toujours préférable de prévoir une cure soignée pour éviter l'apparition de fissures.

Contrôle de la géométrie des fléaux - Respect du profil en long final

Au cours de sa construction (photos 21, 22, 23 et 24) le tablier subit d'importantes déformations liées à la portée inhabituelle de 205 m, à la souplesse des fléaux dans les travées de rive et à la cinématique particulière retenue. Du fait du clavage du fléau sur culée en premier lieu, la suppression de la palée provisoire côté Allemagne s'accompagne d'un relèvement de l'extrémité opposée du fléau de près de 0,50 m !

Il convient donc de relever au cours de toutes les phases constructives les profils en long réels des fléaux et de les comparer avec les profils en long théoriques afin de détecter d'éventuelles dérives et d'apporter les corrections nécessaires à temps. Ceci est d'autant plus important que les deux fléaux sont construits simultanément à des cotes différentes et que les actions correctives ultérieures demeurent très restreintes.

Pour ce faire, des nivellements de précision de tous les joints de voussoirs sont réalisés de façon hebdomadaire. Les écarts constatés sur chantier sont rapportés sous forme de graphiques afin de faciliter l'analyse et la recherche des causes possibles des variations par les bureaux d'études (figures 6 et 7).

Les paramètres pouvant influencer la géométrie des fléaux en cours de construction sont en effet multiples et peuvent parfois être combinés (variations des densités, coefficients de fluage, modules d'élasticité du béton, coefficients de frottement des câbles de précontrainte, défauts ponctuels liés à une possible erreur de réglage des équipages, gradients thermiques, surcharges de chantier, tassements d'appui... voire des erreurs de nivellement!).

Les quatre derniers facteurs cités sont éliminés en

procédant systématiquement aux relevés tôt le matin avant ensoleillement de l'extrados (des relevés comparatifs réalisés en plein été avec des variations de température extérieure de 20° C, ont fait apparaître des écarts de l'ordre de 3 cm en extrémité de fléau alors long de 130 m), en disposant les grues mobiles et les autres charges de chantier sur ou à proximité du VSP lors des mesures, en nivelant systématiquement les appuis, enfin en procédant à une double vérification dans le cadre des contrôles intérieur et extérieur.

Chaque écart significatif du profil en long par rapport aux prévisions fait l'objet d'analyses par les bureaux d'études de l'entreprise et ceux de la maîtrise d'œuvre et les notes des contre-flèches sont corrigées en ajustant en tant que de besoin les hypothèses de calculs initiales.

Par exemple, la densité réelle des bétons s'est avérée plus faible que prévue (2,54 au lieu de 2,63), les modules d'Young également (38600 MPa mesuré sur éprouvettes, 48000 MPa essai de chargement au lieu de 43000), les coefficients de frottement des câbles de fléaux meilleurs. On notera qu'il ne faut pas intégrer le poids de la précontrainte extérieure dans le calcul de la densité du béton.

Clavage central

Des mesures conservatoires ont été prises pour permettre l'alignement des fléaux avant bétonnage du voussoir de clé de sorte à ne pas créer d'accident du profil en long (photo 25) :

- ◆ la dernière paire de câbles de fléau côté Allemagne a été tendue à 40 % de l'effort nominal (disposition rendue possible compte tenu des excellents coefficients de transmission mesurés tout au long de la construction du fléau) ;
- ◆ les gaines vides ont été équipées d'ancrages de sorte à permettre l'éventuelle mise en tension de câbles supplémentaires (les mesures effectuées lors du chantier montraient que la mise en tension d'une paire de câbles à 100 % de l'effort nominal permettaient de relever l'extrémité du fléau de l'ordre de 5 cm) ;
- ◆ enfin des corrections supplémentaires des fléaux par actions dans les travées de rive demeuraient possibles grâce aux vérins des palées provisoires. L'ensemble de ces précautions autorisait une marge de réglage altimétrique de l'ordre de 10 cm au droit du clavage central.

A l'issue du déchargement de la palée située dans la travée de rive allemande (photo 26) l'extrémité opposée du fléau s'est élevée de 40 cm et se trouvait correctement alignée avec le fléau français. Une ultime correction a toutefois été apportée avant bétonnage du clavage pour tenir compte des flèches différentielles prévisibles sous le poids du béton mou liées à des souplesses différentes du tablier dans les travées de rive pour chaque fléau (du côté



Photo 25
Rencontre au-dessus du Rhin...
Meeting above the Rhine...

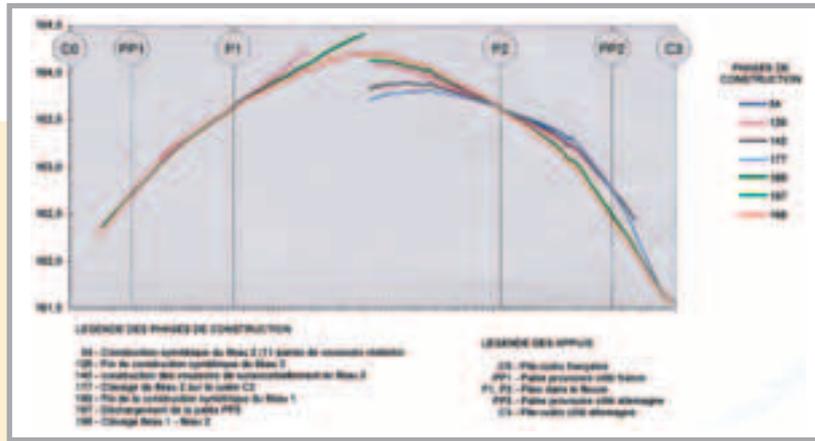


Figure 6
Schéma des contre-flèches de construction jusqu'au clavage central des fléaux
Diagram of construction camber up to central keying of the beams

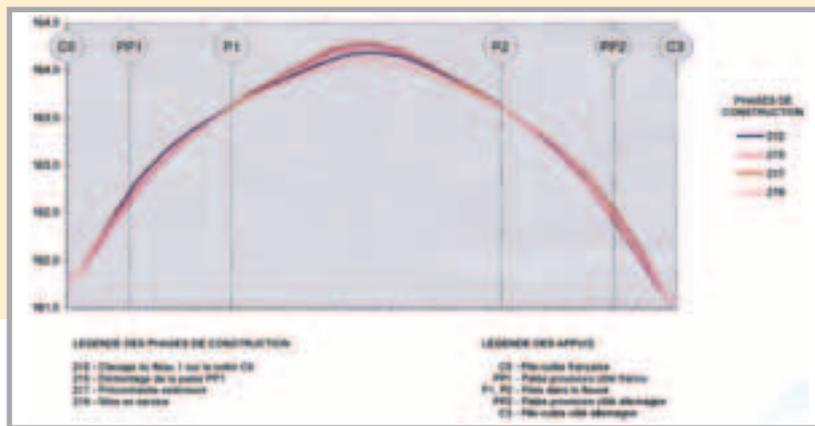


Figure 7
Schéma des contre-flèches de construction après clavage des fléaux
Diagram of construction camber after beam keying



Photo 26
Réglage altimétrique des fléaux (en vue d'obtenir leur parfait alignement avant clavage central) par action sur les vérins des palées provisoires
Height adjustment of beams (to obtain their perfect alignment before central keying) by actuating the jacks of the temporary bents

allemand, la travée de rive sur appuis définitifs présente une portée de 131 m alors que du côté français, la travée en appui provisoire sur la palée présente seulement une portée de 75,25 m). La correction a consisté à mettre en charge la palée provisoire du fléau allemand avec un effort de 100 tonnes. A l'issue du bétonnage, les mesures de pression d'huile des vérins de la palée ont permis de s'assurer que cette réaction s'annulait et qu'aucun effort parasite n'était enfermé dans la structure. L'ensemble des précautions prises a permis d'assurer le profil en long théorique dans le respect des tolérances prévues.

mier fléau aux environs de 50, 110, 150 et 190 m afin de s'assurer que le mode d'enfilage ne crée pas de surtension pour certains torons du fait de possibles croisements des torons ou défauts de rattrapage de mou (photo 27). Pour des questions de sécurité, les câbles testés sont dans un premier temps tendus d'un seul côté à 0,4 fois la force de rupture garantie et des pesées des torons sont réalisées sur l'ancrage opposé à l'aide d'un vérin monotoron, chaque toron étant déclaveté au cours de cette opération. Par extrapolation à la tension finale des résultats obtenus, ces mesures ont permis de s'assurer que pour la totalité des câbles testés – y compris pour les plus longs – les dispersions n'excédaient pas $\pm 8\%$ de la force initiale et que les torons n'étaient pas sollicités au-delà de la limite élastique.

Photo 27
Mise en tension
des câbles
de fléau unité
25T15
Tensioning
of beam cables,
25T15 unit



Mesures des coefficients de transmission

Le marché fixait un programme de mesures de coefficients de transmission concernant différentes unités mises en œuvre afin de s'assurer que la précontrainte effective soit cohérente et proche de celle prise en compte pour les calculs du tablier. Pour les câbles intérieurs de fléau, les coefficients réels se sont toujours avérés supérieurs aux coefficients théoriques avec des écarts pouvant dépasser 20 % dans le cas des câbles longs très peu déviés. Cet excès de précontrainte ayant tendance à relever le profil en long des fléaux, les notes de contre-flèches ont été corrigées en tenant compte des valeurs plus réalistes issues du chantier. Par contre, pour les câbles éclisses les coefficients de transmission sont juste vérifiés sans plus.

Protection des câbles de précontrainte extérieurs contre la corrosion

Comme cela fut déjà le cas pour le viaduc d'accès français, les câbles de précontrainte extérieurs sont injectés à la cire pétrolière.

Etudes des ouvrages provisoires

Les études ont été réalisées pour la plupart par les services Méthodes des entreprises du groupement pont sur le Rhin à l'exception des ouvrages suivants :

- ◆ embarcadères du bac : Fehr;
- ◆ déviateurs des bateaux : OHF;
- ◆ estacades d'accès : Janson Bridging France;
- ◆ équipages mobiles : Vito.

Le marché prévoyait le contrôle systématique des études des ouvrages provisoires par un organisme de contrôle externe. Ce contrôle a été réalisé par le bureau GBP pour les ouvrages provisoires (O.P.) conçus par le groupement, par le bureau Bilfinger SCT pour les O.P. conçus par des sous-traitants ou des fournisseurs.

MAISON DE L'INFORMATION : PLUS DE 45 000 VISITEURS ACCUEILLIS SUR LE CHANTIER

La maison de l'information, ouverte sur le site même des travaux, par la DDE du Bas-Rhin, a connu un vif succès tout au long du chantier.

Dans le cadre du partenariat passé avec l'ENSAIS, les permanences assurées chaque dimanche par les élèves ingénieurs du département Génie civil ont permis à un très large public de venir s'informer sur les objectifs de l'opération, les techniques de génie civil mises en œuvre, le déroulement des travaux et les métiers de la construction.

Après la journée portes-ouvertes du 25 mars 2001 au cours de laquelle plus de 7000 visiteurs ont pu découvrir les travaux, une première traversée à pieds du nouveau franchissement sera proposée au public des deux pays le 27 janvier 2002.

Par ailleurs, afin de limiter la fissuration du béton au jeune âge liée aux déformations des fléaux sous l'effet des variations de température d'une part, du gradient thermique d'autre part; le bétonnage est survenu très tôt le 20 novembre 2001 et deux paires de câbles éclisses (sur cinq) ont été tendues moins de 12 heures plus tard.

Les conditions climatiques quasi hivernales (amplitude thermique inférieure à 4 °C) de cette journée furent très favorables par rapport aux hypothèses prises en compte dans les calculs et aucune fissuration n'a été relevée.

Enfin, le vousoir de clavage a été instrumenté à l'aide de dix cordes vibrantes permettant de vérifier les redistributions d'efforts dans cette section sensible au cours des phases ultérieures de construction et pendant la durée de vie d'ouvrage.

Contrôle de la mise en œuvre de la précontrainte

Mesures de dispersion de tension entre les torons d'un même câble

Les torons sont enfilés de façon individuelle dans les gaines de précontrainte (chaque toron est poussé à l'aide d'une enfileuse automatique puis retiré sur environ un mètre afin d'éliminer le mou).

En raison de la longueur inhabituelle des câbles de fléau, des mesures de dispersion de tension entre torons ont été entreprises sur ces câbles du pre-

■ CALENDRIER - ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX À JANVIER 2002

Les structures en béton des tabliers du pont principal sur le fleuve et du viaduc d'accès allemand, qui ont démarré en début d'année 2001, se sont achevées à la veille des intempéries qui ont marqué l'hiver 2001-2002 (photos 28 et 29).

Le tablier du viaduc d'accès français est achevé depuis mi-2001, les équipements de cet ouvrage sont en voie de finition.

Au cours du premier semestre de l'année 2002 se dérouleront les travaux d'équipements et de finitions du pont principal sur le Rhin, du viaduc d'accès allemand ainsi que ceux des voiries d'accès depuis la rocade sud de Strasbourg côté France, depuis l'autoroute A5 côté Allemagne. La mise en service de la nouvelle liaison est prévue à l'automne 2002.

■ CONCLUSION

Fruit d'une longue et étroite coopération entre les services routiers français et allemands lors de la conception et de la mise au point du projet, puis entre les entrepreneurs des deux pays lors de sa réalisation, le *pont Pierre Pflimlin* achevé à l'aube du vingt et unième siècle, devrait figurer à une place honorable parmi les grands ouvrages du patrimoine des deux pays.

■ ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

[Guy Treffot] :

◆ Pont sur le Rhin entre Altenheim et Eschau. Les études hydrauliques sur modèle réduit physique des appuis dans le fleuve. *Ouvrages d'Art*, bulletin du Centre technique des ouvrages d'art du Service d'études techniques des routes et autoroutes, n° 32, juillet 1999, pages 10 à 16.

◆ Détection de fuites dans une digue par la méthode des mesures de températures. L'exemple du pont sur le Rhin entre Altenheim et Eschau. *Ouvrages d'Art*, bulletin du Centre technique des ouvrages d'art du Service d'études techniques des routes et autoroutes, n° 34, mai 2000, pages 3 à 6.

◆ Le projet du pont sur le Rhin entre Altenheim et Eschau. Les différentes solutions de tabliers métalliques envisagées et mises en concurrence lors des appels d'offres. *Les cahiers de l'Association pour la promotion de l'enseignement de la construction acier (A.P.K.)*, livraison n° 27 2001, pages 13 à 47.

[Alain Demare, Guy Treffot] :

◆ Le projet du second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg. *Travaux*, n° 760, janvier 2000, pages 50 à 61 (introduction François Bouchard).



Photo 28
Vue aérienne
depuis l'Allemagne.
Le pont principal est prêt
d'être achevé

**Aerial view from
the German end -
The main bridge
is nearing completion**



Photo 29
Viaduc d'accès
allemand - Réalisation
de la dernière
travée contiguë
au pont principal
(décembre 2001)

**German access viaduct
- Construction
of the last span
adjoining the main
bridge (December
2001)**

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

- République Française - Ministère de l'Équipement - Direction des Routes
- République Fédérale d'Allemagne - Land de Bade-Wurtemberg - Ministère des Transports et de l'Environnement (viaduc d'accès côté Allemagne uniquement).

Représentant des maîtres d'ouvrage pour la construction du pont principal franco-allemand sur le Rhin

DDE du Bas-Rhin

Maîtrise d'œuvre

DDE du Bas-Rhin - Service des Grands travaux

Assistances particulières à la maîtrise d'œuvre lors de la phase de réalisation des travaux :

Contrôle des études d'exécution des structures

- Setra (tablier du pont principal)
- SNCF/Coredia (appuis et fondations)
- Cete de l'Est (tablier du viaduc d'accès)

Mises au point architecturales

Philippe Fraleu, architecte

Contrôle extérieur des travaux - Laboratoire

LRPC Strasbourg

Contrôle équipements électriques

Setec

Contrôles topographiques

Cabinet Klopfenstein et Sonntag

Coordination sécurité et protection de la santé

OTE

Titulaire des marchés de travaux (pont principal et viaduc d'accès français)

Groupement d'entreprises Bilfinger + Berger et Max Früh

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Etudes d'exécution : Europe Etudes Gecti/Simecsol
- Travaux fluviaux : OHF
- Palplanches rive droite : Moebius
- Fourniture des palplanches : Arbed
- Terrassements : Kaiser
- Fondations : Grund und Phalbau
- Injection des pieux : Erkelenzer
- Précontrainte, joints de chaussées : Freyssinet
- Fabrication des bétons : Fehr
- Coffrages : Peri
- Fabrication des appareils d'appui : FIP
- Armatures passives : Ruhl (façonnage) - Ünlütürk (pose)
- Travaux topographiques : Kappis
- Contrôles externes béton : Solen - LEM
- Corniches, garde-corps : DR Equipement
- Equipements électriques : SDEL Alsace
- Béton bitumineux : Burger
- GBA : SGREG
- Étanchéité du tablier : Schubel (parties circulées) - Etandex (rives)

◆ Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg. Les études de faisabilité des bétons hautes performances. *Ouvrages d'Art*, bulletin du Centre technique des ouvrages d'art du Service d'études techniques des routes et autoroutes, n° 37, mars 2001, pages 16 à 21.

◆ Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg. Les travaux sont commencés. *Travaux*, n° 775, mai 2001, pages 42 à 54.

◆ Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg : Des piles et fondations profondes dans le fleuve pour résister aux séismes et aux chocs de bateaux. *Ouvrages d'Art*, bulletin du Centre technique des ouvrages d'art du Service d'études techniques des routes des autoroutes, n° 38, juin 2001, pages 19 à 27.

◆ Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg. La construction du tablier du viaduc d'accès français. *Travaux*, n° 779, octobre 2001, pages 34 à 43.

[Thierry Kretz] :

◆ "Le projet du pont d'Altenheim-Eschau sur le Rhin" - Les aciers thermomécaniques, une nouvelle génération d'aciers à hautes performances : documents scientifiques et techniques. Publication de l'Association française pour la construction et de l'Office technique pour l'utilisation de l'acier - Mai 1997 (pages 139 à 141).

* * * * *

La conception et la réalisation d'un ouvrage d'art résultent du long travail d'une équipe associant maîtrise d'œuvre, architecte, entrepreneurs, bureaux d'études et laboratoires.

Aussi, doivent être associés à la rédaction du présent article :

◆ tous les collaborateurs de la Subdivision Pont sur le Rhin de la DDE du Bas-Rhin;

◆ le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Strasbourg et notamment MM. Persy, Cochet, Launier et Boulet;

◆ la Division des grands ouvrages d'art du Setra et notamment MM. Virlogeux¹, Bouchon, Kretz², Le Faucheur, Legeron³ et M^{me} Pero;

◆ le Département ouvrages d'art du CETE de l'Est et notamment MM. Corfdir et Simon;

◆ le groupement d'entreprises Bilfinger + Berger et Max Früh et notamment MM. Dal, Blaschko et Lauck;

◆ Europe Etudes/Simecsol - Département grands ouvrages d'art et notamment MM. Vassord et Ello;

◆ le groupement SNCF/Coredia et notamment MM. Bousquet⁴, Commun et Richard;

◆ M. Fraleu, architecte;

◆ nos homologues allemands du Regierungspräsidium de Fribourg et du Strassenbauamt d'Offenbourg et plus particulièrement MM. Kindt, Wenzel, Graf, Hampp et Bohner;

◆ enfin, tous les compagnons des différentes entreprises et leurs chefs de chantier.

ABSTRACT

Second crossing over the Rhine south of Strasbourg
The large span above the river is completed

G. Treffot

The new crossing over the Rhine south of Strasbourg consists of a main bridge 460 metres long over the river. The deck of this structure made of B65 high-performance concrete includes a 205-metre central span above the navigation channel. The deck was built by successive cantilevering with segments of varying lengths. The edge spans were built entirely using mobile rigs by cantilevering, beyond temporary bents. The crossing is planned to be commissioned in the autumn of 2002.

RESUMEN ESPAÑOL

Segundo puente del Rin en el sur de Estrasburgo
El tramo principal por encima del río ha sido terminado

G. Treffot

El nuevo puente del Rin en el sur de Estrasburgo consta de un tramo principal sobre el río de una longitud de 460 m. El tablero de esta estructura se ha ejecutado mediante hormigones de elevadas prestaciones B65 y consta de un tramo central de 205 m por encima del canal de navegación. Este tablero se ha construido por voladas sucesivas, mediante dovelas de longitudes variables. Los tramos de las márgenes se han ejecutado en su totalidad por medio de equipos móviles, por voladizos importantes, más allá de las empalizadas provisionales. La entrada en servicio del puente ha sido proyectada para el otoño de 2002.

1) Aujourd'hui Consultant
2) Aujourd'hui au LCPC
3) Aujourd'hui à JMI
4) Aujourd'hui à Systra

Une nouvelle passerelle pour Tours

Jean-Marc Tanis
DIRECTEUR DÉPARTEMENT OAGC
Scetautoute

Alain Spielmann
ARCHITECTE

Faiz Belblidia
CHEF DU BUREAU D'ÉTUDES
DE SAINT-QUENTIN
Scetautoute

Christophe Outteryck
INGÉNIEUR EXPERT
Scetautoute

La passerelle suspendue sur le Cher à Tours permet de relier le quartier d'affaires des Deux Lions à une zone d'habitations.

L'ouvrage assure le franchissement en une seule portée de 235 ml pour 3 m de largeur.

L'originalité de cette passerelle est d'être suspendue à un câble unique central par des suspentes en V renversé, et d'être stabilisée par des câbles latéraux. L'ensemble repose sur des pylônes en V de 32 m de hauteur, inclinés à 72°.

NDLR : Cet article complète celui de Philippe Matière et Serge Lestrade publié dans *Travaux* n° 774 - Avril 2001

■ UN TRAIT D'UNION ENTRE DEUX QUARTIERS

Le franchissement du Cher à Tours est une opération qui s'inscrit dans le cadre de l'aménagement du nouveau quartier des Deux Lions voué à l'entreprise, l'habitat et l'enseignement et de celui des Rives du Cher.

La Ville de Tours a confié à la Société d'Équipement de la Touraine les missions de montage du financement et de conduite de l'opération.

■ L'APPROCHE - LE CONCEPT

La passerelle, conçue à l'issue d'un concours de conception, est un projet innovant au plan conceptuel. En effet il s'agit d'une structure suspendue par un seul câble porteur (composé de quatre câbles de 60 mm de diamètre) à des pylônes en \wedge de 32 m de hauteur et de 22 m d'ouverture, articulés en pied et inclinés à 72° et dont la stabilité est assurée par des câbles latéraux qui s'ancrent dans les massifs de fondation des pylônes.

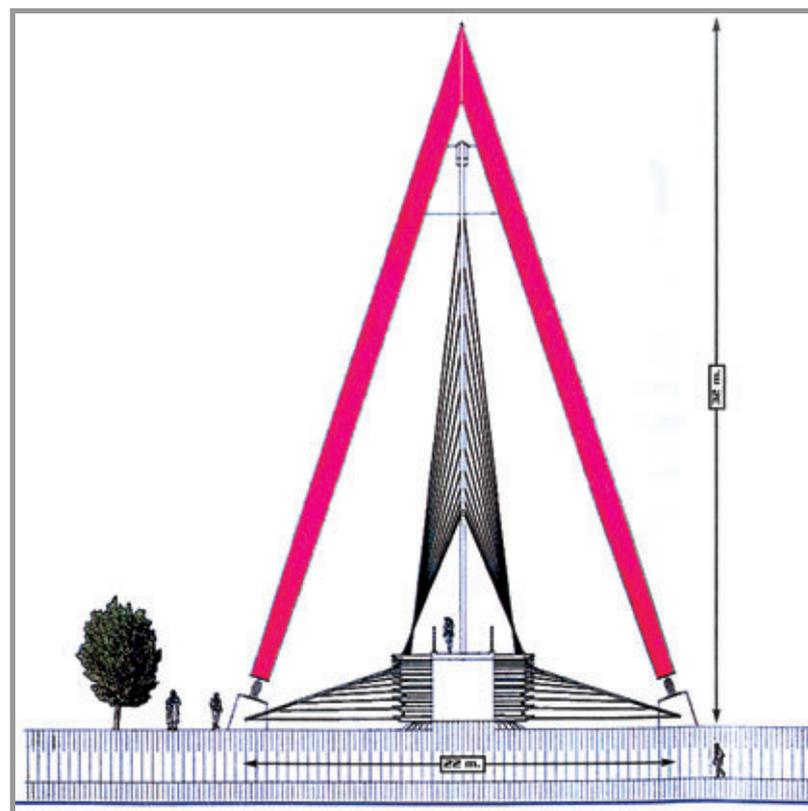
Cette solution est le résultat d'une analyse convergente des contraintes majeures du projet :

- ◆ contrainte économique particulièrement forte ;
- ◆ loi sur l'eau limitant à deux le nombre d'appuis en rivière ;
- ◆ délai extrêmement tendu.

Une grande partie de l'originalité architecturale et technique de la passerelle tient à sa finesse et à sa légèreté, qui résulte de la mise en œuvre d'un dispositif de suspension à un seul câble et de stabilisation par des câbles latéraux ou de revers.

Un belvédère offre en son milieu un point d'observation privilégié sur le site.

L'ouvrage présente une portée unique de 235 ml. Le souci du maître d'ouvrage a été d'obtenir un confort aux usagers de la passerelle en disposant un dispositif anti-glisser (résine chargée en corindon), des garde-corps surélevés et un éclairage de l'ouvrage.



Coupe transversale
Cross section

■ UN OUVRAGE D'ART ET DE TECHNIQUE

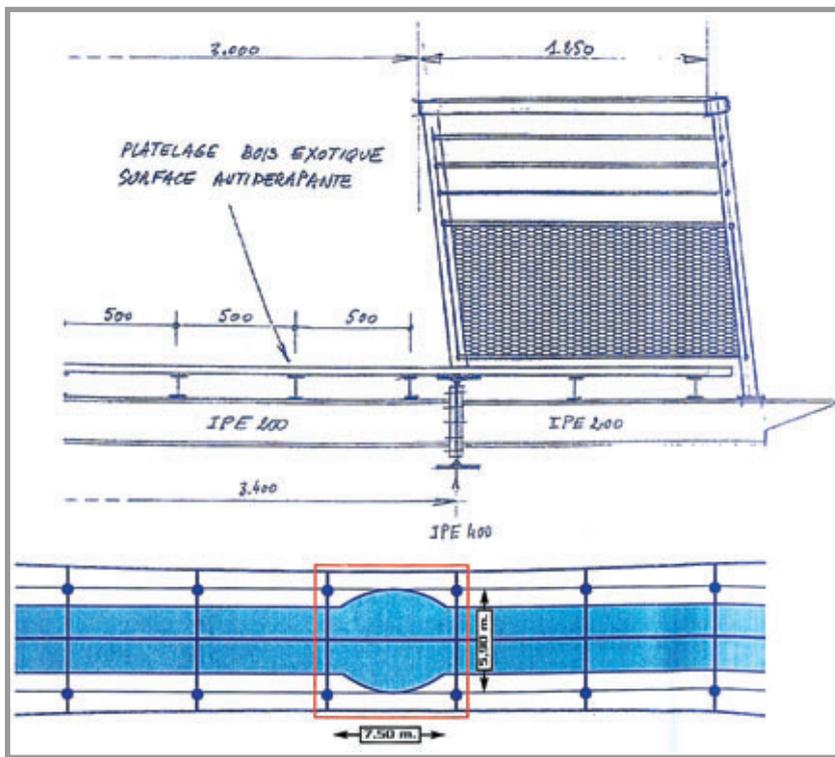
Faisant référence à une forte tradition de ponts suspendus avec câble de tête sur la Loire, la nouvelle passerelle élargit cette technologie sur le Cher en y adjoignant des câbles latéraux de stabilisation.

Les innovations qui la différencient cependant des autres ouvrages conçus sur ce type tiennent à son unique câble porteur et à sa stabilité horizontale renforcée par deux câbles latéraux.

Jouant des couleurs et matériaux de ses garde-corps galvanisés, mains courantes en bois et pylônes rouges, elle constitue, de jour comme de nuit, un signal dans le paysage grâce aux effets optiques dus à ses câbles et son subtil éclairage.

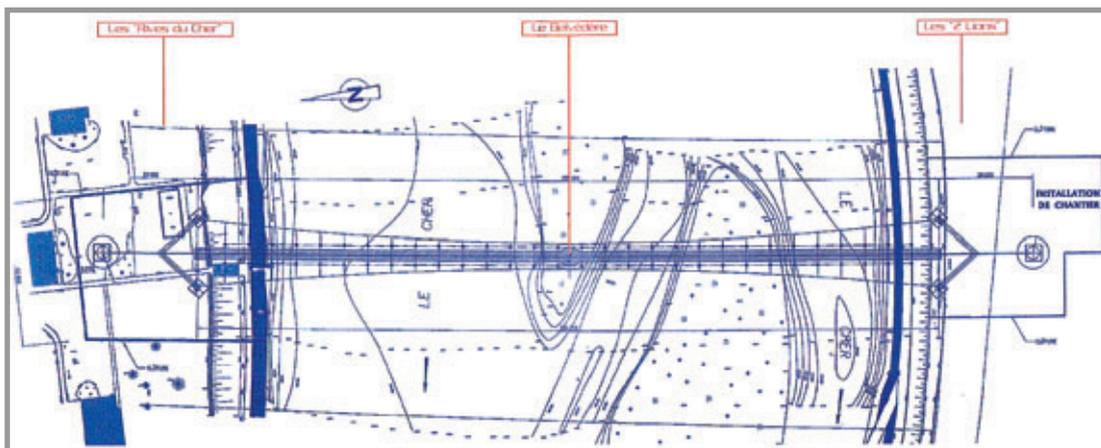
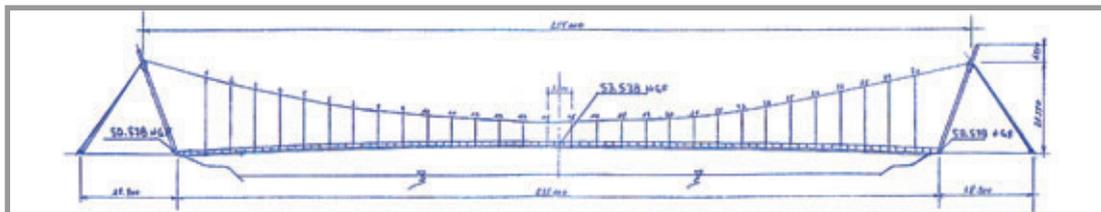
Demi-coupe du belvédère central

Half cross section of the central belvedere



Profil en long

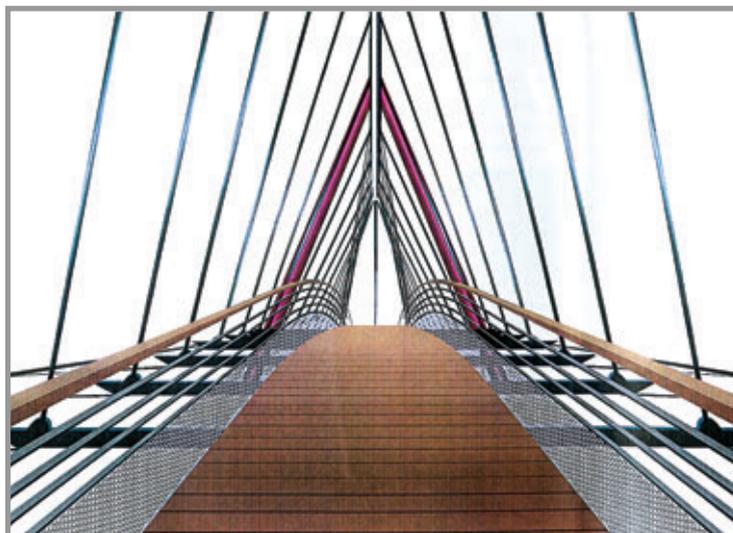
Longitudinal section



Vue en plan

Plan view

Un ouvrage d'art et de technique
A highly technical civil engineering structure



UN NOUVEAU POINT DE VUE SUR LES ÎLES

En son milieu, la passerelle s'élargit pour former un belvédère, halte suspendue entre ciel et eau, point d'observation unique sur l'ouvrage et les deux rives. Ce balcon sur les îles du Cher offrira un regard original sur ces terres restées à l'état naturel et sur la vie de la rivière au fil des saisons.

Ainsi, la nouvelle passerelle ne sera pas seulement lieu de passage, mais aussi lieu d'observation de la nature et de détente à l'écart du cheminement.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

L'ensemble des figures ci-contre précisent les principales caractéristiques de l'ouvrage.

LES FONDATIONS

L'ouvrage est fondé sur micropieux armés équipés d'un système d'injection constitué d'un tube à manchette mis en place dans un coulis de gaine. Au préalable il a été réalisé un micropieu d'essai sur le site afin de valider les hypothèses de calculs (photos 1, 2 et 3).

- ◆ 40 micropieux de 24 ml de long en tubes de \varnothing 139,7 et 114 et d'épaisseur 11 mm, dont quatre ont été nécessaires à la stabilité des pylônes durant le lancement des tronçons : 943,6 ml de micropieux ;

- ◆ 4 massifs béton par rive dont trois liaisons par une longrine transversale précontrainte. Un massif d'ancrage des câbles, un chevêtre sur lequel repose le tablier par l'intermédiaire des appareils d'appui, deux massifs d'ancrage des pylônes soit :
 - 120 m³ de béton,
 - 15,6 t d'aciers,
 - 174 m² de coffrage.

Photo 1
Vue sur les massifs des pylônes
View of tower foundations





Photo 2
Vue sur le massif d'ancrage arrière des câbles porteurs
View of foundation for suspension cable rear anchorage



Photo 3
Vue sur les micropieux des massifs des pylônes
View of tower foundation micropiles

■ LES PYLÔNES

Les pylônes, en \wedge fabriqués et peints en usine ont été acheminés par camions en trois parties, les deux tubes et l'entretoise pour chaque rive. Ces éléments ont été assemblés entre eux sur la rive gauche et sur la rive droite. A l'aide d'une grue mobile de 200 t, chaque pylône a été mis en place dans ses ancrages dans une position presque définitive et butonnés provisoirement pour le lancement des tronçons (photos 4, 5, 6 et 7) :

- ◆ 32 m de haut ;
- ◆ diamètre 812 mm ;
- ◆ épaisseur 20 mm ;
- ◆ 72° d'inclinaison ;
- ◆ liaison en tête des tubes par soudure ;
- ◆ 1 entretoise métallique en tête de pylône support de la selle de déviation ;
- ◆ les pylônes sont rotulés en pied par des axes D = 200 mm ;
- ◆ mouvement maximum des pylônes en tête de 50 mm ;
- ◆ 29,5 t d'acier/pylône.



Photo 4
Vue sur l'entretoise avant montage
View of the brace before assembly



Photos 5 et 6
Vue sur le pylône avant montage
View of the tower before assembly

■ LA SUSPENSION

La suspension est composée de quatre câbles porteurs regroupés en un faisceau central et de deux



Photo 7
Mise en place des pylônes
Setting up the towers

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Ville de Tours
 Société d'Équipement de la Touraine

Architecte

A. Spielmann

Concepteur - Maître d'œuvre

Scetauroute

Entrepreneurs

- Freyssinet
- Matière

Photo 8
Détails
de la suspension
Suspension
details



■ LE TABLIER

Le tablier est composé de deux poutres longitudinales IPE 400 et de poutrelles transversales IPE 200 (intérieures) et HEB 200 (consoles) peintes en usine et assemblées sur le site par tronçons de 22 m de longueur et de 6,5 t.

Ces tronçons sont mis en place à la grue sur des voies de roulement constitués de câbles provisoires depuis le quartier des "Deux Lions" puis lancés à leur position définitive. Les tronçons, équipés de suspentes provisoires, sont levés à l'aide de tirfors pour la mise en place des suspentes principales et latérales définitives. Les tronçons sont solidarisés par éclissage. Le dernier tronçon sur la rive gauche est positionné à la grue.

Le tablier est stabilisé par les câbles latéraux qui sont ancrés dans des massifs sur chaque rive.

Un réglage fin est réalisé avant les épreuves d'ouvrage.

- ◆ 10 tronçons de 22 ml ;
- ◆ 1 tronçon central de 11 ml recevant le belvédère ;
- ◆ 410 kg/ml de poids propre de tablier équipé ;
- ◆ 2 longerons de type IPE 400 ;
- ◆ des pièces de pont principales (HEB 200) et secondaires (IPE 200) de façon à réaliser une poutre échelle horizontale ;
- ◆ les pièces de pont principales sont espacées tous les 7,50 m comme les suspentes qui les soutiennent ;
- ◆ un platelage en bois exotique semblable à ceux utilisés habituellement sur les appontements des ports de plaisance. Réalisation d'un système anti-dérivant.

■ LES ÉQUIPEMENTS

Le platelage bois, réalisé à l'avancement depuis la rive droite, repose sur des cornières 60 x 60, est fixé par des vis auto-foreuses. L'essence du bois retenue est l'Angelim Vermelho en provenance du Brésil. Un traitement anti-glissement à la résine complété par une charge de corindon apporte confort et sécurité aux usagers.

Le garde-corps, incliné vers l'intérieur, est galvanisé et peint au four puis acheminé sur le site.

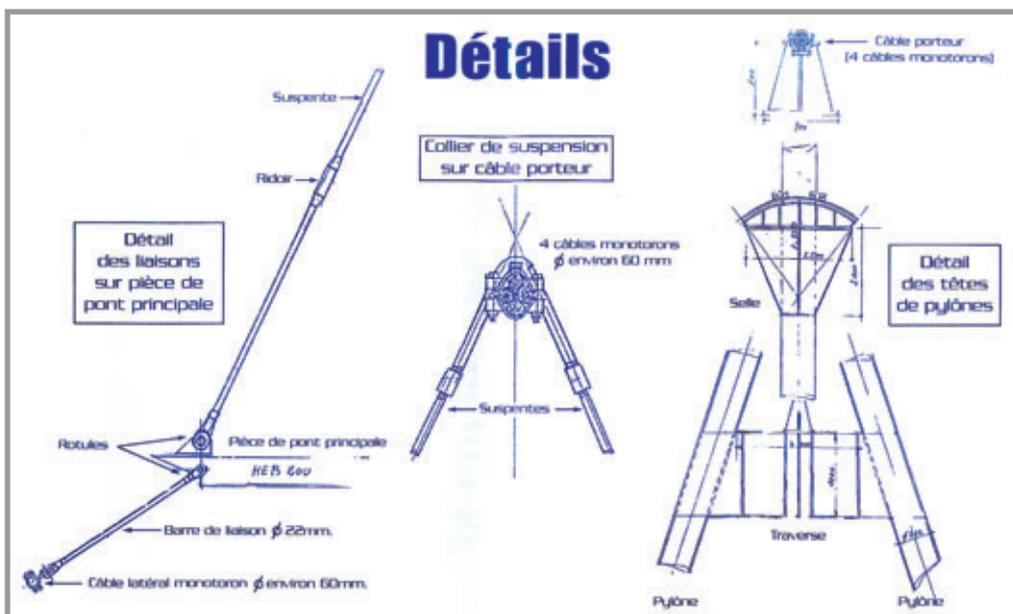
L'éclairage est assuré par des spots sur chaque console.

■ LA CONSTRUCTION

Mise en place du câble principal

Un toron T15 est lancé d'une rive à l'autre et relie les têtes de pylônes avec une flèche de 16 m.

Trois autres torons T15 sont alors installés et permettent, pour les interventions sur les câbles et



Détails

Detail views



câbles latéraux paraboliques (photo 8).

- ◆ 4 câbles porteurs $D = 60$ mm galvanisés, $S = 2238$ mm - Classe 1770 MPa ;
- ◆ 2 câbles latéraux galvanisés de mêmes caractéristiques que les câbles porteurs ;
- ◆ 30 suspentes en câble toronné galvanisé $D = 20$ mm, $S = 185$ mm - Classe 1760 MPa ;
- ◆ Réglage de la longueur des suspentes par des ridoirs à sertir course 220 mm ;
- ◆ 2 barres d'ancrage type Macalloy AT M64 $D = 59$ mm par câble porteur dans le massif de retenue.

les suspentes, la mise en place d'une nacelle volante autonome. Celle-ci est tractée par un tyrack et télécommandée. Un groupe électrogène embarqué permet la montée ou la descente de la nacelle.

Approvisionnés par des dévidoirs à freins hydrauliques, les quatre câbles – constituant le câble principal – de 60 mm de diamètre et 320 m de long sont tirés par un treuil de 3 t depuis la rive opposée.

Un système constitué de rouleaux et de palans permet de faire passer le culot sur la selle en tête de pylône. Trente colliers espacés de 7,5 m liasonnent le câble porteur.

Lancement du tablier

Pour le lancement du tablier, deux groupes de câbles, comprenant six torons, sont tendus à 10 t entre les massifs d'ancrage des câbles porteurs. Au préalable, le tablier est assemblé par tronçons de 20 m, les éléments sont grutés sur l'aire de lancement, constituée de fer U et de patins marcheurs. Un dispositif de roues hydrauliques est boulonné sur la culée, permettant le basculement des éléments sur les torons. Les patins à peignes graissés, interposés entre la charpente du tablier et les torons, assurent le glissement. Depuis la rive opposée, un treuil d'une capacité de 3 t permet son acheminement, tandis qu'un treuil de retenue de 2 t est positionné sur l'aire de lancement.

Pendant le lancement, l'ouvrage présente à l'axe une flèche de 4 m sur les torons ; une fois l'élément arrivé en place, quatre tirfors hydrauliques, installés sur le tablier et repris sur le câble porteur, permettent de hisser l'élément à sa position géométrique. Les suspentes définitives sont alors installées et assurent le transfert des charges. A l'axe de l'ouvrage, la levée représente une hauteur de 9 m formant ainsi un véritable tremplin ; la pente originale de l'ouvrage (3 %) est réalisée au cours du lancement des autres éléments. Les onze tronçons métalliques de 20 m de long environ, préfabriqués en usines, sont ainsi successivement tirés et assemblés.

Le platelage est vissé au fur et à mesure de la construction du tablier. Il se constitue de planches de 3,1 m de long, de 0,14 m de large et de 0,03 m d'épaisseur, en bois exotique Angelin-Vermelho, avec un profil "anti-vertige" et un revêtement antidérapant ; parallèlement, les garde-corps – laqués au four avec une main courante en bois Angelin-Vermelho – ainsi que l'éclairage sont fixés au tablier.

Les travaux s'achèvent par la mise en place des deux câbles latéraux définitifs, lancés depuis la rive pour assurer à la passerelle une parfaite stabilité transversale. Pour ces câbles excentrés au-dessus du Cher, le serrage des colliers latéraux et des suspentes est effectué par une équipe de cordistes.

ABSTRACT

A new foot bridge for Tours

J.-M. Tanis, A. Spielmann, F. Belblidia, Ch. Outteryck

The suspended foot bridge over the Cher River at Tours links the "Deux Lions" business district to a residential area.

The structure provides a crossing with a single span 235 metres long and 3 metres wide.

The original feature of this foot bridge is that it is suspended from a single central cable by inverted-V suspenders, and is stabilised by lateral cables. The assembly rests on V towers 32 metres high, inclined at 72°.

RESUMEN ESPAÑOL

Nueva pasarela para la ciudad de Tours

J.-M. Tanis, A. Spielmann, F. Belblidia y Ch. Outteryck

La pasarela colgante que atraviesa el río Cher en la ciudad de Tours permite poner en comunicación la barriada comercial de Les Deux Lions, con una zona de viviendas de la villa.

La estructura permite el franqueo en un solo tiro de 235 m de longitud y 3 metros de anchura.

La originalidad de esta pasarela consiste en estar suspendida de un cable único central, y cables de suspensión en V invertida, y estabilizada por cables laterales. El conjunto toma apoyo sobre pilares en V de 32 m de altura, inclinados a 72°.

LES DATES PRINCIPALES

- Concours architectural : janvier 1999
- Remise d'une esquisse : mars 1999
- Marché maîtrise d'œuvre : août 1999
- Remise des offres des entreprises : 1^{re} remise : octobre 1999 - 2^e remise : novembre 1999

Choix du groupement

- Freyssinet - Matière : 20 décembre 1999
- O.S de démarrage des travaux : 24 décembre 1999
- Fin des travaux : 2 février 2001

Le pont de Long-Bien

Le pont de Long Bien, ancien pont Paul Doumer qui franchit le fleuve Rouge à Hanoï est un témoin de l'histoire. Ouvrage métallique Cantilever construit entre 1899 et 1902 pour assurer le passage de la ligne de chemin de fer de Hanoï à la frontière chinoise, il a subi de nombreux bombardements pendant la guerre américano-vietnamienne.

Il réclame aujourd'hui un examen très approfondi avant que soient décidés des travaux à effectuer qui dépendent également de la fonction que les autorités vietnamiennes veulent donner à l'ouvrage.

■ INTRODUCTION

Le pont de Long-Bien sur le fleuve Rouge à Hanoï fait partie du patrimoine mondial de l'ingénieur – bien qu'il ne soit ni le plus grand, ni le plus majestueux des ouvrages de son type – il a aussi pour beaucoup, vietnamiens et français, une valeur sentimentale certaine (photo 1).

L'association Patrimoine sans Frontière lui a, avec raison, consacré une place de choix lors du colloque sur le patrimoine international que constituent les ponts métalliques et qu'elle a tenu à Paris

Rouge avec Haiphong et le nord du golfe du Tonkin (figure 1).

Le premier document qu'on a pu retrouver est un mémoire signé de M. Bricks, inspecteur général des travaux publics des colonies, paru dans les annales des Ponts et Chaussées du troisième trimestre 1898, c'est-à-dire un an avant la mise en chantier de l'ouvrage. Celui-ci ne porte pas encore de nom et est simplement appelé "Pont de 1680 mètres d'ouverture sur le fleuve Rouge" et il est, dit le texte, destiné à livrer passage, au-dessus du fleuve Rouge, à la ligne de chemin de fer allant de Hanoï à la frontière de la Chine (photos 2 et 3).

Le pont fut construit entre 1899 et 1902 par la société parisienne Daydé et Pillé aujourd'hui disparue mais dont certains se souviennent encore. Il prit plus tard le nom de Paul Doumer du nom de celui qui avait été gouverneur général de l'Indochine au cours de sa construction. Il figure sous ce nom dans le cours de Construction métallique de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées au chapitre des poutres à travées solidaires à poutres discontinues ou "cantilever" auprès du pont de Passy, du pont sur le Gange à Calcutta et du pont de Queensferry sur le bras de mer du Firth of forth, près d'Edimbourg. Il fut élargi en 1922 pour permettre le trafic ferroviaire et routier.

En 1954 il voit passer les troupes françaises vaincues par le Viet-Minh et en route pour Haiphong. Pendant la guerre américaine (1965-1973), toujours pont de chemin de fer, il est fréquemment bombardé par l'aviation américaine, toujours sous le nom de Paul Doumer. Plusieurs fois atteint les travées détruites sont remplacées par des travées provisoires d'origine chinoise.

Aujourd'hui simplement nommé pont de Long-Bien, il supporte une voie ferrée unique et deux passages destinés aux piétons et aux cyclistes exclusivement (depuis 1985). Il constitue pour les Vietnamiens un symbole de la résistance.

■ DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Dans son état initial, il s'agit d'un ouvrage métallique cantilever de 19 travées et d'une longueur totale de 1682 m d'axe en axe des appuis extrêmes. Il comporte deux travées extrêmes de 78,70 m et neuf travées de 70 m alternées avec huit travées de 106,20 m. Les travées de 75 m sont prolongées de chaque côté par des porte-à-faux de 27,50 m sur lesquels s'appuient une petite travée de 51,20 m. Il est en palier à l'exception de deux petites travées



Photo 1
Le pont de Long-Bien
aujourd'hui
*The Long-Bien Bridge
today*

Figure 1
La carte du Vietnam
Map of Vietnam



les 12 et 13 octobre 2001. Pourtant la documentation sur cet ouvrage est relativement restreinte et les recherches sur le *net*, préliminaire maintenant obligé à toute étude, conduisent essentiellement à des récits de guerre d'anciens aviateurs américains ainsi qu'à une brève indication dans un site consacré à Paul Doumer. On s'efforcera donc dans les lignes qui suivent de faire une synthèse des renseignements qu'on a pu glaner lors et à propos d'une mission d'évaluation dont Jean-Pierre Dufay, Roger Franck, Jean Piccardi et moi-même avions été chargés.

■ UN PEU D'HISTOIRE

Le fleuve Rouge est, après le Mékong, le deuxième grand fleuve du Vietnam. Descendant du Yunnan, il entre au Vietnam à Lao Cai et après avoir serpenté sur plus de 1000 km vient mourir dans la baie de Ha-Long. A la tête de son delta se situe la ville de Hanoï. Fondée par les Chinois au III^e siècle, celle-ci fut la capitale du Tonkin sous autorité chinoise jusqu'au X^e siècle puis capitale royale vietnamienne jusqu'en 1802. Elle est aujourd'hui la capitale de la République populaire du Vietnam. Le pont de Long-Bien relie la ville ancienne qui s'est cantonnée jusqu'au XIX^e siècle au sud du fleuve

au Vietnam

Philippe Léger



CHARGÉ DE LA MISSION
DES AFFAIRES
INTERNATIONALES
Direction des Routes

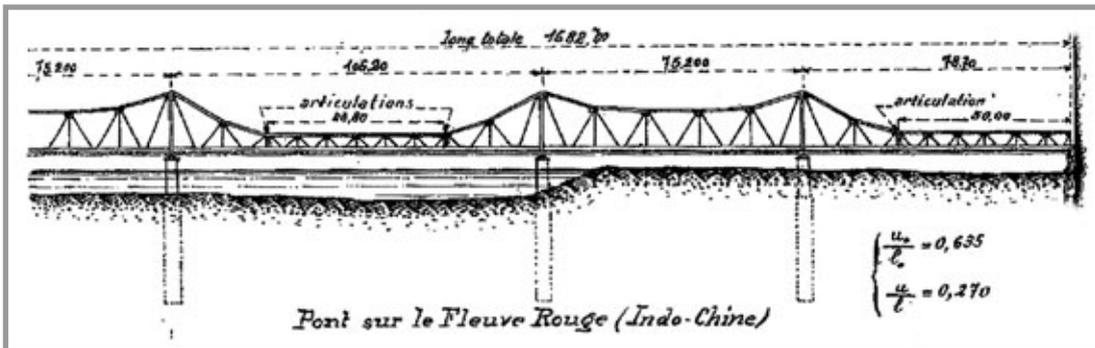


Figure 2
Extrait du cours
de M. Grelot à l'ENPC
Excerpt from the lecture
by M. Grelot at ENPC

extrêmes de 51,20 m qui ont une pente de 5 pour mille (figure 2).

Les dix-huit piles sont fondées sur des caissons métalliques descendus à l'air comprimé à la cote -30,00 puis remplis de maçonnerie de béton à l'exception d'un puisard qui permettait également de diminuer la charge sur le sol et qui fut ensuite fermé par une voûte. Le fût de la pile s'appuie sur la fondation par l'intermédiaire d'un lit de gros moellons destiné à répartir uniformément les charges. La distance d'axe en axe de deux poutres latérales est de 4,75 m et il existe en dehors de ces poutres, de chaque côté, un trottoir de 1,30 m de largeur libre bordé par un garde-corps de 1 m de hauteur. L'intervention de 1922 a consisté essentiellement en un élargissement des encorbellements qui ont été portés à 3,84 m (figure 3).

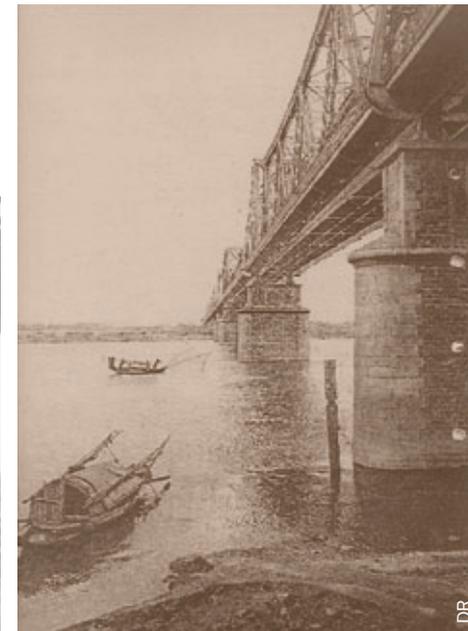
Les bombardements américains ont conduit à remplacer plusieurs travées de l'ouvrage par des travées isostatiques d'origine chinoise supportées par des fondations tout aussi provisoires.

■ LA SITUATION ACTUELLE DE L'OUVRAGE

Aujourd'hui l'ouvrage supporte une voie ferrée unique et deux passages destinés aux piétons et aux cyclistes exclusivement. Cette voie ferrée constitue le chemin le plus court reliant la gare centrale de Hanoï à l'ensemble du pays, à l'exception de la ligne nord-sud vers Ho Chi Minh Ville. Le trafic supporté est faible (40 % de l'ensemble du trafic voyageurs, soit 28 trains par jour dans chaque sens). Le trafic de piétons et de cyclistes est considérable. L'ouvrage est suivi et entretenu par la Compagnie nationale des Chemins de Fer. Des réparations plus ou moins localisées, allant du changement de travée isostatique au remplacement d'éléments de contreventement montrent que l'ouvrage continue à se détériorer. On peut d'ailleurs craindre que cer-

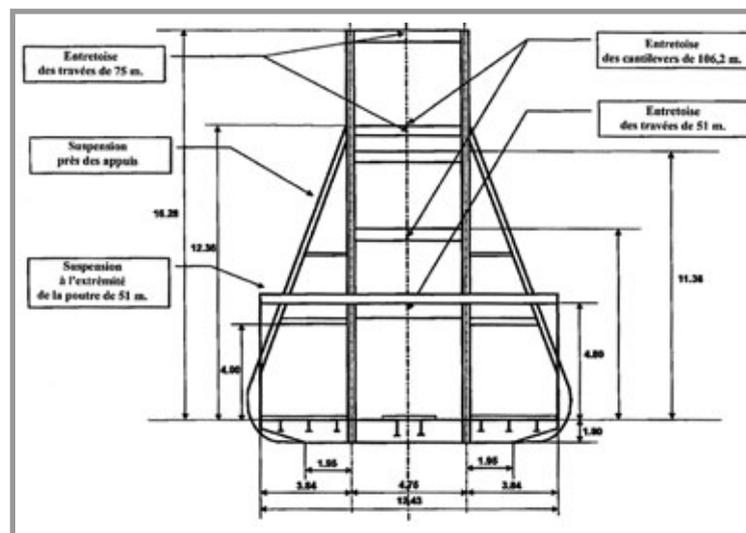


DR



DR

Photos 2 et 3
Le pont de Long-Bien
après sa construction
*The Long-Bien Bridge
after its construction*



DR

Figure 3
Coupe transversale
de l'ouvrage
*Cross section
of the structure*

taines de ces réparations effectuées au coup par coup viennent à perturber le schéma statique de l'ouvrage sans que celui-ci soit contrôlé. Il en est de même pour certaines piles rajoutées, dont il est difficile d'apprécier immédiatement l'influence sur le comportement général du pont. Enfin les corrosions que l'on peut observer, très diversement réparties et parfois très localisées, peuvent laisser supposer l'existence d'autres dégradations cachées.

Photo 4
Cyclistes
sur le pont
Cyclists
on the bridge



bue à cette "touche" française tant appréciée de touristes.

Elles dépendent donc du rôle que les autorités vietnamiennes veulent voir jouer à la gare centrale, en lui gardant le rôle que son nom appelle, ou en déplaçant vers le nord le nœud ferroviaire principal. La première option conduirait à créer une liaison ferroviaire lourde passant en ville quels que soient les problèmes sociaux environnementaux et patrimoniaux que cela pose, et ils risquent d'être particulièrement lourds. La seconde option refusant la coupure urbaine forte que constituerait une infrastructure lourde prenant mieux en compte les préoccupations non directement économiques chercherait à préserver le caractère particulier propre à Hanoï (photos 4 et 5).

Il semble qu'aujourd'hui les autorités s'orientent vers une solution préservant effectivement le tissu de la ville ancienne et en ne laissant au pont de Long-Bien qu'une fonction de transport public urbain léger et de trafic piétonnier.

■ LA RÉHABILITATION DE L'OUVRAGE

Il s'agit là encore d'un devenir très incertain encore que l'orientation indiquée plus haut des autorités vietnamiennes et la participation française aux

▶ **■ LE PONT DANS LA VILLE**

Les décisions qui pourront être prises quant à la réparation et les modifications de l'ouvrage, ne pourront l'être sans une réflexion urbanistique; en effet le pont, ses accès, la gare centrale et la ville ancienne constituent un ensemble cohérent en matière d'urbanisme et de patrimoine.

Le pont, fréquemment cité dans les guides, contri-



Photo 6
Le pont aujourd'hui
The bridge today



Photo 5
Les abords du pont
The approaches to the bridge

études préliminaires de faisabilité, qui ont fait l'objet d'un accord lors de la récente visite de M. Gaysot, ministre de l'Équipement, des Transports et du Logement au Vietnam, permettent déjà de tracer des pistes.

Car c'est bien d'étude de faisabilité dont il s'agit maintenant, compte tenu de l'incertitude qui règne sur l'état de l'ouvrage, ainsi qu'il a déjà été dit plus haut. Il faut, dans un délai rapide, que soit réalisé un examen détaillé de l'ouvrage (structure piles et fondations). Seuls les résultats de cet examen pourront permettre d'évaluer le niveau de sécurité dans lequel se trouve l'ouvrage sous ses charges actuelles, de les limiter éventuellement et de fonder raisonnablement des scénarios d'utilisation future. En particulier l'état des fondations originelles dont on a vu la robustesse de la construction, mais qui ont pu souffrir plus qu'il n'apparaît des bombardements, et celui des fondations des travées de fortune, forcément beaucoup plus rustiques doit faire l'objet d'un examen très attentif.

Ce n'est qu'après cet examen qui devrait se dérouler au cours de la prochaine année que les autorités vietnamiennes pourront prendre leur décision et que pourront être prises en compte les propositions déjà faites par certaines de nos entreprises.

■ CONCLUSION

Le pont de Long-Bien est un ouvrage qui dit l'Histoire encore plus que la technique. Il est de ce fait un objet essentiel du patrimoine. Malgré ce que l'on a coutume d'appeler les vicissitudes de l'Histoire, et elles furent particulièrement nombreuses dans son cas, il reste toujours vivant et sa vue depuis le fleuve Rouge est d'une beauté tranquille, malgré les destructions de la guerre et les travées chinoises (dans tous les pays le provisoire dure!) qui lui donnent une allure de vieux combattant maintenant serein (photo 6).

Son affectation future semble maintenant connue, dans peu de temps on aura à disposition une analyse plus complète de son état. Il restera alors à le réhabiliter dans un état proche de celui qu'il avait dans les années 1930. Mais cela, comme aurait dit Kipling, c'est une autre histoire, que d'autres pourront écrire.

ABSTRACT

Long-Bien Bridge in Vietnam

Ph. Léger

Long Bien Bridge, formerly called Paul Doumer Bridge, which crosses the Red River in Hanoi, is a witness to history. A cantilever steel structure built between 1899 and 1902 to be crossed by the railway line from Hanoi to the Chinese border, it suffered extensive bombardment during the US Vietnam War. It now requires a very thorough examination before deciding on the work to be performed, which also depends on the purpose for which the Vietnamese authorities intend to use the structure.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente de Long-Bien, en Vietnam

Ph. Léger

El puente de Long Bien, antiguo puente Paul Doumer, que salva el río Rojo en Hanoi constituye un testigo de la historia. Estructura metálica en cantilever, construida entre 1899 y 1902 para permitir el paso de la línea ferroviaria de Hanoi a la frontera china, fue objeto de numerosos bombardeos durante la guerra US-Vietnam. En la actualidad, precisa un examen sumamente importante, antes de que se tomen las decisiones en cuanto a las obras que se trata de efectuar, que dependen también del cometido que las autoridades vietnamitas desean impartir a esta estructura.

Matériels et matériaux des tunnels et ouvrages

■ TUNNEL TGV DU GROENE HART : LE PLUS GRAND TUNNELIER DU MONDE ALIMENTÉ PAR DES TRAINS SUR PNEUS ADVENS TYPE TSP 90

La société Advens, située à Montceau-les-Mines, vient de réaliser et de mettre en service sur site le premier des huit trains sur pneus TSP 90, destinés au chantier du tunnel TGV de Groene Hart (le "cœur vert" en néerlandais).

Les trains sur pneus Advens TSP 90 sont destinés à transporter : les voussoirs, les éléments de galerie, les trémies agitatrices de mortier de bourrage, les trémies sable ciment, les toupies de béton etc. :

- ◆ poids total à vide : 40 t ;
 - ◆ charge nominale : 90 t ;
 - ◆ poids total en charge : 130 t ;
 - ◆ vitesse : 15 km/h.
- Chaque train est composé de trois unités :
 - ◆ unité remorque, groupe de puissance - Cabine ;
 - ◆ unité remorque ;
 - ◆ unité remorque cabine.
- Moteur thermique turbo-diesel (six cylindres) 330 kW.
- Pot catalytique avec filtres à particules.

Transmission hydrostatique, multitraction (toutes les roues motrices).

Freinage dynamique contrôlé avec système anti-patinage.

Suspension hydraulique indépendante sur chaque roue.

Chaque essieu est directeur, ce qui permet une très grande souplesse de trajectoires.

Dispositif d'aide à la conduite, suivi de trajectoire dans les passages spécifiques.

Chaque châssis est polyvalent, il peut recevoir les supports des différents matériels à transporter.

Un automate programmable gère l'ensemble des fonctions.

Une cabine à chaque extrémité du TSP permet la conduite dans les deux sens de marche, elle est montée sur suspensions élastiques.

→ Contact : Fr. Valin - Advens

Tél. : +33 (0) 3 85 57 41 23

Fax : +33 (0) 3 85 57 16 23

e-mail : francois.valin@wanadoo.fr

■ NOUVEAUX BOULONS ATLAS COPCO

Atlas Copco introduit de nouveaux produits dans la gamme "rock reinforcement" :

- ◆ nouvelle gamme de boulons Swellex ;
- ◆ nouveaux boulons SDR.

Nouvelle gamme de boulons Swellex

La nouvelle gamme prend ainsi l'appellation Mn pour Manganèse, les nouveaux boulons intégrant ce composant dans l'acier ce qui améliore les caractéristiques des boulons.

Ainsi le boulon standard EXL devient le Mn12 (pour 120 kN), le boulon Midi (120 kN) devient Mn16 (pour 160 kN) et le boulon Super (200 kN) devient Mn 24 (pour 240 kN). Les caractéristiques évoluent ainsi non seulement en résistance mais aussi en capacité d'élongation.

La figure ci-après indique l'évolution des caractéristiques du Midi Swellex, actuellement Mn16 dans la nouvelle gamme :

On constate ainsi :

- ◆ une augmentation de 33 % de la résistance du boulon ;
- ◆ une capacité d'élongation augmentée de 50 % ;
- ◆ au final WI qui augmente de 100 % (correspond à l'augmentation de la surface du diagramme charge/élongation).

La nouvelle gamme est proposée depuis janvier 2002 et certains chantiers comme celui du tunnel de Soumagne utilisent déjà les produits de la nouvelle gamme.

Nouveaux boulons SDR

De nos jours, de plus en plus de tunnels sont excavés dans des roches tendres. Dans ce type de configuration, le besoin d'un soutènement immédiat est particulièrement important. Dans le cas où l'on peut forer mais où, compte tenu de la nature de la roche, la qualité du trou foré ne permet pas une installation correcte du boulon, on peut utiliser le nouveau boulon SDR Atlas Copco.

On notera qu'outre le boulonnage radial on peut aussi réaliser de la voûte parapluie ou du confortement de front.

Le schéma ci-après permet de bien comprendre les différentes fonctions évoluant à côté du boulon SDR.

Ensuite commence l'environnement SDR avec l'as-



Trains sur pneus Advens TSP 90

pour la construction d'art



Evolution des caractéristiques du Midi Swellex

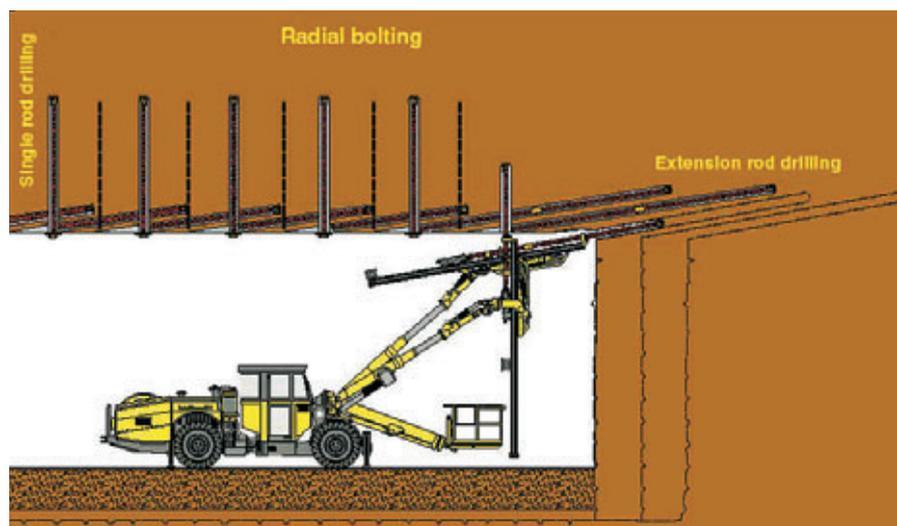
semblage des tiges filetées en diamètre R32, R38, les manchons de connections puis ensuite le taillant, celui-ci étant adapté au type de roche (taillant croix ou de forme à boutons dans le cas de roches dures). Le montage final comprend une plaque acier avec un écrou. Des injections sont ensuite possibles au moyen d'un dispositif spécial.

L'utilisation de ces boulons est particulièrement facile avec la gamme de Boomer Atlas Copco :

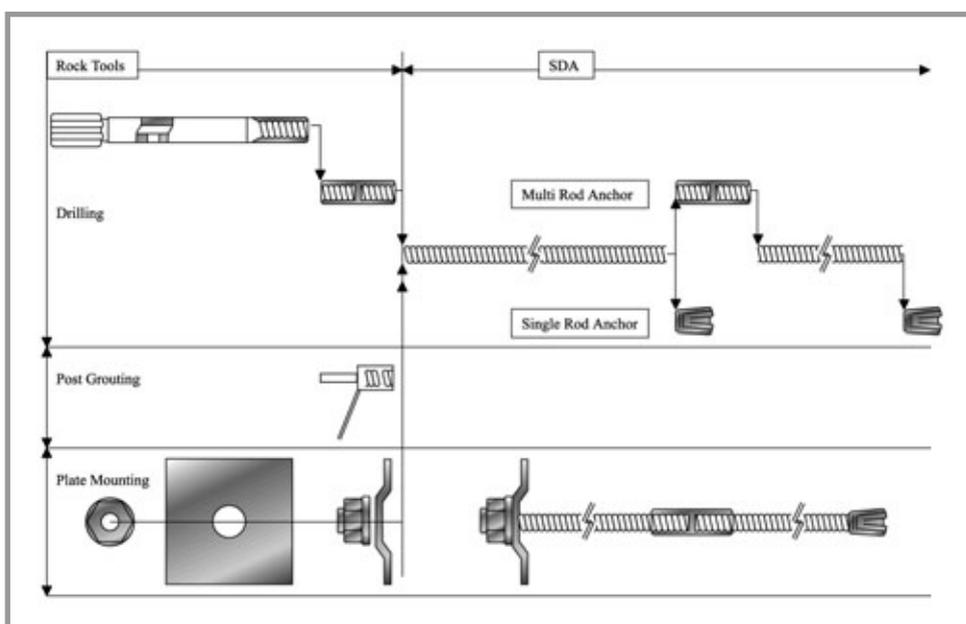
- ◆ utilisation des filetages standards R32 et R38 ;
- ◆ utilisation du système d'étau BSH pour un maintien parfait lors du manchonnage.

→ Contact : Benoît Etienne - **Atlas Copco**

Tél. : +33 (0) 1 39 09 32 24



Principes des nouveaux boulons SDR



Les différentes fonctions évoluant à côté du boulon SDR

► ■ **CERACEM**

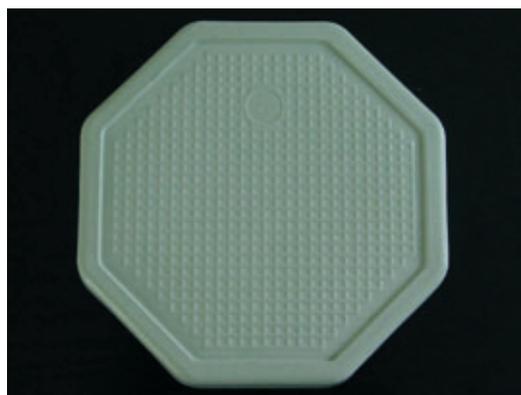
Sika et Eiffage Construction viennent de signer un accord pour le développement et la commercialisation de nouveaux matériaux issus de la technologie B.S.I., les Ceracem, céramiques de ciment coulables à froid caractérisées par de très hautes résistances mécaniques, une compacité élevée et une insensibilité à la corrosion.

Matériaux inorganiques, les Ceracem utilisent des techniques de fabrication très proches de celles des céramiques industrielles pour en posséder des propriétés comparables :

- ◆ très hautes résistances mécaniques (résistance à la compression égale à 200 MPa);
- ◆ hautes résistances à court terme (24 heures);
- ◆ compacité très élevée assurant une imperméabilité totale;
- ◆ haute durabilité et insensibilité à la corrosion;
- ◆ aspect esthétique lié à la finesse, à la précision du moulage et à la coloration dans la masse.



Exemples de moulages avec CERACEM



Déjà déclinés en différents produits, en fonction des propriétés mécaniques et de l'aspect esthétique recherchés, les Ceracem se mettent en œuvre par coulage à froid sans traitement thermique ni aucune autre action extérieure.

Après durcissement, il peuvent être usinés comme l'acier.

Grâce à leurs hautes qualités ces nouveaux matériaux disposent d'une importante souplesse d'utilisation autorisant un large domaine d'emploi :

- ◆ sur le secteur de la construction, les Ceracem offrent une grande liberté de conception aux maîtres d'œuvre : allègement des pièces et des structures, éléments esthétiques et architectoniques en pré-fabrication ou sur chantier;
- ◆ dans le domaine de l'industrie, les Ceracem apportent un souffle nouveau au design industriel en recherche permanente de nouveaux matériaux, pour remplacer ou s'associer avec des métaux ou des matières plastiques.

→ **Contact : Sika**

Tél. : +33 (0) 1 49 92 80 00

Fax : +33 (0) 1 49 92 80 98

e-mail : sikainfo@sika.fr

■ **DE NOUVEAUX ACIERS POUR LES OUVRAGES D'ART**

Le viaduc de Millau dont les premiers travaux viennent de démarrer sera certes un ouvrage exceptionnel par la grande hauteur des piles atteignant 245 m en bordure du Tarn. Mais il sera aussi une vitrine pour la construction métallique car c'est l'un des premiers ponts à haubans à tablier et pylônes entièrement en acier depuis le pont de Saint-Nazaire en 1975.

En effet, il est traditionnel en France de construire des ponts à haubans, quelle que soit la nature du tablier, avec des pylônes en béton, même si souvent ceux-ci comportent en tête une structure métallique pour les pièces d'ancrage. C'est le meilleur moyen pour garantir la précision de ces points d'ancrage. Quant au tablier constitué d'un caisson fermé à dalle orthotrope, la fabrication se fera par assemblage sur le site, des panneaux raidis provenant des usines. Ces rabotages des panneaux et des tronçons de tablier représentent d'importantes opérations de soudage au chantier. Les aciers particuliers utilisés permettront de diminuer sensiblement le coût et délai de ces travaux.

En effet, la sidérurgie offre aujourd'hui une gamme étendue d'acier utilisable dans les ouvrages d'art métalliques. A ce jour, les aciers de construction classiques non alliés en nuances S235 et S355 sont les produits les plus souvent utilisés dans la construction métallique et c'est la nuance S355 qui est particulièrement utilisé dans la construction des ponts.

C'est au milieu des années 60 que commença le développement des nuances d'acier trempé et revenu. Ces produits peuvent aujourd'hui être fournis avec une limite d'élasticité minimale jusqu'à 1100 MPa, mais ces nuances à limite d'élasticité élevée S890Q, S965Q et S1100Q ne sont utilisées qu'en construction mécanique, par exemple pour les grues mobiles (figure ci-après). Dans la construction métallique, seuls les aciers avec une limite d'élasticité jusqu'à 690 MPa sont utilisés. Ceci est dû à des raisons techniques – la soudabilité des nuances plus élevées peut être difficile – et à des restrictions administratives dans de nombreux pays européens. Les années 80 virent le développement des aciers avec laminage thermomécanique. En dépit de propriétés identiques à celles des nuances normalisées (limite d'élasticité et résistance à la rupture), ces produits offrent de nombreux avantages.

Les aciers thermomécaniques atteignent les mêmes limites d'élasticité que les nuances normalisées, mais la teneur en éléments d'alliage est fortement réduite (figure ci-après). Ceci conduit à un carbone équivalent faible, critère utilisé pour caractériser la soudabilité d'un matériau. Dans le cas de l'utilisation d'aciers thermomécaniques, cela conduit à

une meilleure soudabilité, avec moins de préchauffage ou même pas de préchauffage, de meilleures valeurs dans la zone affectée par la chaleur, etc.

En ce qui concerne les dimensions des tôles fortes, Aujourd'hui, les sidérurgistes et en particulier Dillinger Hütte GTS sont capables de produire non seulement des produits plats classiques mais aussi des plaques dont l'épaisseur varie dans le sens de la longueur, encore appelées tôles profilées en long - TPL. Ces tôles profilées en long peuvent être fournies dans de nombreuses formes : la figure ci-après représente les formes les plus simples comme un simple coin (type 1) ou des formes plus compliquées (types 6 à 9). Bien sûr, quelques restrictions s'appliquent, comme la différence maximale d'épaisseur ou la pente maximale.

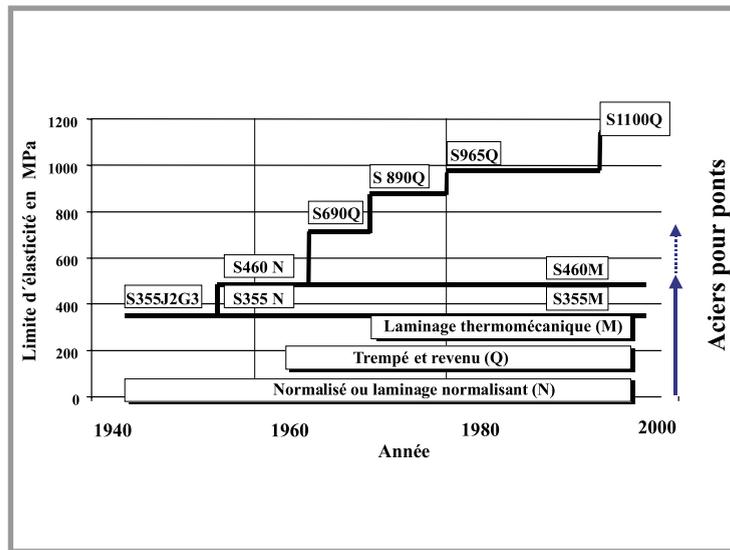
Ces produits ont été utilisés dans plusieurs grands projets en Europe : pont Erasme à Rotterdam, avec de l'acier S460 et S690 pour le tablier et le pylône, Le viaduc d'Øresund entre la Suède et le Danemark, le viaduc de Schengen entre le Luxembourg et l'Allemagne, le pont-canal de Magdebourg. Les épaisseurs mises en place ont atteint 120 mm.

Une large gamme de dimensions et de nuances d'acier est disponible aujourd'hui : épaisseur jusqu'à 250 mm, largeur jusqu'à 4,5 m et longueur jusqu'à 36 m pour un poids maximal unitaire de 60 t. Ces tôles fortes peuvent être produites dans de nombreuses nuances : aciers de construction classiques normalisés (ou avec laminage normalisant), nuances à résistance améliorée à la corrosion, aciers thermomécaniques ainsi que des nuances trempées revenues.

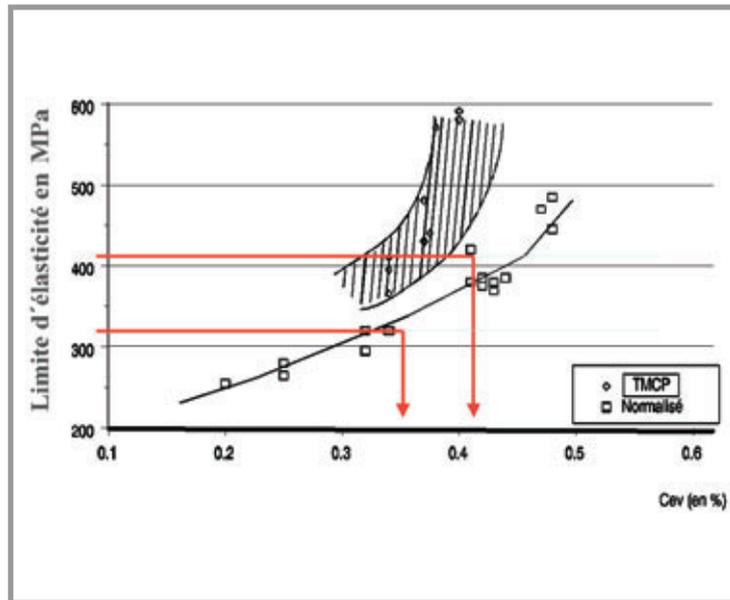
Que réserve le futur? Les aciers modernes doivent contribuer au processus de réduction des coûts de fabrication (pour lesquels la soudabilité est très importante). De plus, les concepteurs demandent une bonne homogénéité des produits. La planéité du produit deviendra de plus en plus importante et les sidérurgistes seront confrontés en outre à des tolérances d'épaisseur très étroites.

→ Contact :

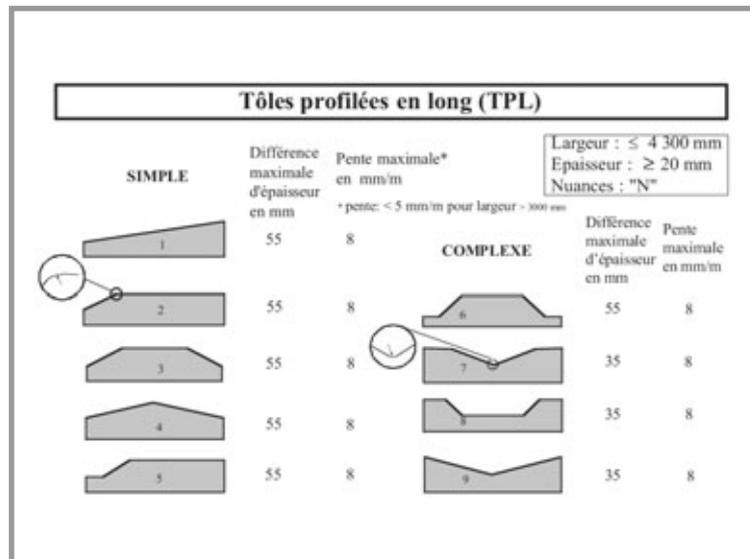
Wasoodev Hoopah - Otua
 Tél. : +33 (0) 1 41 25 65 92
 Fax : +33 (0) 1 41 25 55 70
 e-mail : wasoodev.hoopah@otua.ffa.fr
 internet : www.otua.org



Le développement des nuances pour la construction métallique



Avantages des aciers thermomécaniques



Tôles profilées en long (TPL)



Creuset à froid

► **TECHNOGÉNIA**

Technogénia qui a fêté ses 20 ans en 1999, est une PME française, d'une trentaine de personnes, basée à Saint-Jorioz (Haute-Savoie). Depuis sa création, Technogénia a cherché à innover et à proposer des produits anti-usure plus performants. Elle fabrique son propre carbure de tungstène fondu sphérique : le Sphérotène par un procédé innovant et breveté : "le creuset froid".

Le carbure de tungstène produit par ce procédé, présente des caractéristiques uniques en terme de duretés : jusqu'à 3500 HV et plus. La forme sphérique obtenue est également très intéressante sur le plan de l'efficacité anti-abrasion et de la résistance aux chocs. Ces carbures de tungstène sont incorporés aux différents produits de rechargement dur et pièces d'usure commercialisés par Technogénia : Lasercarb, Technosphere, Technocasting. Le Lasercarb est un procédé développé par le service R & D de Technogénia : le principe est d'utiliser l'énergie d'un faisceau laser CO₂ pour fondre le métal d'apport (poudres carbures "Lasercarb") ainsi que très légèrement le métal de base. Le procédé Lasercarb n'affecte pas les grains de carbure qui conservent donc toutes leurs qualités intrinsèques. Les dépôts réalisés sont liés métallurgiquement au métal de base. Ils sont également parfaitement denses et reproductibles.

Dans le domaine des tunneliers ce procédé a permis la réalisation de blindage pour les supports d'outils de coupe.

Les revêtements plus traditionnels – type cordons de soudo-brasage – déposés au chalumeau oxyacétylénique ne pouvaient pas être utilisés dans ce cas, du fait des déformations induites par la température élevée.

Ces déformations empêchaient le montage ultérieur de l'outil de coupe sur son support.

Lors du chantier du tunnelier BPNL/Bouygues, avec un tunnelier Mitsubishi/NFM pour le chantier du contournement nord de Lyon dans les années 1995-1996-1997 les revêtements carbures de type Technosphere – appliqués au chalumeau – utilisant des grains de Sphérotène ont également été utilisés avec succès, compte tenu des conditions extrêmes rencontrées : présence de gneiss très abrasif. Notamment pour le renforcement de la vis de convoyage et des protections de l'auge de celle-ci.

Ces mêmes matériaux ont également été utilisés par la suite en Espagne, Australie et en Chine, chaque fois que les conditions d'abrasion exceptionnelles étaient rencontrées.

Technogénia réalise plus de 70 % de son chiffre d'affaires à l'exportation, essentiellement dans le forage pétrolier, les mines, les gros chantiers de dragage, l'industrie de la céramique et a été ré-

compensée en 1992 par le trophée national de l'innovation décerné par l'INPI.

➔ **Contact : R.A.Gravet - Technogénia**

Tél. : +33 (0) 4 50 68 56 60

Fax : +33 (0) 4 50 68 62 77

e-mail : technogenia@technogenia.fr

internet : www.technogenia.fr

■ **LA PROTECTION DES PERSONNES DANS LES TUNNELS SOUTERRAINS**



La construction, la rénovation des tunnels et/ou souterrains nécessite la définition du niveau de risque du poste de travail. En fonction de celui-ci, les industriels proposent différents types de protection individuelles : protection respiratoire, auditive ou oculaire.

La société 3M – leader dans le domaine de la protection respiratoire de la personne – a développé, à l'occasion de la mise en application de la nouvelle norme européenne pour les masques anti-poussières jetables, deux outils visant d'une part à informer les responsables hygiène et sécurité et les "novices" sur la nouvelle norme EN 149 : 2001 et d'autre part à les aider dans le choix du bon équipement de protection individuelle (appelé couramment EPI).

En quinze pages, le guide EN 149 : 2001 fait le tour de l'évolution de la norme pour les masques anti-poussières jetables.

De la définition de la norme en passant par l'influence de ces changements, le guide évoque le fonctionnement du masque classique ainsi que les améliorations technologiques qu'apportent 3M :

- ◆ la diminution de la résistance respiratoire s'acquiert grâce au nouveau médian filtrant 3M™ Electret ;

- ◆ meilleure résistance : limitation du risque de déformation par écrasement grâce à l'utilisation de nouveaux matériaux dans la fabrication de la coque intérieure (la déformation est problématique dans les atmosphères humides et chaudes) ;

- ◆ augmentation de la performance du filtre sans ajout de média filtrant et ceci grâce au 3M™ Electret ;

- ◆ diminution de l'accumulation de chaleur et d'humidité dans le masque tout en fournissant le nouveau niveau de protection requis par la nouvelle norme.

Le guide la protection respiratoire, en dix pages, donnent dans un premier temps les directives des normes européennes, avec l'utilisation et la conception des EPI (équipement de protection individuel-



Support d'outils de coupe revêtus en Lasercarb



Plaques de vis d'extraction revêtues en Technosphère

le). Puis il aborde les différents types de protection et les critères de choix dans la sélection d'un EPI :

- ◆ protection anti-poussières : demi-masques filtrant contre les particules, filtres à particules et limites d'utilisation d'un masque anti-poussières ;

- ◆ protection anti-gaz : filtres anti-gaz, limites d'utilisation et changement des filtres ;

- ◆ ventilation assistée : système ventilé permettant d'offrir plus de confort à l'utilisateur ;

- ◆ adduction d'air : les appareils de protection à adduction d'air sont connectés à un réseau d'air comprimé. Cet équipement fourni à l'utilisateur un air respirable lorsqu'il travaille dans un univers pollué. A l'intérieur du guide de la protection respiratoire, on retrouve tous les produits "masques" distribués par 3M ; à chaque fois un bref descriptif précise à quelle norme correspond le produit.

Il est remis dans son intégralité lors de la formation des responsables hygiène et sécurité.

→ **Contact** : Service Relation Client - **3M France**
 Tél. : +33 (0) 1 30 31 65 96
 Fax : +33 (0) 1 30 31 65 55
 e-mail : 3m-france-epi@mmm.com
 internet : www.3m.com/fr/securite

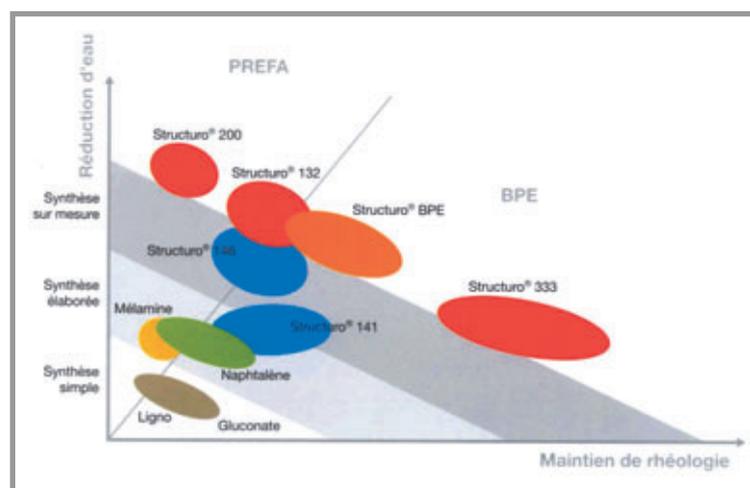
■ AQUASUB

Colmater une fissure longue de 5 m, large de 1,5 m et profonde de 4 m ne présente pas de réelles difficultés pour des professionnels du béton ! Lorsqu'il s'agit d'une faille située à 30 m de profondeur sous l'eau à l'extrémité nord du lac de Chailloux (bassins du Doubs), on peut dire que c'est une première !

C'est en collaboration avec la société SBM, Société du Béton de Morteau, que Fosroc Cia, fabricant d'adjuvants et de mortiers spéciaux, a mis au point une formulation spécifique pour le coulage du béton en milieu aquatique.

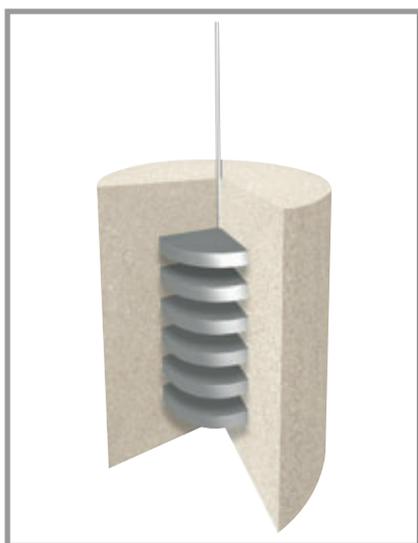
Condition indispensable de la réussite du chantier, cette formulation reposait sur les caractéristiques physico-chimiques du produit Aquasub de la gamme Fosroc Cia. En effet, l'adjuvant Aquasub confère au béton une cohésion s'opposant au délavage et à la dispersion du béton frais ; la plasticité et l'homogénéité de celui-ci ont permis son pompage sur une distance de 130 m dont 30 m en position verticale, grâce à l'adjonction du plastifiant Rési Réducto et de l'entraîneur d'air ACM 2, les divers adjuvants Fosroc Cia étant compatibles entre eux. Toujours soucieux d'apporter des solutions plus efficaces, Fosroc Cia vient de formuler un nouvel adjuvant qui complète sa gamme de superplastifiants Structuro. Surnommé, à juste titre, l'adjuvant des BPE (bétons prêts à l'emploi) de l'extrême, Structuro 333 est spécialement conçu pour le marché des bétons à long maintien de rhéologie : cela signifie que sa structure moléculaire très particuliè-

re car constituée d'une molécule unique, et son mode de fonctionnement lui confèrent une capacité exceptionnelle à maintenir la maniabilité du béton. Malgré des natures de ciments très disparates, Structuro 333 reste en action dans certains cas plus de trois heures sans conséquence sur les qualités et les performances recherchées du béton adjuvanté. Les chantiers éloignés comme ceux de montagne peuvent prétendre à présent à des bétons de qualité élevée et Fosroc Cia d'enregistrer un nouveau record.



Renderoc Galvashield

Fosroc Cia vient de lancer un nouveau produit pour compléter son offre concernant les solutions électrochimiques. Après le lancement du système Renderoc Galvashield XP, système de protection galvanique des armatures du béton lors de réparations ponctuelles d'un ouvrage, Fosroc Cia propose dans sa gamme un nouveau système, Renderoc Galvashield CC destiné à apporter au béton armé



un réseau d'anodes pour prévenir et contrôler la corrosion.

En effet, les anodes sacrificielles en zinc qui se corrodent de façon préférentielle à l'acier sont, dans ce système, mises en série en chaîne de dix unités maximum, permettant grâce aux deux connexions à l'acier, de mobiliser une forte quantité de zinc immédiatement pour faire face à la corrosion qui se déclare. Renderoc Galvashield CC se positionne ainsi comme un système de prévention de la corrosion, plus global et applicable sur des petites surfaces comme un balcon mais aussi sur l'ensemble d'une structure, par exemple, les dalles d'un parking. Très efficace, économique, facile à installer, le système est mesurable et contrôlable avec une durée de vie supérieure à 20 ans. Renderoc Galvashield CC qui ne nécessite pas de courant extérieur est adapté aux structures post ou précontraintes car la mobilisation du système s'active "à la demande" du fer en phase de début de corrosion et les potentiels mis en cause ne peuvent conduire à la formation d'hydrogène (formation d'hydrogène à - 1400 mV) et aux risques de striction qui en découle.

Après une étude préalable de la structure à protéger, de la position des aciers dans le béton et de l'état de ce dernier, la continuité électrique des armatures est vérifiée et établie en cas de défaut. L'étude donnant la position des aciers, un marquage sur le béton permet de positionner le maillage et l'emplacement des unités Galvashield CC. Le béton est alors percé à la foreuse pour préparer les logements des unités, trous de 50 mm de diamètre et de 90 à 100 mm de profondeur. Les anodes étant en série, les unités sont connectées électriquement les unes aux autres, les fils de connexion sont encastrés dans le béton après sciage de joints de 4 mm de large et 15 mm de profondeur. Le bouchage des trous et des joints, une fois la continuité électrique entre les unités et les connexions à l'acier vérifiée, se fait avec le mortier d'enrobage Galvashield CC. Le nombre d'unités Galvashield CC est directement lié à la configuration du chantier et à la densité de l'acier à protéger; la zone d'influence initiale d'une unité est une sphère de 600 mm de rayon pour un ratio surface développée d'acier sur surface de béton de 0,4.

L'unité augmentera sa zone d'influence après activité, du fait de la polarisation engendrée de l'armature jusqu'à près de 2 m de l'unité.

Galvashield LJ, le nouveau système Fosroc

A l'occasion du salon Batimat qui a eu lieu à Paris, porte de Versailles, du 5 au 10 novembre 2001, Fosroc a proposé deux nouveaux systèmes de protection galvanique contre la corrosion des aciers dans le béton : il s'agit des systèmes Galvashield CC et Galvashield LJ.

Avec le lancement du système Renderoc Galva-



shield XP, Fosroc mettait en avant un système ingénieux d'anodes sacrificielles autonomes en zinc, attachées directement sur les armatures lors de réparations ponctuelles sur des structures en béton armé.

Fort de ce succès (près de 500000 pastilles mises en œuvre dans le monde), la société innove encore avec le système Galvashield CC, système galvanique de prévention de la corrosion des armatures du béton, avec des anodes sacrificielles en zinc, cette fois mises en série pour traiter de façon plus globale la structure à protéger et permettre une mobilisation plus forte et plus rapide du zinc dès l'apparition d'un potentiel de corrosion.

Combattre la corrosion, c'est également bien souvent combattre les chlorures (sels de deverglaçage) contaminant le béton et attaquant les fers par dissolution de ceux-ci. Et des chlorures, la mer en constitue un réservoir inépuisable, aussi, logiquement, Fosroc s'est intéressé à la réparation des structures maritimes et en particulier les zones les plus exposées à la dégradation, les zones semi-immergées ou les zones de marnage. En effet, le cycle mouillage-séchage avec apport continu de chlorures a un effet dévastateur sur le béton.

Lorsque l'on observe les niveaux de destruction des piles de ponts ou de jetées en milieu maritime, l'intérêt du système Galvashield LJ s'impose rapidement : il est composé de demi-coques en fibres de verre de tailles et de sections variables qui s'emboîtent et qui servent de coffrage perdu pour reconstituer les pertes de section de béton. A l'intérieur de cette enveloppe ainsi constituée, un treillis déployé en zinc et noyé dans le coulis d'injection restructurant, est connecté à l'armature du béton et fournit une protection cathodique aux aciers en canalisant le potentiel de corrosion vers une anode massive en pied de pile. Cette anode massive est optionnelle mais elle permet d'éviter que le treillis ne se consume trop vite et a le mérite d'être facilement remplaçable. Les avantages du système Galvashield LJ sont multiples :

- ◆ pas de source d'énergie extérieure car pas de courant imposé;



- ◆ coût très bas par rapport à une protection cathodique par courant imposé ;
- ◆ maintenance et contrôle non indispensables, système autorégulé ;
- ◆ système complet, facile d'installation et extrêmement fiable ;
- ◆ pas d'interruption du trafic sur le pont ;
- ◆ protection supérieure à 25 ans ;
- ◆ réparation et protection en une seule et même opération ;
- ◆ satisfait au critère des 100 mV de la protection cathodique ;
- ◆ pas de risque de "surprotection" et de production d'hydrogène.

Les premières applications sous le contrôle du laboratoire de Corrosion du département du Transport de Floride ont été réalisées sur les piles des ponts reliant les célèbres îles au sud de la Floride, les "Keys". Grâce à cet important succès, confirmé et validé, et à d'autres applications, Fosroc s'intéresse à présent activement aux 5000 km de côtes françaises et ses nombreuses structures en béton armé à protéger.

→ **Contact** : Christophe Joly - **Fosroc Cia**
 Tél. : +33 (0) 4 72 49 17 90
 Fax : +33 (0) 4 72 49 17 91
 internet : www.fosroccia.fr

■ MÉTRO DE SAINT-PETERSBOURG

Dans le cadre de l'extension du métro de Saint-Petersbourg, le creusement du tunnel pour passer à 70 m de profondeur sous la Néva, vient de débuter. Pour ces travaux, réalisés par la société italienne Impregilo, c'est du matériel Sotrès qui a été choisi pour la préparation et le traitement des 1000 à 1200 m³/h de boue de marinage.

Cette installation, dont une partie a déjà participé au chantier Eole à Paris, est essentiellement constituée des ensembles suivants :

- ◆ préparation et stockage de la boue neuve :
 - deux silos de stockage de la bentonite en poudre,
 - deux bassins de stockage de la boue neuve,
 - trois ensembles de préparation de la boue mère ;
- ◆ dessablage de la boue de marinage :
 - deux groupes de scalpage,

- deux ensembles de cyclonage primaire,
- deux ensembles de cyclonage secondaire,
- deux ensembles d'égouttage des déblais ;
- ◆ stockage et dessaturation :
 - deux bassins de stockage des boues de marinage,
 - un préparateur doseur de flocculants,
 - deux décanteurs de traitement des boues saturées,
 - deux silos de stockage des boues saturées concentrées,
 - quatre presses de compactage des boues saturées,
- ◆ dispositif de gestion et de commande comportant tous les organes et appareils de régulation et d'automatisation de l'ensemble de l'installation.

→ **Contact** : Philippe Prelat - **Sotres**
 Tél. : +33 (0) 4 73 26 49 17
 Fax : +33 (0) 4 73 27 88
 e-mail : philippe.prelat@sotres.fr

■ BPI/TITON 500 DE SANDVIK

La nouvelle machine BPI Titon 500 est une machine de forage "fond de trou" très mobile, conçue pour des applications en mines à ciel ouvert et en carrières de taille moyenne. Cette création est le fruit de l'étroite coopération entre BPI, maintenant faisant partie du groupe Sandvik Tamrock et Drill Tech Mission. Elle intègre toutes les dernières innovations dans la technologie des machines de forage et des marteaux fond de trou. Cette machine présente les caractéristiques particulières suivantes :

- ◆ compresseur puissant de 22 m³/min à 2,4 MPa permettant la foration avec un marteau 511 et donnant une réserve de puissance et donc de longévité et d'économie avec un marteau 4";
- ◆ moteur Caterpillar type C-10 de dernière génération conforme aux prochaines normes européennes concernant les émissions de gaz d'échappement ;
- ◆ conception globale avec un design moderne intégrant : dépoussiéreur, cabine FOPS/ROPS spacieuse avec visibilité augmentée et poste de commande ergonomique avec uniquement des joysticks ;
- ◆ châssis porteur type pelle (FL6) offrant une grande stabilité avec huit galets inférieurs et une excellente capacité de franchissement ;
- ◆ tous les points de service rassemblés côté droit de la machine ;
- ◆ deux vitesses de déplacement dont une vitesse supérieure élevée (4,0 km/h) ;
- ◆ réservoir hydraulique de grand volume avec réfrigérant associé de grande capacité ;
- ◆ utilisation de tubes de 5,00 m de long.

→ **Contact** : **Sandvik**
 Tél. : +33 (0) 4 72 45 22 00
 Fax : +33 (0) 4 72 45 23 11



Sotres : installation de traitement de boue bentonitique



Sandvik : nouvelle machine BPI Titon 500